

## Capítulo XXI

### Marcadores genéticos para el mejoramiento de la terneza de la carne

Paola V. Torres Rodríguez  
José A. Aranguren Méndez

Las características adversas del trópico han generado que los sistemas de producción se fundamenten principalmente, en la utilización de cruces entre ganado Taurino (*Bos taurus*) caracterizado por su mérito productivo y Cebuino (*Bos indicus*), con mayor énfasis en la raza Brahman por su mérito adaptativo. Es gracias a las características de rusticidad y adaptabilidad a las condiciones imperantes en el ecosistema tropical que ha surgido la ganadería doble propósito, mientras que los cruces *taurus-indicus* indican una vía más directa y segura para mantener los efectos aditivos y heteróticos en los rebaños (Parra-Bracamonte *et al.*, 2007).

Entre los países sometidos a estas condiciones se encuentra Venezuela, donde predominan los sistemas ganaderos de producción doble propósito, en sistemas tradicionales y mejorados, con tendencia o predominio hacia la producción de carne o leche. En los sistemas de producción con tendencia a carne, la raza Brahman se ha convertido prácticamente en el animal por excelencia para transformar los pastos naturales en masa muscular, ocupando un papel importante en el auge de la ganadería, como lo demuestra la existencia de una gran cantidad de información registrada en cuanto a las características productivas de interés económico (Atencio, 2007). Sin embargo, dicha raza se ha caracterizado por poseer aspectos desfavorables en términos de fertilidad y temperamento (nerviosismo); igualmente, mantiene un atraso desde el punto de vista de crecimiento, reflejado en una madurez tardía, lo cual afecta en forma negativa las características de la canal, perjudicando finalmente su valor comercial.

La importancia del estudio y mejoramiento genético del ganado bovino radica en la calidad de los productos de origen como la carne. En este sentido, el poder adquisitivo es uno de los factores que influyen en el patrón de consumo, de tal manera que la población adopta diferentes estándares. Sin embargo, los consumidores son cada día más exigentes, destacando la presencia de un sector que busca el consumo de productos cárnicos con valor agregado, el cual está relacionado con características de sabor y terneza que resaltan su calidad (Parra-Bracamonte *et al.*, 2009). Sin embargo,

al revisar los diversos sistemas de producción animal en los cuales se han establecido programas de selección, no se ha hecho énfasis en seleccionar las características en función de la calidad, cuya medición además resulta difícil. Ese problema trae como consecuencia la preferencia por carnes más tiernas, provenientes de razas especializadas extranjeras, en detrimento del consumo de productos de origen local.

Entre los factores que describen la calidad de la carne, la terneza es uno de los más importantes, como se determina al observar las grandes variaciones en la palatabilidad del producto final. Por esas razones, la característica de terneza ha recibido en los últimos años una mayor atención por parte de la comunidad científica, debido a su variación genética y a la dificultad de obtener datos fenotípicos, pues se hace necesario recurrir a métodos destructivos como el sacrificio de los animales. Esos métodos, discutidos en el mundo actual, hace necesario el desarrollo de herramientas no invasivas y de avanzada que faciliten el sacrificio con menos sufrimiento de los bovinos.

En la búsqueda de los causales que expliquen los cambios vinculados con la terneza de la carne, se ha determinado como principal responsable al sistema proteolítico de las Calpaínas y Calpastatina, el cual actúa en la degradación *post-mortem* de las proteínas estructurales del músculo (Parra-Bracamonte *et al.*, 2009). La Calpastatina es una proteína que interviene en la regulación de la actividad de las Calpaínas mediante la inhibición de su efecto (Zhou & Hickford, 2008).

Existen métodos diversos para la medición de la terneza, entre los que destacan la ultrasonografía, la determinación de umbrales de terneza y la reflectancia del infrarrojo cercano, entre otros (Uzcátegui, 2010). Sin embargo, el advenimiento y aplicación de las técnicas moleculares en el área animal, ha permitido visualizar un futuro hasta cierto punto más simplificado, ya que permitirá dirigir la selección de los rasgos de calidad en la ganadería productora de carne (Parra-Bracamonte *et al.*, 2009). En este sentido, muchos estudios han logrado demostrar la asociación significativa de marcadores genéticos dentro de los genes involucrados en la transcripción de dichas proteínas con características como terneza de la carne (Rincón & Medrano, 2006; Café *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2010).

## MADURACIÓN DE LA CARNE

Con la muerte del animal se suceden una serie de cambios que serán responsables de las características organolépticas del producto final; entre ellas, la terneza permanece hasta la actualidad como el rasgo más buscado por los consumidores. Este complejo proceso de cambios se denomina maduración de la carne.

El sacrificio acarrea que el organismo sea privado del suministro de oxígeno. Bajo condiciones de anaerobiosis, ocurren modificaciones metabólicas que comprenden la obtención de energía a partir de sustratos almacenados a nivel intracelular (glucógeno), proceso denominado glicólisis anaeróbica, que ocurre con el fin de la supervivencia de los tejidos (García, 2001). Posteriormente, como producto de ese metabolismo se genera ácido láctico, el cual origina cambios que son muy importantes a nivel muscular.

Durante las primeras 15 horas *postmortem*, el almacenamiento bajo refrigeración de las canales genera una disminución de temperatura (de 38,5 °C a 4-5 °C) y de forma conjunta, la acumulación de ácido láctico (producto de la síntesis de ATP) ocasiona

un descenso en el pH desde 7,0 hasta valores que oscilan entre 5,4 y 5,8. Sin embargo, en esta fase las propiedades de flexibilidad y elasticidad del músculo permanecen todavía inalteradas (Motter *et al.*, 2009).

El agotamiento de energía como consecuencia de la glicólisis anaeróbica y la liberación de calcio, dan inicio a una fase de endurecimiento muscular que dura 12 a 24 horas *postmortem* y es causada por la formación de enlaces cruzados entre los filamentos delgados y gruesos de las miofibrillas (unión irreversible de las proteínas contráctiles, actina y miosina). Esta fase es denominada rigidez cadavérica o *rigor mortis*, que se caracteriza porque finalmente altera la flexibilidad y elasticidad de la carne (Uzcátegui, 2010).

Tras la culminación del *rigor mortis* ocurre una nueva etapa denominada fase *post rigor* o fase de ablandamiento, cuyo inicio ocurre a las 24 horas *postmortem* y se caracteriza por cambios en las propiedades de la carne, en color, sabor, terneza y olor. Este proceso es complejo y se lleva a cabo de forma lenta durante el almacenamiento de las canales, a temperaturas de refrigeración (4-5°C); sin embargo, sus variaciones se deben a factores internos como edad, sexo, tipo de músculo y externos, además de las condiciones bajo las cuales se ejecuta el ablandamiento (García, 2001).

La fase de ablandamiento o *post rigor* es un proceso de origen enzimático, el cual implica la acción de sistemas proteolíticos endógenos. Aunque en el tejido muscular exista una gran variedad de proteasas (Calpaínas, Catepsinas, Proteasomas, Metaloproteidasas, entre otras), se otorga la mayor responsabilidad al sistema proteolítico dependiente de calcio intracelular de las Calpaínas, que en conjunto con su inhibidor específico, la Calpastatina, generan el resultado final de esta fase que consiste en la terneza de la carne (Parra-Bracamonte *et al.*, 2007; Curi *et al.*, 2009).

### **Calpaínas**

Las Calpaínas pertenecen a una familia de proteínas compuesta por 14 miembros; son proteasas dependientes de  $\text{Ca}^{2+}$ , encontradas en todas las células eucariotas y en algunas bacterias. Dos de ellas, han sido las más estudiadas en mamíferos e identificadas de acuerdo a su estructura, requerimientos y función a nivel muscular, con el nombre de i-Calpaína y m-Calpaína, pertenecientes al grupo de las Calpaínas clásicas o convencionales, y se consideran como enzimas proteolíticas del músculo en la fase *postmortem*. Ambas son heterodímeros compuestos por 2 subunidades catalíticas; la subunidad grande (80 kDa), posee una acción proteolítica elevada, compuesta por 4 dominios: DI, DII, DIII y DIV, con una homología del 55-65% en ambas isoformas; curiosamente en el dominio DII, esta subunidad presenta residuos de Cisteína en la posición 115 ó 105, Histidina en la posición 272 ó 262 y Asparagina en la posición 296 ó 286, las cuales son responsables de formar la tríada catalítica, característica de las cisteínas proteasas, tales como la papaína o las catepsinas. La subunidad pequeña (30 kDa) común para ambas Calpaínas, posee una función regulatoria y comprende dos dominios (DV y DVI) (Suzuki *et al.*, 2004).

La dependencia de  $\text{Ca}^{2+}$  en las calpaínas es importante, tanto así, que la entrada de este elemento a la célula modifica su localización intracelular, provocando que éstas se asocien a la cara interna de la membrana plasmática para captar aún más, siendo

su ubicación original de forma difusa en el citosol. Estas enzimas poseen sus nombres de acuerdo a los requerimientos de calcio, la  $\mu$ -Calpaína es activada con cantidades de  $\text{Ca}^{2+}$  en el orden de los micromoles que oscila entre 50-100 M, mientras que la m-Calpaína, requiere cantidades milimolares de  $\text{Ca}^{2+}$  que van en un rango de 1-8 mM (Gábor *et al.*, 2009). En bovinos la  $\mu$ -Calpaína enlaza 5-8 iones de  $\text{Ca}^{2+}$ , mientras que la m-Calpaína necesita ligar entre 11 a 20 iones (Bosques, 2007).

Una vez iniciada la fase de ablandamiento o *post rigor*, en condiciones específicas de temperatura (4-5C), pH (5,4-5,8) y  $\text{Ca}^{2+}$ , estas proteínas producen la desorganización estructural del tejido muscular por proteólisis a nivel de los discos Z, sitio donde comienza el desmontaje, específicamente a nivel de otras proteínas como Desmina, Proteína C, TROPOMIOSINA, Troponina T, Troponina I, Titina, Nebulina, Vimentina, Gelsolina, y Vinculina (exceptuando proteínas como Actina, Actinina, o cadenas pesadas de Miosina), ya que estas proteínas son las encargadas del mantenimiento y de la estructura del citoesqueleto de las células musculares, generando la suavidad o ternura de la carne (Motter *et al.*, 2009).

### Calpastatina

La Calpastatina está dentro del sistema de proteínas activadas por  $\text{Ca}^{2+}$ , responsable del ablandamiento *postmortem* de la carne. Aislada de las células musculares de bovino, es una proteína que consta de 706 aminoácidos y está conformada por cuatro dominios (I, II, III y IV), con una similitud entre ellos del 23-36 %. Se constituyen por cadenas repetidas de 140 aminoácidos divididas en 3 subdominios (A, B y C), siendo indispensables para que la Calpastatina realice su función (Motter *et al.*, 2009), otorgando además el papel protagónico al subdominio B, el cual es altamente homólogo entre especies y fundamental para la actividad inhibitoria, ya que posee una secuencia de aminoácidos en su estructura (Glu10, Leu11, Gly12, Lys13), esenciales para la unión Calpastatina/ $\mu$ -Calpaína (Pfizer *et al.*, 2008). Adicionalmente, la Calpastatina presenta un dominio en el extremo  $\text{NH}_2$  denominado L, cuya función es determinar la localización de las Calpaínas en la célula.

Asimismo, como parte del sistema de proteasas dependientes de  $\text{Ca}^{2+}$ , se ha descrito a la Calpastatina como su principal inhibidor competitivo (Zhou & Hickford, 2008), la cual es altamente específica y eficiente, logrando inhibir varios componentes de la familia de las Calpaínas, entre ellas la  $\mu$ -Calpaína, m-Calpaína, CAPN8 y CAPN9 respectivamente. Es entonces que, en presencia de  $\text{Ca}^{2+}$ , se da la formación de  $\alpha$ -hélices en los subdominios A y C de la Calpastatina, cuyos sitios de unión corresponden a la superficie de los dominios IV y VI de las Calpaínas, promoviendo así la interacción entre ambas proteínas (Motter *et al.*, 2009), y quedando el subdominio B próximo al sitio activo de las Calpaínas, por consiguiente, el acceso de los sustratos al mismo es bloqueado (Pfizer *et al.*, 2008) (Figura 1). De esta manera, una molécula de Calpastatina es capaz de inhibir hasta cuatro moléculas de Calpaína a la vez.

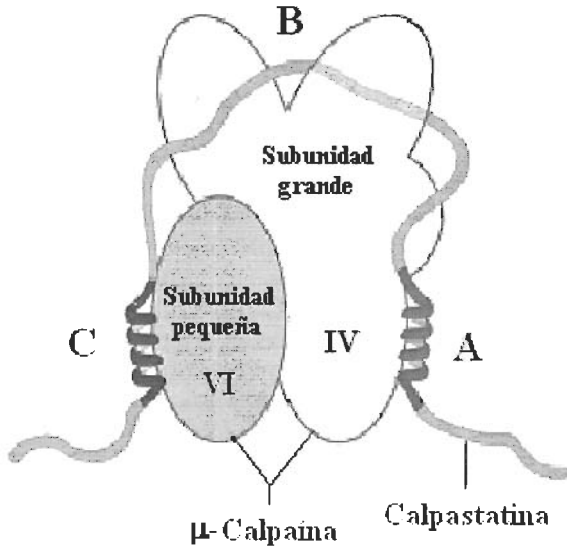


Figura 1. Unión Calpaína/Calpastatina)

### Marcadores genéticos en el gen de la Calpaína y la Calpastatina relacionados con la ternera de la carne

Desde el punto de vista genético, la Calpaína y la Calpastatina son codificadas por genes específicos, y en el genoma bovino el gen denominado CAPN, es responsable de codificar la sub-unidad grande de la proteasa cisteína -Calpaína, la cual ha sido localizada en el cromosoma 29 (Curi *et al.*, 2010), mientras que el gen denominado CAST, es responsable de codificar la Calpastatina y se encuentra ubicado en el cromosoma 7 (Majidi *et al.*, 2009). Ambos genes poseen un gran número de polimorfismos asociados con características de interés económico.

Los Marcadores Genéticos son fragmentos de DNA situados en lugares específicos del genoma, cuya utilidad es determinar la posición de un gen en concreto y su relación con una o varias características de interés (Parra-Bracamonte *et al.*, 2011). Por esta razón, se constituyen como una de las técnicas más novedosas en el campo de la producción animal, ya que permiten la detección de genes para el mejoramiento y la salud animal.

La cantidad de técnicas descritas para el estudio de los marcadores genéticos es cada vez más numerosa, sin embargo, aquellas técnicas que han presentado mayor impacto son las que se señalan como los Polimorfismos de nucleótido simple o SNP (del inglés *Single Nucleotide Polymorphism*), la técnica denominada Polimorfismos en la longitud de Fragmentos de Restricción o PCR-RFLP (del inglés *Restriction Fragment Length Polymorphism*) y el Sistema de Amplificación Refractaria a la Mutación o PCR-ARMS (del inglés *Amplification Refractory Mutation System*), entre otros. La mayoría de ellas se basan en una técnica fundamental denominada Reacción en Cadena de la Polimerasa o PCR (del inglés *Polymerase Chain Reaction*), la cual consiste en una reacción enzimática catalizada por una DNA polimerasa, que permite la amplificación o reproducción *in vitro* de una región particular del DNA.

En referencia a la variabilidad, es importante destacar que los bovinos pertenecientes al género *Bos* y que corresponden a dos especies identificadas y antes descritas como *Bos taurus* y *Bos indicus*, difieren marcadamente en las cualidades de producción cárnica, y a su vez, entre las razas de dichas especies es notable la inconsistencia de la terneza. Esta cualidad ha sido atribuida al aumento en la actividad del inhibidor (Calpastatina) asociada con las razas cebuínas y sus cruces, que genera una reducción en la proteólisis muscular *postmortem* realizada por las Calpaínas, incrementando en forma lineal hasta obtener la menor terneza posible en animales Cebú puros (Uzcátegui, 2010). Por el contrario, las razas taurinas poseen una mayor actividad calpaínica y una reducida acción inhibitoria por parte de la Calpastatina (Salinas, 2007). Asimismo, se han observado que existen ligeras diferencias en la terneza, entre razas taurinas, catalogando las continentales (Charolais, Limousine, Simmental) como productoras de carne menos tierna y con menor contenido de grasa, en comparación con las británicas (Hereford, Shorthorn, Angus) (Uzcátegui, 2010).

Entre algunos de los marcadores genéticos de interés involucrados en la acción de la Calpaína destacan polimorfismos como el SNP CAPN316, producto de una sustitución de bases nitrogenadas Citosina/Guanina (C/G) que a su vez se traduce en un cambio aminoacídico de glicina por alanina en la posición # 316 de la proteína (White *et al.*, 2005), así como el SNP CAPN4751, el cual se encuentra en el intrón # 18 de la región regulatoria del gen de la Calpaína, siendo el resultado de una inserción/eliminación de Citosina/Timina (C/T) (Casas *et al.*, 2006). Ambos polimorfismos han sido asociados con la terneza de la carne en diferentes razas, identificando el alelo C como favorecedor para carnes tiernas. Page *et al.* (2002) comprobaron la existencia de estos polimorfismos en el gen CAPN y reportaron una asociación significativa con características de calidad de la carne en animales *Bos taurus*. Posteriormente, estos resultados fueron confirmados por Corva *et al.* (2007), quienes demostraron su asociación con la terneza de la carne en novillos Brangus y razas taurinas puras como Angus, Hereford y Limousin. En estas razas la diferencia entre los genotipos CC y GG fue de 1,35 kg de resistencia al corte de la carne mediante el método Warner Bratzler.

Rincón & Medrano (2006) realizaron estudios sobre los marcadores CAPN316, CAPN530 y CAPN4751, a través la técnica PCR-ARMS. Estudios posteriores lograron determinar frecuencias elevadas del alelo C en el ganado Pinzgauer y Charolais (Gábor *et al.*, 2009), y su asociación con carnes más tiernas a los 7, 14 y 21 días de maduración *post mortem*, obteniendo una diferencia de 0,5 kg de resistencia al corte entre los alelos C y T para el marcador CAPN4751 en ganado Nelore (Pinto *et al.*, 2010). Otro estudio realizado en animales Angus, demostró que el alelo C del marcador CAPN316, estuvo asociado con la terneza utilizando un tenderómetro, además del aumento de peso del cuarto trasero y un aumento de sabor medido en paneles sensoriales en comparación con el alelo G, mientras que para el marcador CAPN4751 no se encontró asociación significativa con terneza (Gill *et al.*, 2009). Estudios en Colombia demostraron la prevalencia del alelo C para el marcador CAPN316, relacionada con una mayor terneza en la raza Romosinuano (Martínez *et al.*, 2012). Se han encontrado otras asociaciones como el efecto del marcador CAPN4751 en el color de la carne (Castro *et al.*, 2011) basándose en la importancia de este atributo, ya que es la primera característica que evalúa el consumidor para efectuar la compra del producto (Tablas 1 y 2).

**Tabla 1**  
**Frecuencias alélicas y genotípicas de CAPN316 en diferentes razas**

Marcador CAPN316						
C	G	CC	CG	GG	Raza	Fuente
0,29	0,71	0,08	0,41	0,51	Brangus	Corva <i>et al.</i> , 2007
0,46	0,54	0,17	0,56	0,25	Angus	<i>Ídem</i>
0,41	0,59	0,15	0,54	0,31	Hereford	<i>Ídem</i>
0,29	0,71	0,08	0,42	0,50	Limousin	<i>Ídem</i>
0,46	0,54	0,00	0,92	0,08	Brahman	Parra-Bracamonte <i>et al.</i> , 2007
-	-	0,23	0,50	0,27	Senepol	Bosques, 2007
-	-	0,00	0,50	0,50	Angus	<i>Ídem</i>
-	-	0,00	0,25	0,75	Charolais	<i>Ídem</i>
-	-	0,00	0,09	0,91	Brahman	<i>Ídem</i>
0,22	0,78	0,05	0,35	0,61	Angus	Gill <i>et al.</i> , 2009
0,07	0,93	0,00	0,05	0,95	Brahman	Frylinck <i>et al.</i> , 2009
0,34	0,66	0,16	0,37	0,47	Nguni	<i>Ídem</i>
0,08	0,92	0,02	0,12	0,86	Pinzgauer	Gábor <i>et al.</i> , 2009
0,16	0,84	0,00	0,32	0,68	Charolais	<i>Ídem</i>
-	-	0,05	0,39	0,56	Brangus	Miquel <i>et al.</i> , 2009
0,15	0,85	0,00	0,30	0,70	Charolais	Parra-Bracamonte <i>et al.</i> , 2009
-	-	0,00	0,07	0,93	Brahman (NSW)	Café <i>et al.</i> , 2010
-	-	0,02	0,14	0,84	Brahman (WA)	<i>Ídem</i>
0,01	0,99	0,00	0,02	0,98	Nelore	Curi <i>et al.</i> , 2010
0,08	0,92	0,00	0,17	0,83	Canchim	<i>Ídem</i>
0,07	0,93	0,00	0,13	0,87	Braunvieh	<i>Ídem</i>

**Tabla 2**  
**Frecuencias alélicas y genotípicas de CAPN4751 en diferentes razas**

Marcador CAPN4751						
C	T	CC	CT	TT	Raza	Fuente
0,49	0,51	0,25	0,49	0,26	Brangus	Corva <i>et al.</i> , 2007
0,49	0,51	0,00	0,99	0,01	Brahman	Parra-Bracamonte <i>et al.</i> , 2007
-	-	0,18	0,53	0,29	Angus	Bosques, 2007
-	-	0,18	0,51	0,31	Charolais	<i>Ídem</i>
-	-	0,32	0,46	0,22	Senepol	<i>Ídem</i>
-	-	0,00	0,47	0,53	Cebú	<i>Ídem</i>
-	-	0,00	0,48	0,52	Brahman	<i>Ídem</i>
0,18	0,82	0,06	0,26	0,68	Brahman	Frylinck <i>et al.</i> , 2009

Tabla 2 (Continuación)

Marcador CAPN4751						
C	T	CC	CT	TT	Raza	Fuente
0,23	0,77	0,05	0,35	0,60	Simmental	Ídem
0,60	0,40	0,40	0,40	0,20	Nguni	Ídem
0,70	0,30	0,41	0,57	0,02	Pinzgauer	Gábor <i>et al.</i> , 2009
0,58	0,42	0,23	0,69	0,08	Charolais	Ídem
0,42	0,58	0,14	0,57	0,29	Charolais	Parra-Bracamonte <i>et al.</i> , 2009
-	-	0,04	0,26	0,70	Brahman (NSW)	Café <i>et al.</i> , 2010

En adición a los hallazgos existentes, se ha logrado obtener información sobre el efecto de haplotipos en el gen de la Calpaína sobre la expresión de características de calidad de la carne. Los haplotipos son combinaciones de alelos de diferentes loci en un cromosoma que podrían transmitirse juntos a la descendencia, por encontrarse cercanos en la secuencia del DNA. En este sentido, se ha determinado la existencia de algunas combinaciones de polimorfismos dentro del gen CAPN, categorizadas como favorables o desfavorables en función de su relación con la terneza, en diferentes razas taurinas (Angus, Hereford, Simmental, Charolais), cebuínas (Brahman) y sus cruces (Brangus) (Corva *et al.*, 2007; Frylinck *et al.*, 2009).

Por su parte, dentro del gen involucrado en la codificación de la proteína Calpastatina, existen polimorfismos de gran interés como el SNP CAST2959, el cual se ubica en la región no traducida 3' y consta de una transición entre Adenina/Guanina (A/G) (Barendse, 2002), y que según la literatura ha sido asociado a carnes tiernas. Casas *et al.* (2006) determinaron la asociación de este polimorfismo previamente identificado por Barendse (2002), con la terneza de la carne. Estos resultados dieron lugar al surgimiento de pruebas comerciales para detectar predisposición a la terneza de la carne de ganado bovino. La prueba comercial GeneSTAR Tenderness Panel (Bovigen LLC, Harahan, LA), además de evaluar el polimorfismo CAST2959, contiene los SNP CAPN316 y CAPN4751 y se encuentra al alcance de los productores. Estudios sucesivos compartieron los resultados obtenidos más tarde. Curi *et al.* (2008) en la evaluación del SNP CAST2959 determinaron la prevalencia del alelo favorable para terneza (A) en animales *Bos indicus* y sus cruces mediante la técnica PCR-RFLP. Por otro lado, Li *et al.* (2010) pudieron asociar significativamente el polimorfismo CAST2959, así como el CAST2870, reportado por primera vez por Corva *et al.*, 2007, con la terneza medida usando el método de resistencia al corte de Warner Bratzler, identificando la prevalencia de los alelos favorables (A y G para CAST2959 y CAST2870 respectivamente) en una raza bovina china nativa, utilizando la técnica RFLP (Tabla 3).

**Tabla 3**  
**Frecuencias alélicas y genotípicas de CAST2959 en diferentes razas**

Marcador CAST2959					Raza	Fuente
A	G	AA	AG	GG		
0,94	0,06	0,88	0,11	0,01	Charolais x Angus	Eenennaam <i>et al.</i> , 2007
0,59	0,41	0,34	0,50	0,16	Hereford	<i>Ídem</i>
0,66	0,34	0,43	0,46	0,11	Brahman	<i>Ídem</i>
0,89	0,12	0,78	0,21	0,01	Angus	<i>Ídem</i>
0,84	0,16	0,70	0,28	0,02	Hereford	<i>Ídem</i>
0,98	0,02	0,97	0,03	0	Shorthorn	<i>Ídem</i>
0,57	0,43	0,32	0,50	0,18	Brahman	<i>Ídem</i>
0,70	0,30	-	-	-	Canchim	<i>Ídem</i>
0,85	0,15	-	-	-	Rubia G x Nelore	<i>Ídem</i>
0,84	0,16	-	-	-	Brangus	<i>Ídem</i>
0,73	0,27	-	-	-	Pardo Suizo	<i>Ídem</i>
-	-	0,40	0,43	0,17	Brahman (NSW)	Café <i>et al.</i> , 2010
-	-	0,32	0,44	0,24	Brahman (WA)	<i>Ídem</i>
0,75	0,25	0,50	0,50	0,00	Quincham	<i>Ídem</i>
0,63	0,37	0,40	0,47	0,13	Luxi	<i>Ídem</i>
0,65	0,35	0,55	0,21	0,24	Angus	<i>Ídem</i>
0,72	0,28	0,56	0,33		0,11	

## CONCLUSIONES

El conocimiento de estas herramientas no invasivas permitirían lograr la identificación y la selección de los mejores individuos para permitir su reproducción masiva y transmisión de dicho potencial a su descendencia, lo cual daría un gran auge al fomento de rebaños locales adaptados a nuestro medio, más aún, con características de calidad y mayor valor agregado. Los estudios de asociación utilizando marcadores genéticos deben ser validados en poblaciones locales, debido a que cada grupo existente posee patrones genéticos particulares, y por tanto, basar la mejora genética del rebaño local tomando en cuenta datos de razas especializadas y bajo condiciones agroecológicas diferentes llevaría a resultados erróneos, tal como se ha comprobado. La caracterización de los recursos genéticos locales puede ser una base para diseñar programas futuros de selección y para validar tecnologías previamente desarrolladas, con lo que se reducen los costos y tiempo de diseño experimental.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Atencio A. 2007. Brahman en Venezuela: pasado, presente y porvenir de la raza. XI Seminario Manejo y Utilización de Pastos y Forrajes en Sistemas de Producción Animal pp. 65-77.
- Barendse W. 2002. DNA markers for meat tenderness. International patent application PCT/AU02/00122. International patent publication WO 02/064820 A1. Disponible en <http://ep.espacenet.com>, 660-661

- Bosques J. 2007. Segregación de polimorfismos identificados en los genes de  $\beta$ -Calpaína y Calpastatina y su relación con el crecimiento corporal y características de la canal de bovinos para carne en puerto rico. Universidad de Puerto Rico, Trabajo de grado de Maestría, 124 pp.
- Café, L., McIntyre, B., Robinson, D., Geesink, G., Barendse, W., Greenwood, P. 2010. Production and processing studies on calpain-system gene markers for tenderness in Brahman cattle: 1. Growth, efficiency, temperament, and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.*, 88 (1): 3047-3058
- Casas, E., White, S., Wheeler, T., Shackelford, S., Koohmaraie, M., Riley, D., Chase, C., Johnson, D., Simth, T. 2006. Effects of calpastatin and  $\beta$ -calpain markers in beef cattle on tenderness traits. *J. Anim. Sci.*, 84 (1): 520-525
- Castro, C., Ríos, M., Ariza, M., Leal, J., García, N., Bedoya, M., Ortiz, Y., Muños, M., Jiménez, L., Perdomo, C., Jiménez, A. 2011. Asociación de polimorfismos de nucleótido simple en los genes CAPN1, CAST, MB Y PRKAG3 a color de la carne en ganado cebú y sus cruces. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal* (1): 461-464
- Corva, P., Soria, L., Schor, A., Villarreal, E., Pérez-Cenci, M., Motter, M., Mezzadra, C., Melucci, L., Miquel-Paván, E., Depetris, G., Santini, F., Grigera-Naón, J. 2007. Association of CAPN1 and CAST gene polymorphisms with meat tenderness in *Bos taurus* beef cattle from Argentina. *Genet. Mol. Biol.* 30 (4): 1064-1069.
- Curi, R., Chardulo, L., Giusti, J., Silveira, A., Martins, C., Oliveira, H. 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 Sci.* 86 (1): 915-920.
- Curi, R., Salinas-Fortes, M., Loyola-Chardulo, L., Silveira, A., Beni-Arrigoni, M., Martins, C., Assumpção, M., Nunes-Oliveira, H. 2009. Genetic polymorphisms related to meat traits in purebred and crossbred Nelore cattle. *Pesquisa Agropecuaria brasileira* 44 (12): 1660-1666.
- Eenennaam, A., Li, J., Thallman, R., Quaas, R., Dikeman, M., Gill, C., Franke, D., Thomas, M. 2007. Validation of commercial DNA tests for quantitative beef quality traits. *J. Anim. Sci.* 85 (1): 891-900.
- Frylinck, L., Wyka, G., Smith, T., Strydom, P., Marle-Köster, E., Webb, E., Koohmaraie, M., Smith, M. 2009. Evaluation of biochemical parameters and genetic markers for association with meat tenderness in South African feedlot cattle. *Meat Sci.* 83 (1): 657-665.
- Gábor, M., Trakovická, A., Miluchová, M. 2009. Identifikácia dvoch SNP markerov CAPN316 a CAPN4751 kandidátskeho génu CAPN1 pre jcmnosú mäsa hovädzieho dobytku metódou ARMS-PCR. *Nitra Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae* (1): 178-184.
- Gill, J., Bishop, S., McCorquodale, C., Williams, J., Wiener, P. 2009. Association of selected SNP with carcass and taste panel assessed meat quality traits in a commercial population of Aberdeen Angus-sired beef cattle. *Genet. Sel. Evol.* 41 (36): 1-12.
- Li, J., Zhang, L., Gan, Q., Li, J., Gao, H., Yuan, Z., Gao, X., Chen, J., Xu, S. 2010. Association of CAST Gene Polymorphisms with Carcass and Meat Quality Traits in Chinese Commercial Cattle Herds. *J. Anim. Sci.* 23 (11): 1405-1411.
- Majidi, A., Panandam, J., Sazili, A., Siraj, S. 2009. Characterization of Bovine Calpastatine Gene in Nelore Cattle Using Polymerase Reaction-Restricted Fragment Polymorphisms. *Am. J. Anim. Vet. Sci.* 4 (4): 92-94.
- Martínez, R., Quiceno, J., Gallego, J., Mateus, H., Rodríguez, O., Medina, P., Ballesteros, H. 2012. Growth performance of Blanco Orejinegro and Romosinuano bullocks on pasture. *Rev. Col Cien. Pec.* 25 (1): 36-45.

- Miquel, M., Villarreal, E., Mezzadra, C., Melucci, L., Soria, L., Corva, P., Schor, A. 2009. The association of CAPN1 316 marker genotypes with growth and meat quality traits of steers finished on pasture. *Genet. Mol. Biol.* 32 (3): 491-496
- Motter, M., Corva, P., Krause, M., Pérez-Cenci, M., Soria, L. 2009. Rol de la Calpastatina en la variabilidad de la Terneza de la Carne Bovina. *J. Bas. App. Genet.* 20 (1): 15-24.
- Page, B., Casas, E., Heaton, M., Cullen, N., Hyndman, D., Morris, C., Crawford, A., Wheeler, T., Koohmaraie, M., Keele, J., Smith, T. 2002. Evaluation of single-nucleotide polymorphisms in CAPN1 for association with meat tenderness in cattle. *J. Anim. Sci.* 80 (1): 3077-3085.
- Parra-Bracamonte G, Sifuentes-Rincón A, De la Rosa-Reyna X, Arellano-Vera W. 2011. Avances y perspectivas de la biotecnología genómica aplicada a la ganadería en México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems.* 14 (1):1025-1037.
- Parra-Bracamonte, G., Sifuentes-Rincón, A., Arellano-Vera, W., Almanza-González, A., De la Rosa-Reyna, X. 2009. Tipificación de tres marcadores genéticos de caracteres de importancia comercial en ganado Charolais: implicaciones en la ganadería para carne en México. *Rev. Col. Cien. Pec.* 22 (1): 257-266.
- Parra-Bracamonte, G., Martínez-González, J., García-Esquivel, F., González-Reyna, A., Briones-Encinia, F., Cienfuegos-Rivas, E. 2007. Tendencias genéticas y fenotípicas de características de crecimiento en el ganado Brahman de registro de México. *Rev. Cientif. (FCV-LUZ)* 17 (3): 262-267.
- Pfizer, J., Assfalg-Machleidt, I., Machleidt, W., Schaschke, N. 2008. Inhibition of human mu-calpain by conformationally constrained calpastatin peptides. *Biol. Chem.* 389 (1): 83-90.
- Pinto, L., Ferraz, J., Meirelles, F., Eler, J., Rezende, F., Carvalho, M., Almeida, H., Silva, R. 2010. Association of SNPs on CAPN1 and CAST genes with tenderness in Nellore cattle. *Genet. Mol. Res.* 9 (3): 1431-1442.
- Rincón, G., Medrano, J. 2006. Assays for genotyping single nucleotide polymorphisms in the bovine, *Journal compilation. International Society for Animal Genetics*, página 1430.
- Salinas, M. 2007. Polimorfismos dos genes CAPN1, CAST, LEP, TG y DGTA1 como possíveis indicadores da qualidade da carne em bovinos zebuínos e cruzados abatidos em idade joven. *Universidad de Sao Paulo. Trabajo de grado de Maestría*, 87 pp.
- Suzuki, K., Hata, S., Kawabata, Y., Sorimachi, H. 2004. Structure, Activation, and Biology of Calpain. *Diabetes*, 53 (1): 12-18.
- Uzcátegui, S. 2010. Polimorfismos de los genes -Calpaína y Calpastatina y asociación con las características de calidad de la carne de animales doble propósito. *Universidad del Zulia. Trabajo de ascenso para optar a la categoría de profesor titular en el escalafón universitario*, 68 pp.
- White, S., Casas, E., Wheeler, T., Shackelford, S., Koohmaraie, M., Riley, D., Chase, C., Johnson, D., Keele, J., Smith, T. 2005. 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.* 83 (1): 2001-2008
- Zhou, H., Hickford, J. 2008. Allelic variation of the bovine calpastatin (CAST) gene. *Mol. Cel. Prob.* 22 (1): 129-130.