

# Artículos originales



## Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias

<http://rccp.udea.edu.co>

**R**CCP

### Tipificación de tres marcadores genéticos de caracteres de importancia comercial en ganado Charolais: implicaciones en la ganadería para carne en México<sup>✉</sup>

*Three commercial-trait-related genetic markers typification in Charolais cattle: implications for mexican beef cattle production*

*Tipificação de três marcadores genéticos de importância comercial em gado Charolês: Implicações no gado de corte no México*

Gaspar M Parra-Bracamonte<sup>\*1</sup>, MV, Dr Cs Agr; Ana M Sifuentes-Rincón<sup>1</sup>, QFB, Dr Biol Mol; Williams Arellano-Vera<sup>1</sup>, MV, MS; Alberto Almanza-González<sup>2</sup>, MV; Xochitl F De la Rosa-Reyna<sup>1</sup>, Biol, MS.

<sup>1</sup>Laboratorio de Biotecnología Animal, Centro de Biotecnología Genómica, Instituto Politécnico Nacional, Reynosa, Tamaulipas, México.

<sup>2</sup>Unidad de Pruebas de Mejoramiento Genético, Unión Ganadera Regional de Coahuila, Piedras Negras, Coahuila, México.

(Recibido: 26 febrero, 2009; aceptado: 14 julio, 2009)

#### Resumen

Fueron obtenidas muestras de toros Charolais de registro (N=130) candidatos a sementales para hatos pie de cría manejados en un centro de pruebas de comportamiento productivo, con la finalidad de estimar las frecuencias genotípicas y alélicas de tres marcadores simples de un solo nucleótido que han sido asociados con características de calidad de la carne en ganado bovino. Se analizaron dos polimorfismos en el gen Calpaína, CAPN316 y CAPN4751, y la mutación Q204X, privada de la raza Charolais, en el gen Miostatina. Se encontró alta frecuencia del alelo normal en CAPN316 ( $f=0.85$ ) y frecuencia similares de los alelos normal y mutado para el marcador CAPN4751 ( $f= 0.58$  y  $0.48$ , respectivamente). Se analizó la frecuencia de la mutación Q204X del gen Miostatina, encontrándose baja frecuencia ( $f= 0.03$ ) atribuible a la selección negativa para la característica de doble musculatura en los últimos 30 años. Se discuten las implicaciones del estudio y validación del efecto de estos marcadores en el sistema de productor de carne bovina. La implementación del uso de estos marcadores podría ayudar a incentivar el desarrollo del sistema, el fomento de nichos de mercado para la calidad de la carne y sobre aumentar la rentabilidad de los sistemas de producción de carne actuales.

**Palabras clave:** calidad de la carne, calpaína, charolais, miostatina.

✉ Para citar este artículo: Parra-Bracamonte GM, Sifuentes-Rincón AM, Arellano-Vera W, Almanza-González A, De La Rosa-Reyna XF. Tipificación de tres marcadores genéticos de caracteres de importancia comercial en ganado Charolais: implicaciones en la ganadería para carne en México. Rev Colomb Cienc Pecu 2009; 22: 257-266

\* Autor para correspondencia: Laboratorio de Biotecnología Animal, Centro de Biotecnología Genómica, Instituto Politécnico Nacional. Boulevard del Maestro SN, Esq. Elias Piñas, Col. Narciso Mendoza, C. P. 88710, Reynosa, Tamaulipas, México. Tel. +52 (899) 9243627. Ext. 87709, 87743. E mail: gparra@ipn.mx

### Summary

Samples from registered Charolais sire candidate bulls for breeding herds and managed in a performance test station (N=130) were analyzed in order to estimate genotypic and allelic frequencies of three single nucleotide polymorphisms associated to beef quality traits. Two Calpain gene SNP markers, CAPN316 and CAPN4751, and the Charolais private mutation Q204X associated to double-muscling phenotype, were assessed. High frequency of normal allele was observed in CAPN316 ( $f=0.85$ ) and similar frequencies for normal and favorable alleles in CAPN4751 ( $f=0.58$  and  $0.42$ , respectively). For Q204X, a low prevalence for the double muscling promoter allele was observed ( $f=0.03$ ) attributable to negative selection criterion over this trait in the last 30 years. Implication and validation effects of the marker effects on the beef production system are discussed. Implementation of marker assisted management could help system development, support creation of quality meat niches and facilitate the increasing profitability for current beef production industry.

**Key words:** beef quality, calpain, charolais, myostatin.

### Resumo

Foram obtidas amostras de machos da raça Charolês registrado (N=130) candidatos a serem reprodutores para fazendas de cria, manejados em uma central de teste de desempenho, com a finalidade de estimar as frequências genotípicas e gênicas de três marcadores de um só nucleótido, associados com características de qualidade da carne bovina. Foram analisados os polimorfismos do gen da Calpaína, CAPN316 e CAPN4751, e a mutação Q204X, privada da raça charolês, no gen da Miostatina. Foram encontradas frequências altas do alelo normal na CAPN316 ( $f=0.85$ ) e frequências similares dos alelos normal e mutado para o marcador CAPN4751 ( $f=0.58$  e  $0.48$ , respectivamente). Foi encontrada baixa frequência da mutação Q204X do gen Miostatina ( $f=0.03$ ) devido à seleção negativa para a característica de dupla musculatura nos últimos 30 anos. O uso destes marcadores poderia ajudar a incentivar o desenvolvimento e fomento de mercados específicos para qualidade de carne e aumentar a rentabilidade dos sistemas de produção de carne atuais.

**Palavras chave:** calpaína, miostatina, qualidade de carne.

### Introducción

Aunque en México se carece de indicadores de caracterización del sector consumidor de carne bovina, sí se reconoce que el factor determinante en su consumo, es el poder adquisitivo así como la tendencia cada vez mayor a cambios en el estilo de vida rural por el urbano que llevan a la adopción de hábitos asociados entre otros al consumo de productos cárnicos con valor agregado (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2002). Este valor agregado, está determinado básicamente por rasgos de calidad de producto, los cuales suelen definirse en cada país de acuerdo al entorno socioeconómico del mercado y sobre todo por la percepción de los consumidores (Hocquette y Gigli, 2005).

El advenimiento y aplicación de las herramientas moleculares en el área animal, ha permitido visualizar un futuro hasta cierto punto, más simplificado para dirigir la selección de rasgos de calidad en la ganadería productora de carne. Sin embargo, la implementación del llamado manejo asistido por marcadores requiere de la estricta caracterización del efecto que tienen los marcadores genéticos sobre el fenotipo de las poblaciones en las cuales se pretende aplicar (esto es el denominado "score" molecular) (Dekkers y Hospital, 2002; Kühn et al, 2005).

La validación del score molecular de marcadores genéticos que han sido asociados favorablemente a características productivas de calidad de la carne es importante en ciertos nichos de producción como la generación de pie de cría, donde el mejoramiento genético puede

incidir significativamente sobre toda la cadena productiva incluyendo la comercialización de sus productos.

Dos genes extensamente estudiados por presentar variantes alélicas que se asocian con caracteres productivos de calidad de la carne son la Miostatina (*MSTN*), y la Calpaína (*CAPNI*). La *MSTN* o Factor 8 de diferenciación celular (*GDF8*) es un regulador negativo del crecimiento muscular. Los efectos de algunas variantes alélicas de *MSTN* se han reportado como desfavorables en su condición homocigótica (Bellinge *et al*, 2005; Lightner, 2005; Rodgers y Garikipati, 2008), pero con gran potencial en cuanto a la producción de músculo en su condición heterocigótica (Casas *et al*, 1999; Keele y Fahrenkrug, 2001).

La Calpaína por su lado, es una proteína responsable de la proteólisis *postmortem* en la carne (Koohmaraie, 1996; Koohmaraie *et al*, 2005), existen al menos dos variantes alélicas del gen *CAPNI*, que a la fecha se encuentran comercialmente disponibles y sus efectos sobre la terneza de la carne están en constante proceso de validación (Van Eenennaam *et al*, 2007). El marcador *CAPN316* se sitúa en el exón 9 del gen de la micro-Calpaína (*CAPNI*) y resulta del cambio aminoacídico de una Glicina por una Alanina en la posición 316 del polipéptido calcio dependiente micro-Calpaína (Page *et al*, 2002). El marcador *CAPN475I*, reportado por White *et al* (2005), es una transición de Citocina por Timina en la posición 6545 del intrón 17 del gen.

El ganado Charolais, es ampliamente utilizado en todas las regiones agroecológicas de México. Es empleado en cruzamientos terminales y es apreciado por su adaptabilidad, habilidad materna y eficiencia productiva (Charolais Herd Book de México, 2009). Existen estudios genético-moleculares de esta raza en México, y en el caso específico del gen *MSTN*, algunos estudios han sugerido que la prevalencia de la mutación *Q204X* del gen de la Miostatina presente en ganado Charolais puede ser de gran importancia para los sistemas de producción en México (Sifuentes *et al*, 2006; Sifuentes *et al*, 2007). Por su parte, hasta ahora no hay estudios que muestren la prevalencia de las variantes alélicas del gen *CAPN* en esta raza.

El objetivo de este trabajo fue determinar las frecuencias genotípicas y alélicas de tres marcadores moleculares relacionados con caracteres cuantitativos de calidad de la carne, en ganado Charolais del noreste de México y discutir algunas de sus implicaciones en el entorno comercial de ganaderías para carne bovina.

### Materiales y métodos

Se realizó la extracción de 130 muestras de sangre completa de animales de la raza Charolais de registro. Las muestras fueron mantenidas en tubos de ensayo con anticoagulante EDTA al 15% en refrigeración hasta su traslado al Centro de Biotecnología Genómica del Instituto Politécnico Nacional para su procesamiento. Al momento del muestreo, los animales provenientes de 12 diferentes ganaderías, se encontraban en prueba de comportamiento en las instalaciones de la Unión Ganadera Regional de Coahuila localizada en Piedras Negras, Coahuila, México. Fue recopilada la información general disponible sobre animales y ganaderías.

Se extrajo el ADN de 500 µL de sangre, siguiendo el protocolo modificado de un estuche comercial previamente optimizado (Parra-Bracamonte *et al*, 2007; Sifuentes *et al*, 2006). Para la cuantificación de ADN se utilizó el programa Digital Science 1D (Kodak Digital Science, New Haven, CT).

Para los tres marcadores se diseñaron ensayos de discriminación alélica, para determinar el polimorfismo de un solo nucleótido (SNPs) respectivamente. Dos marcadores de la micro-Calpaína (*CAPNI*: *CAPN316* y *CAPN475I*), previamente relacionados con la terneza de la carne en razas bovinas y sus cruces (Page *et al*, 2004; White *et al*, 2005), y uno del gen de la Miostatina (*MSTN*: *Q204X*). Cada ensayo, se realizó de forma individual en placas ópticas de 96 pozos en un equipo de secuenciación (ABI Prism® 7000 Sequence Detection System), bajo condiciones previamente reportadas (Parra-Bracamonte *et al*, 2007). Para la detección de los marcadores genéticos de ambos genes (*CAPNI* y *MSTN*), se utilizaron las siguientes condiciones: un ciclo de 2 min a 50 °C y 10 min a 95 °C, seguido de 40 ciclos

de dos pasos, 15 s a 92 °C y 1 min a 60 °C. Se utilizaron 250 ng de ADN, 12.5 µl of Taq Man PCR

master mix (Applied Biosystems), y 0.625 µl de la mezcla de sondas e iniciadores (Tabla 1).

**Tabla 1.** Secuencia de iniciadores y sondas de tres marcadores genéticos de importancia comercial en ganado bovino.

| Marcador | Iniciadores                         | Sondas                    |
|----------|-------------------------------------|---------------------------|
| CAPN316  | D- GCAGTGCCGTTTTCTACAG              | V- CCACGGCGTTCCA          |
|          | I- AGCTGCTCCCGCATGTAAG              | F- CCACGCCGTTCCA          |
| CAPN4751 | D- TGGCATCCTCCCCTTGACT              | V-CTGCGCCTCTGTTT          |
|          | I- CCCCCGTCACCTTGACACA              | F- CTGCGCCTCCGTTT         |
| Q204X    | D- 5'-GGAATCCGATCTCTTGAAACTTGACA-3' | V- 5'CAATGCTCTGCCAAATA    |
|          | I- 5'-GCTCTGCAACACTGTCTTACAC-3'     | F- 5'ATCAATGCTCTACCAAATA) |

D: Derecho, I: Izquierdo, V: Vic, F: Fam

El análisis de cada genotipo fue llevado a cabo utilizando el paquete computacional ABI Prism 7000 Real Time Detection Software, en el cual la estimación alélica fue visualizada mediante análisis de las curvas de amplificación. Los resultados fueron interpretados asignando la fluorescencia predominante VIC (Homocigotos para el alelo G en *CAPN316* y T en *CAPN4751*, y + para *Q204X*) o FAM (Homocigotos para el alelo C en *CAPN316* y *CAPN4751*, y *mh* para *Q204X*). En genotipos heterocigotos se observaron la presencia de ambas fluorescencias.

Se verificó cada muestra mediante análisis visual para detectar falsos positivos. Después de asignar el genotipo de cada uno de los animales, se calcularon las frecuencias genotípicas y alélicas con el programa Cervus Ver. 3.0.3, el mismo programa se usó para realizar la prueba de equilibrio genético de Hardy-Weinberg (Kalinowski *et al.*, 2007), las frecuencias haplotípicas para los marcadores de *CAPNI* fueron estimadas de manera manual.

## Resultados

### Calpaína

La tipificación de los genotipos de los marcadores *CAPNI* en la población de animales estudiada indicó una moderada y alta frecuencia de animales heterocigotos para *CAPN316* y *CAPN4751*, respectivamente (Tabla 3), lo que indica la prevalencia de alelos favorables para ambos casos. En ambos marcadores se analizó el equilibrio genético, corroborándose únicamente para el marcador *CAPN4751*.

**Tabla 2.** Frecuencia genotípica y alélica de marcadores moleculares del gen de la Miostatina (MSTN-Q204X) y micro-Calpaína (CAPN316 y CAPN4751) en ganado Charolais de México.

| Marcador   | Frecuencia genotípica |      |       | Frecuencia alélica |      |
|------------|-----------------------|------|-------|--------------------|------|
|            | GG                    | CG   | CC    | G =                | C =  |
| CAPN316    | 0.70                  | 0.30 | 0.00  | G =                | 0.85 |
|            |                       |      |       | C =                | 0.15 |
| CAPN4751   | 0.29                  | 0.57 | 0.14  | T =                | 0.58 |
|            |                       |      |       | C =                | 0.42 |
| MSTN-Q204X | +/+                   | +/mh | mh/mh | + =                | 0.97 |
|            | 0.95                  | 0.05 | 0.00  | mh =               | 0.03 |

No obstante la frecuencia de alelos favorables, la combinación alélica de ambos marcadores resultó en una mayor frecuencia del haplotipo GT (Tabla 3). Para la combinación del alelo C, favorable en ambos marcadores se encontró una frecuencia haplotípica de 0.13.

### Miostatina

Para el marcador *Q204X* se encontró en los animales estudiados que existe una alta frecuencia del genotipo homocigoto normal (+/+), sin embargo, la existencia de heterocigotos portadores de la mutación *mh* (0.05), origina la prevalencia de este alelo en frecuencia relativa de 3% (Tabla 3).

**Tabla 3.** Frecuencias haplotípicas de marcadores CAPN316 y CAPN4751 del gen de la micro-Calpaína en ganado Charolais de México.

| Haplotipo | Frecuencia haplotípica |
|-----------|------------------------|
| CC        | 0.13                   |
| GC        | 0.31                   |
| CT        | 0.02                   |
| GT        | 0.54                   |

## Discusión

### Calpaína

En el presente estudio se analizaron los marcadores *CAPN316* y *CAPN4751* del gen Calpaína los cuales han sido previamente reportados por su asociación con la terneza de la carne bovina en razas *B. taurus*, *B. indicus* y sus cruces (Casas et al, 2006; Page et al, 2002; White et al, 2005). La frecuencia de alelos favorables encontrados indica que de ser validado su efecto el manejo asistido mediante estos marcadores puede llevar a incrementar la frecuencia encontrada, sobre todo considerando la eventual participación de estos animales como sementales en hatos de pié de cría.

Los estudios hasta ahora reportados, sugieren considerables diferencias en las frecuencias genotípicas y alélicas entre las poblaciones analizadas (Corva et al, 2007; Page et al, 2004; Van Eenennaam et al, 2007). Estas diferencias pueden estar asociadas al historial de manejo genético al que éstas han sido sometidas, como indican en algunos casos, las desviaciones del equilibrio de Hardy Weinberg; ó bien, al fondo racial de los animales que puede inferirse al observar los resultados contrastantes en las frecuencias de poblaciones cebuínas (Parra-Bracamonte et al, 2007; Smith et al, 2009) o en aquellos producto de la cruce entre *Bos indicus* y *Bos taurus* (Casas et al, 2005; Page et al, 2004; White et al, 2005).

En México los marcadores *CAPN316* y *CAPN4751*, han sido estudiados para ofrecer información sobre las frecuencias genotípicas, alélicas y haplotípicas en poblaciones comerciales de ganado Brahman (Parra-Bracamonte et al, 2007) y poblaciones de ganado comercial (Bonilla, 2008). Ambos estudios, indican, al menos teóricamente, la potencialidad de la prevalencia (~ 50%) de las copias favorables para la terneza de la carne. Esta evidencia es importante sobre todo si se considera que una gran proporción del ganado explotado en el país proviene de regiones tropicales que necesariamente requieren del uso de ganado rústico como el cebuino, del cual se espera una menor predisposición a la terneza de la carne, según

lo señalan estudios en razas de esta subespecie bovina o en cruces con más del 50% de cebú (Koochmaraie, 1996), motivo por el cual durante su comercialización se subestima el valor de la carne de estos animales (Riley et al, 2003).

En el medio nacional este representa el primer reporte en la frecuencia de las variantes alélicas del gen *CAPN1* en ganado Charolais. La importancia de esta raza y su versatilidad en todas las regiones agroecológicas del país lo convierten en un excelente modelo animal para el estudio del efecto de estos marcadores, sobre todo considerando su segregación importante en animales reproductores, candidatos a sementales y comercializados para programas de mejora genética nacional. En este sentido, su participación es importante no sólo como ganado puro sino también en ganado híbrido como el Charbray (5/8 Charolais, 3/8 Brahman), que es una raza que ha incrementado su participación para la producción de becerros y carne.

Desafortunadamente, los trabajos hasta ahora reportados son pocos o no han asociado y validado la presencia de alelos “favorables” con caracteres de calidad de la carne, particularmente terneza, ni otros caracteres cuantitativos o cualitativos. Esta información es muy importante ya que si bien se ha demostrado que la presencia del alelo C (Citocina) en forma homocigótica o heterocigótica para ambos marcadores, disminuye la FCWB (Fuerza de Corte de Warner Bratzler) (Casas et al, 2005; Page et al, 2004; White et al, 2005), los pocos estudios reportados no han obtenido resultados contundentes. Un estudio de validación, en ganado Brangus de Argentina mostró efectos modestos del genotipo CC con respecto al TT para el marcador *CAPN4751*, concluyendo la mayor utilidad del marcador *CAPN316* en la selección para terneza de la carne de esa raza (Corva et al, 2007). Bonilla (2008), en ganado comercial de tres regiones de México, presumiblemente cruza *Bos indicus* x *Bos taurus*; no encontró un efecto significativo en la FCWB para cortes de carne de animales heterocigotos portadores del alelo favorable del marcador *CAPN316*, pero sí un sutil efecto para el marcador *CAPN4751*, quizá más asociado a la diferencia racial inherente a las muestras.

La evaluación de la terneza, a la cual estos marcadores han sido asociados, está basada en criterios de Fuerza de Corte de Warner Bratzler (FCWB), un criterio métrico que tiene homología a la resistencia de la carne a la masticación, Huffman *et al* (1996), indicaron que valores de 4.1 kg o menores en esta FCWB producen el 98% de satisfacción en el consumidor. Un estudio más completo realizado por Belew *et al* (2003), categorizó la terneza de diferentes músculos (40 músculos) con base en sus FCWB encontrando una amplia variación lo que indicó la importancia de este conocimiento para propósitos específicos del mercado.

Las evidencias disponibles, apoyan la necesidad de validar, sobre todo en pruebas controladas, el efecto fenotípico puntual que tiene la segregación de las copias alélicas favorables (asociados positiva y significativamente al rasgo cuantitativo) para estos marcadores y ser utilizados en casos particulares de selección, sobre todo considerando la gran variabilidad dentro y entre razas cárnicas y los diferentes ambientes de manejo en los que se crían, pero sobre todo debido a la naturaleza poligénica de esta característica de naturaleza cuantitativa.

#### *Miostatina*

En la raza Charolais, la mutación inactivante del gen de la Miostatina o factor 8 de crecimiento y diferenciación (Bellinge *et al*, 2005) está determinada por una sustitución en el segundo exón, una transición C→T en la posición nucleotídica 610, que produce una interrupción en el codón N asociado a una latencia peptídica en la posición aminoacídica 204 (Grobet *et al*, 1998), lo que promueve la expresión del fenotipo caracterizado por la hipertrofia muscular conocida por doble musculatura.

La frecuencia genotípica de la variante alélica *Q204X* inactivante del gen Miostatina (alelo mh) en la población de ganado Charolais analizada, indicó que esta mutación está presente en una baja frecuencia alélica, y en la forma genotípica de animales heterocigotos. Sifuentes *et al* (2007), reportaron para cuatro hatos criadores de ganado

Charolais de pie de cría en el noreste de México una frecuencia alélica en promedio, mayor al 2%, con una proporción de animales portadores heterocigotos hasta de 9%; las frecuencias reportadas en este estudio son similares, sin embargo, en el presente estudio, los animales muestreados fueron candidatos a sementales comerciales provenientes de 12 ganaderías de pie de cría, lo que puede indicar, acorde a lo reportado previamente que entre los diferentes hatos y ganaderías existe una posible variación en las condiciones de selección de sus reemplazos, limitada al criterio con el que los ganaderos escogen sus animales y que no puede discriminar adecuadamente entre un animal portador del alelo ya sea en condición heterocigótica o bien homocigótica.

Casas *et al* (1999), puntualizaron esta selección fenotípica subjetiva como fuente de error de discriminación entre heterocigotos y homocigotos, proponiendo que la habilidad de tipificación genética directa de los individuos puede minimizar dicho error. Si bien es cierto que la tipificación genética de todos los individuos de una población puede no ser rentable, puede ser de gran ayuda sobre todo en aquellos individuos destinados a reproductores.

En México, existe una percepción negativa sobre animales que manifiestan la característica de doble musculatura. La apreciación problemática sobre este rasgo, local y regionalmente, parece estar relacionada a la alta tasa de partos distócicos que padecen las vacas con becerros poseedores de esta característica (Arthur, 1995; Bellinge *et al*, 2005; Lightner, 2005). Sin embargo, Casas *et al* (1999) especificaron al evaluar el efecto de llevar una copia del alelo mh en ganado Piedmontes, que la ganancia obtenida debido al incremento en kg de producción de carne al destete o al año representa una mayor ventaja económica comparada al costo que supondría la atención de partos difíciles que ocurren poco más de 4% con mayor frecuencia en vacas que paren un animal heterocigoto.

La evidencia, para varias características de producción indica en diferentes razas y cruces portadores, que al menos una copia mh produce

mayor producción de carne en canal, mayor crecimiento al destete y al año (Casas *et al*, 1999), llegando a encontrarse, incluso, un efecto dominante en los genotipos heterocigotos. Un punto sumamente importante de señalar es que en el caso de la raza Charolais aún no se conoce con toda precisión el efecto que existe en los animales heterocigotos, con respecto a los homocigotos de alelo silvestre.

La presencia de esta variante puede ser aprovechada, a pesar de la aversión sostenida sobre ella, y por lo tanto, es necesario dilucidar de manera puntual la magnitud y tipo de efecto que tiene esta versión inactiva del gen MSTN en la raza Charolais y sus cruces más frecuentes, y así determinar la mejor estrategia para su explotación y aprovechamiento de las características que brinden la mayor eficiencia y rentabilidad al sistema de producción. En este sentido, Keele y Fahrenkrug (2001) propusieron un sistema de generación y empleo de la variante inactiva del gen de la MSTN, que supondría ventajas significativas en la rentabilidad de los sistemas productivos dado su efecto sobre la mayor producción de cortes de carne.

Adicionalmente, en sistemas de producción bovina de doble propósito (sistemas de cría vaca-becerro), en las cuales se puede implementar el uso de cruzamiento terminal, la ventaja de tener animales portadores del alelo mh inactivante, podría representar una ventaja adicional al crecimiento de los becerros. Sin embargo, todas estas aseveraciones requieren de una validación y evaluación para determinar los efectos hipotéticos que representaría dicho esquema de manejo sobre todo considerando que el tipo de animal comúnmente empleado en estos sistemas.

Aunado a lo anterior, el manejo la implementación de un esquema de manejo del alelo mh en la raza Charolais provee la oportunidad de aprovechar nichos del mercado que empiezan a ser comercialmente muy importantes. En España, la raza Asturiana de los Valles poseedora de una mutación homóloga responsable al rasgo de doble músculo, es una muestra de la ganancia en precio que puede alcanzar las canales con este carácter, por sobre las canales normales, debido

a una mayor cuantía de carne clasificada como de primera (Barroso *et al*, 2000) y cuya canal llega a tener precios 40% mayores por kg que las normales (Goyache *et al*, 2002); de igual forma, la North American Piedmontese Cattle Association, registrando solamente los animales que expresen el carácter de doble musculatura, los comercializa como “La raza de la Miostatina” (Myostatin Beef Breed), basados en la evidencia científica que apoya la particularidad de características de palatabilidad de su carne, entre ellas, la terneza (Wheeler *et al*, 2001; White *et al*, 2005).

#### *Implicaciones de la adopción de marcadores de calidad de la carne*

La naturaleza poligénica de los caracteres comercialmente relevantes para la industria bovina, como la producción cárnica y la terneza de la carne han sido el foco de atención para su investigación durante la última década.

Aunque, la aplicación de los marcadores moleculares en el área animal y particularmente en el ganado bovino de carne puede dar la equívoca impresión de simplicidad para el mejoramiento genético, la realidad es mucho más compleja. Las evidencias científicas apoyan la necesidad de validación de los marcadores comercialmente disponibles para obtener información que fundamente el efecto de las variantes alélicas en diferentes ambientes de producción; así como también, sus frecuencias en diferentes poblaciones y razas; y finalmente, el estudio de la interacción entre los genes, y determinación de efectos, aditivos, dominancia o recesividad, así como el efecto conjunto de varios genes sobre una misma característica (pleiotropía) (Hocquette *et al*, 2005; Van Eenennaam *et al*, 2007).

Para el sistema de producción bovina para carne en México, existe una necesidad por definir el concepto de calidad. Con la implementación del SINIIGA (Sistema Nacional de Identificación Individual de Ganado), se asegura, la rastreabilidad de la cadena productiva. Esto confiere confianza en el consumidor al considerar aspectos de sanidad e inocuidad que pueden ser conceptualizados como un indicador de calidad Secretaría de Agricultura,

Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, SAGARPA, 2006). Sin embargo, los criterios de rastreabilidad han sido enfocados más hacia el criterio de comercio exterior que al mercado nacional (Luna y Albarrán, 2006; Ruíz, 2004; Suárez-Domínguez y López-Tirado, 1996).

La caracterización de las condiciones del mercado consumidor, tanto externo como interno, es necesaria para la planificación de programas de mejoramiento genético para la ganadería bovina productora de carne.

Como se ha analizado previamente, el aprovechamiento del potencial de ciertas variantes alélicas que han sido asociadas favorablemente a caracteres productivos pueden: 1) Proveer un sistema de generación de cruces terminales en los sistemas vaca-becerro aprovechando el fenotipo expresado en animales destinados a engorde o exportación, 2) Incentivar un nicho regional y nacional de consumo de carne con valor agregado caracterizado por su inocuidad y terneza, 3) generar el tipo de animales en cantidad y calidad que demandan los mercados internacionales emergentes y, finalmente, 4) aliviar la dependencia de productos y subproductos cárnicos, estimada para 2007, en más de 390 mil toneladas, lo que económicamente representa en términos económicos, la cantidad de 1.185 millones en dólares (United States Meat Export Federation, USMEF ).

De todo lo anterior, se puede concluir que las prevalencias genotípicas para marcadores asociados con características de calidad de carne observadas en la población Charolais analizada en este trabajo, hace necesario la validación de la magnitud del

efecto de las variantes génicas “favorables” en la raza Charolais, evaluando hatos que representen las diferentes condiciones agroecológicas del país, y proponer de la misma forma, estudios que involucren la investigación comprehensiva de la biología de los caracteres productivos con las diferentes razas locales, identificando sus bondades siempre en el contexto de las necesidades del mercado consumidor.

Particularmente para *MSTN*, es claro que la genómica ha ayudado a dilucidar muchas desavenencias relacionadas o asociadas a esta característica, sin embargo, la oposición relacionada a su uso requiere de evidencias sólidas que avalen la eficiencia, calidad y rentabilidad que teóricamente han sido propuestas para los portadores de este “defecto” genético. Por una parte, algunos países desarrollados poseen un nicho comercial que aprecia el producto generado con este tipo de animales, y por otro, la necesidad de algunos países en desarrollo, como el nuestro, parece obligar la búsqueda de medidas económicamente viables como las ofrecidas por la genómica, para aliviar las demandas e incentivar la competitividad de su subsector pecuario.

### Agradecimientos

Los Autores quieren agradecer a la Unión Ganadera Regional de Coahuila, por las facilidades en el uso de sus instalaciones y apoyo técnico en la obtención de muestras biológicas, y al Instituto Politécnico Nacional por el soporte económico otorgado mediante el financiamiento del Proyecto SIP 2008-0448.

### Referencias

- Arthur PF. Double-muscling in cattle: A review. *Aust J Agric Res* 1995; 46:1943-1515.
- Barroso A, Royo LJ, Cañon J, Dunner S. La hipertrofia muscular hereditaria: génesis de alelos dominantes negativos de la miostatina (GDF-8) murina. Reunión Nacional de Mejora Genética, Caldes de Montbui; 2000.
- Belew JB, Brooks JC, McKenna DR, Savell JW. Warner-Bratzler shear evaluation of 40 bovine muscles. *Meat Sci* 2003; 64:507-512.
- Bellinge RHS, Liberles DA, Iashi SPA, O'brien PA, Tay GK. Myostatin and its implications on animal breeding: a review. *Anim Gen* 2005; 36:1-6.
- Bonilla CCA. Polimorfismo en los genes CAPN1 y TG y su asociación con la calidad de la carne bovina mexicana. Tesis de Maestría en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México; 2008. 59 p.
- Casas E, Bennet GL, Smith TPL, Cundiff LV. Association of myostatin on early calf mortality, growth and carcass composition traits in crossbreed cattle. *J Anim Sci* 1999; 82:2913-29.



- Casas E, White SN, Riley DG, Smith TPL, Brenneman RA, et al. 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* 2005; 83:13-19.
- Casas E, White SN, Wheeler TL, Shakelford SD, Koohmaraie M, et al. Effects of calpastatin and  $\mu$ -calpain markers in beef cattle and tenderness traits. *J Anim Sci* 2006; 84:520-525.
- Corva P, Soria L, Papaleo MJ, Villarreal EA, Melucci L, et al. Evaluación de marcadores moleculares asociados a diferencias en terneza de la carne de novillos Brangus. Asociación Peruana de Producción Animal. Cusco, Perú. Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal; 2007; p.1-5.
- Charolais Herd Book de México. Historia de la raza Charolais. 2009. [Acceso 17 febrero 2009] URL: [http://www.charolais.org.mx/cont.asp?cont\\_id=3](http://www.charolais.org.mx/cont.asp?cont_id=3)
- Dekkers JCM, Hospital F. The use of molecular genetics in the improvement of agricultural populations. *Nat Rev Gen* 2002; 3:22-32.
- Goyache F, Royo LJ, Alvarez I, Gutiérrez JP. Testing a continuous variation in preweaning expression of muscular hypertrophy in beef cattle using field data. *Arch Tierz Dummerstorf* 2002; 45:139-149
- Grobet L, Poncelet D, Royo LJ, Brouwers B, Pirottin D, et al. Molecular definition of an allelic series of mutations disrupting the myostatin function and causing double-muscling in cattle. *Mamm Gen* 1998; 9:210-213.
- Hocquette JF, Gigli S. The challenge of quality. In: Hocquette JF, Gigli S, editors. Indicators of milk and beef quality, Publ. 112, Wageningen, The Netherlands: Wageningen Academic Publishers; 2005; p.13-22.
- Hocquette J.F., Renand G., Levéziel H., Picard B. and I. Cassar-Malek. Genetic effects on beef meat quality. University of Bristol, British Society of Animal Science. Eight Annual Langford Food Industry Conference: The Science of Beef Quality; 2005; p.13-18.
- Huffman KL, Miller MF, Hoover LC, Wu CK, Brittin HC, et al. Effect of beef tenderness on consumer satisfaction with steaks consumed in the home and restaurant. *J Anim Sci* 1996; 74:91-97.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI. Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares. ENIGH; 2000. 532 p.
- Kalinowski TS, Taper LM, Marshall CT. Revising how the computer program Cervus accommodates genotyping error increases in paternity assignment. *Mol Ecol* 2007; 16:1099-1106.
- Keele JW, Fahrenkrug SC. Optimum mating systems for the myostatin locus in cattle. *J Anim Sci* 2001; 79:2016-2022.
- Koohmaraie M. Biochemical factors regulating the toughening and tenderization process of meat. *Meat Sci* 1996; 43:193-201.
- Koohmaraie M, Shakelford SD, Wheeler TL. 2005. Biological bases that determine beef tenderness. University of Bristol, British Society of Animal Science, Eight Annual Langford Food Industry Conference: The Science of Beef Quality; 2005. p.21-25.
- Kühn Ch, Leveziel H, Renand G, Goldammer T, Sewerin M, et al. 2005. Genetic markers for beef quality. In: Hocquette JF, Gigli S, editors. Indicators of milk and beef quality, Publ. 112, Wageningen, The Netherlands, Wageningen Academic Publishers; 2005. p. 23-32.
- Lightner JK. Mutations, selection and the quest for meatier livestock. *TJ* 2005; 19:18-20.
- Luna ME, Albarrán M. Situación actual y Perspectiva de la producción de carne de bovino en México. Coordinación General de Ganadería, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México, DF; 2006. 48p.
- Page BT, Casas E, Heaton MP, Cullen NG, Hyndman DL, et al. Evaluation of single-nucleotide polymorphisms in *CAPNI* for association with meat tenderness in cattle. *J Anim Sci* 2002; 80:3077-3085.
- Page BT, Casas E, Quaas RL, Thallman RM, Wheeler TL, et al. Association of markers in the bovine *CAPNI* gene with meat tenderness in large crossbred populations that sample influential industry sires. *J Anim Sci* 2004; 82:3474-3481
- Parra-Bracamonte GM, Sifuentes-Rincón AM, Cienfuegos-Rivas EG, Tewolde-Medhin A, Martínez-González JC. Polimorfismo en el gen de la  $\mu$ -calpaína en ganado Brahman de registro de México. *Arch Lat Prod Anim* 2007; 15:33-38.
- Riley DG, Chase CCJr, Pringle TD, West RL, Johnson DD et al. Effect of sire on  $\mu$  and m-calpain activity and rate of tenderization as indicated by myofibril fragmentation indices of steaks from Brahman cattle. *J Anim Sci* 2003; 81:2440-2447
- Rodgers BD, Garikipati DK. Clinical, agricultural and evolutionary biology of Myostatin; a Comparative Review. *Endocr Rev* 2008; 29:513-534.
- Ruiz FA. Impacto del TLCAN en la cadena de valor de los bovinos para carne. Universidad Autónoma Chapingo. México; 2004. 39p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, SAGARPA. Reactivan programas ganaderos, ingreso de producción pecuaria a mercados de consumo nacional e internacional. Boletín Núm. 289/06. Coordinación General de Comunicación Social; 2006. 2 p.
- Sifuentes RAM, Puentes MH, Moreno MVR, De la Rosa RXF. Assessment of the myostatin Q204X allele using an allelic discrimination assay. *J Gen Mol Biol* 2006; 29:496-497.
- Sifuentes RAM, Puentes MH, Moreno MVR, De la Rosa RXF, Rosales AJ. Frecuencia del alelo Q204X del gen Miostatina en hatos de Ganado del Noreste de México. *Rev Téc Pec Méx* 2007; 45:85-92.
- Smith T, Thomas MG, Bidner TD, Paschal JC, Franke DE. Single nucleotide polymorphisms in Brahman steers and their

- association with carcass and tenderness traits. *Gen Mol Res* 2009; 8:39-46.
- Suárez-Domínguez H, López-Tirado Q. The Beef Production System in Mexico: The Current Situation, In: Symposium Proceedings NAFTA and Agriculture: Is the Experiment Working? Friday, November 1, 1996. [Acceso 30 junio de 2008] URL: <http://agrinet.tamu.edu/trade/confinfo.htm>
- United States Meat Export Federation, USMEF. Total US beef exports 1998-2007 (Including Variety meat). [Acceso 16 noviembre 2008] URL: <http://www.usmef.org>
- Van Eenennaam AL, Li J, Thallman RM, Quaas RL, Dikeman ME, et al. Validation of comercial DNA test for quantitative beef quality traits. *J Anim Sci* 2007; 85:891-900.
- Wheeler TL, Shackelford SD, Casas E, Cundiff LV, Koohmaraie M. The effects of Piedmontese inheritance and myostatin genotype on the palatability of longissimus thoracis, gluteus medius, semimembranosus, and biceps femoris. *J Anim Sci* 2001; 79:3069-3074.
- White SN, Casas E, Wheeler TL, Shakelfold SD, Koohmaraie M, et al. A new single nucleotide polymorphism in CAPN1 extends the current tenderness marker test to include cattle of *Bos indicus*, *Bos taurus*, and crossbred descent. *J Anim Sci* 2005; 83:2001-2008.