

PERFIL DE LOS ÁCIDOS GRASOS Y SUS MODIFICACIONES EN LA CALIDAD DE LA CARNE DE LOS BOVINOS

PROFILE OF FATTY ACIDS AND THEIR MODIFICATIONS IN THE QUALITY OF BOVINE MEAT

Cruz-Monterrosa, R.G.¹; Ramírez-Mella, M.²; Lira-Casas, R.³; Ramírez-Briebesca, E.^{4*}

¹Departamento de Ciencias de la Alimentación. Universidad Autónoma Metropolitana. Av. de las Garzas No. 10. Col. El Panteón Lerma de Villada. Edo. de México. CP. 52005. ²CONACyT-Colegio De Postgraduados. Campus Campeche. Carretera Haltunchén-Edzná km 17.5, Sihochac, Municipio de Champotón, Campeche. C. P. 24450. ³Facultad de Medicina Veterinaria. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Carretera Tecamachalco-Cañada Morelos Km. 7.5, El Salado, Tecamachalco, Puebla. CP. 75460. ⁴Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Km. 36.5, Texcoco 5, México - Texcoco, Montecillo, Edo. México. CP. 56230.

*Autor de correspondencia: efrenrb@colpos.mx

RESUMEN

El desafío de los investigadores en alimentos es mejorar la calidad de los lípidos que se integran en la carne con la finalidad de que el consumidor reduzca la ingesta de grasas saturadas como un factor de calidad de vida. Para lograr este objetivo es necesario conocer los diferentes factores que influyen en la producción ganadera. La genética y expresión de genes son líneas interesantes de investigación que tratan de explicar cómo la genómica puede beneficiar la calidad de la grasa en los adipocitos. También hay varios factores extrínsecos; quizás el más importante es la alimentación y adición de algunos nutrientes en específico. Sin embargo, el problema no es tan sencillo como parece; se deben involucrar factores de estudio con modelos de simulación y análisis físico-químicos y sensoriales que resuelvan el problema. Se realizó una descripción de algunos factores que se asocian con la calidad de los lípidos en la carne que pueden estar regulados principalmente por la raza o grupo genético de ganado, género, nutrición y sistemas de producción.

Palabras clave: salud, consumo de carne, grasas, calidad, inocuidad

ABSTRACT

The challenge for food researchers is to improve the quality of the lipids that are integrated in meat, with the purpose of the consumer reducing the intake of saturated fats, as a factor in life quality. To achieve this objective, it is necessary to understand the different factors that influence livestock production. Genetics and gene expression are interesting lines of research, which attempt to explain how genomics can benefit the quality of the fat in adipocytes. There are also several extrinsic factors, perhaps the most important one being the diet and addition of some specific nutrients. However, the problem is not as simple as it seems, and study factors with simulation models as well as physical-chemical and sensory analyses that solve the problem should be involved. A description of some factors that are associated with the quality of the meat lipids, which can be regulated primarily by the livestock breed or genetic group, genus, nutrition and production systems, was carried out.

Keywords: health, meat consumption, fats, quality, innocuousness.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 10, octubre, 2017, pp: 47-53.

Recibido: agosto, 2017. **Aceptado:** octubre, 2017.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el incremento en la producción y el mejoramiento en la calidad de la carne es un nuevo desafío para el sector agropecuario. En 2030 la población humana se incrementará a ocho billones y el consumo per cápita de carne aumentará en los países en vías de desarrollo a una tasa de 2.1 % (FAO, 2015). En México, el consumo de carne de res es de 8.59 kg año⁻¹ y la carne de ovinos y caprinos es de 0.52 kg año⁻¹ (OECD-FAO, 2017). Por lo tanto, la ganadería en México no satisface las demandas de la población y, por esta razón, se realizan importaciones de productos cárnicos, aun cuando existen núcleos de organizaciones ganaderas que están exportando carne a países asiáticos. La producción pecuaria en México tiene muchas carencias que limitan su eficiencia; es claro que se necesitan más programas de crías, mejoramiento genético, administración, manejo de los agostaderos, cartografía para definir áreas ganaderas, cultivos para un uso eficiente de los subproductos agropecuarios y la aplicación de las normas de bienestar animal e inocuidad de los productos cárnicos. Independientemente de los factores ya citados se debe mejorar la calidad nutricional de la carne; por ejemplo, la tendencia mundial de consumo reducido en grasas como un factor de calidad que el cliente pide a nivel nacional e internacional (Hathwar y Rai, 2012). Por su demanda y calidad, la carne debe ser brillante, jugosa, tierna, con bajo contenido en colesterol y alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) y monoinsaturados (AGMI) (Hathwar y Rai, 2012). Para lograr este objetivo es indispensable explorar posibilidades genéticas y nutricionales. Investigaciones de este nivel, desplazarán la carne contaminada con hormonas o clenbuterol, lo cual no es nuevo (a pesar de las normas existentes), (Sánchez y Albarracín, 2010). El objetivo de esta revisión describe algunos factores que se asocian con la calidad de los lípidos en la carne. Estos son regulados principalmente por la raza o grupo genético (Rotte *et al.*, 2009a), el género (Padre *et al.*, 2007), la nutrición (Prado *et al.*, 2008a) y los sistemas de producción (Aricetti *et al.*, 2008).

Efecto genético-genómico

La canal, la conformación, longitud, el área del músculo *Longissimus*, color, textura y grado de marmoleo tienen un índice intermedio de heredabilidad (0.4 %), y en el caso de la composición y acumulación de grasa perirrenal y de cobertura tiene el más alto índice de heredabilidad (0.6%) (Prado *et al.*, 2009). Los mecanismos lipogenómicos y fisiológicos no están claramente conocidos; hay información sobre la expresión de genes en los rumiantes y es una línea interesante de investigación que trata de explicar la genómica con el contenido de los ácidos grasos presentes en los adipocitos. Por ejemplo, la cantidad de ácidos grasos monoinsaturados de la carne puede ser regulada por la expresión genética de la esteroil coenzima A desaturasa. Dicho gen codifica para la síntesis de la $\Delta 9$ desaturasa, enzima responsable de convertir los ácidos grasos saturados en monoinsaturados y de formar ácido linoleico conjugado (ALC) a partir de ácido vaccénico. Gotoh *et al.* (2009) mencionan que el contenido de grasa intramuscular de las razas europeas de ganado bovino (Belgain Blue, German Angus y Holstein-Friesian) es significativamente menor que la Japanese Black (<5 % vs >20%, respectivamente) y, debido a ello, la carne de dicha raza es utilizada en la cocina tradicional japonesa. Otros genes que hasta ahora han sido identificados son: a) Gen polimorfis-

mo intrón del elemento regulador de uniones de esteroides de ácidos grasos monoinsaturados-proteína 1 (SREBP-1); b) Gen polimorfismo genético de steroyl-CoA desaturasa (SCD); c) Gen intrón polimorfismo del elemento regulador de esteroides de unión AGMI proteína-1 (SREBP-1), c) Gen de marcador genético adicional de unión de adipocitos de ácidos grasos proteína 4 (FABP4) y receptor de hígado X; y d) SCD y FABP4 que regulan específicamente la composición de ácidos grasos en novillos Holstein (Mannen, 2011).

La variabilidad genética presenta diferencias entre las especies y razas (Perotto *et al.*, 2000). Entre las razas las diferencias pueden ser influenciadas por la segregación de los genes principales; por ejemplo, el de doble musculatura en el ganado. No es fácil evaluar la verdadera contribución de la genética a las diferencias de calidad de la carne (Webb, 2006); generalmente puede haber efectos confundidos por otros efectos intrínsecos, tal como el peso vivo, la edad de matanza y el sistema de producción (Webb, 2006). Sin embargo, hay varios factores que influyen en el perfil de las características en la canal, la composición química y el contenido de ácidos grasos en el ganado. Los grupos genéticos y el género (Padre *et al.*, 2007) son algunas de las razones por las variaciones en la calidad de la carne. En este caso, la heterosis mejora el rendimiento de la canal caliente; por tal motivo, se busca obtener cruces de cebuinos con algunas razas europeas, ya que la raza pura tienen una conformación irregular (Prado *et al.*, 2008b). El rango de la grasa subcutánea es de 2.70 a 5.10 mm, mientras que el marmoleo es una característica determinante en algunos países como

Estados Unidos de América, Japón y China, los cuales prefieren carne con alto grado de marmoleo, que oscila entre 4.13 a 7.78 puntos; los grupos genéticos de razas europeas comparados con las cebuinas tienen las puntuaciones más altas.

El porcentaje de lípidos totales entre las razas presenta alta variación; cambia hasta 170 % entre los grupos genéticos, mientras que los cambios porcentuales en el contenido de proteína son menores, de alrededor de 9 % (entre 22.8 % y 24.9 %) (Prado *et al.*, 2008a). Los niveles de lípidos totales en el músculo *Longissimus* en corrales de engorda es de 3 % (Rotta *et al.*, 2009a); por ejemplo, los animales de grupos genéticos Nelore×Angus (3.91%) presentan mayor valor que las cruza de Charolais×Caracu (1.45%). Los lípidos totales en el músculo *Longissimus* de ganado varían de 2 % a 5 % (Prado *et al.*, 2008a; Rotta *et al.*, 2009b). El ganado de origen británico presenta carne mejor vetada que los de raza cebuina, quizás porque tienen menos grasa y más tejido conectivo (Moreira *et al.*, 2003).

En la composición de los ácidos grasos, ya sea en músculo o grasa (Cuadro 1), la variación entre los grupos genéticos de origen brasileño es de 60 % en los C: 12:0, 14:0 y 16:0 (Rotta *et al.*, 2009a); estos son hipercolesterolémicos y son los responsables del aumento de la cantidad de lipoproteínas de baja densidad-LDL (lipoproteína de baja densidad) en los humanos. El grupo genético de cruce Nelore×Raza Continental presentó los niveles más bajos a estos ácidos grasos (Rotta *et al.*, 2009b).

El ácido graso 18: 3 n-3 se considera esencial; tiene la capacidad de formar otros importantes (Wood *et al.*, 2003). El mayor contenido lo presenta Charolais×Caracu (0,73%). Los AGPI tiene una variación de 4 % a 11 %; los cebuinos tienen mayor contenido de ácidos grasos poliinsaturados (Rotta *et al.*, 2009b), quizás por el mayor depósito de tejido conjuntivo (Prado *et al.*, 2008b). El colesterol total presenta una variación de 55 %, debido a los grupos genéticos, y cambia entre 34.1 a 52.9 mg 100 g⁻¹ en músculo *Longissimus* (Prado *et al.*, 2008a). Prado *et al.* (2009) mencionan que los cebuinos tienen mayor concentración de colesterol total en el músculo *Longissimus*, tal vez debido a un aumento en las membranas musculares.

Desarrollo de la adiposidad

Durante los procesos fisiológicos de adiposidad en los bovinos se presenta la hipertrofia e hiperplasia. La primera se asocia al mayor tamaño y la segunda a un número más alto de adipocitos (Du y Domson, 2011), distribuyéndose los lípidos de los adipocitos en tres proporciones (Figura 1). La hiperplasia es controlada por hormonas y factores de crecimiento similares a insulina de tipo I y II (IGF-I e IGF-II), las formas ácida y básica del factor de crecimiento fibroblástico (aFGF y bFGF) y el de necrosis tumoral (TNF- α) (González-Gallardo *et al.*, 2008). Los procesos de lipogénesis y maduración lipídica varían con el genotipo, sexo, edad, régimen o suministro de alimento y el efecto fisiológico que puede tener el organismo de un individuo. Sin embargo, el genotipo parece ser más determinante que las otras variables antes citadas.

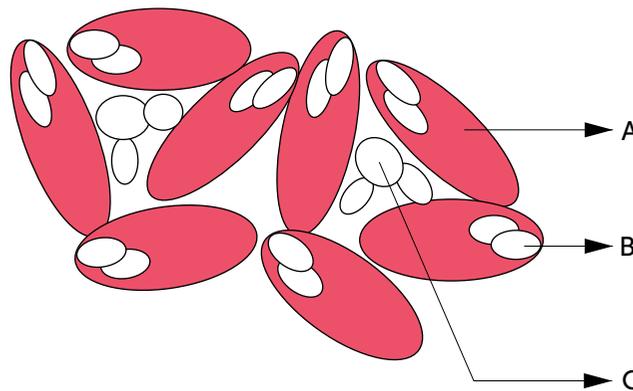


Figura 1. Representación esquemática de: A: Lípidos entre la fibra muscular, B: Lípidos intramiocelulares, C: Lípidos extramiocelulares (Gao y Zhao, 2009).

Algunos trabajos realizados entre novillos Holstein y Herford, Friesian y Charolais, Angus, cruza de Wagyu y razas españolas (Lee *et al.*, 2000; Alzón *et al.*, 2007) indican diferencias fisiológicas en los adipocitos.

Formación y función fisiológica de los ácidos grasos que se depositan en la carne

La grasa contenida en la carne de los rumiantes está compuesta por cerca de 50 % de ácido oleico (C18:1, es un monoinsaturado de 18 carbonos, cuyo doble enlace se encuentra en el noveno carbono), y de 35 % a 40 % de saturados, que incluyen al mirístico (C14:0), palmítico (C16:0) y esteárico (C18:0). El resto se conforma de otros monoinsaturados, poliinsaturados y *trans*, como el ALC y el vaccénico (Smith *et al.*, 2009). El contenido de estos en el músculo (carne) y en la grasa de cobertura presenta diferencias entre las especies (Cuadro 1).

El ALC posee propiedades anticancerígenas y antiaterogénicas, mientras que el vaccénico puede transformarse en ALC en diversos tejidos como músculo y tejido adiposo (McAfee *et al.*, 2010). Existen dos tipos de ácidos grasos. Los *trans*, producidos a través de un proceso industrial de hidrogenación de

aceites vegetales para la fabricación de margarina y grasas para repostería y frituras, y los que se producen de manera natural a través de un proceso de biohidrogenación de ácidos grasos insaturados por acción de las bacterias presentes en el rumen. La diferencia entre los ácidos grasos trans producidos por los microorganismos del rumen y por hidrogenación industrial radica en varios puntos. Uno de ellos es que solo la biohidrogenación ruminal de ácidos grasos poliinsaturados formará dobles enlaces trans entre los carbonos 11 al 18, mientras que la hidrogenación industrial lo hará entre los cinco al 13. Además, hasta 20% de los ácidos grasos trans de la grasa de los rumiantes está como trans 16:1, y este ácido graso junto con el ácido butírico (C4:0) están presentes únicamente en la grasa de rumiantes (Stender *et al.*, 2008).

Las bacterias ruminales son las responsables de formar ALC (un ácido graso trans de 18 carbonos) y ácidos grasos monoinsaturados, a partir de poliinsaturados presentes en la dieta, principalmente linoleico (C18:2) y linolénico (C18:3). *Butyrivibrio fibrisolvens* es la bacteria ruminal que favorece la formación del isómero de ALC *cis9, trans11*, mientras que *Megasphaera elsdenii* forma el *trans10, cis12*. En la Figura 2 se muestra la ruta metabólica de la biohidrogenación de ácidos grasos poliinsaturados en el rumen. La formación de cada uno de los isómeros mencionados depende principalmente del tipo de dieta que consuma el rumiante; sin embargo, el mayoritario es el *cis9, trans11*, seguido de *trans10, cis12*. En el caso de los rumiantes de carne, especialmente de bovinos en finalización, el *trans10, cis12* se incrementa debido a elevadas cantidades de concentrado en la dieta, así como por el uso de aceites poliinsaturados; no obstante,

Cuadro 1. Composición de grasa y ácidos grasos en filete de lomo de bovino, cordero y cerdo (Enser *et al.*, 1996).

Grasa	Bovino	Cordero	Cerdo
	15.6	30.2	21.1
Músculo, %			
16:0 palmitico	25.0	22.2	23.2
18:0 esteárico	13.4	18.1	12.2
18:1 n-9 oleico	36.1	32.5	32.8
18:2 n-6 linoleico	2.4	2.7	14.2
18:3 n-3 α -linolenico	0.70	1.37	0.95
20:4 n-6 araquidónico	0.63	0.64	2.21
20:5 n-3 EPA	0.28	0.45	0.31
22:6 n-3 DHA	0.05	0.15	0.39
Ácidos grasos totales	3.8	4.9	2.2
P:S	0.11	0.15	0.58
n-6:n-3	2.11	1.32	7.22
Grasa, % de ácidos grasos			
16:0 palmitico	26.1	21.9	23.9
18:0 esteárico	12.2	22.6	12.8
18:1 n-9 oleico	35.3	28.7	35.8
18:2 n-6 linoleico	1.1	1.3	14.3
18:3 n-3 α -linolenico	0.48	0.97	1.43
C20-C22 n-3 AGPI	ND	ND	0.36

contienen un elevado contenido de lípidos, de los cuales 8 % es ácido vaccénico y 3 % ALC, aproximadamente. Por ello, los protozoarios son importantes para el flujo de ALC y ácido vaccénico hacia el intestino delgado donde pueden estar disponibles para el hospedero y depositarse en los tejidos.

Independientemente de las condiciones del rumen, el primer paso consiste en la isomerización de los ácidos grasos poliinsaturados, cambiando la configuración de uno de los dobles enlaces, de *cis* (c) a *trans* (t). Posteriormente, sigue la biohidrogenación, que consiste en "eliminar" los dobles enlaces de la cadena del ácido graso.

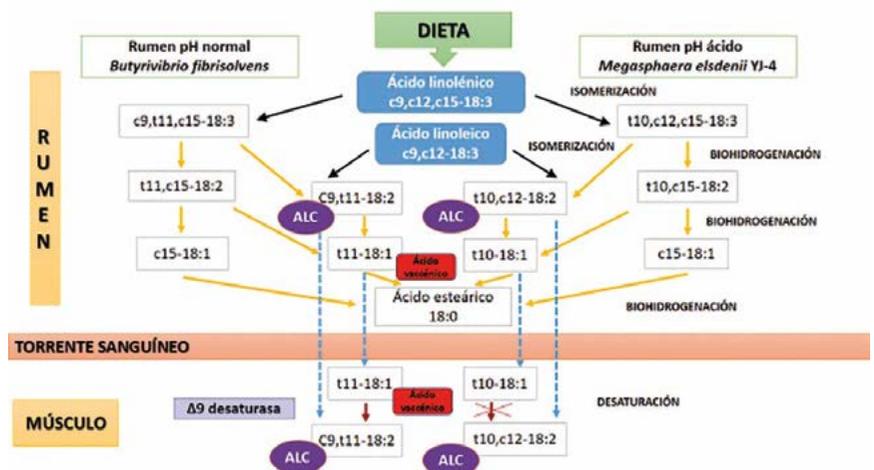


Figura 2. Biohidrogenación de ácidos grasos poliinsaturados por bacterias ruminales (modificado por Kramer *et al.* 2004).

En condiciones ruminales “normales”, con un pH cercano al neutro, se favorece el crecimiento de bacterias que producen el isómero *cis9*, *trans11* del ALC, mientras que en condiciones de acidosis predominarán bacterias que produzcan el *trans10*, *cis12* del ALC.

Los diversos intermediarios que se forman durante el proceso de biohidrogenación pueden seguir dos rutas: seguir biohidrogenándose hasta formar ácido esteárico o escapar de la biohidrogenación y llegar a torrente sanguíneo para depositarse en diversos tejidos como el adiposo y muscular. El ácido vaccénico puede transformarse en ALC en los tejidos del rumiante por acción de la $\Delta 9$ desaturasa. Fuente: modificado de Kramer *et al.* (2004).

Está de moda satanizar los radicales libres; sin embargo, estos cumplen con funciones específicas en el organismo. Fisiológicamente controlan la maduración de los espermatozoides, la capacitación y la hiperactivación, la reacción del acrosoma (AR) y la fusión entre el espermatozoide y el ovocito (Kothari *et al.*, 2010); además, destruyen microorganismos patógenos con la acción de las células fagocitarias, tales como los macrófagos y peroxisomas que coadyuvan a la oxidación, hidroxilación y peroxidación en el metabolismo de los nutrientes, así como el acortamiento de ácidos grasos. La cadena respiratoria que se lleva a cabo en las mitocondrias adquiere una función importante en la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) como parte del proceso de la generación de energía (Lobo *et al.*, 2010). Sin embargo, cuando la cantidad presente en el organismo supera los rangos normales se presentan enfermedades

graves causando envejecimiento, peroxidación lipídica (LPO), daño al ADN, apoptosis (Kang *et al.*, 2012) y carne rancia, por efecto de la oxidación de los lípidos que contiene (Kothari *et al.*, 2010).

Alimentación y contenido de ácidos grasos en la carne

Uno de los factores extrínsecos, como la alimentación y adición de algunos nutrientes en específico, influyen en la composición de la grasa de la carne de los bovinos. Específicamente, la energía de la dieta tiene efectos importantes en el rendimiento, la cantidad y calidad de grasa; adicionalmente, la interacción de los minerales y vitaminas también participan en el color y la presencia de antioxidantes. Hay evidencias de que el ganado finalizado con dietas altas en concentrado posee una carne con mayor contenido de ácidos grasos monoinsaturados que aquella de animales en pastoreo o alimentados con elevadas cantidades de forraje, en los cuales se incrementa el contenido de los saturados. Por ello, los rumiantes alimentados con mayores cantidades de granos tendrán mejor nivel de marmoleo (Smith *et al.*, 2009). No obstante, el contenido ALC y vaccénico es mayor en animales alimentados en pastoreo, e incluso el de omega-3, como el eicosapentaenoico (C20:5), docosapentaenoico (C22:5) y docosahexaenoico (C22:6), se incrementan considerablemente en aquellos bajo régimen de pastoreo (Daley *et al.*, 2010).

Los principales objetivos de incluir grasas o aceites en las dietas de los rumiantes tienen dos finalidades. La primera, mejorar el valor energético de la dieta integral, y la segunda, proporcionar una cantidad idónea de AGPI que no sean biohidroge-

nados y mejoren su disponibilidad en los tejidos muscular y adiposo. El límite máximo de lípidos en la dieta no debe de ser mayor de 6 %. Una alta concentración disminuye la digestibilidad intestinal de los lípidos (menor a 80 %), afecta la digestibilidad de la fibra y baja el consumo. Los aceites con alto contenido de ácidos grasos mono-poli-insaturados pueden beneficiar la formación del ALC y ácidos grasos n-3, principalmente como el A-linolénico (18:3n-3) en el músculo y tejido adiposo (Montgomery *et al.* 2008, He *et al.*, 2012). La susceptibilidad de la carne a la oxidación depende principalmente del contenido de los poliinsaturados en las membranas celulares; este es el punto de inicio en la oxidación lipídica de la carne (Mir *et al.*, 2004, Daly *et al.*, 2007). Por tal motivo, altos contenidos de aceites en la dieta, por ejemplo de linaza, influyen en los atributos de la calidad de la carne, incluyendo las tasas de oxidación de sabor y lípidos. Los aromas están relacionados en parte con el potencial oxidativo del tejido, la composición de ácidos grasos y la presencia de anti y pro-oxidantes en el músculo (Nassu *et al.*, 2011). Así, si se incluye 10 % de semilla de linaza molida en la dieta de novillos, la intensidad del sabor desagradable en el filete aumenta (LaBrune *et al.*, 2008). Los ácidos grasos poliinsaturados son muy susceptibles a la oxidación durante la cocción y se correlacionan negativamente con los índices de sabor sensorial de la carne, y disminuye la aceptación de los productos cárnicos por parte del consumidor. En conclusión, a este punto resulta necesario mejorar la proporción de los ácidos grasos mono-poli-insaturados en la grasa muscular, pero es necesario conocer el umbral máximo para evitar resultados negativos de la carne

durante el consumo; se requiere que los trabajos de investigación se fortalezcan con pruebas bioquímicas y sensoriales.

Celularidad de adipocitos en rumiantes: consideraciones bajo modelo experimental

Existen trabajos de investigación donde se estudia la diferenciación *in vitro* de pre-adipocitos de tejido adiposo bovino (González-Gallardo *et al.*, 2008) y la utilización de líneas celulares de adipocitos para evaluar ciertos nutrientes *in vitro*. Un modelo experimental puede plantearse con tratamientos entre razas, efectos de fármacos o suplementos integrados en la dieta que influyen directamente en la fisiología de los adipocitos. La metodología general se puede plantear con la extracción de adipocitos a través de biopsias o durante la matanza de los rumiantes cuando son destinados para el abasto. Los adipocitos aislados se obtienen de los depósitos omentales, perirenal, tejido adiposo subcutáneo e intermuscular. Se determinan pruebas de a) tamaño de los adipocitos a través de digestiones húmedas con colagenasa y digitalización de imágenes en software; b) el número de adipocitos se calcula con los valores medios del volumen de los adipocitos, la cantidad de lípidos de la grasa y la densidad lipídica (relación de la cantidad de tejido adiposo y el de lípidos en el tejido adiposo); c) estudio de la actividad enzimática lipogénica a través de los enzimas glicerol 3 fosfato deshidrogenasa (G3PDH), sintetasa de ácidos grasos (FAS), glucosa 6 fosfato deshidrogenasa (G6PHD) y NADP-Isocitrato deshidrogenasa (ICDH), las cuales indican la síntesis *novo* y el poder reductor de los ácidos grasos en el interior del adipocito; y d) el análisis de la composición de los ácidos grasos (de la grasa), considerando en importancia la cantidad de ácidos grasos poliinsaturados de tipo ω -3 (Kouba y Mouro, 2011).

CONCLUSIÓN

Definir la carne ideal es subjetivo, sin embargo, las tendencias de consumo reducido en grasas es un factor de calidad que la sociedad pide a nivel nacional e internacional. Nuevas formas de lograr este objetivo es implementar modelos experimentales donde se incluyan modelos matemáticos (simulación) que puedan predecir la respuesta de los parámetros productivos y calidad de la grasa. Modelos físicos o mecánicos, que indiquen las características fisicoquímicas de la carne, grasa, y modelos biológicos donde se incluyan pruebas *in vitro* (degradación, cultivos celulares (aislamiento de adipocitos) e *in situ*, de tal forma que en

conjunto puedan generar información que en el futuro indicará la mejor calidad de la carne y grasa destinada al consumo humano.

LITERATURA CITADA

- Alzón M., Mendizabal J.A., Arana A., Alberti,P., Purroy,A. 2007. Adipocyte cellularity in different adipose depots in bulls of seven Spanish breeds slaughtered at two body weights. *Animal* 1: 261-7.
- Aricetti J.A., Rotta P.P., Martin R., Perotto D. 2008. Carcass Characteristics , Chemical Composition and Fatty Acid Profile of Longissimus Muscle of Bulls and Steers Finished in a Pasture System Bulls and Steers Finished in Pasture Systems. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 21: 258-268.
- Daley C.A., Abbott A., Doyle P.S., Nader G.A., Larson S. 2010. A review of fatty acid profiles and antioxidant content in grass-fed and grain-fed beef. *Nutrition Journal* 9: 1-12.
- Daly C.M., Moloney A.P. Monahan F.J. 2007. Lipid and colour stability of beef from grazing heifers supplemented with sunflower oil alone or with fish oil. *Meat Science* 77: 634-642.
- Du M., Domson V.M. 2011. Advanced techniques to enhance marbling in meat. *Control Meat Quality* 105-115.
- Enser M., Hallett K., Hewitt B., Fursey G.A.J., Wood J.D. 1996. Fatty acid content and composition of English beef, lamb and pork at retail. *Meat Sci.* 42, 443-456.
- FAO. 2015. World Agriculture: Towards 2015/2030. An FAO perspective. Livestock Production. <http://www.fao.org/docrep/005/y4252e/y4252e07.htm#TopOfPage>
- Gao S.Z., Zhao S.M. 2009. Physiology, affecting factors and strategies for control of pig meat intramuscular fat. *Recent Patents on Food Nutrition and Agriculture* 1: 59-74.
- González-Gallardo A., Varela-echavarría A., Shimada-Miyasaka A. 2008. Diferenciación *in vitro* de preadipocitos de tejido adiposo bovino *In vitro* differentiation of preadipocytes from bovine adipose tissue. *Técnica Pecuaria en México* 46: 195-204.
- Gotoh T., Albrecht E., Teuscher F., Kawabata K., Sakashita K., Iwamoto H., Wegner J. 2009. Differences in muscle and fat accretion in Japanese Black and European cattle. *Meat Science* 82: 300-308.
- Hathwar S.C., Rai A.K. 2012. Characteristics and consumer acceptance of healthier meat and meat product formulations-a review. *Journal Food Science and Technology* 49: 653-664.
- He M.L., McAllister T.A., Kastelic J.P., Mir P.S., Aalhus J.L., Dugan M.E.R., Aldai N., McKinnon J.J. 2012. Feeding flaxseed in grass hay and barley silage diets to beef cows increases alpha-linolenic acid and its biohydrogenation intermediates in subcutaneous fat. *Journal of Animal Science* 90: 592-604
- Jenkins T.C., Wallace R.J., Moate P.J., Mosley E.E. 2008. Recent advances in biohydrogenation of unsaturated fatty acids within the rumen microbial ecosystem. *Journal of Animal Science* 86: 397-412.
- Kang M.A., So E., Simons A.L., Ouchi T. 2012. DNA damage induces reactive oxygen species generation through the H2AX-Nox1 / Rac1 pathway. *Cell Death and Disease* 3: 1-8.
- Kothari S., Thompson A., Agarwal A., Plessis S.S.D. 2010. Free-radicals: Their beneficial and detrimental effects on sperm function. *Indian Journal Experimental and Biology* 78: 1700-8.
- Kouba M., Mouro J. 2011. A review of nutritional effects on fat composition of animal products with special emphasis on n-3 polyunsaturated fatty acids. *Biochimie*.

- Kramer J.K.G., Cruz-Hernández C., Deng Z., Zhou J., Jahreis G., Dugan M.E.R. 2004. Analysis of conjugated linoleic acid and trans 18:1 isomers in synthetic and animal products. *American Journal of Clinical Nutrition* 79(suppl.): 1137S.
- LaBrune H.J., C.D. Reinhardt M.E. Dikeman, J.S. Drouillard. 2008. Effects of grain processing and dietary lipid source on performance, carcass characteristics, plasma fatty acids, and sensory properties of steaks from finishing cattle. *Journal of Animal Science* 86:167-172.
- Lee H.J., Lee S.C., Kim D.W., Park J.G., In K.H. 2000. Cellularity of adipose tissue obtained from different sex and growth stages of hanwoo cattle and sheep. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 13: 155-160.
- Lobo V., Patil A., Phatak A., Chandra N. 2010. Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy Review* 4: 118-126.
- Luciano G., Pauselli M., Servili M., Mourvaki E., Serra A., Monahan F.J., Lanza M., Priolo A., Zinnai A., Mele M. 2013. Dietary olive cake reduces the oxidation of lipids, including cholesterol, in lamb meat enriched in polyunsaturated fatty acids. *Meat Science* 93: 703-714.
- Mannen H. 2011. Identification and utilization of genes associated with beef qualities. *Animal Science Journal* 82: 1-7.
- McAfee A.J., McSorley E.M., Cuskelly G.J., Moss B.W., Wallace J.M.N., Bonham M.P., Fearon A.M. 2010. Red meat consumption: an overview of the risks and benefits. *Meat Science*, 84: 1-13.
- Mir P. S., McAllister T.A., Scott S., Aalhus J., Baron V., McCartney D., Charmley E., Goonewardene L., Basarab J., Okine E., Weselake R. J. Mir Z. 2004. Conjugated linoleic acid enriched beef production. *American Journal and Clinical Nutrition* 79: 1207-1211
- Montgomery S.P., Drouillard J.S., Nagaraja T.G., Titgemeyer E. C., Sindt J.J. 2008. Effects of supplemental fat source on nutrient digestion and ruminal fermentation in steers. *Journal of Animal Science* 86: 640-650.
- Moreira, F.B., Souza, N.E. De, Matsushita, M., Nunes, I., 2003. Evaluation of Carcass Characteristics and Meat Chemical Composition of *Bos indicus* and *Bos indicus* × *Bos taurus* Crossbred Steers Finished in Pasture Systems. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 46: 609-616.
- Nassu, R. T., Dugan, M. E. R., He, M. L., McAllister, T. A., Aalhus, J. L., Aldai, N. and Kramer, J. K. G. 2011. The effects of feeding flaxseed to beef cows given forage based diets on fatty acids of longissimus thoracis muscle and backfat. *Meat Science* 89: 469-477.
- OECD-FAO, 2017. OECD-FAO Agricultural Outlook 2016-2025 [WWW Document]. OECD Publ. y FAO. URL http://stats.oecd.org/Index.aspx?datasetcode=HIGH_AGLINK_2016# (accessed 8.30.17).
- Padre, G., Aparecida, J., Terezinha, S., Gomes, M., Henrique, R., Buschinelli, D.T., Goes, D., 2007. Analysis of fatty acids in *Longissimus* muscle of steers of different genetic breeds finished in pasture systems. *Livestock Science* 110: 57-63.
- Prado, I.N., Ito, R.H., Prado, J.M., Prado, I.M., Rotta, P.P., Matsushita, M., Visentainer, J.V., Silva, R.R., 2008a. The influence of dietary soyabean and linseed on the chemical composition and fatty acid profile of the *Longissimus* muscle of feedlot-finished bulls. *Journal of Animal and Feed Science* 17: 307-317.
- Prado, I.N., Prado, R.M., Rotta, P.P., Visentainer, J.V., Moletta, J.L., Perotto, D., 2008b. Carcass characteristics and chemical composition of the *Longissimus* muscle of crossbred bulls (*Bos taurus indicus* vs *Bos taurus taurus*) finished in feedlot. *Journal of Animal and Feed Science* 17: 295-306.
- Prado, R.M., Prado, I.N., Marques, J.A., Rotta, P.P., 2009. Meat quality of the *Longissimus* muscle of bulls and steers (½ Nellore vs ½ Simmental) finished in feedlot. *Journal of Animal and Feed Science* 18: 221-230.
- Perotto, D., Moletta, J.L., Oliveira, J.E.P. de, Lesskiu, C., 2000. Consumo e Conversão Alimentar de Machos Bovinos Inteiros Charolês, Caracu e Cruzamentos Recíprocos em Confinamento. *Revista Brasileira Zootecnia* 29: 108-116.
- Rotta, P.P., Martin, R., Nunes, I., Valero, M.V., 2009a. The Effects of Genetic Groups, Nutrition, Finishing Systems and Gender of Brazilian Cattle on Carcass Characteristics and Beef Composition and Appearance: A Review. *Asian Australasian Journal of Animal Science* 22: 1718-1734.
- Rotta, P.P., Nunes, I., Martin, R., 2009b. Carcass Characteristics and Chemical Composition of the *Longissimus* Muscle of Nellore, Caracu and Holstein-friesian Bulls Finished in a Feedlot. *Asian Australasian Journal of Animal Science* 22: 598-604.
- Sánchez, I.C., Albarracín, W., 2010. Análisis sensorial en carne. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 23: 227-239.
- Smith S.B., Gill C.A., Lunt D.K., and Brooks M.A. 2009. Regulation of fat and fatty acid composition in beef cattle. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 22: 1225.
- Stender S., Astrup A., and Dyerberg J. 2008. Ruminant and industrially produced trans fatty acids: health aspects. *Food and Nutrition Research* 52: 1651.
- Webb, E.C., 2006. Manipulating beef quality through feeding. *Forum American Association* 7: 5-15.
- Wood, J.D., Richardson, R.I., Nute, G.R., Fisher, A. V, Campo, M.M., Kasapidou, E., Sheard, P.R., Enser, M., 2003. Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Sci.* 66: 21-32.

