

Capítulo XXV

Uso de marcadores moleculares en la selección de ganado bovino de carne, leche y Doble Propósito

**Inioska Rojas
Gonzalo Martínez**

Tradicionalmente, en los sistemas de producción animal, la mejora genética se ha venido haciendo a través de la medición de características fenotípicas, y con el uso de modelos estadísticos avanzados los cuales han permitido generar valores genéticos estimados de los animales, con el propósito de mejorar la productividad en el rebaño. Sin embargo, el aporte del mejoramiento genético para características que son costosas de medir, limitadas a un sexo, medidas *postmortem* o que tienen un bajo índice de herencia, ha sido limitado; por esta razón, se ha hecho necesario desarrollar nuevas herramientas que permitan el mejoramiento de estas características de una manera más directa.

Se han planteado estrategias de mejora que incluyen el uso de marcadores moleculares como otra herramienta de selección, ya que a través de estos se pueden identificar en una población, los animales portadores de alelos favorables para características de importancia económica como por ejemplo la producción y composición de la leche, marmoleo y terneza de la carne, resistencia a parásitos y detección de enfermedades, entre otros. La información generada puede ser utilizada en programas de mejoramiento genético lo que constituye otra aplicación de la biotecnología en la producción animal; su importancia radica, en poder seleccionar animales con los genotipos deseados para determinada característica, en menor tiempo, pudiendo reducir de esta manera el intervalo generacional. Es importante destacar, que con el uso de marcadores moleculares se pueden seleccionar animales para características que se expresan en un solo sexo como la producción de leche, sin esperar a que los machos tengan progenie (hijas), contribuyendo de esta manera a la reducción de costos operacionales, ya que se pueden seleccionar con antelación aquellos animales jóvenes que contribuirán en el aumento de la producción.

Por esta razón se han venido desarrollando continuas investigaciones sobre los diferentes marcadores que se han identificado en genes de interés económico, en las diferentes razas de bovinos a nivel mundial. El objetivo de este Capítulo es revisar la

bibliografía sobre el uso de marcadores moleculares en la selección del ganado bovino de carne, leche y doble propósito y su importancia en la ganadería, sin pretender hacer referencia a todas las características de importancia económica; ni a todos los marcadores encontrados para cada característica.

MARCADORES MOLECULARES ASOCIADOS CON LA PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LA LECHE

Se han identificado regiones genómicas que han evidenciado la presencia de genes que inciden en la producción y composición de leche (Casas, 2006), entre ellos se encuentran el gen de la k-caseína (k-CN), b-lactoglobulina (BLG) y la Acyl-CoA-diacilglycerol-O-transferasa 1 (DGAT1).

El gen de la k-CN, se encuentra en el cromosoma 6 y consta de 850 pb, Aranguren y Rojas, (2008) indican que se han encontrado cerca de 11 variantes (A, B, C, E, F1, F2, G1, G2 H, I, J); sin embargo, y a pesar de ello los más comunes resultan ser los alelos A y B, ya que han sido encontrados en la mayoría de las razas bovinas en proporciones intrínsecas variables y que permiten hacer selección por esta característica.

Por otro lado, el gen de la BLG consta de 897pb y se encuentra ubicado en el cromosoma 11 del bovino (Aranguren y Rojas, 2008); presenta hasta 11 variantes alélicas (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J y W), las cuales difieren entre sí por sustituciones de uno o más aminoácidos en la secuencia de la proteína, no obstante, las variantes comúnmente conocidas, son los alelos A y B. Estos dos alelos se diferencian por la sustitución del ácido aspártico en posición 64 por una glicina y una valina en la posición 118 para el alelo A y por una glicina y alanina presente en el alelo B en las mismas posiciones previamente señaladas (Aranguren & Rojas, 2008).

Distintas investigaciones realizadas en diferentes razas de ganado bovino han señalado el efecto de las variantes de estos genes en la composición y producción de leche. López y Vásquez (2004), señalan que las variantes alélicas pueden afectar la cantidad de proteínas de la leche en bovinos de la raza Pardo Suizo, Jersey, Guernsey y Shorthorn lechero; los genotipos AA de la BLG y BB de la k-CN están asociados con altos contenidos de proteína en la leche (Van Eenennaan & Medrano 1991, Bovenhuis *et al.*, 1992).

De manera similar, Ikonen *et al.* (1999) reportaron que en ganado Ayrshire, la leche de las vacas que presentan el alelo B de la k-CN tienen mayor porcentaje de proteínas, produce micelas de menor tamaño, las cuales retienen más sólidos al momento de la coagulación para la producción de quesos, mayor estabilidad al calor y a la congelación y menor tiempo de coagulación; contienen más grasa y menos agua y por lo tanto, son más firmes, por lo cual presentan un rendimiento quesero superior que puede oscilar entre 3,5 y 8%. Esto difiere de los resultados encontrados por Rojas *et al.* (2009) quienes observaron un efecto de los genotipos de k-CN en Criollo Limonero, siendo el genotipo AA el que presentó asociación con mayor porcentaje de proteínas (Cuadro 1).

Además de la asociación de la k-CN con producción y porcentaje de proteína, otros estudios han demostrado su efecto sobre la cantidad de grasa en la leche, habiéndose reportado que el porcentaje de grasa fue influenciado por los genotipos de k-CN teniendo el genotipo BB un efecto positivo, ya que se evidenció un mayor porcentaje

de grasa en la leche (0,27%) en comparación con el genotipo AA (Pečiulaitiene *et al.*, 2007). No obstante, Rojas *et al.* (2009), evaluaron la influencia de los genotipos de k-CN sobre las concentraciones de grasa y observaron un efecto favorable del contenido de grasa en animales con el genotipo AA; de igual manera, se ha reportado el efecto de k-CN sobre el contenido de grasa, aunque a diferencia de lo anterior encontraron mayor contenido de grasa 3,76% en leche con el genotipo BB, mientras que el genotipo AA presentó 3,67% (Ng-Kwai-Hang *et al.*, 1986).

Cuadro 1
Efecto de la KCN sobre las características de importancia económica de la leche en vacas Criollo Limonero

Variables	Genotipos de k-CN		
	AA (n=5)	AB (n=31)	BB (n=14)
Acidez	16.65 ± 0.33	17.00 ± 0.15	17.21 ± 0.18
Crioscopía	0.54 ± 0.00	0.54 ± 0.00	0.54 ± 0.00
Peso específico	1.03 ± 0.00	1.03 ± 0.00	1.03 ± 0.00
Proteínas (%)	4.24 ± 0.11	4.12 ± 0.05	4.20 ± 0.06
Grasa (%)	5.03 ± 0.11 ^a	4.47 ± 0.07 ^b	4.52 ± 0.09 ^b
Caseína (%)	2.96 ± 0.08 ^a	2.71 ± 0.03 ^b	2.78 ± 0.04 ^b
Prot. Sérica (%)	1.29 ± 0.09	1.40 ± 0.04	1.42 ± 0.05
Sólidos Totales (%)	13.37 ± 0.68	13.56 ± 0.36	13.51 ± 0.44
Cenizas (%)	0.74 ± 0.04	0.73 ± 0.02	0.74 ± 0.03
Lactosa (%)	3.95 ± 0.17	3.99 ± 0.08	3.96 ± 0.10
Producción de leche (kg/lactancia)	2183.84 ± 98.09 ^b	2231.33 ± 45.52 ^a	2078.68 ± 49.90 ^b

Letras diferentes en la misma fila indican diferencia significativa (P<0.05) para las variables caseína, grasa y producción de leche. Fuente: Rojas *et al.*, 2009.

Las variantes genéticas de la BLG también han sido asociadas con el porcentaje de grasa, y han presentado efecto significativo en la producción de leche y proteína en vacas lecheras de la raza Pardo Suizo, Jersey, Guernsey y Shorthorn (Van eenennaam y Medrano, 1991, Bovenhuis *et al.*, 1992, Bonvillani *et al.*, 2000, Pečiulaitiene *et al.*, 2007). De los distintos alelos, el genotipo AA se ha asociado con una mayor cantidad de proteína total, por lo que, la leche de los animales portadores de estos alelos tienen una mayor capacidad quesera, debido a que producen más caseínas y menos B-lactoglobulina (Aranguren & Rojas, 2008). Ikonen *et al.* (1999) trabajando con vacas Ayrshire y Rojas *et al.* (2010) en un estudio realizado con Criollo Limonero encontraron mayor porcentaje de proteína y porcentaje de grasa en vacas con los genotipos BB, AA y AB de la BLG respectivamente (Cuadro 2).

Los efectos encontrados sobre la composición láctea son de gran importancia para la industria quesera, ya que son las caseínas las que constituyen parte importante del coágulo que forma el queso; por esta causa, la proporción de caseínas y BLG constituye un parámetro primordial para determinar la capacidad quesera de la leche (Freyer *et al.*, 1999; Aranguren & Rojas, 2008).

En cuanto a la producción de leche también se han encontrado efectos positivos de los polimorfismos genéticos de la k-CN. Ripoli *et al.* (2003) en vacas Criollo Saavedreño de primera lactancia, encontraron diferencias significativas entre los alelos de k-CN, favoreciendo a los individuos del genotipo AA asociado con mayor producción de leche, produciendo 20% más, en comparación con los genotipos AB y BB. Por otra parte, Rojas *et al.* (2009; 2010), reportaron el efecto de los genotipos de k-CN y BLG en vacas Criollo Limonero, donde los genotipos que favorecieron la producción de leche fueron el AB y AA, con una producción total de leche de 2683,67 y 2231,33 kg/lactancia respectivamente (Cuadro 1 y 2).

Cuadro 2
Efecto de la BLG sobre las características de importancia económica de la leche en vacas Criollo Limonero

Variables	Genotipos de BLG		
	AA (n= 3)	AB (n=15)	BB (n=32)
Acidez	17.52 ± 0.31	16.92 ± 0.18	16.42 ± 0.14
Crioscopía	0.54 ± 0.00	0.54 ± 0.00	0.54 ± 0.00
Peso específico	1.03 ± 0.00	1.03 ± 0.00	1.03 ± 0.00
Proteínas (%)	4.30 ± 0.12 ^a	4.24 ± 0.06 ^a	4.02 ± 0.04 ^b
Grasa (%)	4.90 ± 0.18 ^a	4.71 ± 0.09 ^a	4.41 ± 0.07 ^b
Caseína (%)	2.89 ± 0.09 ^a	2.84 ± 0.04 ^a	2.72 ± 0.03 ^b
Prot. Sérica (%)	1.41 ± 0.10	1.39 ± 0.05	1.30 ± 0.04
Sólidos Totales (%)	13.78 ± 0.19 ^a	13.66 ± 0.01 ^a	13.27 ± 0.07 ^b
Cenizas (%)	0.73 ± 0.06	0.74 ± 0.02	0.74 ± 0.02
Lactosa (%)	3.85 ± 0.19	3.97 ± 0.09	4.03 ± 0.07
Producción de leche (kg/lactancia)	2683.67 ± 107.9 ^a	1852.23 ± 53.96 ^b	1958.01 ± 49.90 ^b

Letras diferentes en la misma fila indican diferencia significativa ($P < 0.05$) para las variables proteína, caseína, grasa, sólidos totales y producción de leche. Fuente: Rojas *et al.*, 2009.

Uno de los principales componentes de la leche es la grasa que constituye una fuente primordial de energía para los mamíferos; la grasa de la leche está compuesta principalmente de triglicéridos los cuales representan más del 95% de la grasa total. Una de las enzimas que participa en el metabolismo de los triglicéridos es la diacylglycerol-O-transferasa microsomal la cual cataliza el paso final para la síntesis de triglicéridos (Komisarek *et al.*, 2004). El gen que codifica para esta enzima diacylglycerol-O-transferasa 1 (DGAT1) se encuentra localizado en el cromosoma 14 del bovino; en este gen se ha detectado una sustitución de dos nucleótidos AA por GC, provocando un cambio de aminoácidos de una lisina (alelo K, ancestral) por una alanina (alelo A) (Lacorte *et al.*, 2006) en la posición 232 (K232A) en el exon 8; dicha sustitución del residuo de lisina hidrofílico y con carga positiva, por uno de alanina el cual es hidrofóbico y neutral, conlleva a una alteración en la función de la enzima, produciendo diferentes efectos sobre la composición y producción de la leche (Tupac-Yupanqui *et al.*, 2004).

En el ganado bovino, el DGAT1 es considerado un gen candidato para porcentaje de grasa en la leche y en ganado Holstein Friesian el genotipo KK del gen DGAT1 ha sido asociado con alto contenido de grasa y proteína en la leche, mientras que el genotipo AA ha presentado asociación con mayor producción de leche siendo esta 1,2 kg mayor con respecto al heterocigoto (Strzalkowska *et al.*, 2005). Esto coincide con los resultados encontrados en ganado Fleckvieh y Holstein Friesian alemán donde el alelo que codifica para el aminoácido lisina se encontró asociado con mayor porcentaje de grasa 0,35 y 0,28% respectivamente; de igual forma, se encontró un efecto significativo de esta variante sobre el porcentaje de proteína, en comparación con la variante que codifica para alanina, presentando valores de 0,10% para Fleckvieh y de 0,06% para Holstein Friesian alemán. No obstante, este alelo evidenció una asociación con menor producción de leche resultando valores de -242 a -180 kg y -320 a -260 kg para ambas razas respectivamente (Thaller *et al.*, 2003).

MARCADORES MOLECULARES ASOCIADOS CON LA CALIDAD DE LA CARNE

El músculo esquelético de los animales se ha utilizado en la dieta humana desde hace miles de años y fue uno de los primeros rasgos en motivar a la domesticación de animales (Hocquette *et al.*, 2007). Para satisfacer la demanda de carne, el enfoque ha ido hacia el aumento de la producción. El objetivo que se plantea en los países en vías de desarrollo después de alcanzada la meta productiva es centrarse en la calidad de la carne. En países tropicales este rubro es aportado principalmente por razas *Bos indicus* y por los cruces *Bos indicus* x *Bos taurus*, típicos de la ganadería doble propósito (DP). Se ha comprobado que la carne del Cebú puro tiende a ser menos tierna que la carne de razas *Bos taurus*. Por esta razón, gracias al componente *Bos taurus*, los animales utilizados en sistemas de producción DP tienen mayor potencial genético para producir carne de calidad, en comparación con los animales tradicionales (Cebú) de carne en el trópico (Jeréz, 2005; Curi *et al.*, 2010). En ganaderías especializadas se han venido desarrollando investigaciones sobre detección de QTLs, para características de calidad de la carne, encontrándose por ejemplo hasta cinco genes candidatos que podrían ser objeto de estudios en Venezuela (Aranguren *et al.*, 2008).

En producción de bovinos, la ternera de la carne es un atributo muy importante porque es muy valorado por los consumidores. En la actualidad, la ternera no puede cuantificarse antes del sacrificio del animal debido a que requiere técnicas destructivas para hacerlo. Además de los múltiples factores ambientales que la afectan (sexo, edad, alimentación y manejo, entre otros), también depende de la magnitud de la proteólisis de las proteínas miofibrilares, proceso que se produce durante los primeros 3 ó 4 días *postmortem* (Motter *et al.*, 2009). Por esta razón, entre los factores que han sido identificados como responsables del proceso de ablandamiento *postmortem* de la carne, se encuentra el sistema proteolítico Calpaína-Calpastatina.

La calpaína (CAPN1) es codificada por el gen CAPN1 (Koohmaraie, 1996) ubicado en el cromosoma 29 del bovino (Smith *et al.*, 2000); se trata de una proteasa citoplasmática responsable del efecto iniciador de la degradación de las proteínas miofibrilares y sus variantes más activas le confieren mayor ternera a la carne. Su actividad depende de factores como la acidez, la temperatura y la presencia de calcio, de allí la

importancia del cuidado de estas variables, evitando el estrés previo al sacrificio (Lara *et al.*, 2005); tres marcadores asociados con la terneza de la carne han sido encontrados para este gen CAPN1 316, CAPN1 530 y CAPN1 4751, Los alelos que se han reportado son el C y G en el exón 9, los cuales responden a un cambio de un aminoácido alanina por una glicina en la posición 316; en cuanto a CAPN1 530, el cambio está dado en el exón 14 sustituyendo una isoleucina por una valina dando origen a los alelos A y G; mientras que, en la posición 4751, los alelos reportados son el C y el T, mientras que se ha señalado que el alelo C de CAPN1 316 es comúnmente encontrado en las razas *Bos taurus* (Page *et al.*, 2004; Casas *et al.*, 2005, 2006).

Investigaciones desarrolladas por Curi *et al.* (2010) señalaron que la variante alélica favorable para el marcador CAPN1316 (C) no segregó significativamente en poblaciones de la raza Brahman y Nelore, sin embargo, encontraron resultados positivos en el análisis de asociación en cruces Nelore x *Bos indicus*, lo cual corrobora lo anteriormente señalado, las razas puras *Bos indicus* presentan carnes menos tiernas debido a la ausencia de los alelos favorables para esta característica. A pesar de esto, Parra-Bracamonte *et al.* (2007) señalan que el uso de los marcadores CAPN1316 y CAPN14751 puede ser de gran utilidad para detectar la variación funcional que afecta la terneza de la carne en poblaciones de ganado Brahman, ya que, su estudio mostró que el alelo favorable (C) tanto para el marcador CAPN1316 como para el CAPN14751 segregó en una frecuencia importante y esto puede ser considerado informativo y útil en la selección de animales de esta raza. Por su parte Bonilla *et al.* (2010) también reportaron una asociación entre el genotipos de CAPN1 316, indicando que el genotipo CG presentó menor resistencia al corte, 600g menos que el genotipo GG, confirmando una vez más que el alelo responsable de la mayor terneza en la carne es el C.

La calpastatina (CAST) es una enzima que forma parte del sistema de proteínas activadas por Ca^{2+} y es responsable conjuntamente con la calpaína de la terneza de la carne *postmortem*; inhibe las calpaínas, enzimas responsables de la proteólisis *postmortem* de las proteínas del músculo. Por ello, se ha considerado al gen que la codifica (gen CAST) un candidato para la terneza de la carne, en el cual se identifican diferentes polimorfismos, para alguno de los cuales incluso están disponibles pruebas comerciales; el gen se encuentra ubicado en el cromosoma 7 y las variantes menos activas le confieren mayor terneza a la carne (Pérez, 2007; Motter *et al.*, 2009).

Se han identificado dos polimorfismos en este gen de CAST, asociados con la terneza de la carne; uno corresponde a una sustitución de una guanina por una citosina para la cual se han reportado los alelos G y C. En un estudio realizado en animales de raza *Bos taurus* se encontraron que animales con el genotipo CC produjeron carne más tierna (- 0.32 kg de fuerza de corte) en comparación con los que presentaron el genotipo GG, mientras que, el genotipo CG presentó terneza intermedia (Schenkel *et al.*, 2006).

Por otra parte, Barendse (2002) identificó la sustitución de una guanina por una adenina en la posición 2959, originando los alelos G y A, concluyendo que el alelo A estaba asociado con carne más tierna, en concordancia con lo encontrado más tarde en ganado *Bos taurus* y *Bos indicus* y cruces *Bos taurus* x *Bos indicus* (Casas *et al.*, 2006); los valores de resistencia al corte para el homocigoto AA fueron menores (-0,31 y -0,47) con respecto a aquellos animales que presentaron el alelo desfavorable (G).

En Venezuela se han realizado investigaciones en ganado Brahman y Criollo Limonero encontrando frecuencias altas (0,83) y moderadas (0,57) del alelo favorable (G) para el marcador CAPN530 en cada raza respectivamente, señalando que el Brahman posee un potencial para producir carne más tierna al presentar un porcentaje mayor de genotipos GG (0,68). Sin embargo, la suavidad de la carne dependerá de la combinación genotípica de los alelos de calpaína y calpastatina debido a que la raza Brahman presenta frecuencias moderadamente altas del alelo A (0,46) el cual es desfavorable de calpastatina para la terneza de la carne (Aranguren *et al.*, 2010).

Por otra parte, otro gen que está siendo objeto de estudio es el que codifica para la leptina debido a su relación con las características de la canal; este gen se ha señalado como predictor del peso corporal, asociándose los polimorfismos encontrados con el porcentaje de grasa corporal (Cerón-Muñoz *et al.*, 2009). La leptina es una hormona sintetizada y secretada por el tejido adiposo cuya función es la regulación del balance energético, el control del apetito y el peso corporal, el metabolismo de las grasas y glúcidos y la reproducción, entre otros (Simón & del Barrio, 2002). El gen de la leptina se encuentra ubicado en el cromosoma 4 del bovino (Curi *et al.*, 2011), mientras que las variantes están dadas por el cambio (en la posición 528 de la región promotora de la leptina) de una citosina por una timina, provocando la sustitución de un aminoácido arginina por una cisteína dando origen a los alelos C y T (Antón *et al.*, 2011). Se han reportado asociaciones del genotipo TT con el porcentaje de grasa intramuscular, señalando Nkrumah *et al.* (2005) que este genotipo supera en 13 y 9% el porcentaje de grasa intramuscular a los genotipos CC y CT respectivamente, coincidiendo con lo señalado por Anton *et al.* (2011) en ganado Angus.

De igual manera, Cerón-Muñoz *et al.* (2009) reportaron asociación del genotipo TT de leptina con un mayor espesor de grasa de cadera y mayor peso al año de edad; estos resultados confirman los polimorfismos del gen de leptina en animales Cebú cruzados con Angus, Romosinuano y Blanco Orejinegro.

El contenido de grasa intramuscular o marmoleo es otro rasgo valioso en cuanto a calidad de la canal se refiere, ya que le confiere mejor sabor y jugosidad a la carne, si bien, como se observó anteriormente se han encontrado asociaciones del gen de la leptina con esta característica; es sabido que esta es una característica cuantitativa afectada por un gran número de genes y un gen candidato para este rasgo, es el gen de la tiroglobulina (TG) ubicado en el cromosoma 14 del bovino, precursor de las hormonas tiroideas las cuales desempeñan un papel importante en el metabolismo de las grasas afectando el contenido de grasa intramuscular (Barendse, 1999).

Se ha reportado una asociación de los polimorfismos de la tiroglobulina con el porcentaje de grasa intramuscular en bovino, Burrell *et al.* (2004) y Gan *et al.* (2008) indicaron que el genotipo TT de tiroglobulina es el que presenta una asociación con los mayores niveles de marmoleo, mientras que Bonilla *et al.* (2010) observaron un efecto del genotipo CT sobre el porcentaje de grasa intramuscular, siendo superior en 3,31% en comparación con el genotipo CC. Estos resultados nos llevan a pensar que el alelo favorable para esta característica es el alelo T, no obstante, se han encontrado resultados contradictorios en otros estudios en Brahman (Casas *et al.*, 2005), concluyendo que no se encontró asociación de los genotipos de tiroglobulina con el porcentaje de grasa intramuscular.

Además de los genes anteriormente señalados otro gen de interés es el de la miostatina (MSTN), la cual es un regulador extracelular negativo que se expresa durante el desarrollo del músculo ocasionando la condición de doble musculatura (Kambadur *et al.*, 1997), mayormente en razas europeas como la Belgam blue, Charolais y Piamontesa (Aranguren *et al.*, 2008).

Al menos 6 mutaciones (alelos mh mutados) presentes en los exones I, II y III del gen son responsables de esta condición. Cabe destacar que se ha encontrado una relación entre la doble musculatura y manifestaciones fenotípicas no deseables como disminución de la fertilidad en la hembra, susceptibilidad a enfermedades respiratorias y alta incidencia de distocias (Dunner *et al.*, 2003; Bellinge *et al.*, 2005). No obstante, la carne es más magra en comparación con animales que no presentan esta condición; por esta razón, este gen ha sido estudiado para variables como: rendimiento en cortes, área del *Longissimus dorsi*, espesor de grasa y marmoleo (Aranguren *et al.*, 2008); la selección a favor o en contra de la misma dependerá de los objetivos y manejo de la unidad de producción.

La sustitución F94L del gen de la miostatina está dada por el cambio de una citosina por adenina causando una sustitución de aminoácidos, una leucina por una fenilalanina en el exon I, originando los alelos A y C (Dunner *et al.*, 2003). En un estudio realizado en esta mutación encontraron un efecto significativo de la sustitución F94L (alelo A) relacionándola con mayor peso de la carne 7,3 y 5,9%, menor espesor de grasa -13,9 y -18,7%, menor porcentaje de grasa intramuscular -8,2 y -7,1% y menor peso total de grasa en la canal -16,5 y 8,1% en becerros cruzados Jersey x Limousine de Australia y Nueva Zelanda, respectivamente (Esmailzadeh *et al.*, 2008).

Los resultados de asociación de los marcadores moleculares y características de importancia económica en la producción, obtenidos en las poblaciones de *Bos taurus* no pueden ser aplicados directamente a las poblaciones *Bos indicus* o cruces *Bos indicus* x *Bos taurus* ya que los efectos de sustitución alélica son específicos para cada población y en el ambiente que ocupan; por esta razón, es necesario realizar estudios de marcadores moleculares, que se han relacionado de manera benéfica con características relevantes en la producción, como el rendimiento lechero, composición de la leche y características de calidad de la carne y la canal como terneza, grasa corporal y porcentaje de grasa intramuscular entre otras, en el ganado *Bos indicus* y doble propósito predominante en Venezuela y en América latina tropical (Casas *et al.*, 2005; Curi *et al.*, 2009).

CONCLUSIONES

A través de los métodos moleculares se hace factible la identificación de genotipos presentes en los animales, los cuales pueden ser asociados con el desempeño productivo del animal. En Venezuela es necesario el estudio de los genes candidatos de las características de importancia como % grasa y % proteínas de la leche, marmoleo, sabor, jugosidad y terneza de la carne, con el fin de determinar la presencia y frecuencia de los alelos de estos marcadores, y la asociación de los mismos con los caracteres de interés mencionados anteriormente, en las poblaciones locales de ganado *Bos indicus* y doble propósito. La metodología adecuada para calcular el mérito genético es combinando la información fenotípica medida en el animal con la información de los marcadores genéticos, particularmente para características de gran valor económico pero difíciles de medir.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anton I, Kovács K, Holló G, Farkas V, Lehel L, Hajda Z, Zsolnai A. 2011. Effect of leptin, DGAT1 and TG gene polymorphisms on the intramuscular fat of Angus cattle in Hungary. *Livestock Science* 135: 300-303.
- Aranguren-Méndez J, Rojas I. 2008. Aplicación de la genética molecular en la selección de caracteres de interés para la producción de leche. En, Desarrollo sostenible de la ganadería doble propósito. C González-Stagnaro, N Madrid Bury, E Soto Belloso (eds). Ediciones Astro Data S.A. Maracaibo (Venezuela). Cap. XVIII: 65-74.
- Aranguren-Méndez JA, Ruíz J, Portillo M, Rojas I, Flores C, Méndez K. 2010. Polimorfismo genético de los genes de calpaína y calpastatina en un rebaño Brahman en Venezuela. Mem XV Cong Venez Prod Ind Anim. Barquisimeto, Venezuela. Septiembre.
- Aranguren-Méndez JA, Villasmil Y, Yáñez L, Román R. 2008. Perspectiva de la genética molecular en el mejoramiento genético bovino. Memorias XIV. Congreso Venezolano de Producción e Industria Animal. Maracaibo, Venezuela. Septiembre
- Barendse WJ. 2002. DNA markers for meat tenderness. International patent application PCT/AU02/00122, international patent publication WO 02/064820, available at <http://ep.espacenet.com>
- Barendse WJ. 1999. Assessing lipid metabolism. International patent application PCT/AU98/00882. International patent application WO 99/23248
- Bellinge RHS, Liberles DA, Laschi SPA, O'Brien A, Tay GK. 2005. Myostatin and its implications on animal breeding: a review. *Animal Genet.* 36: 1-6.
- Bonilla CA, Rubio MS, Sifuentes AM, Parra-Bracamonte GM, Arellano VW, Méndez MRD, Berruecos JM, Ortiz R. 2010. Association of CAPN1 316, CAPN1 4751 and TG5 markers with bovine meat quality traits in México. *Genetics and Molecular Research* 9 (4): 2395-2405.
- Bonvillani A, Di renzo M, Tiranti I. 2000. Genetic polymorphism of milk protein loci in Argentinian Holstein cattle. *Genet Mol Biol* 23(4): 819-823.
- Bovenhuis H, Van Arendonk J, Korver S. 1992. Associations between milk protein polymorphisms and milk production traits. *J Dairy Sci* 75:2549.
- Burrell DN, Moser GHD, Hetzel J, Mizoguchi YSS, Hirano TKS, Sugimoto YSKZ, Mengersen KR. 2004. Meta analysis confirms associations of the TG5 thyroglobulin polymorphism with marbling in beef cattle. 29th Int Conf Anim Gen ISAG Tokyo: 135.
- Casas E, White SN, Riley DG, Smith TP, Brenneman RA, Olson TA, Johnson DD, Coleman SW, Bennett GL, Chase CC Jr. 2005. Assessment of single nucleotide polymorphisms in genes residing on chromosomes 14 and 29 for association with carcass composition traits in *Bos indicus* cattle. *J Anim Sci* 83: 13-19.
- Casas E, White SN, Wheeler TL, Shackelford SD, Koohmaraie M, Riley DG, Chase CC Jr, Johnson DD, Smith TP. 2006. Effects of calpastatin and micro-calpain markers in beef cattle on tenderness traits. *J Anim Sci* 84: 520-525.
- Casas E. 2006. Aplicación de la genómica para identificar genes que influyen sobre características económicamente importantes en animales. *Arch Latinoam Prod Anim* 14(1): 24-31.
- Cerón-Muñoz MF, Montoya-Atehortua AE, Trujillo-Bravo ER, Ramírez-Toro EJ, Monsalve-Fonnegra ZI. 2009. *Marcadores del gen leptina en bovinos cruzados con Angus, Cebú, Romosinuano y Blanco Orejinegro*. *Revista Científica, FCV-LUZ* XIX (4): 371-381.

- Curi RA, Chardulo LAL, Giusti J, Silveira AC., Martins CL, De Oliveira HN. 2010. Assessment of GH1, CAPN1 and CAST polymorphisms as markers of carcass and meat traits in *Bos indicus* and *Bos taurus*-*Bos indicus* cross beef cattle. *Meat Science* 86:915-920.
- Curi RA, Chardulo LAL, Masonn MC, Arrigoni MDB, Silveira AC, Oliveira HN. 2009. Effect of single nucleotide polymorphisms of CAPN1 and CAST genes on meat traits in Nellore beef cattle (*Bos indicus*) and in their crosses with *Bos taurus*. *Animal Genetics* 40 (4): 456-462.
- Dunner S, Miranda ME, Amigues Y, Canon J, Georges M, Hanset R, Williams J, Menisier F. 2003. Haplotype diversity of the myostatin gene among beef cattle breeds. *Gen Sel Evol* 35:103-118.
- Esmailzadeh AK, Bottema CDK, Sellick GS, Verbyla AP, Morris CA, Cullen NG, Pitchford WS. 2008. *Effects of the myostatin F94L substitution on beef traits* *J Anim Sci* 86:1038-1046.
- Freyer G, Liu Z, Erhardt G, Panicke L. 1999. Casein polymorphism and relation between milk production traits. *J A Breed Gen* 116:87-97.
- Gan QF, Zhang LP, Li JY, Hou GY, Li HD, Gao X., Ren HY, Chen JB, Xu SZ. 2008. Association analysis of thyroglobulin gene variants with carcass and meat quality traits in beef cattle. *J Appl Gen* 49 (3): 251-255.
- Hocquette JF, Lehnert S, Barendse W, Cassar-Malek I, Picard B. 2007. Recent advances in cattle functional genomics and their application to beef quality. *Animal* 1:159-173.
- Ikonen T, Ojala M, Ruottinen O. 1999. Associations between milk protein polymorphism and first lactation milk production traits in Finnish Ayrshire cows. *J Dairy Sci* 82: 1026-1033.
- Jérez-Timaure N. 2005. Influencia genética en la producción de carne de calidad. En: C González-Stagnaro y E Soto Belloso (eds.). *Manual de Ganadería Doble Propósito*. Ediciones Astro Data, S.A. Maracaibo-Venezuela. Cap. L: 639-643.
- Kambadur R, Sharma M, Smith TPL, Bass JJ. 1997. Mutations in myostatin (GDF8) in double-muscle Belgian blue and Piedmontese cattle. *Genome Research* 7:910-916.
- Komisarek J, Wackowicz K, Michalak A, Dorynek Z. 2004. Effects of DGAT1 variants on milk production traits in Jersey cattle. *Anim Sc Papers/Reports* 22 (3): 307-313.
- Koohmaraie M. 1996. Biochemical factors regulating the toughening and tenderization process of meat. *Meat Sci* 43:193-201.
- Lacorte GA, Machado MA, Martinez ML, Campos AL, Maciel RP, Verneque RS, Teodoro RL, Peixoto MGCD, Carvalho MRS, Fonseca CG. 2006. DGAT1 K232A polymorphism in Brazilian cattle breeds. *Gen Mol Res.* 5 (3): 475-482.
- Lara M, Nardon R, Bufarah G, Demarchi J, Sereno J, Santos S, Abreu U. 2005. Polimorfismo del gen de calpaína en razas vacunas por la técnica PCR-RFLP. *Arch Zoot* 54:305-310.
- López E, Vásquez N. 2004. Determinación del sexo y genotipificación del gen de la ϵ -caseína en embriones bovinos. *Rev Col Cienc Pec* 17:231-240.
- Motter MM, Corva P, Krause M, Pérez Cenci M, Soria L. 2009. Rol de la calpastatina en la variabilidad de la ternera de la carne bovina. *J Basic & App Gen* 20 (1):15-24.
- Ng-Kwai-Hang, K, Hayes J, Moxley J, Monardes H. 1986. Relationships between milk protein polymorphisms and major milk constituents in Holstein-Friesian cows. *J Dairy Sci* 6922.

Nkrumah JD, Li C, Yu J, Hansen C, Keisler DH, Moore SS. 2005. Polymorphisms in the bovine leptin promoter associated with serum leptin concentration, growth, feed intake, feeding behavior, and measures of carcass merit. *J Anim Sci* 83: 20-28.

Page BT, Casas E, Quaas RL, Thallman RM, Wheeler TL, Shackelford SD, Koohmaraie M, White SN, Keele JW, Smith TPL. 2004. Association of markers in the bovine CAPN1 gene with meat tenderness in large crossbred populations that sample influential industry sires. *J Anim Sci* 82: 3474-3481.

Parra-Bracamonte GM, Sifuentes-Rincón AM, Cienfuegos-Rivas EG, Tewold-Medhin A, Martínez-González JC. 2007. Polymorphism in the m-calpain gene of registered Brahman cattle from México. *Arch Latinoam Prod Anim* 15: 32-37.

Pečiulaitiene N, Miceikiene I, Mišeikiene R, Krasnopiorova N, Kriauziene J. 2007. Genetics factors influencing milk production traits in Lithuanian dairy cattle breeds. *Zemes Ukio Mokslai* T 14 (1): 32-38.

Pérez AL. 2007. Caracterización estructural del polimorfismo del microsatélite MSTN01 del gen de miostatina bovina. CD. Reynosa, Tamaulipas. México. Tesis de Maestría. 79 p.

Ripoli M, Corva P, Antonini A, De Luca J, Rojas F, Dulout F, Giovambattista G. 2003. Asociación entre cinco genes candidatos y producción de leche en la raza criolla Saavedreña. *Arch Zootec* 52: 89-92.

Rojas I, Aranguren-Méndez J, Portillo M, Villasmil-Ontiveros Y, Rincón X, Contreras G. 2010. Frecuencias alélicas de beta-lactoglobulina en ganado criollo limonero *Revista Científica, FCV-LUZ XX* (2): 176-180.

Rojas I, Aranguren-Méndez J, Portillo M, Villasmil-Ontiveros Y, Valbuena E, Rincón X, Contreras G, Yañez L. 2009. Polimorfismo genético de la kappa-caseína en ganado criollo limonero. *Revista Científica, FCV-LUZ XIX* (6): 645-649.

Schenkel FS, Miller SP, Jiang Z, Mandell IB, Ye X, Li H, Wilton JW. 2006. Association of a single nucleotide polymorphism in the calpastatin gene with carcass and meat quality traits of beef cattle. *J Anim Sci.* 84:291-299.

Simón E, Del Barrio AS. 2002. Leptina y obesidad. *Anales Sts. San Navarra.* 25 (supl. 1): 53-64.

Smith TPL, Casas E, Rexroad III CE, Kappes SM, Keele JW. 2000. Bovine CAPN1 maps to a region of BTA29 containing a quantitative trait locus for meat tenderness. *J Anim Sci* 78:2589-2594.

Strzałkowska N, Siadkowska E, Stoniewski K, Krzyżewsk J, Zwierzchowski L. 2005. Effect of the *DGAT1* gene polymorphism on milk production traits in Black-and-White (Friesian) cows. *Animal Science Papers and Reports.* 23 (3):189-197.

Thaller G, Krämer W, Winter A, Kaupe B, Erhardt G, Fries R, 2003. Effects of *DGAT1* variants on milk production traits in German cattle breeds. *J Anim Sci.* 81:1911-1918.

Tupac-Yupanqui I, Baro JA, Dunner S. 2004. Efecto del gen *dgat1* sobre la cantidad y composición de la leche en la raza bovina frisona española. *Arch Zoot* 53: 293-299.

Van eenennaam A, Medrano J. 1991. Milk protein polymorphisms in California dairy cattle. *J Dairy Sci* 74: 1730-1742.