

LAS CASEÍNAS. POSIBILIDAD DE MEJORA DEL RENDIMIENTO QUESERO EN GANADO CAPRINO

CASEINS. POSSIBILITY OF IMPROVING GOAT CHEESE YIELD

Almela-Veracruz L.^{1*}, Peinado-Ramón B.¹, Galián-Arnaldos S.¹, Poto-Remacha A.¹

¹Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental (IMIDA). La Alberca (Murcia). España. *laura.almela@carm.es

Keywords: Milk; Ruminants; Cheese; Polymorphism.

Palabras clave: Leche; Rumiantes; Queso; Polimorfismo.

ABSTRACT

The differences between cow and goat milk are clear from a physical-chemical point of view. Casein proteins can explain many of these differences, as their characteristics, composition, and behavior vary between breeds, and even between individuals within the same breed. The different polymorphisms for each of the types of casein genes confer different characteristics on the resulting product depending on the properties, which are desired for yield improvement. Thus, it seems logical to study each of the genetic variants to be able to select those that will help obtain the best results. There are different studies on techniques for identifying significant characteristics in the dairy sector, including single nucleotide polymorphisms (SNPs), which has made it possible to identify which polymorphisms may be more useful from a socioeconomic point of view and which ones should be studied. The CSN1S1 and CSN3 genes are associated with milk production, composition, or quality, and may influence the quality and final yield of the products, which is why their study is of particular interest. The most desirable genotypes in terms of cheese dairy technology appear more frequently in goats, but the consumption of goat milk has experienced a boom in recent years, so a new selection of animal breeds is necessary in order to improve the characteristics which new consumer's demand.

RESUMEN

Las diferencias existentes entre la leche procedente del ganado vacuno y la procedente del caprino son evidentes desde un punto de vista fisicoquímico. Las proteínas caseínas pueden explicar muchas de estas diferencias, ya que las características, la composición y el comportamiento de estas difieren entre razas, incluso entre individuos dentro de la misma especie. Los diferentes polimorfismos existentes para cada uno de los tipos de genes de las caseínas confieren diferentes características al producto resultante según las características que se deseen obtener para la mejora del rendimiento. Esto propicia el estudio de cada una de las variantes genéticas para seleccionar aquellas que serán más útiles para obtener los mejores resultados. Existen diferentes estudios sobre técnicas de identificación de características interesantes en el sector lechero, entre ellas los polimorfismos de un solo nucleótido (SNP), lo que ha permitido identificar qué polimorfismos podrían ser más útiles desde un punto de vista socioeconómico y cuáles deberían ser estudiados en profundidad. Los genes CSN1S1 y CSN3 en particular se asocian a la producción, composición o calidad láctea, pudiendo influir en la calidad y el rendimiento final de los productos, por lo que resulta de gran interés su estudio. Los genotipos más deseables en cuanto a tecnología láctea quesera aparecen con mayor frecuencia en el ganado caprino. Actualmente, el consumo de leche de esta especie está experimentando un incremento en los últimos años, por lo que sería necesaria una nueva selección de variedades animales que mejoren las características de las nuevas demandas de los consumidores.

INTRODUCCIÓN

La leche contiene de media un 3,2% de proteínas de las que un 80% son caseínas, dependiendo de la especie. Las proteínas de la leche se dividen en caseínas (precipitan a pH 4,6), proteínas del lactosuero (no precipitan con las caseínas a menos que primero hayan sido desnaturalizadas por calor u otros tratamientos) y las que

forman parte del glóbulo graso (1% del total de proteínas lácteas) (Amiot, 1991). Las principales proteínas de la leche son las caseínas, se sintetizan exclusivamente en la glándula mamaria, y se encuentran mayoritariamente formando “micelas de caseína”. Estas micelas están compuestas por múltiples submicelas o unidades de caseína que, a su vez, se componen de cadenas de aminoácidos (Scott, 2019). Las caseínas tienen un importante impacto en la industria lechera, siendo determinantes en la eficiencia con que la leche se transforma en queso (Amills *et al.*, 2012), por lo que es importante estudiarlas en profundidad.

La caseína en la leche de cabra versus leche de vaca

La leche de cabra se diferencia de la de vaca por algunas características: en la leche de cabra, el 83% de las proteínas totales son caseínas, frente al 80% en la leche de vaca (Amiot, 1991). En cuanto al tamaño micelar caseínico, las de cabra (50nm) son de media más pequeñas que las de vaca (75nm), aunque algunos autores elevan el tamaño medio de las micelas de la leche bovina a 150 nm (Schmidt *et al.*, 1973). Otra característica diferenciable es que la caseína caprina es insoluble en amoníaco. También el grado de hidratación de las micelas de caseína es menor en la leche de cabra que en la de vaca, lo que podría explicar en parte la mayor inestabilidad al calor de este tipo de leche (Amiot, 1991). Otra característica diferenciable es que las caseínas de la leche de cabra contienen más cantidad de glicina, menos arginina y aminoácidos sulfurados (metionina) que la leche de vaca (Capra, 2004), siendo la cantidad de aminoácidos esenciales (excepto metionina y fenilalanina) mayor en la leche de cabra que en la de vaca (Chacón, 2005). La estructura molecular de la caseína y las lactoalbúminas de la leche de cabra también es muy distinta de la de vaca. Mientras que la fracción mayoritaria de proteína en la leche de vaca es la α_{s1} -caseína, en la leche de cabra son la β -caseína y la α_{s2} -caseína (El-Shibiny, 1978). Como la mayor parte de las intolerancias ligadas a la leche de vaca están asociadas a la presencia de caseína α_{s1} , la leche de cabra, al contener menor cantidad de caseína α_{s1} , no producirá estas intolerancias (Maree, 1978).

Por otra parte, la tensión superficial y tiempo de cuajado en las caseínas de origen caprino es mucho menor comparado con la α_{s1} -caseína vacuna, lo que está directamente asociado con la mejor digestibilidad de la leche de cabra, al ser la cuajada formada a nivel gástrico más fina, suave y experimentar un menor tiempo de tránsito gástrico, especialmente en personas con problemas de estreñimiento (Richardson, 2004). Este menor tránsito gástrico deja menos residuos sin digerir susceptibles de fermentaciones indeseables (Rodden, 2004). Por tanto, la formación de la cuajada se da con mayor rapidez y en forma de láminas de menor tamaño, debido en parte a las reducidas dimensiones de las micelas de las caseínas, lo que implica la formación de cuerpos pequeños de fácil digestibilidad (Haenlein, 2002). De las investigaciones realizadas en la composición química de la leche de cabra, en particular de las α -caseínas inter- e intra-raciales se ha visto que el gel formado por coagulación de la leche de cabra siempre es débil, fenómeno atribuido a los mayores niveles de β -caseína en leche de cabra que en leche de vaca y a la naturaleza de las α -caseínas (Martin & Addeo, 1996).

Polimorfismos genéticos de los distintos tipos de caseínas

Cada una de las proteínas presentes en la leche posee al menos tres variantes genéticas ya identificadas, cada una de las cuales posee un punto isoeléctrico y peso molecular diferentes (Kramm, 2003). A nivel bioquímico, en los rumiantes existen cuatro tipos de caseínas: α_{s1} -caseína (CSN1S1), α_{s2} -caseína (CSN1S2), β -caseína (CSN2) y la κ -caseína (CSN3) (Martín *et al.*, 2002) y el contenido de estas puede variar entre especies de rumiantes (Amills *et al.*, 2012). En el caso de la leche de cabra, la mayor parte de la producción se destina a la fabricación de queso. Es por ello, que uno de los objetivos de los programas de selección de razas lecheras es la determinación del rendimiento quesero, a su vez definido por el contenido de caseínas en leche. Por tanto, podremos mejorar la eficacia quesera utilizando las variantes genéticas relacionadas con la mejora de la cantidad de proteína coagulable, el rendimiento y procesamiento quesero (Serradilla, 2002). Las variantes de una proteína difieren unas de otras en tan sólo pequeñas diferenciaciones en su composición, lo que propicia diferencias en las propiedades fisicoquímicas de las proteínas (solubilidad, propiedades eléctricas, etc.). La expresión de las variantes genéticas se realiza a través de letras (A, B, C, D), que pueden presentar una sola variante (AA, BB) si son individuos homocigotos, o una mezcla de variantes (AB, AC, BC) si son heterocigotos. En las especies bovina, caprina y ovina, la frecuencia de las variantes dependerá de la raza. Cuando se procesa la leche de forma industrial se observan diferencias que se podrían explicar por la existencia de determinadas formas genéticas, de propiedades diferentes y en proporciones variables, de hecho, algunas

variantes genéticas están asociadas a zonas geográficas concretas y a una especie y raza determinadas, siendo algunas variables globales (Kramm, 2003; Serrano *et al.*, 1999).

Polimorfismo genético de la α_{s1} -caseína

El gen de la α_{s1} -caseína (CSN1S1) es uno de los pocos genes mejor identificados en cabras con demostrados efectos sobre la composición de la leche (Martín *et al.*, 2002). Este gen codifica una proteína de 199 aminoácidos y fue secuenciado por Ramunno *et al.* (2004) (Caravaca *et al.*, 2008). Es bien conocida la relación directa existente entre las distintas variantes del gen α_{s1} -caseína (CSN1S1) y la composición y propiedades tecnológicas de la leche (Grosclaude *et al.*, 1987; Caravaca *et al.*, 2009; Vidilla *et al.*, 2011). Existen evidencias que muestran que el polimorfismo del gen α_{s1} -caseína (CSNS1) tiene una gran influencia sobre las proteínas de la leche, las caseínas y la grasa en la producción de queso. De hecho, una de las principales características del locus CSN1S1 es su alto nivel de polimorfismo (Martín *et al.*, 2002). Es decir, el gen α_{s1} -caseína (CSNS1) se puede clasificar en cuatro grupos según los niveles de síntesis o contenido de alelos CSN1S1 (Grosclaude *et al.*, 1987): genotipo alto (alto contenido alelos); genotipo medio (contenido medio en alelos); genotipo bajo (bajo contenido en alelos) y genotipo nulo (contenido nulo) (Caravaca *et al.*, 2008).

En las cabras, el polimorfismo de la α_{s1} -caseína (CSNS1) se asocia con variaciones fenotípicas en la coagulación de la leche y con propiedades de la fabricación de quesos (Remeuf, 1993; Vassal *et al.*, 1994). Remeuf (1993) observó una significativa influencia del genotipo CSN1S1 en el índice de coagulación de la leche, en la firmeza de la coagulación y en la producción quesera. De forma similar, Vassal *et al.* (1994) detectaron diferencias en las producciones de queso fresco entre los genotipos CSN1S1 AA y EE y FF (AA>EE; AA>FF). Además, se vio que la leche que contenía unos altos niveles de CSN1S1 tenía un mejor índice de cuajado y firmeza de cuajo que la leche que contenía menos CSN1S1, aunque el tiempo de coagulación de cuajo fue mayor (Caravaca *et al.*, 2011).

Caravaca *et al.* (2011) observaron que las cabras con genotipo CSN1S1 mostraban un significativo incremento de la tasa de cuajado con respecto a sus homólogos BB o EF. Además, Vassal *et al.* (1994) demostraron que la producción de queso procedente de leche de individuos AA era un 8,2% más alta que la producida por individuos EE y un 17,7% más alta que la producida por individuos FF. Aunque la influencia del genotipo CSN1S1 en la composición de la leche (proteína, grasa y caseína) ha sido demostrada en varias razas europeas (Trujillo *et al.*, 1998; Martín *et al.*, 2002) su efecto en la síntesis de CSN1S1 sólo ha sido cuantificado en unas pocas poblaciones (Caravaca *et al.*, 2008).

A pesar de que la síntesis de CSN1S1 es uno de los factores que más influyen en la calidad láctea, apenas existen datos sobre los efectos del genotipo CSN1S1 en el contenido de CSN1S1 en leche de razas europeas, lo cual se explica por la complejidad para medir esta característica (Chanat *et al.*, 1999). El alelo G bovino del gen CSN1S1 se ha asociado con una menor concentración de CSN1S1 en la leche (Quiles *et al.*, 1992). La α_{s1} -caseína tiene un extenso polimorfismo y han sido descritos al menos 13 alelos diferentes. Además, codifica 7 clases diferentes de variantes proteínicas (α_{s1} -casA a la α_{s1} -casG) asociadas con 4 niveles de expresión. El efecto de esos alelos en la concentración de caseína se describió en las razas Alpina Francesa y Saanen. Los alelos A, B y C aportan un promedio de 3,6 g de caseína por litro de leche, el alelo E un promedio de 1,6 g, y los alelos D y F, 0,6 g de caseína por litro de leche. También existe un alelo nulo (0) (Sánchez *et al.*, 1998). La α_{s1} -caseína caprina posee un elevado polimorfismo, ya que contiene ocho variantes. Las tres primeras (A, B y C) promueven el aumento de α_{s1} -caseína en la leche, una variante de contenido intermedio de α_{s1} -caseína en la leche (E), tres de contenido bajo (D, F, G) y otra de contenido nulo (O) (Trujillo *et al.*, 1998).

El estudio del polimorfismo genético de las lactoproteínas caprinas es muy importante, ya que ciertas variantes genéticas se han correlacionado con la composición de la leche y con algunos parámetros de transformación (Caravaca *et al.*, 2001). Así, el análisis de las propiedades físicoquímicas de la leche procedente de animales homocigotos para los tres alelos principales de la α_{s1} -caseína (A, E, F) confirma los efectos de los genotipos sobre los contenidos de caseína y grasa, mostrando efectos significativos sobre el diámetro de las micelas y su contenido en calcio. Estas características se hallan asociadas con una mejora de la coagulación enzimática de la leche, la dureza y sinéresis de la cuajada y el rendimiento quesero. Debido a sus efectos sobre la composición de la leche, el gen α_{s1} -caseína constituye un interesante modelo para estudiar la regulación de la expresión de la correspondiente proteína, a la vez que una poderosa herramienta para mejorar las propiedades tecnológicas

de la leche de cabra (Trujillo *et al.*, 1998).

Jordana *et al.* (1996) describieron las frecuencias alélicas para el locus de la α_{s1} -caseína caprina en razas lecheras españolas concluyendo que la relación existente entre estas variables alélicas y diferencias en el contenido en caseína y las propiedades fisicoquímicas de la leche, puede ser utilizada como herramienta en la mejora de las características tecnológicas y el rendimiento quesero de las razas lecheras españolas. Además del contenido en proteína y el genotipo de la α_{s1} -caseína, también existen diferencias en el contenido de grasa y en algunas características fisicoquímicas de la leche con efectos en la producción de queso (Amills *et al.*, 2012). Estudios realizados sugieren que el genotipo CSN1S1 tiene efectos significativos en el índice de síntesis de la correspondiente proteína, pero las asociaciones con otros componentes podrían variar de una raza a otra, debido a diferencias en sus antecedentes genéticos y sistemas de producción (Quiles *et al.*, 1992). Otros estudios, sugieren un cierto nivel de dominancia de alelos fuertes sobre los débiles. De este modo, la expresión de CSN1S1 en las cabras que llevan un alelo fuerte y uno débil en el locus CSN1S1 es más similar en aquellas con un genotipo homocigótico fuerte, que aquellas cabras con un genotipo débil (Quiles *et al.*, 1992). Incluir el genotipo α_{s1} -CN puede incrementar la eficiencia productiva y rentabilidad láctea, producción de leche, contenido graso, proteico y de materia seca en los programas de cría de la raza Murciano-Granadina (Pizarro *et al.*, 2019c). Por tanto, la selección de genotipos CSN1S1 puede aumentar la producción eficiente de leche mejorando la competitividad internacional y rentabilidad de las razas locales (Pizarro *et al.*, 2019b). A pesar de que los efectos de la CSN1S1 en los componentes han sido ampliamente estudiados, sus efectos en la producción de leche todavía no se conocen (Pizarro *et al.*, 2019a).

Polimorfismo genético de la α_{s2} -caseína

El genotipo CSN1S2 tiene cinco variantes: A, B, C, E y F. También se han encontrado las variantes D y 0 vinculadas a reducidas concentraciones de CSN1S2 (Pizarro *et al.*, 2019a).

Polimorfismo genético de la β -caseína

Los alelos del locus CSN2 se pueden clasificar en dos categorías dependiendo de la velocidad de síntesis con que están asociados, es decir, alelos asociados con contenidos “normales” de CSN2 en la leche (A, B y C) y dos alelos nulos (0 y 0'), en la que la expresión de la CSN2 es reducida o nula en la β -caseína (Pizarro *et al.*, 2019a).

Polimorfismo genético de la κ -caseína

La κ -caseína (CSN3) es una de las proteínas fundamentales de la leche de los mamíferos por su papel en la estabilización de las micelas (Caravaca *et al.*, 2007), y cuyos ancestros moleculares son completamente diferentes al resto (Kawasaki y Weiss, 2003) (Quiles *et al.*, 1992). El gen CSN3 es muy polimórfico y se han identificado 16 alelos (A, B, B', B'', C, C', D, E, F, G, H, I, J, K, L, y M) en el caso de la cabra (Pizarro *et al.*, 2019a) (; Caravaca *et al.*, 2007). Según estudios realizados en frecuencias alélicas, las variantes A y B predominan en las razas de cabras españolas, francesas e italianas, con mayor frecuencia del tipo B. Las del tipo F y G se encuentran con menos frecuencia (Caravaca *et al.*, 2007). Teniendo en cuenta que la CSN3 estabiliza los complejos micelares formando una lámina hidrofóbica, la hidrólisis enzimática de la CSN3 por la quimosina implica desestabilización de las micelas y, por tanto, la coagulación de la leche (Amills *et al.*, 2012). Existen pocos estudios sobre la asociación entre el polimorfismo de este gen con los parámetros productivos. Sin embargo, Caravaca *et al.* (2007) tras un estudio experimental con cabras de la raza Murciano-Granadina encontraron que existe una clara influencia del genotipo del CSN3 sobre los contenidos de proteína, caseína total y grasa de la leche, no resultando una asociación significativa del genotipo con el resto de las variables. En los estudios de Caravaca *et al.* (2011) se observó que el genotipo CSN3 respecto a la coagulación de la leche, propiedades y rendimiento quesero, se asociaba con el tiempo de coagulación del cuajo. De modo que, minimizando el tiempo de coagulación reducimos el tiempo de procesamiento requerido para la producción del queso.

Polimorfismo genético y sus interacciones

Los efectos de los polimorfismos de la α_{s1} -caseína (CSN1S1) caprina sobre la calidad de la leche han sido demostrados. Sin embargo, se conocen mucho menos las consecuencias del genotipo de la κ -caseína (CSN3) en la composición de la leche de cabra. Tampoco se han investigado las interacciones entre los genotipos CSN3 y CSN1S1. En el estudio realizado por Caravaca *et al.* (2009) se llevó a cabo un análisis entre los genotipos

CSN1S1 y CSN3 y las características de la calidad de la leche en cabras de la raza Murciano-Granadina. El total de la leche producida, el contenido total de proteína, grasa, grasa no sólida, lactosa, α_{s1} -caseína (CSN1S1) y α_{s2} -caseína (CSN1S2) se registraron en meses alternos durante toda la lactación, concluyendo que los alelos A y B del genotipo CSN3 tenían efectos diferenciales en los contenidos de caseína y proteína de la leche. Estos dos componentes lácteos, junto con el contenido graso, determinan la producción de queso, así como sus propiedades organolépticas. Por lo tanto, el genotipado del CSN3 debería ser considerado en la selección de marcadores en caprino lechero. Además, se confirmó que en la cabra Murciano-Granadina, el genotipo CSN1S1 afecta a la tasa de síntesis de CSN1S1 pero no a las concentraciones de proteína o caseína en la leche (Caravaca *et al.*, 2009).

Se conoce poco sobre las consecuencias del genotipo de la κ -caseína (CSN3) sobre las propiedades tecnológicas y de coagulación de la leche de cabra. En el estudio realizado por Caravaca *et al.* (2011) se llevó a cabo un análisis entre los polimorfismos de los genes CSN1S1 y CSN3, la coagulación de la leche y propiedades tecnológicas. Se utilizaron cabras de raza Murciano-Granadina (con genotipos constituidos por una combinación de alelos B, E y F del gen CSN1S1 y alelos A y B del gen CSN3) distribuidos en tres rebaños, recogiendo los datos cada dos meses durante toda la lactación. De esta manera, la leche de las cabras EE mostraron un índice de cuajado significativamente mayor que el de los individuos BB ($P < 0,05$). Contrariamente a los experimentos previos realizados en razas francesas, la producción de queso no fue significativamente diferente en las cabras BB, EE y EF. Además, demostraron que el genotipo CSN3 tenía un efecto significativo en el tiempo de coagulación ($BB > AB$, $P < 0,05$) pero no en la producción de queso. Por tanto, dado que en los experimentos realizados por Caravaca *et al.* (2011) no se encontró ninguna asociación entre los genotipos CSN1S1 y CSN3 y la producción de queso, al menos para la raza caprina Murciano-Granadina, la selección basada en la información genotípica de estos dos genotipos no generará un incremento en los beneficios debido a una mejora del proceso de transformación quesera.

Todavía se desconoce la posición precisa de los genes con efectos en los lípidos de la leche o en la composición proteica o sus contribuciones a la variedad fenotípica. Una excepción es el grupo de genes de caseína caprina, conocido por tener fuertes efectos en la composición de la leche y que ha sido analizado a niveles genómicos y de secuenciación (Martin *et al.*, 2002). En un estudio realizado por Guan *et al.* (2020) se analizaron los cambios producidos en el perfil de ARNm de la glándula mamaria en cabras Murciano-Granadinas en cada estadio de lactación. Los resultados obtenidos mostraron que los genes de caseína son los mayores determinantes genéticos de la variedad fenotípica de la proteína de la leche y de las características de la composición grasa en la cabra Murciano-Granadina, demostrando así el uso de los genotipos de caseína para mejorar estos dos fenotipos. Por tanto, la variación genética de las caseínas tiene un gran impacto en el contenido de proteína de la leche de cabra Murciano-Granadina. El conocimiento de cada SNP ayudaría a efectuar políticas de mejoramiento para reducir la frecuencia de aquellos alelos con nulo o peor efecto sobre los rasgos cuantitativos o cualitativos de la leche de cabra.

Pizarro *et al.*, (2019a) realizaron estos estudios en cabra Murciano-Granadina, obteniendo resultados preliminares para futuras investigaciones sobre la asociación entre SNP y rasgos reproductivos para en un futuro realizar programas de selección de razas caprinas lecheras más rentables. Por tanto, conocer el genotipado de la α_{S1} -caseína contribuye a la mejora de la precisión de los resultados de los valores genéticos conocidos tras la evaluación genética (Pizarro *et al.*, 2019a).

Técnicas de identificación de características interesantes para el sector lechero

Las mutaciones ocurridas dentro de estos genes influyen en las características de la producción láctea. De hecho, gran cantidad de los polimorfismos que influyen en la codificación de estos se asocian a la producción, composición o calidad láctea, hallándose propiedades tecnológicas hereditarias en la especie caprina. En este sentido, se ha demostrado que los SNP se pueden utilizar de forma muy eficaz para detectar, localizar e identificar mutaciones de importancia socioeconómica relacionadas con importantes características relacionadas con el sector lechero (Pizarro *et al.*, 2019a). Por ejemplo, los genes CSN1S1 y CSN3 se asocian al porcentaje de grasa y proteína. Los niveles de células somáticas en la leche reducen los niveles de caseína y aumentan la actividad enzimática, provocando el final de la vida útil de la leche, reduciendo el rendimiento quesero y la aceptación del producto, y, por tanto, el valor de la leche (Pizarro *et al.*, 2019a). Según Pizarro *et*

al. (2020), la evaluación de la dominancia y los efectos aditivos del complejo de caseína SNP (S1, S2 y caseína) y sus relaciones epistáticas pueden aumentar nuestro conocimiento y precisión de los valores genéticos obtenidos después de las evaluaciones genéticas de las cabras lecheras. Los biomarcadores pueden mejorar la producción de componentes cuya aplicación puede ser relevante para el sector de la producción quesera, lo que también permite agrupar animales según rasgos productivos similares. El equipo de Grosclaude (1987) fue el primero en estudiar los efectos de los polimorfismos de la α_{s1} -caseína mediante electroforesis (Serradilla, 2002). Ya en el año 1957, Lindquist & Storgards realizaron el examen electroforético de algunas variedades de quesos europeos, concluyendo que, en algunas variedades, la β -caseína se degradaba menos que la α -caseína, presentando la β -caseína mayor resistencia a la proteólisis que la α -caseína. Conclusión a la que también llegaron estudiando otras variedades de quesos algunos autores como Creamer (1970). Además, esta resistencia característica se observa independientemente de la especie de la que proceda la leche (vaca, oveja o cabra) o del coagulante (vegetal o de ternera). La mayor resistencia de la β -caseína a la proteólisis puede estar influenciada por factores físicos y químicos, pero no se encontró correlacionado para ninguno de ellos; sin embargo, en la hidrólisis de la α -caseína del queso se observaron influencias significativas para el contenido de cenizas, sal, calcio, fósforo, proteínas y agua, a_w y pH (Marcos *et al.*, 1976).

También se han desarrollado técnicas de genotipado para caracterizar el polimorfismo del gen CSN1S1 en poblaciones caprinas. Al principio, las variantes CSN1S1 fueron descritas mediante análisis de muestras de leche mediante gel de electroforesis combinado con isoelectroenfoque (Grosclaude *et al.*, 1987), pero con esta técnica sólo podían ser estudiadas las hembras lactantes. Este problema se solventó cuando fueron surgiendo otras técnicas moleculares basadas en la PCR (Ramunno *et al.*, 2000), permitiendo un genotipado más rápido de los alelos CSN1S1 más abundantes. Gracias a estas herramientas, se ha podido estudiar la segregación de los alelos CSN1S1 en muchas razas. De hecho, se ha encontrado que las frecuencias alélicas del gen CSN1S1 son diferentes para cada raza, lo que se explicarían por una combinación de efectos producidos por la deriva genética, la selección y otros factores demográficos y evolutivos (Quiles *et al.*, 1992). Serrano *et al.* (1999), estudiaron el polimorfismo genético de la leche de oveja Merina siguiendo las técnicas descritas por Chianese *et al.* (1996), identificándose siete fenotipos de la α_{s1} -caseína (CC, BB, BC, AB, AC, BD y CD), mientras que la α_{s2} -caseína y β -caseína mostraron tres perfiles electroforéticos.

Posibilidades de mejora genética en el rendimiento quesero en rumiantes

De un estudio realizado por Vidilla *et al.* (2011) con un grupo de 125 animales de la raza de carne caprina Blanca Rasquera escogidos al azar, se analizó una muestra de 36 animales hallándose un alto potencial y calidad tecnológica de su leche y producción quesera tras el estudio de los índices zoométricos junto con las frecuencias alélicas del gen CSN1S1. Por tanto, la implementación de un futuro programa de selección abriría un amplio abanico de posibilidades de mejora genética de estos caracteres. Según Caravaca *et al.* (2009), sería interesante investigar el efecto de los polimorfismos CSN1S1 y CSN3 en las propiedades reológicas de la leche. Además, las asociaciones del genotipo CSN3 con las propiedades de la coagulación de la leche todavía no han sido estudiadas en profundidad (Caravaca *et al.*, 2011).

CONCLUSIONES

Debido a la naturaleza y composición de la leche de cabra, y por tanto a las caseínas, se ha comprobado que la leche de cabra presenta una gran digestibilidad, por lo que es apta para personas con problemas digestivos y alérgicos.

De entre los diferentes tipos de caseínas, la α_{s1} -caseína sería la más interesante y estudiada, ya que la selección e inclusión del genotipo CSN1S1 podría mejorar la productividad y la eficiencia quesera, aunque sus efectos en la producción de leche todavía se desconocen por lo que sería necesario continuar con estudios más profundos.

El genotipo CSN3 también es considerado interesante por la función estabilizadora de sus micelas de caseína. La clara influencia de este genotipo sobre la proteína, caseína total y grasa de la leche, determinantes en la producción de queso y propiedades organolépticas, debe ser tomada en cuenta en la selección de marcadores en caprino lechero. Sin embargo, existen pocos estudios sobre la asociación entre el polimorfismo de este gen con los parámetros productivos, por lo que serían necesarios más estudios.

Dado que las características de la leche se diferencian básicamente por las caseínas, y estas son diferentes según la raza de la que se trate, e incluso entre ejemplares de la misma raza, sería interesante estudiarlas en profundidad para cada una de ellas teniendo en cuenta que cada uno de los polimorfismos correspondientes a cada tipo de genes de caseínas implicará diferentes características que habrá que ajustar a las necesidades en cada caso, por lo que se aumentaría el rendimiento obtenido, y por tanto, los beneficios.

El incremento en el consumo de leche de cabra en los últimos años implica que en un futuro pueda ser necesaria la selección de ganado caprino en función de las características de las caseínas de su leche para obtener los mejores rendimientos de la industria láctea y la mejor aceptación de los consumidores.

La existencia de técnicas eficaces de identificación de características interesantes para el sector lechero como los SNP para la mejora del rendimiento lácteo, puede implicar en un futuro el uso de estas técnicas de forma rutinaria.

BIBLIOGRAFÍA

- Amills M., Serradilla J.M., Clop A., Zidi A. & Jordana J. 2012. Genetics of caseins in Domestic Ruminants. Caseins: Production, uses and Health Effects. Chapter 3. Editors: A.M. Ventimiglia *et al.* Pp. 59-81.
- Amiot J. 1991. Ciencia y Tecnología de la leche. Editorial Acribia, S.A.
- Capra. 2004. La composición de la leche de cabra y su papel en la alimentación humana (en línea). Consultado 16 nov. 2004. Disponible en: <http://www.iespana.es/CAPRA/HOMBRE/HOMBRE.HTM>
- Caravaca F., Urrutia B., Carrizosa J., Angiolillo A., Jordana J., Amills M. *et al.* 2007. Efecto del locus CSN3 sobre la composición de la leche de cabra de raza Murciano-Granadina. ITEA 2007. Vol. Extra N°28. Tomo II, 510-512.
- Caravaca F., Amills M., Jordana J., Angiolillo A., Agüera P., Aranda C. *et al.* 2008. Effect of α_{s1} -casein (CSN1S1) genotype on milk CSN1S1 content in Malagueña and Murciano-Granadina goats. *Journal of Dairy Research* (2008) 75. 481-484.
- Caravaca F., Carrizosa J., Urrutia B., Baena F., Jordana J., Amills M. *et al.* 2009. Short communication: Effect of α_{s1} -casein (CSN1S1) and κ -casein (CSN3) genotypes on milk composition in Murciano-Granadina goats. *J. Dairy Sci.* 92: 2960-2964.
- Caravaca F., Ares J.L., Carrizosa J., Urrutia B., Baena F., Jordana J. *et al.* 2011. Effects of α_{s1} -casein (CSN1S1) and κ -casein (CSN3) genotypes on milk coagulation properties in Murciano-Granadina goats. *Journal of Dairy Research* (2011) 78, 32-37.
- Chacón A. 2005. Aspectos nutricionales de la leche de cabra (*capra hircus*) y sus variaciones en el proceso agroindustrial. *Agronomía Mesoamericana* 16 (2): 239-252.
- Chanat E., Martin P. & Ollivier-Bousque M. 1999. α_{s1} -casein is required for the efficient transport of b- and k-casein from the endoplasmic reticulum to the Golgi apparatus of mammary epithelial cells. *Journal of Cell Science* 112 3399-3412.
- Chianese L., Garro G., Mauriello R., Laezza P., Ferranti P. & Addeo F. 1996. Occurrence of five α_{s1} -casein variants in ovine milk. *J. Dairy Res.*, 63: 49-59.
- Creamer L.K. 1970. *NZJ. Dairy Sci & Technol.*, 5, 152.
- El-Shibiny S. 1978. The chemical composition and properties of goat milk, I milk proteins. *Egyptian Journal of Dairy Science* 6 (1): 77-80.
- Grosclaude F., Mahe´ M.F., Brignon G., Di Stasio L. & Jeunet R. 1987. A Mendelian polymorphism underlying quantitative variations of goat α_{s1} -casein. *Genetics Selection Evolution* 19 399-412.
- Guan D., Landi V., Luigi-Sierra M.G., Delgado J.V., Such X., Castelló A. *et al.* 2020. Analyzing the genomic and transcriptomic architecture of milk traits in Murciano-Granadina goats. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 11:35.
- Haenlein G.F.W. 2002. Milk and Meat Products (en línea). Consultado 31 oct. 2004. Disponible en: http://goatconnection.com/articles/publish/article_73.shtml
- Jordana J., Amills M., Díaz E., Angulo C., Serradilla D.M. & Sánchez A. 1996. Gene frequencies of caprine α_{s1} polymorphism in spanish casein goat breeds. *Small Ruminant Research*, 20 (1996) 215-221.
- Kawasaki K. & Weiss K.M. 2003. Mineralized tissue and vertebrate evolution: The secretory calcium-binding phosphoprotein gene cluster. *Proc Natl Acad Sci USA* 100:4060-4065.
- Kramm J.A. 2003. Composición proteica y su relación con las variantes genéticas A y B de κ -caseína y β -lactoglobulina en leche de vacas Frisón Negro. Tesis. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela de Ingeniería de Alimentos.
- Lindquist B. & Stargards T. 1957. *Milchwissenschaft*, 12, 462.
- Marcos A, Esteban M.A. & Fernández-Salguero J. 1976. Influencia de diversos factores químicos y físicos en la proteólisis de las caseínas del queso. *Archivos de Zootecnia*, vol. 25, N°97. P.73.

- Maree H.P. 1978. Goat milk and its use as hypo-allergenic infant food. *Dairy Goat Journal* 43:363-365.
- Martin P. & Addeo F. 1996. In *Production and Utilisation of Ewe and Goat Milk*, S.I. 9603 (eds R.K. Robinson, P. Kastanas and F. Vallerand), (International Dairy Federation, Brussels).
- Martin P., Szymanowska M., Zwierzchowski L. & Leroux C. 2002. The impact of genetic polymorphisms on the protein composition of ruminant milks. *Reproduction Nutrition Development*. 42. 433–459.
- Pizarro M.G., Navas F.J., Martínez M.A., Delgado J.V., Landi V., León J.M. *et al.* 2019a. Non-parametric association analysis of additive and dominance effects of casein complex SNP on milk content and quality in Murciano-Granadina goats. *J. Anim. Breed Genet*, 2019; 00: 1-16.
- Pizarro M.G., Landi V., Navas F.J., León J.M. & Delgado J.V. 2019b. Non-parametric analysis of the effects of α S1-casein genotype and parturition non-genetic factors on milk yield and composition in Murciano-Granadina goats. *Italian Journal of Animal Science*. 2019, vol.18, N°1, 1021-1034.
- Pizarro M.G., Landi V., Navas F.J., León J.M., Martínez A., Fernández J. *et al.* 2019c. Does the acknowledgement of α S1-casein genotype affect the estimation of genetic parameters and prediction of breeding values for milk yield and composition quality-related traits in Murciano-Granadina?. *Animals* 2019, 9, 679; doi: 10.3390/ani 9090679.
- Pizarro M.G., Landi V., Navas F.J., León J.M., Delgado J.V., Fernández J. *et al.* 2020. Integrating casein complex SNPs additive, Dominance and epistatic effects on genetic parameters and breeding values estimation for Murciano-Granadina goat milk yield and components. *Genes* 2020, 11, 309; doi: 10.3390/genes 11030309.
- Quiles A., Hevia M., Fuentes F., Barcina Y. & Ramírez A. 1992. Fraccionamiento electroforético de las proteínas de leche de cabra de raza Murciano-Granadina. *AN.Vet. (Murcia)*, 8 (1992).
- Ramunno L., Cosenza G., Pappalardo M., Pastore N., Gallo D., Di Gregorio P. *et al.* 2000. Identification of the goat CSN1S1F allele by means of PCR-RFLP method. *Anim Genet*. 31:342–343.
- Ramunno L., Cosenza G., Rando A., Illario R., Gallo D., Di Berardino D. *et al.* 2004. The goat α s1-casein gene: gene structure and promoter analysis. *Gene* 334 105–111.
- Remeuf F. 1993. Influence of genetic polymorphism of caprine α s1-casein on physicochemical and technological properties of goat's milk. *Lait*. 73, 549–557.
- Richardson C.W. 2004. Let's learn about dairy goats and goat's milk. Oklahoma Cooperative Extension Service. Oklahoma State University. Boletín No 424. RODDEN D. 2004. Dairy goat composition (en línea). Consultado 16 nov. 2004. Disponible en: <http://drinc.ucda-vis.edu/html/milk/milk-1.shtml>
- Rodden, D. 2004. Dairy goat composition (en línea). Consultado 16 nov. 2004. Disponible en: <http://drinc.ucda-vis.edu/html/milk/milk-1.shtml>
- Sánchez A., Angulo C., Amills M., Jordana J. & Serradilla J.M. 1998. Casein α -s1 polymorphism and their impact on production traits in Spanish goats. *Proceedings of the first international workshop on mammary gland biotechnology*. European Commission. 16 y 17 Agosto 1997. Budapest. Hungary.
- Schmidt D.G., Walstra P. & Buchheim R.D. 1973. *Neth. Milk Dairy J.*, 27, 128-142.
- Serradilla J.M. 2002. Polimorfismos genéticos de las proteínas lácteas caprinas. *Mundo Ganadero/Julio-Agosto*. P.p.: 54-56.
- Serrano B., Garzón A.I., Garro G., Chianese L. & Martínez J. 1999. Variabilidad genética de caseínas en la raza ovina Merina. *Arch. Zootéc.* 48: 197-206.
- Scott R. 2019. *Fabricación de queso* (2ª edición). Editorial Acribia, S.A.
- Trujillo A.J., Jordana J., Guamis B., Serradilla J.M. & Amills M. 1998. El polimorfismo del gen de la caseína α s1 caprina y su efecto sobre la producción, la composición y las propiedades tecnológicas de la leche y sobre la fabricación y la maduración del queso. *Food Science and Technology International*. 4, 217-235.
- Vassal L., Delacroix-Buchet A. & Bouillon J. 1994. Effect of AA, EE and FF genetic variants of alpha s1-casein from goat milk on cheese yield and sensory properties of traditional cheeses: preliminary observations. *Lait* 74 89–103.
- Vidilla M., Ferrando A., Villalba D. & Jordana J. 2011. Productive characterisation of a goat breed: study of growth and CSN1S1 gene polymorphism. *Archivos de zootécnia*. Vol.60, n°232. Córdoba dic.