

MARCADORES MOLECULARES DE TERNEZA

ANGUS



HEREFORD



SHORTHORN



Sonsmard®



CONSEJO DE REPRESENTANTES

PRESIDENTE

- **Gonzalo Alvarez Maldonado**

Confederación Intercooperativa Agropecuaria
Cooperativa Limitada (CONINAGRO)

VICEPRESIDENTE

- **Miguel Schiariti**

Cámara de la Industria y Comercio de Carnes y Derivados
de la Republica Argentina (CICCRA)

CONSEJEROS TITULARES

- **Dardo Chiesa**

Confederaciones Rurales Argentinas (CRA)

- **Arturo Llavallo**

Sociedad Rural Argentina (SRA)

- **Pedro Peretti**

Federación Agraria Argentina (FAA)

- **Daniel Urcía**

Federación de Industrias Frigoríficas Regionales
Argentinas (FIFRA)

- **Américo Bermejo**

Cámara Argentina de la Industria Frigorífica (CADIF)

- **Lorenzo Basso**

Ministerio de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos

CONSEJEROS SUPLENTE

- **Roberto Trossero**

(CONINAGRO)

- **Héctor Lescarbura**

(CICCRA)

- **Martín Rapetti**

(CRA)

- **Juan José Grigera Naón**

(SRA)

- **Mariano Bondone**

(FAA)

- **Jorge Torelli**

(FIFRA)

- **Angel Vitale**

(CADIF)

- **Lorenzo Basso**

(MAGPA)

SINDICO

- Marisa Alfiz

AUDITORIA EXTERNA

- Estudio Dealecsandris y Asociados

CONSEJO ASESOR (entidades)

Asociación de Productores Exportadores Argentinos (APEA) - Cámara Argentina de Productores de Carne Vacuna (CAPVC) - Asociación Argentina de Angus - Asociación de Productores de Carne Bovina Argentina (APROCABO) - Federación Gremial del Personal de la Industria de la Carne y sus Derivados - Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto - Centro de Consignatarios Directos de Hacienda - Cámara Argentina de Consignatarios de Ganado - Centro de Consignatarios de Productos del País - Confederación Intercooperativa Agro Cooperativa Limitada (CONINAGRO) - Mercado de Liniers S.A. - Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (AACREA) - Cámara Argentina de Engordadores de Hacienda Vacuna - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) -

UNCOGA FED.COOP.AGROP.COOP.LTDA.- Confederación de Asociaciones Rurales de Buenos Aires y La Pampa (CARBAP) - Asociación Argentina Criadores de Hereford (AACH) - Asociación Argentina Criadores de Shorthorn - Confederación de Asociaciones Rurales de la Pcia.de Santa Fe (CARSEFE) - Federación de Industrias Frigoríficas Regionales Argentinas (FIFRA) - Confederación de Asociaciones Rurales de la Tercera Zona (CARTEZ) - Asociación Argentina de Brangus - Cámara de Frigoríficos de Argentina (CAFRA) - Instituto Certificador de la Industria Cárnica Argentina (ICICA) - Asociación de Cooperativas Argentinas (Cooperativa Limitada) (ACA) - Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) - Federación de Asociaciones Rurales de Entre Ríos (FARER) - Asociación Braford Argentina (ABA) - Asociación Argentina de Criadores de Bonsmara (AACB).



Por Dardo Chiesa
Consejero del IPCVA

MARCADORES MOLECULARES DE TERNEZA Y CALIDAD DE CARNE

Desde su inicio, el Instituto de Promoción de la Carne Vacuna Argentina (IPCVA) ha trabajado, como la ley de creación lo indica, en todos aquellos aspectos que permiten sostener y mejorar la calidad de nuestras carnes bovinas.

Es así como se han desarrollado distintos estudios técnicos con las más prestigiosas universidades y grupos de estudio, además de trabajar mancomunadamente con otras entidades del sector y las asociaciones de criadores de las diferentes razas.

En este caso, presentamos los resúmenes de los primeros cuatro trabajos sobre marcadores moleculares de terneza, realizados conjuntamente con las asociaciones de Angus, Hereford, Shorthorn y Bonsmara.

Estos estudios, nunca antes realizados en nuestro país, buscan cubrir la falta de información existente sobre la capacidad que tiene nuestro rodeo de transmitir la terneza - uno de los atributos cada vez

más demandados por los consumidores de todo el mundo -, a su descendencia.

Los resultados de estas investigaciones permiten contar con una herramienta práctica para el mejoramiento del ganado y la calidad de la carne, siendo que hasta el momento la evaluación de la terneza solamente podía realizarse "*post mortem*". Se trata de implementar una metodología de selección de reproductores por medio de marcadores moleculares, que provee a los productores de criterios de selección objetivos, sin tener que esperar a la faena del animal o de su descendencia.

Más allá de que no solamente intervienen factores genéticos en la terneza de la carne (también inciden en ella los ambientales, la alimentación, la manipulación "*post mortem*", el colgado de la res, etc.), la selección mediante marcadores moleculares brindará a la cadena de ganados y carnes del país una herramienta certera para mejorar el alimento más emblemático de la Argentina.

Introducción / Algunos antecedentes	PAG. 3
Raza ANGUS. Terneza Selección Asistida por Marcadores Moleculares	PAG. 5
Raza HEREFORD. Aspectos genéticos de la terneza.	PAG. 13
Raza SHORTHORN. Aspectos genéticos de la terneza	PAG. 19
Raza BONSMARA. Aspectos genéticos de la terneza	PAG. 23

Introducción

La calidad de la carne constituye un importante factor de interés económico. El color, el porcentaje de grasa intramuscular (marmóreo o veteadado), el área de ojo de bife y la palatabilidad son los principales atributos que determinan la calidad de las carnes bovinas.

La palatabilidad es una característica compuesta por la combinación de tres factores: sabor, jugosidad y ternieza. Está comprobado que esta última es el atributo más apreciado por los consumidores.

Sin embargo, la ternieza constituye una característica de compleja medición en el momento de la faena. La selección clásica de reproductores por ternieza, a través de la medición objetiva de la "fuerza de corte Warner-Bratzler" (WBSF), no ha resultado una herramienta útil o práctica para el mejoramiento del ganado.

Por lo tanto, acceder a una metodología de selección asistida por marcadores moleculares proveería de una nueva herramienta de selección objetiva para el mejoramiento genético de la ternieza en los rodeos bovinos de carne, sin tener la necesidad de faenar las progenies de los toros padres y evitando la demora en tiempo y costo que esto siempre implica.

El proceso de tiernización "post mortem" de la carne se debe a la acción de dos enzimas: la Calpaína y la Calpastatina que, actuando en forma coordinada, degradan las proteínas de las fibras musculares a partir del momento de la faena.

La actividad de ambas enzimas depende de factores, como la acidez, la tempera-

tura y la presencia de Calcio, de allí la importancia del cuidado de estas variables, evitando el estrés previo a la faena.

Algunos antecedentes

Las enzimas responsables de la tiernización de la carne son las catepsinas y el sistema calpaina-calpastatina. En los últimos años, estudios realizados en el genoma bovino en Estados Unidos y Australia, por comparación entre rodeos productores de carnes con altos índices de ternieza y rodeos que proporcionan carnes de menor calidad, han identificado diversas mutaciones puntuales (single nucleotide polymorphisms, SNPs) en los genes de la Calpastatina (CAST) y de la Calpaína (CAPN1), las dos enzimas que intervienen en los procesos de tiernizado post mortem de la carne, que están asociadas a variaciones en la ternieza en las subespecies *Bos taurus* y *Bos indicus*. Entre ellos se encuentran, en el cromosoma 29, sobre el gen de la Calpaína, los marcadores CAPN1₃₁₆, y CAPN1₄₇₅₁, y en el cromosoma 7, sobre el gen de la Calpastatina, los marcadores CAST₂₉₅₉ y CAST_{U0G}.

La "fuerza de corte Warner-Bratzler" (WBSF) es una medida objetiva que estima la cantidad de fuerza que se requiere para cortar un cubo de 1,27 cm³ de carne en condiciones estándares de cocción, y constituye un indicador de ternieza que predice la sensación potencial que se experimentaría al ingerir un determinado corte. El uso de esta técnica permitió la correlación de la ternieza (medida en forma objetiva) con la presencia de las variables más o menos favorables de los marcadores genéticos.

Algunos grupos de investigación independientes han realizado evaluaciones imparciales y objetivas para confirmar y validar la existencia de correlación entre los marcadores genéticos y los valores medidos de WBSF.

En el 2007 se publicó un trabajo de colaboración entre el National Beef Cattle Evaluation Consortium (<http://www.nbcec.org>) (integrado por las Universidades de Colorado, Cornell, Georgia, Iowa, Kansas y Kentucky), el US Meat Animal Research Center y las Universidades de California, Texas, Louisiana y Nuevo México.

Este trabajo, que incluyó más de 1.300 animales, ha demostrado que los individuos con las variantes más favorables para los marcadores de Calpaína y Calpastatina tienen una correlación altamente significativa ($P < 0,001$) con la ternura de la carne, medida mediante el método de Warner-Bratzler.

CALIDAD DE CARNE:

ANGUS

Terneza. Selección Asistida por Marcadores Moleculares (SAM).



Autores

**Por la Unidad de Genética Animal :
-Instituto de Genética- INTA Castelar:
Guitou H., Monti A., Baluk M.I., Ellinger
A.**

**Por la Asociación Argentina de AnGus
- Programa ERA: Bustillo A., Fernández
Alt M.**

**Por AgroCiencia: Matilla S., Sáez G., Pé-
rez Lloret J., Herrmann P.**

Por el INGEBI - CONICET: Schijman A.

Este trabajo se realizó gracias al apoyo financiero brindado por el IPCVA y AgroCiencia, y a la colaboración de los criadores de la raza AnGus.

Introducción

La calidad de la carne bovina constituye un importante factor de interés económico. Entre todos los atributos que contribuyen a la calidad, se ha comprobado que la ternera es el más apreciado por los consumidores.

A diferencia de otras características detectables en el animal vivo, la ternera no es verificable hasta después de la faena. Una vez muerto el animal, existen dos formas de detectar ternera: una, por estudios subjetivos con "paneles de expertos en degustación", y la otra, mediante la medición objetiva de la "resistencia al corte" por el método de Warner-Bratzler" (WBSF), que utiliza una guillotina calibrada.

Ambos métodos no han resultado herramientas útiles o prácticas para la selección de reproductores por ternera, pues nadie desea matar al potencial reproductor, lo cual nos lleva a faenar sus novillos. Estas pruebas de progenie, que nos llevarían 4 ó 5 años, son costosas en tiempo y dinero. Más aún, el número de reproductores que se podrían evaluar anualmente es muy limitado. Consecuentemente, estos dos últimos métodos mencionados previamente no se aplican actualmente desde el punto de vista de generar datos para los Resúmenes de Padres. Los estudios de ADN para detectar la presencia de marcadores moleculares asociados a ternera tienden a buscar otras soluciones a este problema. En este

sentido, la Asociación Argentina de Angus ha iniciado estudios de su población, obteniendo las frecuencias genotípicas y génicas de cuatro marcadores moleculares asociados a ternera, los que están validados por el National Beef Cattle Evaluation Consortium (NBCEC - www.nbcec.org).

Marcadores moleculares

Se denomina marcador molecular a mutaciones o variantes genéticas (alélicas) (SNPs - Single Nucleotide Polymorphisms) en los individuos que se pueden asociar a determinadas características de interés económico.

Numerosos trabajos científicos han demostrado que el tiernizado post-mortem de la carne en las subespecies *Bos taurus* y *Bos indicus* se debe, principalmente, a la existencia de dos enzimas, la calpaína y la calpastatina, que actuando en forma coordinada degradan las proteínas de los músculos, disminuyendo el rigor mortis que se produce luego de la faena.

En los últimos años, científicos de Estados Unidos y Australia han identificado, en los genes de las enzimas calpaína y calpastatina, mutaciones o variantes genéticas (SNPs) asociadas a mayor y a menor ternera. Dichas mutaciones se denominan marcadores moleculares de ternera. Los marcadores que más se utilizan en la actualidad

son: calpastatina₂₉₅₉, calpastatina_{UoG}, calpaína₃₁₆ y calpaína₄₇₅₁.

Para cada marcador se ha encontrado una variante alélica más favorable a la ternera (+) y una menos favorable (-). Al tener los bovinos dos alelos de cada gen, uno proveniente del padre y otro de la madre, para un animal hay entonces tres genotipos posibles para cada marcador.

Dado que la capacidad de predecir ternera de los cuatro marcadores es aditiva, a mayor cantidad de las variantes alélicas más

favorables, mayor probabilidad de obtener individuos con carne tierna.

Los marcadores de ternera se transmiten en forma mendeliana directa. Por lo tanto, los individuos homocigotas [++] para un marcador, transmiten al 100% de su descendencia la variante alélica (+), mientras que los heterocigotas [+ -] transmiten al 50% de sus hijos la variante alélica (+) y al otro 50% la variante alélica no favorable (-).

Selección de reproductores por ternera

Desde 1989, la Asociación Argentina de AnGus lleva adelante el Programa ERA (Evaluación de Reproductores AnGus), basado en medidas objetivas sobre características asociadas a la eficiencia reproductiva, la precocidad de crecimiento, el rendimiento y la calidad de la carne. En el marco del Programa ERA, actualmente se analizan doce características cuantitativas de interés económico haciendo uso del Modelo Animal, el cual permite obtener evaluaciones obje-

Validación científica

En el año 2007, el National Beef Cattle Evaluation Consortium (www.nbcec.org), de Estados Unidos, realizó un trabajo de validación, que incluyó más de 1300 animales de diferentes razas, en el que se demostró que existe una relación "altamente significativa" ($P < 0,001$) entre los marcadores moleculares y la ternera de la carne, medida mediante el método de Warner-Bratzler.

Genotipo óptimo:

[++] = Homocigota mayor ternera (++) . El animal posee dos alelos con la variante más favorable del gen.

Otros genotipos:

[+ -] = Heterocigota (+-). El animal posee un solo alelo de la variante alélica más favorable del gen.

[- -] = Homocigota menor ternera (--). El animal no posee ningún alelo de la variante más favorable del gen.

Para cuatro marcadores, el animal con el genotipo más favorable a la ternera es ocho alelos favorables (++ ++ ++ ++)

calpastatina₂₉₅₉ [++] / calpastatina_{UoG} [++] / calpaína₃₁₆ [++] / calpaína₄₇₅₁ [++]

y el animal con el genotipo menos favorable es (-- -- -- --)

calpastatina₂₉₅₉ [--] / calpastatina_{UoG} [--] / calpaína₃₁₆ [--] / calpaína₄₇₅₁ [--]

Diferencias objetivas en la terneza

Entre los individuos con los genotipos más y menos favorables (8 positivos versus 8 negativos), existe una diferencia en la terneza de más de 1,4 kilos (30%), medida con el método de Warner-Bratzler a los 14 días post faena, de acuerdo con la validación del National Beef Cattle Evaluation Consortium (www.nbcec.org) realizada en Estados Unidos (Journal of Animal Science, mayo 2007).

tivas en base a DEP (Diferencias Esperadas entre Progenies), con propiedades estadísticas denominadas BLUP (Best Linear Unbiased Prediction). En la última década, la selección de reproductores por calidad de carne ha sido una de las prioridades que la Asociación Argentina de AnGus viene concretando. Prueba de ello es la medición objetiva de área de ojo de bife, % de grasa intramuscular, espesor de grasa dorsal y espesor de grasa de cadera, usando técnicas de ultrasonido en el animal en vivo, y transformando posteriormente dichas mediciones en Diferencias Esperadas entre Progenies (DEP), para producir cambios direccionales en estas importantes características de interés económico.

Sin embargo, con el objetivo de evaluar la posibilidad de agregar al ERA otra característica muy relevante en lo que respecta a calidad de carne, como lo es su terneza, se realizó el presente trabajo tendiente a medir las frecuencias génicas de las variantes alélicas favorables y no favorables de los marcadores calpaína₃₁₆, calpaína₄₇₅₁, calpastatina₂₉₅₉ y calpastatinaUoG en la población AnGus de la Argentina, ya que

todo plan de Selección Asistida por Marcadores Moleculares (SAM) debe iniciarse con el conocimiento de las frecuencias génicas de las que se parte, dado que el mejoramiento animal se basa en aumentar la frecuencia génica de los alelos favorables en la población.

En el año 2005, la Asociación Argentina de AnGus inició los trabajos con el Dr. Horacio Guitou (Unidad de Genética Animal del Instituto de Genética del INTA – Castelar), con el Dr. Alejandro Schijman (Instituto de Ingeniería Genética y Biología Molecular -INGE-BI- del CONICET) y con el Dr. Patricio Herrmann (Laboratorio de Biología Molecular de AgroCiencia) para el desarrollo de los análisis de ADN que detectan la presencia o ausencia de los marcadores moleculares asociados a la terneza de la carne vacuna, a través de pelo, sangre o semen.

Los trabajos realizados desde entonces han permitido incluir en el ERA los genotipos de los reproductores estudiados, a los fines de identificar los reproductores que aportan o no a los rodeos, genes favorables asociados a la terneza.

El acceso a estos análisis provee a los criadores de una herramienta que proporciona criterios de selección objetivos, sin tener que esperar a la faena del potencial reproductor o de su descendencia. Este sistema de selección se denomina Selección Asistida por Marcadores Moleculares (SAM).

A continuación ilustramos la forma en que se incorpora al Resumen de Padres AnGus la información de los cuatro marcadores moleculares asociados a terneza, de acuerdo al genotipo que posee cada reproductor en particular.

Resumen de Padres AnGus 2010

Nombre	HBA Año	Crs Rds	Gest	Nacer	Dest	Leche	Final	CE	Altura	EGD	EGC	AOB	%GI	%CM	Terneza (SAM)*			
			DEP Prec	CAST 2959	CAST UoG	CAPN1 316												
Nombre del toro P: Nombre del padre	HBA	1207	-1,2	+0,7	+4,0	+6,5	+10,9	+1,1	+2,3	+0,1	0,0	-1,2	-0,1	-0,1	++	--	+ -	+ -
M: Nombre de la madre	1996	10	0,96	0,99	0,99	0,93	0,97	0,97	0,98	0,91	0,91	0,90	0,89	0,90				

(*)Selección Asistida por Marcadores Moleculares

Frecuencias génicas y genotípicas de los marcadores de terneza en la raza AnGus de la Argentina

En el año 2008 se publicaron en el Resumen de Padres AnGus las frecuencias génicas y genotípicas de los marcadores calpastatina₂₉₅₉, calpaína₃₁₆ y calpaína₄₇₅₁ en más de 300 reproductores de pedigree que mejor representan el patrimonio genético de la raza en la Argentina.

Posteriormente se desarrolló el análisis para detectar la presencia de la mutación calpastatina_{UoG}, descubierta por investigadores de la Universidad de Guelph (Ontario, Canadá), por lo que en el año 2009 se procesaron dichos animales para determinar la frecuencia de este marcador.

A continuación presentamos los resultados de las frecuencias génicas y genotípicas obtenidas para los citados cuatro marcadores en nuestra población AnGus.

Discusión

El número de reproductores estudiados (n=303) y el tipo de muestreo realizado permiten obtener importantes conclusiones sobre las frecuencias génicas y genotípicas en la población de animales AnGus de pedigree de la Argentina. Hasta el presente, en la bibliografía internacional no existen datos de frecuencias génicas y genotípicas poblacionales, sino sólo datos de frecuencias obtenidos en rodeos de referencia constituidos para diversos fines.

Las frecuencias génicas obtenidas en la raza AnGus, en el presente trabajo, se comparan en la Tabla II con las frecuencias génicas esperadas para rodeos Bos taurus publicadas en la bibliografía internacional. Para el marcador calpastatina₂₉₅₉, la frecuencia génica obtenida del alelo favorable (f=0,916) se correlaciona muy bien con las frecuencias génicas publicadas en la bibliografía (f entre 0,80 y 0,94). En cam-

Tabla I: Frecuencias génicas y genotípicas para cada marcador.

Genotipo	Calpastatina ₂₉₅₉		Calpastatina _{UoG}		Calpaína ₃₁₆		Calpaína ₄₇₅₁	
	Nº de animales	%	Nº de animales	%	Nº de animales	%	Nº de animales	%
[++]	257	84,0%	186	63,1%	37	12,1%	158	52,1%
[+ -]	47	15,4%	100	33,9%	105	34,3%	125	41,3%
[- -]	2	0,7%	9	3,1%	164	53,6%	20	6,6%
Total	306	100,0%	295	100,0%	306	100,0%	303	100,0%
% Variante (+)	91,6% (f=0,916)		80,0% (f=0,800)		29,2% (f=0,292)		72,8% (f=0,720)	
% Variante (-)	8,4%		20,0%		70,8%		27,2%	

Tabla II: Frecuencias génicas para las variantes de mayor terneza (+) de cada marcador estudiado, en la raza AnGus en la Argentina.

Marcador de Terneza	Frecuencia génica (%) obtenida	Frecuencia génica esperada para <i>Bos taurus</i>
Calpastatina ₂₉₅₉	91,6%	80,0% - 94,0%
Calpastatina _{UoG}	80,0%	60,0% - 80,0%
Calpaína ₃₁₆	29,2%	20,0% - 25,0%
Calpaína ₄₇₅₁	72,8%	45,0% - 65,0%

bio, la frecuencia obtenida para el marcador calpastatina₂₉₅₉ ($f=0,800$) se encuentra en el rango más alto de lo esperado, mientras que para los marcadores calpaína₃₁₆ ($f=0,294$) y calpaína₄₇₅₁ ($f=0,728$), la frecuencia obtenida es algo mayor que la encontrada en la bibliografía.

Dado que ya existe información confiable, generada en el país y en el extranjero, sobre la utilidad de los tests para terneza con marcadores moleculares, la información sobre las frecuencias génicas relativas de las diferentes variantes de cada marcador en nuestra población AnGus es el primer paso de cualquier planteo de mejoramiento genético. Además, el presente trabajo nos permitió decidir la incorporación de la información en los reproductores estudiados, de los cuatro marcadores moleculares de terneza, en nuestro Resumen de Padres AnGus.

Este trabajo muestra cómo cada reproductor puede ser evaluado actualmente con "cuatro marcadores moleculares" asociados a terneza, explicitando para cada uno la presencia o ausencia de la variante alélica más favorable de cada marcador, pudiéndose, de esta forma, hacer uso de esta información en trabajos de SAM para una característica tan reconocida como la mencionada.

Es importante destacar que el uso de la SAM es más relevante en las características económicas que tienen baja heredabilidad, son de difícil medición o se miden tardíamente (faena - pruebas de progenie) en los controles de producción. Para otras características, como el % de grasa intramuscular, el poder medir directamente el fenotipo por ecografía disminuye la importancia de los marcadores moleculares de veteado o "marbling" (% grasa intramuscular).

Cabe destacar que los cuatro marcadores moleculares estudiados indican una asociación con la característica de interés económico analizada (terneza), pero no explican el 100% de la varianza genética aditiva, sino el 20% de la misma. Sin embargo, cuando se carece de la posibilidad de la medición directa de cualquier característica de importancia económica, los marcadores moleculares validados se tornan de mayor relevancia. Este es el caso de la terneza.

CALIDAD DE CARNE:

HEREFORD

Aspectos genéticos de la terneza.



Autores

Dr. Juan Bullo
Responsable Técnico

Dr. Patricio Herrmann
Director de Proyecto

Entidades Participantes:
- Asoc. Arg. Criadores de Hereford
- Laboratorio AgroCIENCIA

Objetivos y Antecedentes

a) Objetivos

Determinar si los Marcadores Moleculares asociados a la terneza de la carne, Calpastatina₂₉₅₉, Calpaína₃₁₆, Calpaína₄₇₅₁ y Calpastatina_{UoG}, presentan en el ganado HEREFORD polimorfismo genético y medir las frecuencias génicas y genotípicas de las variantes de mayor (+) y menor (-) terneza de dichos Marcadores para su posterior uso en el "Programa de Evaluación Genética HEREFORD" (PEG) de la Asociación Argentina Criadores de HEREFORD que evalúa los reproductores de la raza o en programas de "Selección de Reproductores Asistida por Marcadores Moleculares" (SAM).

b) Antecedentes

Estudios de mapeo y asociación realizados en el genoma bovino en Estados Unidos (Smith 2000; Page 2002 y 2004; White 2005 y Casas 2006), Canadá (Schenkel 2006) y Australia (Barendse 2002) identificaron diversas mutaciones puntuales en el ADN de los genes de Calpastatina (CAST) y de Calpaína (CAPN1) asociadas a variaciones en la terneza de la carne en las subespecies *Bos taurus* y *Bos indicus*.

Además de los estudios realizados en Australia y los Estados Unidos, hay antecedentes en México (Parra Bracamonte 2007) con ganado BRAHMAN para los marcadores Calpaína₅₃₀, Calpaína₃₁₆ y Calpaína₄₇₅₁ y en la Argentina. En nuestro

país, están trabajando en estudios genéticos de terneza, la Asociación Argentina de ANGUS con los marcadores Calpastatina₂₉₅₉, Calpaína₃₁₆, Calpaína₄₇₅₁ (Guitou 2006, 2007 y 2008) y Calpastatina_{UoG} (Herrmann 2009), la Asociación Argentina de BRANGUS con Calpaína₃₁₆ y Calpaína₄₇₅₁ (Corva 2007) y la Asociación Argentina de Criadores de BONSMARA con Calpastatina₂₉₅₉, Calpaína₃₁₆ y Calpaína₄₇₅₁ (Herrmann 2008) en el marco de su protocolo sobre "Calidad de Carne BONSMARA y sus Cruzas" (Pordomingo 2008).

El IPCVA ha brindado su apoyo a las investigaciones en Marcadores Moleculares de Terneza realizadas en la Raza ANGUS para Calpastatina₂₉₅₉ y Calpaína₃₁₆ (IPCVA 2007) y en las Razas HEREFORD, BONSMARA y SHORTHORN para Calpastatina₂₉₅₉, Calpaína₃₁₆, Calpaína₄₇₅₁ y Calpastatina_{UoG} (IPCVA 2008^a, 2008^b y 2009).

Materiales y Método

a) Marcadores Moleculares

Se estudió la presencia de las variantes favorables y no favorables a la terneza de los marcadores de terneza validados por el National Beef Cattle Evaluation Consortium (www.nbcec.org) de los Estados Unidos de América (vanEenennaam 2007).

I. Calpastatina₂₉₅₉ (CAST₂₉₅₉), es una mu-

tación puntual o SNP (single nucleotide polymorphisms) producto de una transición de guanina a adenina en la base 2959 del gen CAST (GeneBank acceso #AF159246) situado en el cromosoma BTA 7 (Barendse 2002).

II. Calpaína₃₁₆ (CAPN1₃₁₆), es un SNP producto de una sustitución de guanina por citosina en la base 5709 del gen CAPN1 (GeneBank acceso #AF252504) situado en el cromosoma BTA 29 y que modifica el aminoácido en la posición 316 de la enzima (Page 2002).

III. Calpaína₄₇₅₁ (CAPN1₄₇₅₁), es un SNP originado por una transición citosina a timina en la base 6545 del gen CAPN1 (GeneBank acceso #AF248054) (White 2005). El nombre de este último marcador deriva de los trabajos realizados en el US Meat Animal Research Center (Clay, Nebraska, USA) (www.ars.usda.gov) y no tiene ninguna relación con el gen CAPN1, tanto en la secuencia del ADN (ácido desoxirribonucleico) como en la de la proteína (White 2005).

IV. CalpastatinaUoG (CAST_{UoG}), es un SNP producto de una sustitución de guanina por citosina en la base 282 del gen CAST (GeneBank acceso #AY008267) situado en el cromosoma BTA 7 y su nombre deriva de "University of Guelph" (Guelph, Ontario, Canadá) (www.uoguelph.ca) (Schenkel 2006) donde se realizaron los estudios con dicho marcador.

Los primeros tres marcadores son los mismos que los del "GeneSTAR® Tenderness3 Test" (GeneNOTE 4, 2003 y GeneNOTE 7, 2005) y difieren solo en el marcador de Calpastatina con los tres marcadores para ternera del "IGENITY TenderGENE™ Panel" (Merial 2005) que utiliza el CAST_{UoG} en lu-

gar del CAST₂₉₅₉.

b) Método de detección

La identificación de cada variante alélica se realiza sobre una muestra de ADN, obtenido a partir de bulbo piloso o semen, mediante el método de Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) con identificación del alelo presente por secuenciación del fragmento amplificado (PCR-SEC), por amplificación alelo específica (PCR-ASA) o por polimorfismo de los fragmentos de restricción (PCR-RFLP) según protocolos desarrollados en el laboratorio de Biología Molecular de AgroCiencia (Schijman 2005; Pérez Lloret 2009).

c) Interpretación de los resultados

Cada copia de la variante alélica de mayor ternera de un marcador se identifica con (+) y la cada copia de la variante alélica de menor ternera como (-). Por lo tanto, para cada marcador, los animales pueden ser homocigota para mayor ternera [++] cuando posee dos copias de la variante más favorable, homocigota para menor ternera [- -] cuando no posee ninguna copia de la variante más favorable o heterocigota [+ -] si lleva una sola copia de la variante más favorable. Para cuatro marcadores, el animal con el genotipo más favorable a la ternera posee 8 copias de las variantes de mayor ternera (+).

Calpastatina₂₉₅₉ [++] / Calpaína₃₁₆ [++] / Calpaína₄₇₅₁ [++] / Calpastatina_{UoG} [++]

y el animal con el genotipo menos favorable posee 8 copias de las variantes de menor ternera (-) y ninguna de las de mayor

(+) Calpastatina₂₉₅₉ [- -] / Calpaína₃₁₆ [- -] / Calpaína₄₇₅₁ [- -] / Calpastatina_{UoG} [- -]

A mayor cantidad de genes favorables (+) mayor terneza. Los animales con 5 genes favorables (+) o más son los mejoradores de rodeos.

d) Muestreo de los animales a estudiar
Se recibieron 294 muestras de 289 animales diferentes, ya que 5 animales fueron enviados por 2 cabañas. De los 289 animales, 180 fueron animales puros de pedigree (PP) y 109 fueron animales denominados S/. Los animales S/ son toros Puros Registrados inscritos en el Programa de Evaluación Genética (PEG) y que presentan la mejor performance frente a su grupo contemporáneo.

Los animales PP se obtuvieron a partir del listado de los 750 toros padres HEREFORD que más hijos han registrado en la SRA desde 1998.

Tabla I: Tipos de muestra

	Cantidad
Pelo	173
Semen (pajuela)	102
Semen (pastilla)	14
TOTAL	289

Los 289 animales fueron remitidos por 67 cabañas o centros de inseminación; 55 cabañas o centros enviaron los 109 animales S/ y 23 cabañas enviaron los 180 animales PP.

En la **Tabla II** se pueden ver la diversidad de origen de los 180 animales puros de pedigree.

Tabla II: Diversidad de origen, prefijos de los animales PP.	Nº de animales
AGU	1
AMM	1
ARRANQUE	2
AS	1
BADARSA	1
BAR	1
BENJAMIN	7
BTF	1
CALLVU	7
CATALINERO	6
DOMINANTE	2
DON ENRIQUE	1
DUNWALKE	1
ELREGRESO	1
FAROL	5
FTR	1
GUAICOS	14
JMS	1
JOTABE	15
LA ELISA	1
LA PIEDRA	2
LAS LILAS	17
LAUREADOS	1
LONCO PIRE	6
MARIA LUCIA	1
MIRASIERRA	5
MORO SUR	1
MURMULLOS	2
PALENQUERO	5
PVF	1
REFUCILO	4
ROSEGUI	7
SAN BENITO	6
SANTA INES	1
SATUR	1
SAUDADE	1
TRANQUERAS	23
TUYUTI	8
VILL MAR	3
WERT	8
WIND	6
WNH	1
Prefijos: 42	180

Resultados

De los 289 animales se obtuvieron 289 resultados para Calpastatina₂₉₅₉, 288 para Calpaína₃₁₆, 288 para Calpaína₄₇₅₁ y 288 para Calpastatina_{UoG}. En total 287 animales se pudieron genotipificar para los cuatro marcadores.

Dado que para cuatro marcadores existen 81 genotipos posibles y por lo tanto su análisis es demasiado complejo, se optó por ordenar los animales de acuerdo al número de genes favorables (+) presentes en los marcadores de Calpastatina y en los marcadores de Calpaína por separado. Al ordenar los animales de esta forma, 288 animales pudieron ser tipificados para ambas Calpastatinas y 287 animales para ambas Calpaínas. Su distribución se puede observar en la **Tabla III**.

Tabla III: Distribución de los animales de acuerdo a la cantidad de genes favorables para ambos marcadores de Calpastatina (CAST) o Calpaína (CAPN1)

Nº de Genes Favorables	CAST (2959 + UoG)		CAPN1 (316 + 4751)	
	Nº de Animales	%	Nº de Animales	%
3 a 4	140	48,6%	23	8,0%
2	104	36,1%	133	46,4%
0 a 1	44	15,3%	131	45,6%
Total	288	100%	287	100%

Discusión

El número de animales estudiados (n=289) y el tipo de muestreo realizado permiten obtener importantes conclusiones sobre las frecuencias génicas y genotípicas en la población de animales de raza Hereford de la Argentina.

Los resultados obtenidos, muestran la existencia de polimorfismo en la raza, dado que se han encontrado en el grupo de animales estudiados ambas variantes genéticas la de mayor (+) y la de menor (-) terneza para los cuatro marcadores Calpastatina₂₉₅₉, Calpaína₃₁₆, Calpaína₄₇₅₁ y Calpastatina_{UoG}.

Hasta el presente, en la bibliografía internacional (Van Eenennaam 2007) no existen datos de frecuencias génicas y genotípicas para estos cuatro marcadores en el mismo rodeo o población ya que en algunos se estudiaron 1 ó 2 marcadores solamente y en otros los tres marcadores de Merial® (Calpaína₃₁₆, Calpaína₄₇₅₁ y Calpastatina_{UoG}) o los tres marcadores de GeneSTAR® (Calpastatina₂₉₅₉, Calpaína₃₁₆ y Calpaína₄₇₅₁) por separado (Van Eenennaam 2007).

El ordenamiento de los animales de acuerdo al número de cruces del animal obedece a la dificultad de analizar 81 genotipos posibles y a que los marcadores son compatibles, su efecto es aditivo y no interactúan entre si (Casas 2006). Algunas empresas utilizan la sumatoria de cruces para seleccionar los mejores animales de los rodeos (GeneNOTE 7, 2005 y GeneNOTE 11, 2007).

Los resultados obtenidos muestran que el 84,7,0% de los animales estudiados poseen 2 genes favorables (+) o más para los dos marcadores de Calpastatina y el 54,4% de ellos poseen 2 genes favorables (-) o más para los dos marcadores de Calpaína. Este dato coincide con otros en la bibliografía que muestran menores frecuencias génicas para Calpaína que para Calpastatina en los rodeos estudiados.

En la Raza Hereford de la Argentina, el animal más frecuente es el que posee 3 ó 4 genes favorables (+) para Calpastatina y 1 ó 2 genes favorables (+) para Calpaína.

Calpastatina (2959 + UoG)	Calpaína (316 + 4751)	Genes Favorables (+) Totales
[+++] ó [++++]	[+] ó [++]	4 ó 5

Este trabajo muestra cómo cada reproductor puede ser evaluado actualmente con “cuatro marcadores moleculares” asociados a ternera, explicitando para cada uno la presencia o ausencia de la variante más favorable del marcador, pudiéndose, de esta forma, hacer uso de esta información en trabajos de mejora genética.

CALIDAD DE CARNE:

SHORTHORN

Aspectos genéticos de la ternera



Autores

Lic Fabián García
Responsable Técnico

Dr Patricio Herrmann
Director de Proyecto

Entidades Participantes:
- Asoc. Argentina Criadores de Shorthorn
- Laboratorio AgroCIENCIA

Objetivos

I. Determinar las frecuencias génicas y genotípicas de conocidos marcadores moleculares asociados a la terneza de la carne como son los casos de Calpastatina₂₉₅₉, Calpaína₃₁₆, Calpaína₄₇₅₁ y Calpastatina_{UoG}, en nuestra raza Shorthorn.

Materiales y Método

a) Marcadores Moleculares

Se han iniciado estudios de las frecuencias génicas de las variantes alélicas favorables (+) y no favorables (-), de los siguientes marcadores asociados a terneza:

I. Calpastatina₂₉₅₉ (CAST₂₉₅₉)

II. Calpaína₄₇₅₁ (CAPN1₄₇₅₁)

III. Calpaína₃₁₆ (CAPN1₃₁₆)

IV. Calpastatina_{UoG} (CAST_{UoG})

Nota: Los cuatro marcadores han sido validados por el National Beef Cattle Evaluation Consortium de los Estados Unidos de América. Los primeros tres marcadores son los que utilizo la empresa "GeneSTAR ® Tenderness Test" (Genetic Solutions 2003, 2005) y difieren con respecto a la empresa "IGENITY TenderGENE™ Panel" (Merial 2005) solo en el marcador de Calpastatina, pues esta ultima uso el CAST_{UoG} en lugar del CAST₂₉₅₉.

A los fines didácticos, la variante alélica de mayor terneza de un marcador se simboliza como (+) y la de menor terneza como (-). Por lo tanto, para cada marcador, los animales pueden ser ho-

mocigota para mayor terneza ([++], dos copias de la variante alélica más favorable), homocigota para menor terneza ([- -], ninguna copia de la variante alélica más favorable) o heterocigota ([+ -], una sola copia de la variante alélica más favorable).

Para cuatro marcadores, el animal con el genotipo más favorable para terneza tendrá los ocho alelos favorables (+):

Calpastatina ₂₉₅₉	Calpaína ₃₁₆	Calpaína ₄₇₅₁	Calpastatina _{UoG}
[++]	[++]	[++]	[++]

y el animal con el genotipo menos favorable para terneza tendrá los ocho alelos menos favorables (-):

Calpastatina ₂₉₅₉	Calpaína ₃₁₆	Calpaína ₄₇₅₁	Calpastatina _{UoG}
[- -]	[- -]	[- -]	[- -]

En general, a mayor cantidad de alelos favorables en un reproductor mayor probabilidad de transmitir a sus progeñes una buena terneza, una de las mas deseadas cualidades, buscadas por los consumidores.

b) Método de Detección

La identificación de cada variante alélica se realiza sobre una muestra de ADN, obtenido a partir de bulbo piloso o semen, mediante el método de Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) con identificación del alelo presente por secuenciación del fragmento amplificado (PCR-SEC), por amplificación alelo es-

pecífica (PCR-ASA) o por polimorfismo de los fragmentos de restricción (PCR-RFLP) según protocolos desarrollados en el laboratorio de Biología Molecular de AgroCiencia (Schijman 2005; Pérez Lloret 2008).

Tabla I

Tipos de muestra	Nº
Pelo	292
Semen (pajuela)	4
Cuero	2
	298

C) Muestreo de los Animales Estudiados
Se estudiaron las frecuencias génicas y genotípicas en una población de animales puros de pedigree (machos y hembras) nacidos entre el 01/06/2006 y el 31/07/2008. Los animales se seleccionaron al azar a partir de los listados provistos por el Dto de Servicios Genealógicos de la Sociedad Rural Argentina (SRA).

Se recibieron muestras de 298 animales puros de pedigree (PP). El 98,0% (292) de las muestras enviadas fueron de pelos (bulvo piloso), 0,7% (2) de las muestras fueron de cuero de animales muertos y se recibieron 1,3% (4) de muestras de pajuelas (semen). Ver **Tabla I**. Las muestras, fueron remitidas por 16 cabañas o centros genéticos y provinieron de 21 criadores diferentes.

En las **Tablas II y III**, se pueden ver los diferentes orígenes genéticos de las muestras recibidas.

Tabla II: Cabañas y Centros Remitentes	Nº de animales
ALSTON	1
CIEUTAT	5
EL ARROYO	10
EL MIRADOR	3
LA DOLORES	3
LA MARÍA ELENA	62
LANDIVAR	4
LOS TORITOS	4
MARIA LUCIA	5
ROOSMO	4
SANGUINETTI	1
SANTA CECILIA	3
SANTA MARTA	1
SANTA URSULA	44
TARVES	104
TRES HOJAS	44
Total de Centros :	16 298

Tabla III: Diversidad genética (Criadores - Prefijos)	Nº de animales
ALSTON	2
CIEUTAT	1
COMBEIS	1
EL MIRADOR	3
ELENA ARGENTINE	1
FORTIN	1
GARCIE	8
GRIMAU	1
LA MARIA ELENA	61
LANDISAN	4
LOS TORITOS	4
MARIA LUCIA	7
MEARNS	104
MISTIC	45
PERIBEBUY	1
ROOSMO	6
SANGUINETTI	1
SANTA CECILIA	3
SIEULOT	1
SANTA MARTA	15
TARBES	28
Total de criadores:	21 298

Resultados

De las 298 muestras remitidas al laboratorio ya se obtuvieron resultados para dos de los cuatro marcadores en 288 animales. De 4 animales, no se pudo obtener ADN de calidad suficiente para realizar los estudios - dos de ellos fueron las muestras de cuero - y 6 animales fueron remitidos por dos centros.

Tabla IV: Frecuencias génicas y genotípicas de los siguientes marcadores.

GENOTIPO	Calpastatina		Calpaína	
	2959		4751	
	Nº de animales	%	Nº de animales	%
[++]	287	99,7%	45	15,6%
[+-]	1	0,3 %	157	54,5%
[- -]	0	0,0%	86	29,9%
Total	288	100,0%	288	100,0%
Frecuencia Génica [+]	99,8%			42,9%
Frecuencia Génica [-]	0,2%			57,1%

Discusión

La **Tabla IV**, muestra que de los 288 animales estudiados, 287 (99,7%) presentaron el genotipo [++] para el marcador Calpastatina₂₉₅₉. Este dato concuerda con resultados obtenidos en rodeos SHORTHORN de Australia (GeneNOTE N°:4, 2003) en dónde la frecuencia del gen [+] para ese marcador fué del 99,5%, mientras que en los rodeos Británicos en general, esta frecuencia ronda el 90% (GeneNOTE N°:4, 2003, Van Eenennaam 2007, Guitou 2008, Herrmann 2009a y 2009b).

Estos resultados, son consistentes con otros en la bibliografía que muestran menores frecuencias génicas para Calpaína₄₇₅₁ en comparación a Calpastatina₂₉₅₉ en los rodeos estudiados (Van Eenennaam 2007, Guitou 2008, Herrmann 2009a y 2009b).

De los datos obtenidos hasta el presente se puede determinar que hay posibilidades de seleccionar reproductores con genotipos [++] a los fines de seguir aumentando la buena frecuencia génica obtenida del marcador molecular Calpaína₄₇₅₁. Este resultado esta acorde con los encontrados en otras razas británicas en la bibliografía internacional.

Los resultados de frecuencias génicas obtenidos para el marcador de Calpastatina₂₉₅₉ son excelentes (99.8%). En la actualidad, estamos procesando las mismas muestras de ADN para los otros dos marcadores moleculares previamente mencionados: Calpaína₃₁₆ y Calpastatina_{UoG}.

Este trabajo muestra cómo cada reproductor puede ser evaluado a través de los mencionados marcadores moleculares asociados a terneza, explicitando para cada uno de ellos, la presencia o ausencia de la variante más favorable del marcador, pudiéndose de esta forma, hacer uso de esta información a través de la Selección Asistida por Marcadores Moleculares (S.A.M.), en los programas de mejoramiento de nuestros criadores Shorthorn.

CALIDAD DE CARNE:

Bonsmara®

Aspectos genéticos de la ternera



Autores

- Herrmann P.
- Vaccaro S.
- Saez G.
- Masgoret S.
- Esteves A.
- Schijman A.

Entidades Participantes

- AgroCiencia
- Asoc. Arg. Criadores de Bonsmara
- INGEBI – CONICET.

Objetivos y Antecedentes

a) Objetivos

El objetivo principal es realizar un estudio poblacional en la Raza BONSMARA de la Argentina, que determine las frecuencias génicas y genotípicas de las variantes de mayor y menor terneza de los Marcadores Moleculares asociados a la terneza de la carne, Calpastatina₉₅₉, Calpaína₃₁₆, Calpaína₄₇₅₁ y Calpastatina_{UOG}, para su posterior uso en programas de evaluación de reproductores o en programas de "Selección de Reproductores Asistida por Marcadores Moleculares" (SAM).

b) Antecedentes generales

Estudios de mapeo y asociación realizados en el genoma bovino en Estados Unidos (Smith 2000; Page 2002 y 2004; White 2005 y Casas 2006), Canadá (Schenkel 2006) y Australia (Barendse 2002) identificaron diversas mutaciones puntuales en el ADN de los genes de Calpastatina (CAST) y de Calpaína (CAPN1) asociadas a variaciones en la terneza de la carne en las subespecies *Bos taurus* y *Bos indicus*.

Además de los estudios realizados en Australia y los Estados Unidos, hay antecedentes en México (Parra Bracamonte 2007) con ganado BRAHMAN para los marcadores Calpaína₅₃₀, Calpaína₃₁₆ y Calpaína₄₇₅₁ y en la Argentina. Aquí están trabajando en estudios genéticos de terneza, la Asociación Argentina de ANGUS con los marcadores Calpastatina₂₉₅₉, Calpaína₃₁₆, Calpaína₄₇₅₁ (Guitou 2006, 2007 y 2008) y luego

Calpastatina_{UOG} (Herrmann 2009) y la Asociación Argentina de BRANGUS con Calpaína₃₁₆ y Calpaína₄₇₅₁ (Corva 2007).

El IPCVA ha brindado su apoyo a las investigaciones en Marcadores Moleculares de Terneza realizadas en la Raza ANGUS para Calpastatina₂₉₅₉ y Calpaína₃₁₆ (IPCVA 2007) y en las Razas HEREFORD, BONSMARA y SHORTHORN para Calpastatina₂₉₅₉, Calpaína₃₁₆, Calpaína₄₇₅₁ y Calpastatina_{UOG} (IPCVA 2008, 2008b y 2009).

c) Antecedentes de la raza

La Asociación Argentina de Criadores de BONSMARA en el año 2008 y en el marco de su protocolo sobre "Calidad de Carne BONSMARA y sus Cruzas" (Pordomingo 2008), realizó un trabajo para verificar la presencia de polimorfismo para los marcadores Calpastatina₂₉₅₉, Calpaína₃₁₆ y Calpaína₄₇₅₁ en animales de la raza en la Argentina (Herrmann 2008).

Materiales y Método

a) Marcadores Moleculares

Se estudió la presencia de las variantes favorables y no favorables a la terneza de los marcadores de terneza validados por el National Beef Cattle Evaluation Consortium (www.nbcec.org) de los Estados Unidos de América (vanEennaam 2007).

I. Calpastatina₂₉₅₉ (CAST₂₉₅₉), es una mutación puntual o SNP (single nucleotide po-

lymorphisms) producto de una transición de guanina a adenina en la base 2959 del gen CAST (GeneBank acceso #AF159246) situado en el cromosoma BTA 7 (Barendse 2002).

II. Calpaína₃₁₆ (CAPN₁₃₁₆), es un SNP producto de una sustitución de guanina por citosina en la base 5709 del gen CAPN1 (GeneBank acceso #AF252504) situado en el cromosoma BTA 29 y que modifica el aminoácido en la posición 316 de la enzima (Page 2002).

III. Calpaína₄₇₅₁ (CAPN₁₄₇₅₁), es un SNP originado por una transición citosina a timina en la base 6545 del gen CAPN1 (GeneBank acceso #AF248054) (White 2005). El nombre de este último marcador deriva de los trabajos realizados en el US Meat Animal Research Center (Clay, Nebraska, USA) (www.ars.usda.gov) y no tiene ninguna relación con el gen CAPN1, tanto en la secuencia del ADN (ácido desoxirribonucleico) como en la de la proteína (White 2005).

IV. Calpastatina_{UOG} (CAST_{UOG}), es un SNP producto de una sustitución de guanina por citosina en la base 282 del gen CAST (GeneBank acceso #AY008267) situado en el cromosoma BTA 7 (Schenkel 2006) y su nombre deriva de University of Guelph (Guelph, Ontario, Canadá) donde se realizaron los estudios con dicho marcador (www.uoguelph.ca).

Los primeros tres marcadores son los mismos que utiliza el "GeneSTAR® Tenderness3 Test" (GeneNOTE 4, 2003 y GeneNOTE 7, 2005) y difieren solo en el marcador de Calpastatina con los tres marcadores para ternera del "IGENITY TenderGENET™ Panel" (Merial 2005) que utiliza el CAST_{UOG} en lugar del CAST₂₉₅₉.

b) Método de detección

La identificación de cada variante alélica se realiza sobre una muestra de ADN, obtenido a partir de bulbo piloso o semen, mediante el método de Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) con identificación del alelo presente por secuenciación del fragmento amplificado (PCR-SEC), por amplificación alelo específica (PCR-ASA) o por polimorfismo de los fragmentos de restricción (PCR-RFLP) según protocolos desarrollados en el laboratorio de Biología Molecular de AgroCiencia (Schijman 2005; Pérez Lloret 2009).

c) Interpretación de los resultados

Cada copia de la variante alélica de mayor ternera de un marcador se identifica con (+) y cada copia de la variante alélica de menor ternera con un (-). Por lo tanto, para cada marcador, los animales pueden ser homocigota para mayor ternera [++] cuando posee dos copias de la variante más favorable, homocigota para menor ternera [- -] cuando no posee ninguna copia de la variante más favorable o heterocigota [+ -] si lleva una sola copia de la variante más favorable.

d) Muestreo de los animales a estudiar

Se recibieron 271 muestras de 255 animales diferentes, ya que 16 animales fueron enviados por 2 cabañas. De los 255 animales 179 eran machos y 76 hembras. Los 255 animales fueron remitidos por 10 cabañas o centros de inseminación. En la **Tabla I** se pueden ver la diversidad de origen de los animales.

El muestreo de los animales refleja correctamente la distribución de los animales de raza BONSMARA en el país, ya que se recibieron animales de los principales criaderos de la raza y en las proporciones relativas a sus respectivos rodeos.

Para cuatro marcadores, el animal con el genotipo más favorable a la terneza posee 8 copias de las variantes más favorables (+).

Calpastatina₂₉₅₉ [++]/ Calpaína₃₁₆ [++]/ Calpaína₄₇₅₁ [++]/ Calpastatina_{UOG} [++]

y el animal con el genotipo menos favorable no posee ninguna copias de las variantes más favorables (+).

Calpastatina₂₉₅₉ [- -]/ Calpaína₃₁₆ [- -]/ Calpaína₄₇₅₁ [- -]/ Calpastatina_{UOG} [- -]

A mayor cantidad de genes favorables (+). mayor terneza, los animales con 5 genes favorables (+) o más son los mejoradores de rodeos.

Resultados

De los 255 animales se obtuvieron 255 resultados para Calpastatina₂₉₅₉, 254 para Calpaína₃₁₆, 254 para Calpaína₄₇₅₁ y 244 para Calpastatina_{UOG}. En total 244 animales se pudieron genotipificar para los cuatro marcadores (ver **Tabla II**).

Dado que para cuatro marcadores existen 81 genotipos posibles y por lo tanto su análisis es demasiado complejo, se optó por ordenar los animales de acuerdo al número de variantes favorables (cruces) presentes en cada animal. El animal con mayor cantidad de copias favorables posee 8 cruces. La distribución de los animales de acuerdo a la cantidad de genes favorables {+} se puede observar en la **Tabla III**.(pág. 27)

Discusion

El número de animales estudiados (n=255) y el tipo de muestreo realizado permiten obtener importantes conclusiones sobre las frecuencias génicas y genotípicas en la población de animales de raza BONSMARA de la Argentina.

Resultados anteriores (Herrmann 2008) permitieron determinar la existencia de polimorfismo en la raza BONSMARA para los marcadores Calpastatina₂₉₅₉, Calpaína₃₁₆ y Calpaína₄₇₅₁. Del análisis de los

genotipos para Calpastatina_{UOG} del presente estudio se puede determinar también la existencia de polimorfismos en dicho marcador, ya que se encontraron animales con los tres genotipos posibles (ver **Tabla III**, Calpastatina_{UOG}).

El ordenamiento de los animales de acuerdo al número de cruces del animal obedece a la dificultad de analizar 81 genotipos posibles y a que los marcadores son compatibles, su efecto es aditivo y no interactúan entre si (Casas 2006). Debido a esto algunas empresas utilizan la sumatoria de cruces para seleccionar los mejores animales de los rodeos (GeneNOTE 7, 2005 y GeneNOTE 11, 2007).

Al ordenar los animales por el número de genes favorables {+} o copias de las variantes más favorables de los genes, se observa que el 75,5% (184) de los animales BONSMARA poseen 5 o más cruces dato más que relevante ya que son los animales mejoradores de los rodeos.

En la Raza BONSMARA de la Argentina, el animal más frecuente es el que posee 3 ó 4 genes favorables {+} para Calpastatina y 2 ó 3 cruces para Calpaína.

En la **Tabla III** se pueden observar las frecuencias génicas para las variantes más favorables (+) de los marcadores moleculares de terneza en las diferentes ra-

zas bovinas de acuerdo a la bibliografía internacional, los resultados obtenidos para la raza BONSMARA en la Argentina son semejantes a los obtenidos en la raza Angus para Calpastatina²⁹⁵⁹, Calpaína³¹⁶ y Calpaína⁴⁷⁵¹ y son muy comparables a los que muestran los rodeos *Bos taurus* de origen Británico.

Este trabajo muestra cómo cada reproductor puede ser evaluado actualmente con “cuatro marcadores moleculares” asociados a terneza, explicitando para cada uno la presencia o ausencia de la variante más favorable del marcador, pudiéndose, de esta forma, hacer uso de esta información en trabajos de mejora genética.

Tabla I: Diversidad de origen. Cantidad de animales enviados por cada cabaña o centro de inseminación.		Nº de animales
AACB		21
DI TELLA		17
DON PANOS		18
EL MANGRULLO		82
ERSURA		24
LITOMAR		6
PINI		20
RUETE		23
SAN MARCOS		15
TARRHUE		29
Centros:	10	255

Tabla II: : Frecuencias génicas y genotípicas para los cuatro marcadores moleculares asociados a la terneza.

Genotipo	Calpastatina ²⁹⁵⁹		Calpaína ³¹⁶		Calpaína ³¹⁶		Calpastatina ²⁹⁵⁹	
	nº	%	nº	%	nº	%	nº	%
[++]	217	85,1 %	24	9,4 %	163	64,2 %	122	50,0 %
[+ -]	38	14,9 %	107	45,1 %	77	30,3 %	94	38,5 %
[- -]	0	0,0 %	123	48,8 %	14	5,5 %	28	11,5 %
TOTAL	255	100,0 %	254	100,0 %	254	100,0 %	244	100,0 %
frecuencia alelo [+]	0,925		0,305		0,793		0,693	

Animal más probable.

Calpastatina²⁹⁵⁹

[++]

Calpaína³¹⁶

[- -] ó [+ -]

Calpaína⁴⁷⁵¹

[++] ó [+ -]

Calpastatina^{UoG}

[++] ó [+ -]

Genes favorables

(+)
5 ó 6

Tabla III: Cantidad de animales de acuerdo a la cantidad de copias favorables de los marcadores de terneza.

Genes Favorables	Nº de animales	%	Gen. Fav. TOTALES	Nº de animales	%
8	8	3,3	3	12	4,9
7	52	21,3	2	4	1,6
6	57	23,4	1	0	0,0
5	67	27,5	0	0	0,0
4	44	18,0	TOTAL	244	100,0

Tabla IV: Frecuencias génicas para la variante más favorable (+) en las diferentes razas bovinas según bibliografía.

Raza	Rodeo / Población	País	Calpastatina 2959	Calpaina 316	Calpaina 4751	Calpastatina UoG
Angus pedigree	población	ARG(*)	91,7%	29,2%	72,8%	80,0%
Angus	rodeo	AU	89%	-	-	-
Red Angus	rodeo	USA	-	23%	47%	74%

Hereford	rodeo	AU	84%	-	-	-
Hereford	rodeo	USA	59%	24%	16%	-

Shorthorn	rodeo	AU	98%	-	-	-
Bos taurus	rodeo	USA	80%	20%	58%	63%
Charolais x Angus	rodeo	USA	94%	23%	46%	79%

Bonsmara	población	ARG(*)	92,5%	30,5%	79,3%	69,3%
----------	-----------	--------	-------	-------	-------	-------

(*) Trabajos realizados con el auspicio del IPCVA

BIBLIOGRAFIA

1. Barendse WJ. "DNA markers for meat tenderness". International patent application PCT/AU02/00122. [International patent publication WO 02/064820 A1]. 2002.
2. Casas E, White SN, Wheeler TL, Shakelford SD, Koomaraie M, Riley DG, Chase Jr CC, Johnson DD, and Smith TPL. "Effects of calpastatin and μ -calpain in beef cattle on tenderness traits". *J.Anim.Sci.* 2006. 84:520-525.
3. Corva P; Soria L, Papaleo Mazzuczo J, Villareal E, Melucci L, Mezzadra C, Schor A y Motter M. "Evaluación de marcadores moleculares asociados a diferencias en la terneza de la carne de novillos Brangus". Asociación Latinoamericana de Producción Animal. Cusco, Perú. 2007.
4. Dikeman ME, Pollak EJ, Zhang Z, Moser DW, Gill CA, and Dressler EA. "Phenotypic ranges and relationships among carcass and meat palatability traits for fourteen cattle breeds, and heritabilities and expected progeny differences for Warner-Bratzler shear force in three beef cattle breeds". *J.Anim.Sci.* 2005. 83:2461-2467.
5. Geesink G and Koohmaraie M. "Effect of calpastatin on degradation of myofibrillar proteins by μ -calpain under post-mortem conditions". *J.Anim.Sci.* 1999. 77:2685-2692.
6. GeneNOTE 4. Genetic Solutions Pty Ltd. Albion, Australia. www.geneticsolutions.com.au. "GeneSTAR® Tenderness: The First Commercial Gene Marker Test for Beef Tenderness". 2003.
7. GeneNOTE 7. Genetic Solutions Pty Ltd. Albion, Australia. www.geneticsolutions.com.au. "GeneSTAR® Tenderness 2: A New Enhanced DNA Marker Test for Two Important Tenderness Genes". 2005.
8. GeneNOTE 11. Catapult Genetics Pty Ltd. Albion, Australia. www.catapultgenetics.com. "GeneSTAR® Tenderness 4: A multi-marker DNA test for beef tenderness". 2007.
9. Goll DE, Thompson VF, Li H, Wei W, and Cong J. "The Calpain System". *Physiol Rev.* 2002. 83:731-801.
10. Grandin T. "Animal Welfare in Slaughter Plants". 29th Annual Conference of American Association of Bovine Practitioners. 1996. Proceedings:22-26.
11. Guitou HR y Herrmann P. "Avances en la Terneza". *Revista Super Campo.* 2006. 144:42.
12. Guitou HR y Herrmann P. "Marcadores Moleculares de Terneza". 17° Resumen de Padres AnGus. Asociación Argentina de AnGus, 2007. 17:77-78.
13. Guitou HR, Monti A, Sutz G, Baluk MI, Ellinger A, Bustillo A, Fernández Alt M, Matilla S, Saez G, Pérez Lloret J, Herrmann P y Schijman A. "Calidad de Carne: Terneza. Selección Asistida por Marcadores Moleculares (SAM). Frecuencias Génicas de Calpastatina 2959, Calpaína 316 y Calpaína 4751 en la Raza AnGus de la Argentina". 18° Resumen de Padres AnGus. Asociación Argentina de Angus, 2008.
14. Guitou HR, Herrmann P. "Marcadores Moleculares de Terneza: Calpaína y Calpastatina. Una Nueva Herramienta para el Mejoramiento Genético de los Rodeos Bovinos de Carne". *Revista Angus. Asociación Argentina de Angus.* 249:72 - 77. Julio 2010.
15. Hernández RA. "Carne Argentina: Una especialidad". INTA - General Villegas. Publicación Técnica N° 38. 2002.
16. Herrmann P, Pordomingo A, Masgoret S, Serafino J y Schijman A. "Marcadores Moleculares de TERNEZA Calpaína316, Calpaína4751 y Calpastatina2959 en la Raza BONSMARA". Reunión Anual de la Asociación Argentina Criadores de BONSMARA. Buenos Aires, Argentina. 2008.
17. Herrmann P y Guitou HR. "Frecuencias Génicas del Marcador CalpastatinaUoG en la Raza Angus de la Argentina". Comunicación personal. 2009a.
18. Herrmann P, Masgoret S, Esteves A, Matilla S, Saez G y Schijman AG. "Frecuencias Génicas y Genotípicas para Calpastatina2959, Calpaína316, Calpaína4751 y CalpastatinaUoG en la Raza Bonsmara de la Argentina". Reunión Anual de la Asociación Argentina Criadores de BONSMARA. Buenos Aires, Argentina. Julio 2009b.
19. Herrmann P, Bullo J, Matilla S, Saez G y Schijman AG. "Presencia de Marcadores Moleculares de Terneza para Calpastatina Y Calpaína en la Raza Hereford de la Argentina". Reunión Anual de la Asociación Argentina de Criadores de HEREFORD. Buenos Aires, Argentina Septiembre 2009c.
20. Herrmann P y García F. Proyecto de Investigación en Calidad de Carne. Aspectos Genéticos de la Terneza: "Frecuencias Génicas y Genotípicas de los Marcadores Moleculares de TERNEZA en la Raza SHORTHORN de la Argentina". IPCVA, Asociación Argentina de Criadores de SHORTHORN y AgroCiencia. Informe Final. Buenos Aires, Argentina Enero 2011.
21. IPCVA, Asociación Argentina de ANGUS, INTA y AgroCiencia. Proyecto de Investigación

- en Calidad de Carne. Aspectos Genéticos de la Terneza: "Determinación de la Frecuencia Génica en Marcadores Asociados a la Terneza Calpastatina2959 y Calpaína316 en la Raza ANGUS". 2007.
22. IPCVA, Asociación Argentina Criadores de HEREFORD y AgroCiencia. Proyecto de Investigación en Calidad de Carne. Aspectos Genéticos de la Terneza: "Frecuencias Génicas y Genotípicas de los Marcadores Moleculares de TERNEZA Calpastatina2959, Calpaína316, Calpaína4751 y CalpastatinaUoG en la Raza HEREFORD de la Argentina". 2008a.
23. IPCVA, Asociación Argentina de Criadores de BONSMARA y AgroCiencia. Proyecto de Investigación en Calidad de Carne. Aspectos Genéticos de la Terneza: "Frecuencias Génicas y Genotípicas de los Marcadores Moleculares de TERNEZA Calpastatina2959, Calpaína316, Calpaína4751 y CalpastatinaUoG en la Raza BONSMARA de la Argentina". 2008b.
24. IPCVA, Asociación Argentina de Criadores de SHORTHORN y AgroCiencia. Proyecto de Investigación en Calidad de Carne. Aspectos Genéticos de la Terneza: "Frecuencias Génicas y Genotípicas de los Marcadores Moleculares de TERNEZA Calpastatina2959, Calpaína316, Calpaína4751 y CalpastatinaUoG en la Raza SHORTHORN de la Argentina". 2009.
25. Koohmaraie M. "Quantification of Ca²⁺-dependent protease activities by hydrophobic and ion-exchange chromatography". *J.Anim.Sci.* 1990. 68:659-665.
26. Koohmaraie M, Whipple G, Kretchmar DH, Crouse JD, and Mersmann HJ. "Postmortem proteolysis in longissimus muscle from beef, lamb, and pork carcasses". *J.Anim.Sci.* 1991. 69:617-624.
27. Koohmaraie M. "The biological Basis of Meat Tenderness and Potential Genetic Approaches for its Control and Prediction". *Proc.Recip.Meat Conf.* 1995. 48:69-75.
28. Koohmaraie M. "Biochemical factors regulating the toughening and tenderization process of meat". *Meat.Sci.* 1996. 43:193-201.
29. Merial Ltd, Atlanta, GA, USA. <http://us.igenity.com>. "IGENITY TenderGENE™ identifies calpain genotype: a key to tenderness". 2005.
30. Page BT, Casas E, Heaton MP, Cullen NG, Hyndmna DL, Morris DA, Crawford AM, Wheeler TL, Koohmaraie M, Keele JW, and Smith TPL. "Evaluation of single-nucleotide polymorphism in CAPN1 for association with meat tenderness in cattle". *J.Anim.Sci.* 2002. 80:3077-3085.
31. Page BT, Casas E, Quaas RL, Thallman RM, Wheeler TL, Shakelford SD, Koohmaraie M, White SN, Bennett GL, Keele JW, Dikeman ME, and Smith TPL. "Association of markers in the bovine CAPN1 gene with meat tenderness in large crossbred populations that sample influential industry sires". *J.Anim.Sci.* 2004. 82:3474-3481.
32. Parra Bracamonte GM, Sifuentes Rincón AM, Cienfuegos Rivas EG, Tewolde Medhin A y Martínez González JC. "Polimorfismos en el gen de la μ -calpaína en ganado Brahman de registro de México". *Arch.Latinoam.Prod.Anim.* 2007. 1:32-37.
33. Pérez Lloret J. "Prevalencia de Marcadores Genéticos SNPs Asociados a la Terneza de la Carne Bovina en una Población Representativa de Reproductores Angus de Argentina". Tesis de Licenciatura en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de Buenos Aires. 2009.
34. Pordomingo A, Masgoret S. "Efectos del cruzamiento con Bonsmara sobre la eficiencia de producción y los atributos de la carne de novillos". INTA Anguil - Asociación Argentina de Criadores de Bonsmara. 2008. (Trabajo en preparación)
35. Schenkel FS, Miller SP, Jiang Z, Mandell IB, Ye X, Li H, and Wilton JW. "Association of a single nucleotide polymorphism in the calpastatin gene with carcass and meat quality traits of beef cattle". *J.Anim.Sci.* 2006. 84:291-299.
36. Schijman A, Pérez Lloret J y Herrmann P. "Desarrollo de Métodos de Detección de SNPs para Marcadores Moleculares de Terneza en Ganado Bovino". 2005. Comunicación personal.
37. Smith TPL, Casas E, Rexroad III CE, Kappes SM, and Keele JW. "Bovine CAPN1 Maps to a region of BTA29 containing a quantitative trait locus for meat tenderness". *J.Anim.Sci.* 2000. 78:2589-2594.
38. Van Eenennaam AL, Li J, Thallman RM, Quaas RL, Dikeman ME, Gill CA, Franke DE, and Thomas MG. "Validation of commercial DNA test for quantitative beef quality traits". *J.Anim.Sci.* 2007. 85:891-900.
39. White SN, Casas E, Wheeler TL, Shackelford SD, Koohmaraie M, Riley DG, Chase Jr CC, Johnson DD, Keele JW, and SmithTPL. "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.

Presidencia
Gonzalo Alvarez Maldonado
g.alvarezmaldonado@ipcva.com.ar

Asesor Legal
Dr. Guillermo E. Matta y Trejo

Gerencia General
Carlos Vuegen
gerencia@ipcva.com.ar

Secretaría Institucional
Isabel López
i.lopez@ipcva.com.ar

Comunicación y Prensa
Luis Fontoira
l.fontoira@ipcva.com.ar

Promoción Externa
Sergio Rey
s.rey@ipcva.com.ar

Promoción Interna
Adrián Bifaretti
a.bifaretti@ipcva.com.ar

Administración y Finanzas
Héctor Borelli
h.borelli@ipcva.com.ar

Información Estadística
Miguel Jairala
m.jairala@ipcva.com.ar

Asist. Comunicación y Prensa
Ignacio Battilana
i.battilana@ipcva.com.ar

Asist. Promoción Externa
Agustina Scarano
a.scarano@ipcva.com.ar

Asist. Promoción Interna
Andrea Millauro
a.millauro@ipcva.com.ar

Asist. Administrativa
Graciela Portilla
g.portilla@ipcva.com.ar

Recepcionista/Telefonista
Mercedes Brescia
recepcion@ipcva.com.ar

COMISIONES DE TRABAJO DEL IPCVA

DESARROLLO, INVESTIGACION Y CAPACITACION

Coordinador titular: Arturo Llavallol
Coordinador alterno: Mariano Bondone
Integrantes: Ricardo Rodríguez, Martín Vivot, Juan José Grigera Naón, Jorge Peñalba, Germán Manzano, Jorge Torelli, Héctor Salamanca, Segundo Acuña, Alan Goodall, Consolación Otaño, Martín Spada, Luis Moreno, Sol Masgoret, María Calafe

Moro, Jorge Romero, Jorge Torelli, Roberto Trossero, Stella Martínez

SANIDAD Y CALIDAD AGROALIMENTARIA

Coordinador titular: Dardo Chiesa
Coordinador alterno: Daniel Urcia
Integrantes: Silvia Fabbro, Luis María Firpo Brenta, Norma Pensel, Germán Manzano, Juan Chiozza, Fernando Selasco, Jorge Torelli, Ricardo Burgos, Nicolás Lotrecchiano, Adrián Peiretti, Nicolás Loustau

PROMOCION INTERNA

Coordinador titular: Américo Bermejo
Coordinador alterno: Daniel Urcia
Integrantes: Germán Manzano, Angel Girardi, Rodrigo Troncoso, Fernando Brizzolara, Miguel Schiariti, Teresa Pilar García, Alberto Guil, Antonio D'Angelo, Gonzalo Otavarría, Mario Tinto, Carlos Pujol, Daniel Papotto, Julieta Reviglio, Federico Bur, Angel Vitale Jorge Torelli

COMISION DE EVALUACION DE PROYECTOS

Coordinador titular: Juan José Grigera Naón
Coordinador alterno: A definir
Integrantes: Dardo Chiesa, Germán Manzano, H. Salamanca, Luis María Firpo Brenta, Ricardo Rodríguez, Jorge Torelli

PROMOCION EXTERNA

Coordinador titular: Miguel Schiariti
Coordinador alterno: Dardo Chiesa
Integrantes: Jorge Torelli, Eugenia Usellini, Javier Martínez del Valle, Sebastián Rodríguez Larreta, Ernesto Urien, Marcelo Pittner, Ricardo Goldaracena, Ariel Vidal, Eduardo Althabe, Alberto Gorleri, Alfredo Barbagallo, Hugo Carassai, Luis Gaviglio, Luis Viera, Martín González, Sergio Grasso, Stanley Hogg, Esteban Berisso, Carlos Fangmann, Federico Guerrico, Ángel Rossi, Sebastián Reynoso, Nicolás Lotrecchiano, Consolación Otaño, Alejandro Lotti, Carlos Moscatelo, Hernán Naveyra, Miguel Schiariti, Héctor Lescarbura

COMUNICACION Y PRENSA

Coordinador titular: Pedro Peretti
Coordinador alterno: Roberto Trossero
Integrantes: Dardo Chiesa, Daniel Asseff, Miguel Schiariti, Tomás

COMISION AD HOC del "Grupo Impulsor"

Coordinador titular: Dardo Chiesa

PARA RECIBIR EL BOLETIN DEL IPCVA O SUSCRIBIRSE AL NEWSLETTER

Si desea recibir el boletín del IPCVA o el newsletter electrónico, complete los siguientes datos y envíelos por correo o e-mail a Esmeralda 130 - Piso 22 (C1035ABD) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina, o boletin@ipcva.com.ar

Nombre y apellido

Dirección C.P.:

Localidad Teléfono

Provincia

E-mail

Ocupación

Empresa

Tipo de información que le gustaría recibir

Cómo llegó a sus manos el boletín del IPCVA





“CRIAR ANIMALES
ES UNA TAREA DURA EN LA QUE
TRABAJA MUCHA GENTE...”

Horacio / Productor Agropecuario

SOMOS MUCHOS

LOS ARGENTINOS QUE TRABAJAMOS EN LA CADENA DE CARNE VACUNA.
POR ESO, CON POLÍTICAS A LARGO PLAZO, VAMOS A TENER MÁS CARNE.



IPCVA

Instituto de Promoción
de la Carne Vacuna
Argentina

CARNE ARGENTINA

SABER LO QUE CONSUMIMOS ES VALORAR LO QUE PRODUCIMOS

www.ipcva.com.ar