



UNIVERSIDAD DE GRANADA

Facultad de Ciencias Biológicas

TESIS DOCTORAL

Interacción entre el genotipo de la α_{S1} -caseína y el nivel de proteína de la dieta. Utilización nutritiva, producción y composición de la leche en cabras de raza Malagueña

M^a GLORIA DE LA TORRE ADARVE

Directores:



Dra. M^a Remedios Sanz Sampelayo
Unidad de Nutrición Animal
Estación Experimental del Zaidín. Granada



Dr. Juan Manuel Serradilla Manrique
Departamento de Producción Animal
Universidad de Córdoba



Dr. José Luis Ares Cea
Centro de Investigación y Formación Agraria
Junta de Andalucía

ÍNDICE GENERAL Página

1. INTRODUCCIÓN	2
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. IMPORTANCIA DE LA GANADERÍA CAPRINA EN NUESTRO PAÍS.	6
2.2. COMPOSICIÓN Y CALIDAD ESPECÍFICA DE LA LECHE DE CABRA.	12
2.3. EFECTO DE LA ALIMENTACIÓN SOBRE EL CONTENIDO EN PROTEÍNA DE LA LECHE.	19
2.4 α_{S1} -CASEÍNA: UBICACIÓN, REGULACIÓN, EXPRESIÓN, POLIMORFISMO E INFLUENCIA EN LA COMPOSICIÓN DE LA LECHE	25
2.4.1. El cluster de caseínas: Filogenia de los genes de las caseínas sensibles al calcio y regulación de la expresión.	25
2.4.2. Polimorfismo en genes de lactoproteínas.	34
2.4.3. Influencia del polimorfismo genético en la leche.	41
2.4.4. Influencia del polimorfismo genético de las lactoproteínas sobre la calidad tecnológica de la leche de cabra.	47
2.5. NECESIDADES NUTRITIVAS DE LA CABRA EN LACTACIÓN.	57
2.6. ANÁLISIS DE LA UTILIZACIÓN NUTRITIVA DE UNA DIETA EN EL RUMIANTE	64
2.6.1. Ingesta de alimento.	64
2.6.2. Utilización de la dieta a nivel digestivo.	70
2.6.3. Utilización del nitrógeno.	73
2.6.4. Utilización de la energía.	76
3. MATERIAL Y MÉTODOS.	82
3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL.	82
3.2. SELECCIÓN DE ANIMALES.	83
3.3. METÓDICA DE LAS EXPERIENCIAS.	87
3.4. MEDIDAS Y ANÁLISIS.	91
3.4.1. Composición química y contenido energético de	91

muestras de alimentos, leches y excretas.	
3.4.2.Determinación del perfil en ácidos grasos de la grasa láctea.	93
3.4.3.Determinación de la composición de la leche por metodología NIRS.	94
3.4.4.Elaboración de quesos.	95
3.4.5.Cinética de coagulación de las muestras de leche. Obtención de optigramas.	95
3.5. PARÁMETROS OBTENIDOS O ESTIMADOS.	97
3.6. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE RESULTADOS.	100
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	103
4.1. COMPOSICIÓN DE LAS DIETAS CONSUMIDAS.	103
4.2. INGESTA DE MATERIA SECA Y ENERGÍA METABOLIZABLE.	105
4.3. INGESTA, FLUJO FECAL Y DIGESTIBILIDAD DE LOS DISTINTOS NUTRIENTES Y DE LA ENERGÍA. CONTENIDO EN PROTEÍNA DIGESTIBLE ENERGÍA DIGESTIBLE DE LAS DIETAS.	109
4.4. UTILIZACIÓN DEL NITRÓGENO.	117
4.5. UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA.	139
4.6. PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LECHE.	155
4.6.1.Cantidad de leche producida, concentración y rendimientos de sus principales componentes.	155
4.6.2.Composición de la grasa láctea. Perfil en ácidos grasos de la leche.	178
4.7. CALIDAD TECNOLÓGICA DE LA LECHE PRODUCIDA	182
5. RESUMEN Y CONCLUSIONES.	187
6. BIBLIOGRAFÍA.	191

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

El gen mayor de las caseína α_{S1} , una de las fracciones de la proteína coagulable de la leche, en las cabras presenta un inusual elevado polimorfismo genético, con 18 formas alélicas (Sacchi y col., 2005) que ha sido ampliamente estudiado desde los años 80 (Boulanger y col., 1984). Grosclaude y colaboradores en 1987 estudiaron el efecto de los diferentes alelos sobre el nivel de síntesis de caseína α_{S1} en las razas caprinas Alpina y Saanen y clasificaron los 7 alelos entonces conocidos en cuatro grupos: los alelos A, B y C, con un nivel de síntesis alto (3,6g/l), el alelo E, con efecto intermedio (1,6g/l), alelo F con un nivel de síntesis bajo (0,6g/l) y el alelo nulo, sin presencia de caseína α_{S1} en la leche (0g/l). Las formas alélicas que se han ido describiendo posteriormente pueden incluirse en uno de estos cuatro grupos. Aunque las magnitudes inicialmente estimadas para los niveles de síntesis proteica medios de estos alelos han sido ligeramente revisadas, el orden de los mismo no ha variado (Grosclaude y col., 1994; Barbieri y col., 1995). Además del efecto sobre el contenido de caseína, este polimorfismo genético influye en las propiedades tecnológicas de la leche. Así, los genotipos AA dan lugar a un mayor rendimiento de cuajada, una cuajada más firme y un menor tiempo de coagulación así como a un mayor rendimiento quesero (Grosclaude y col., 1994; Vassal y col. 1994; Trujillo y col., 1998). El mismo polimorfismo se ha observado en otras razas europeas, incluidas las españolas (Jordana y col., 1996), aunque con diferentes distribuciones de frecuencias de los alelos. En cuanto a los efectos del polimorfismo observados en las razas españolas Murciano-Granadina y Malagueña, son similares, en magnitud y signo de los observados en las francesas, en lo que se refiere al contenido en caseína y proteína en la leche. También se ha observado un mayor rendimiento de

cuajada asociado a los genotipos de síntesis alta de caseínas en las razas españolas (Angulo y col., 1994; Díaz-Carrillo y col., 1994; Angulo y col., 1996; Sánchez y col., 1998; Agüera y col., 2000).

Junto a lo anterior, es bien conocido cómo la alimentación es capaz de determinar en el rumiante en lactación, no sólo la cantidad de leche, sino también su composición. En lo que a contenido proteico se refiere, su incremento por medio de un cambio en la alimentación resulta ser, sin duda, el aspecto más difícil de conseguir (Marphy, 1995). Cuando a partir de un cierto nivel de proteína se administra una dieta con un mayor contenido proteico, el efecto que generalmente se consigue es el de aumentar la cantidad de leche producida, la que generalmente muestra una igual concentración proteica (Morand-Ferh y col., 2000). Sin embargo, el distinto requerimiento proteico que en razón del genotipo asociado a la síntesis de α_{S1} -caseína pudiera existir, es aspecto aún no establecido, y se desconoce totalmente las posibles causas que a nivel de utilización nutritiva determinan el diferente comportamiento productivo de los animales según genotipo.

Tras la consecución de importantes avances en el conocimiento de los efectos relacionados por una parte con la alimentación y por otra con la genética, con objeto de mejorar la producción de leche de las distintas especies, tanto en cantidad como en calidad, en los últimos años se están abordando estudios de la interacción entre ambos aspectos, vía que, por medio de la alimentación, podría llegarse a modular la expresión genética, aspecto éste no estudiado hasta la fecha en la especie caprina.

De acuerdo con lo expuesto, y con el fin de analizar la posible interacción entre genética-nutrición existente en la especie caprina,

identificándose al mismo tiempo las causas que a nivel de utilización nutritiva determinan el distinto comportamiento productivo de los animales según grupo genético, se programaron una serie de ensayos en los que se utilizaron cabras en lactación de raza Malagueña, pertenecientes a alta y baja capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína, animales que fueron alimentados en base a dos dietas diferentes en cuanto a su contenido proteico. Además de la ingesta, utilización digestiva de los distintos nutrientes y de la energía, utilización metabólica del nitrógeno y de la energía, se analizaba la producción y composición de leche, así como su calidad tecnológica.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. IMPORTANCIA DE LA GANADERÍA CAPRINA EN NUESTRO PAÍS

En España y de acuerdo con el MOPU (1982) más del 25% de su superficie (13.034 000 Ha) sufren fenómenos graves de erosión. Entre las zonas áridas destacan casi la totalidad de la provincia de Almería y parte de las de Murcia y Granada, con una superficie de unos 32.622 km², zona considerada como el único desierto europeo (Boza, 1991). Boza (1991) indica cómo, pese a la diversidad de las condiciones físicas, ecológicas, socioeconómicas y políticas, todas las zonas áridas presentan un problema común, la fragilidad en el equilibrio de sus ecosistemas y, en consecuencia, el peligro de desertización, provocado la mayoría de las veces, por la intervención del hombre que siempre abusó de su ambiente vital.

Para la región mediterránea árida y semiárida, diversos autores han propuesto la alternativa con mejores posibilidades productivas y conservadoras del medio el uso ganadero (Boza y col., 1985; Le Houreaou, 1989, Montserrat, 1990), mediante sistemas extensivos o semiextensivos, con bajos aportes del exterior, basados en sus propios recursos e integrados en el medio natural, dentro de lo que se entiende por agricultura sostenida, seleccionando a la cabra como especie de elección por su adaptación a estas zonas, y por el alto valor de sus producciones, al mismo tiempo que este tipo de ganadería de ordeño genera un trabajo continuado a lo largo del año, con lo que se favorece la estabilidad demográfica de estas áreas desfavorecidas (Boza , 1993).

Son numerosos los autores que han señalado que el ganado caprino es el medio más importante para mantener la presencia humana en grandes espacios de la cuenca mediterránea, actividad que, en opinión de Boza (2005), parece tener las mejores posibilidades económicas y, a la vez, conservadoras del medio. El caprino es un animal suministrador de alimentos de calidad para el hombre (leche y carne de animal joven), de materias primas (leche, pelo, piel), además de abono orgánico para la agricultura de primor, indicándose en la actualidad su interés ecológico como especie estabilizadora de los ecosistemas, cuando se maneja adecuadamente y con un papel destacado en la selvicultura preventiva, limpiando el monte y evitando, en gran parte, sus incendios.

Raggi y colaboradores (1985) indican cómo la adaptación y habituación han hecho, y siguen haciendo posible, la vida en los distintos ambientes. En relación con esto, es notable que la cabra se considere un animal con un espectro extremadamente amplio de adaptación a los diversos habitats, apareciendo desde el bosque tropical al desierto, a veces en medios tan difíciles que constituye para el hombre la única fuente de leche, carne y pieles. En este sentido, los autores citados (Raggi y col., 1985) comentan cómo, de una manera general, la distribución de una especie sobre la tierra indica el grado de su adaptación y habituación. Desde el comienzo de la domesticación de la cabra, se han ido desarrollando distintas razas al adaptarse a diferentes condiciones, razas que constituyen hoy una de las mayores riquezas agrarias de muchos países. Su aportación como fuente económica, como animal productor de carne y leche, es hoy sumamente importante en la India, Oriente Medio, Norte de África, cuenca mediterránea y en algunos países de América. Coexiste con la oveja en muchas de las zonas habitadas por esta especie y vive en los lugares climatológicamente más extremos, resultando más

activa y hábil en cuanto a conseguir alimento. Su rango ecológico se extiende desde zonas lluviosas tropicales hasta desiertos, incluso en los países más accidentados, presentando una mejor adaptación si nos referimos a situaciones extremas en los climas calurosos y secos que cualquier otra especie doméstica.

Boza (1983) comenta cómo en el curso de su adaptación para sobrevivir en ambientes desfavorables, la cabra ha desarrollado diversas características anatómicas y fisiológicas que le permiten utilizar muy eficazmente la energía disponible, como por ejemplo, con un bajo consumo de agua. Hafez (1968) también comenta el bajo consumo y excreción de agua que presenta la cabra, que es el más importante signo de adaptación a las condiciones áridas o desérticas, mostrando una gran eficiencia en cuanto a la economía del agua en dichas condiciones.

Shlolnik y colaboradores (1980) nos hablan de la economía del agua de la cabra beduina en el desierto de Negev, en Israel, cabra que con unos 25kg de peso vivo, bebiendo cada 48h, produce 2kg de leche/día, perdiendo durante la privación de agua, de un 25 a 30% de su peso, que es recuperado después de la ingestión de agua. En opinión de estos autores, el rumen, a parte de su importante papel en la digestión de la celulosa en la cabra, se comporta como un gran reservorio de agua, pudiendo almacenar cantidades que pueden llegar al 4% de su peso, lo que le permite mantener la tasa de turnover de agua junto a altas producciones de leche, en zonas en las que otros animales raramente lograrían mantenerse.

Boza (1983) comenta cómo esta habilidad que muestra la cabra de reducir las pérdidas de agua junto a su almacenamiento en el rumen, alcanza una relevante importancia en las zonas áridas y semiáridas de clima

mediterráneo, caracterizado por la falta de agua, veranos prolongados y secos y escasez de alimento, los que a la vez resultan de baja calidad por su alto contenido en fibra. Esta alta tolerancia a los ambientes con insuficiencia en agua, parece también deberse, a su capacidad de no disminuir su ingesta frente a altas temperaturas, con el consiguiente alto rendimiento en agua metabólica (Raggi y col., 1985).

Respecto del efecto de las altas temperaturas, normalmente existentes durante el verano en las zonas áridas y semiáridas, Raggi y colaboradores (1985) indican cómo en la cabra, la pérdida de calor por evaporación de sudor juega un pequeño papel, existiendo evidencias claras de que suda menos que la oveja y mucho menos que el ganado vacuno. Además, se ha observado cómo estos animales tienen producción de calor metabólico más bajo. Como protección contra la absorción de calor, muchas cabras de los países cálidos tienen un pelo corto, fino, lustroso que cae de pleno sobre la piel y refleja una proporción considerable de calor incidente (French, 1970). Según Raggi y colaboradores (1985), esta pérdida por reflexión es la que hace a la cabra tener una zona de termoneutralidad con un límite superior bastante elevado. Junto a esto, los autores citados comentan que uno de los mecanismos usados incluso por algunos mamíferos para defenderse de las condiciones térmicas, es cambiar estacionalmente de homeotermos a poiquilotermos, abandonando temporalmente el control más fino de su temperatura interna. En este sentido, Bligh y Harthorn (1965) observaron en el camello que habita en las zonas calurosas y desérticas del Norte de África, una variación durante las 24h de su temperatura corporal bastante mayor que la de otros mamíferos que conviven con él. Estos animales usan su cuerpo como condensadores de calor, almacenando el absorbido o producido durante el día, perdiéndolo por radiación durante la noche, mucho más fría. Esta facultad de ajustar

dentro del día la temperatura corporal a la del ambiente, es a lo que se llama termolabilidad y heterotermos a los mamíferos que la presentan (Bligh y col., 1976), pareciendo ser la cabra una de estas especies (Raggi col., 1985).

Boza (1993) indica cómo en ocasiones se ha definido a la cabra como un animal oportunista que forma su dieta con una mayor variedad de especies vegetales que los otros rumiantes domésticos, presentando como peculiaridad específica su preferencia por los alimentos lignocelulósicos, particularmente arbustos y ramones de árboles, con un mayor consumo de estos en otoño e invierno, épocas en las que están disponibles en las zonas áridas.

En cuanto a la introducción de la cabra en España, Boza y Sanz Sampelayo (1984) informan de que distintos datos arqueológicos nos hablan de su presencia desde tiempos muy remotos. Si bien su explotación ha sido tradicional durante siglos, ésta encuentra su periodo más floreciente durante la dominación musulmana. Boza y Sanz Sampelayo (1984) comentan como en el “Libro de las utilidades de los animales” (Anónimo, siglo XI), se dedica un capítulo a la cabra y en él se señalan las cualidades de la carne de cabrito que preserva la salud y es más equilibrada que la de cordero, su leche que es la más sutil y parecida a la de mujer, indicándose igualmente, su empleo como antídoto de venenos.

Respecto de la explotación de esta especie en Andalucía, se conoce a través de textos geográficos algunos aspectos de la utilización de los recursos naturales en el Estado cordobés, tal como la existencia de abundantes rebaños de cabras en zonas próximas a Cádiz (Sánchez Martínez, 1980).

Del Reino Nazarí granadino, se dispone de datos de censos, manejo y producciones documentados por Álvarez de Cienfuegos (1958) y Cano (1974). Alonso de Herrera (1981) dedica en su obra “Agricultura general” editada por primera vez en 1513 un capítulo a la cabra. Boza y Sanz Sampelayo (1984) comentan cómo en la citada obra se califica a la cabra como especie que se sostiene muy bien y mejor que otros ganados, hasta el punto de referirse a ella en términos tales como “nunca cabra se vio muerta de hambre”. Narra sus hábitos alimenticios y modo óptimo de pastoreo, sus características, la manera y mejor tiempo de cría, etc. En relación con la calidad de la leche, se indica que “después de la de mujer, es la mejor, incluso para los tísicos”. Boza y Sanz Sampelayo (1984) comentan cómo lo recogido por Alonso de Herrera puede en parte referirse a conocimientos alcanzados en Andalucía, pues según nos dice Terrón, en la crítica a la última edición de esta obra, no debemos olvidar cómo el autor, que escribe su libro por encargo del Cardenal Cisneros, vivió algunos años en Granada y conoció la agricultura y ganadería hispanoárabe de la ciudad recién conquistada. Después de esta época, distintas vicisitudes de carácter histórico hicieron que la importancia de esta especie sufriera un duro revés. Sin embargo, el ganado caprino continuó siendo en la Edad Moderna una de las especies más importantes de Andalucía, lo que siguió sucediendo hasta la Edad Contemporánea.

En opinión de Boza y Sanz Sampelayo (1984) a pesar de todas las vicisitudes sufridas, un futuro prometedor parece vislumbrarse para la ganadería caprina. Las peculiares características de Andalucía y su actual situación económica, determinan que la ganadería sea una de las industrias primarias de la que se puede esperar los mejores resultados a corto plazo. En la Andalucía seca, con relieve accidentado, se piensa que la cabra es la

especie que mejor puede aprovechar los recursos de esas zonas. La existencia de grandes extensiones pobladas de vegetación arbustiva o semileñosa de escaso rendimiento, áreas montañosas con producciones vegetales poco accesibles, zonas de monocultivos (cereal, olivar, oleaginosas, remolacha), con escasa ganadería y en donde quedan subproductos de interés para la alimentación animal, o, finalmente, áreas de la agricultura intensiva (vega y costa) con grandes cosechas que dejan abandonados residuos que, en la mayoría de los casos, son quemados, constituyen los medios por los que estos recursos pueden ser transformados en leche y carne, colaborando a la vez a estabilizar dichos ecosistemas (Boza y Sanz Sampelayo, 1984).

El censo caprino en España en 2002 (MAPA, 2004) era de 3.046.716 cabezas, de las que 1.278.811 se encontraban en Andalucía, lo que representa el 42.0% del total. En el mismo año, la producción de leche de cabra en España fue de 489 millones de litros, de los cuales 253.2 millones se produjeron en Andalucía, lo que supone un 51.8% de la producción total. Estos datos hablan de la gran aptitud lechera de las principales razas andaluzas, mostrando a esta Comunidad como la zona de nuestro país más importante en lo que a producción de leche caprina se refiere.

2.2. COMPOSICIÓN Y CALIDAD ESPECÍFICA DE LA LECHE DE CABRA

La leche es un líquido fisiológico secretado por la glándula mamaria, que constituye el alimento destinado al recién nacido, por lo que debe de satisfacer sus requerimientos específicos (Sanz Sampelayo y col., 2003). En el I Congreso Internacional para la Represión de los Fraudes en los Alimentos (en Ginebra, 1908) se definió como “el producto íntegro del

ordeño completo e ininterrumpido de una hembra lechera, sana, bien alimentada y no fatigada”.

Aunque la leche de cabra en nuestro país se destina casi en exclusiva a la producción de queso, en países en vías de desarrollo es una fuente de proteína esencial sobre todo para los niños, y, como pondremos de manifiesto en otros momentos, que la cabra sea capaz de producir su leche en condiciones donde otros rumiantes raramente sobrevivirían, le hacen tener una importancia aún mayor.

Composición química de la leche

La leche es un líquido mate que mantiene en emulsión lípidos en glóbulos grasos, en suspensión caseínas ligadas a sales minerales no disueltas y en solución sales minerales, proteínas solubles y lactosa. La leche de cabra, sensorialmente, se diferencia por ser de un color más blanco que la de vaca debido a la ausencia de β -carotenos y también tiene un marcado componente organoléptico distintivo, que es debido a su diferente composición en ácidos grasos.

Grasa

La grasa, que por su marcado carácter hidrófobo, es insoluble en líquidos polares, por lo que se encuentra en la leche en forma de pequeñas gotas en emulsión. El diámetro de estos glóbulos de grasa es de unas $3.5\mu\text{m}$, diámetro menor al de los glóbulos de grasa en leche de vaca ($4.5\mu\text{m}$) lo que le confiere características concretas que en el momento de la digestión hace posible una mejor digestibilidad de ésta y es

recomendable en determinados estratos de población (Boza y Sanz Sampelayo, 1997). En los procesos de coagulación en elaboración de quesos, el tamaño menor de los glóbulos de grasa facilita su lipólisis y evita su enranciamiento (Boza y Sanz Sampelayo, 1997).

La cantidad de grasa, en porcentaje y por término medio, de la leche de cabra es superior a la de vaca (4,14 vs. 3,34%) y estos valores están muy por debajo de la leche de oveja (7,00%). La leche humana, en su contenido en grasa es similar a la de cabra (4,38%) (Boza y Sanz Sampelayo, 1997).

El 97-99% de todos los lípidos de la leche de cabra se encuentran en forma libre. De este porcentaje de lípidos libres, el 97% son triacilglicéridos (TAG), y su perfil en ácidos grasos coincide con el perfil total de la grasa (Channan y col., 1992).

Haelein (2004) pone de manifiesto que las diferencias que se encuentran a nivel de perfiles de ácidos grasos, hacen de la leche de cabra un producto más saludable que la de otros rumiante.

Los triglicéridos de cadena media o MCT (6 a 14 átomos de carbono) tienen una actividad terapéutica en determinadas patologías asociadas, por ejemplo, a déficit en producción de ácidos biliares. Los ácidos grasos de cadena media, constituyentes de los MCT, son más abundantes en la leche de cabra que en vaca, (46% superior) lo que la hace más saludable. Estos ácidos grasos tienen la particularidad de que comienzan su digestión en el estómago y su absorción en el intestino, tras su separación de la glicerina, pasando a la vena porta, de ahí al hígado y a los tejidos periféricos, bien en forma de ácidos grasos libres o ligados a albúmina. Esta diferente digestión hace que también se empleen en dietas para pacientes con insuficiencia

pancreática, fibrosis quística de páncreas, pancreatomectomía, déficit o ausencia de sales biliares en hepatitis crónica o neonatal, cirrosis biliar o alcohólica, ictericia obstructiva, hiperlipoproteinemia (Boza López y Sanz Sampelayo, 1997)

Otros usos terapéuticos de los triglicéridos de cadena media son los relacionados con desordenes clínicos tales como síndrome de malabsorción, resección intestinal, malnutrición infantil, epilepsia, fibrosis quística, etc. Debido a su especial digestión, estos ácidos grasos proporcionan energía de forma muy rápida (Haenlein, 2004).

Los ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, en porcentajes superiores (16 y 25% superior, respectivamente) en cabra vs. vaca, también están relacionados con beneficios para la salud humana (Haelein, 2004). Se recomienda el consumo de este tipo de ácidos grasos, en especial, para pacientes con problemas cardiovasculares ya que se relaciona con disminución de síntesis de colesterol endógeno, además de disminuir el colesterol total y el LDL en sangre (Boza López y Sanz Sampelayo, 1997)

El ácido linoleico conjugado (CLA) es considerado como un buen antiaterogénico y esto entra en contraposición con la achacada a los alimentos de origen rumiante, catalogados de alimentos poco saludables por su alto nivel de grasa saturada. En la actualidad, hay numerosos estudios (Chilliard y col., 2003; Sanz Sampelayo y Boza, 2005) sobre las diferentes formas del ácido linoleico conjugado (CLA) que se encuentra de forma natural en la leche del rumiante y, en concreto, en la leche de cabra. Dado su origen, el contenido en CLA está muy relacionado con el forraje de la dieta, de manera que cantidades de forrajes mayores en la ración, dan lugar a aumentos en la cantidad de éste en leche, hecho que, por tanto, es

favorecido por los sistemas extensivos y semi-extensivos bajo los que se encuentran los pequeños rumiantes en general.

Proteína

La proteína es el componente más importante de la leche desde el punto de vista tecnológico, y es de gran interés puesto que la leche de cabra se dedica casi en exclusividad a la fabricación de queso, aunque en la actualidad se comienza a estudiar su potencial terapéutico.

Es interesante conocer cual es su calidad en cuanto a composición en aminoácidos, especialmente esenciales. Seis de los diez aminoácidos esenciales están en cantidades superiores en leche de cabra vs. vaca (Haelein, 2004).

La cantidad de proteína en leche está determinada por múltiples factores, que van desde genéticos (polimorfismos que afectan a cada una de las principales proteínas lácteas) a ambientales (dieta, lactación, estación, número de chivos en el parto, momento en la curva de lactación, etc) (Chandan y col., 1992; Quiles y col., 1994;Díaz y col., 1999).

En relación a las posibles ventajas del consumo de leche de cabra frente al de vaca en pacientes con problemas de intolerancia y/o alergia a proteínas lácteas, principalmente se debe a la diferente composición en cuanto a α -caseínas, que es hasta 10% superior en leche de vaca frente a la de cabra. Haenlein (2004) recoge en una revisión sobre el tema, que diversos estudios realizados en Francia, entre otros países, en niños con alergia a leche de vaca, tiene un efecto positivo el cambio a leche de cabra de hasta un 93% de los casos. Cuando buscamos una explicación a este

hecho, se llega a la conclusión que la principal diferencia entre ambas leches es su contenido en α_{S1} -caseína. Además, esta menor cantidad en α -caseína en general de la leche de cabra, puede que le confiera otras características tales como una mayor digestibilidad de la proteína de la misma. Esto se debería, según recogen Boza López y Sanz Sampelayo (1997) a que el tiempo de coagulación sería menor, lo que determinaría un mejor aprovechamiento a nivel digestivo.

En relación a las proteínas del suero, éstas llegan a representar en la leche de cabra hasta un 26% frente al 16,8% que alcanzan en la de vaca, pero la proporción de cada una de las fracciones dentro de la proteína sérica si que son similares. Aunque proporcionalmente la α -lactoalbúmina es mayor en la leche de cabra, en test cutáneos de alergenicidad, dan positivos para leche de vaca y no para la de cabra, lo que hace pensar que las reacciones cruzadas de unas leches frente a otras debe ser causada, no solo por una de las proteínas, sino por las combinaciones de éstas (Park, 1994).

Entorno al 90% del nitrógeno lácteo en la leche de cabra se encuentra en forma de proteína, y el resto está formado por nitrógeno no proteico (Park, 1991), y contrasta con la mayor cantidad de nitrógeno lácteo vs. no proteico de la leche de vaca. Este hecho le proporciona a esta leche de cabra la capacidad de actuar como tampón en tratamientos de úlceras (Park, 1991).

Hidratos de carbono

En cualquier leche, el hidrato de carbono mayoritario es la lactosa. El síndrome de intolerancia a la lactosa más importante, es aquel en el que los pacientes carecen de lactasa. En este caso, el único tratamiento consiste en

leches hidrolizadas que permiten una correcta digestión de monosacárido. Pero existen otras intolerancias relacionadas con la lactosa que se manifiestan especialmente cuando el paciente consume leche de vaca. Boza López y Sanz Sampelayo (1997) sugieren en su trabajo de revisión que el cambio a leche de cabra puede ser beneficioso para un grupo importante de individuos con esta afección puesto que existe una relación favorable entre la digestibilidad de la proteína y la lactosa de esta especie, debido a que en el proceso digestivo, la formación de un coágulo más apropiado y que es capaz de liberar nutrientes a un ritmo más adecuado, facilitaría la digestión de este disacárido.

Aunque la cantidad de lactosa de la leche de los rumiantes es claramente inferior a la de la leche humana, el perfil que encontramos en cuanto al conjunto de hidratos de carbono que aparece en la leche de cabra, se asemeja a la humana más que el de otras especies de rumiantes (Martínez Ferez, 2006).

Minerales, sales y elementos traza

Los minerales, sales y elementos traza de la leche en general hacen de ésta un alimento excepcional (Boza y Sanz Sampelayo, 1997). La concentración de minerales cambia entre periodos de lactación y entre rebaños (Chandan y col., 1992).

Destacaremos de entre todos los minerales el calcio y el fósforo que se encuentran en proporciones óptimas para su absorción (Campos y col. 2003), y el selenio que es un elemento esencial y su nivel en leche de cabra es similar al que contiene la leche humana (13,3 vs. 15,2µl) y muy superior a la de vaca (9,5µl). El funcionamiento de la glutatión peroxidasa, enzima

muy importante en la leche, y que requiere la presencia de selenio, está relacionada con procesos de eliminación de radicales libres, esto implica que la actividad en leche de cabra es mayor a la de leche de vaca. Por último, Barrionuevo y colaboradores (2002) ponen de manifiesto la mejor utilización del hierro y cobre procedente de leche de cabra frente a vaca,

El término Alimento Funcional propuesto en Japón en el año 1980 para su reglamentación, son aquellos que satisfactoriamente han demostrado afectar beneficiosamente a una o más funciones específicas del organismo, más allá de los efectos nutricionales adecuados. Chandan y colaboradores (1992) recogen el creciente interés que la leche de cabra y sus derivados está adquiriendo dentro de la tendencia al consumo de alimentos sanos o incluso funcionales.

2.3 EFECTO DE LA ALIMENTACIÓN SOBRE EL CONTENIDO EN PROTEÍNA DE LA LECHE DE CABRA.

Resulta bien conocido la influencia que ejerce la alimentación sobre la producción de proteína y grasa de la leche, mientras que la proporción de lactosa así como las sales minerales permanecen prácticamente constantes (Bondi, 1989). Sobre el contenido proteico de la leche, son los aspectos energéticos y proteicos de las dietas que recibe el animal, junto con las condiciones genéticas de estos, los que ejercen una mayor influencia.

Diferentes tipos de ensayos y trabajos de revisión recogen la información en este sentido disponible en relación con la leche de las distintas especies de rumiantes, entre ellas la cabra. La importancia del contenido en proteína de la leche de cabra estriba no solo en su correspondiente valor nutritivo si no también, en que dicho componente es

el que más determina el rendimiento en queso de la misma, destino principal, hoy por hoy, de este tipo de leche. Así, Ricordeau y Mocquot ya demostraron en 1967 cómo el contenido proteico de la leche de cabra explica un 76% de la variación de su rendimiento quesero, aspecto que ha sido puesto de manifiesto por diferentes trabajos posteriores (Sanz Sampelayo y col., 1998a).

En relación con la alimentación, el gran factor a tener en cuenta respecto del contenido en proteína de la leche, es la ingesta de alimento. Una situación de ayuno o baja ingesta, determina una caída en la producción de leche, obteniéndose en ésta una mayor concentración de grasa, efecto que, con menor intensidad, se origina igualmente, sobre el contenido en proteína, lo que al parecer resulta debido exclusivamente, a la menor secreción de leche que entonces tendría lugar (Morand-Fehr y col., 1991).

Un incremento en el suministro energético, procedente, por ejemplo, de un mayor aporte de concentrado, da lugar a una leche con un mayor contenido en proteína y caseína, aspecto al parecer dependiente del potencial productivo del animal (Morand-Fehr y Sauvant, 1980, Sauvant y Morand-Fehr, 2000, Boquier y col., 2000). Este sería un efecto directo sobre la producción de proteína, ya que la energía adicional daría lugar a una mayor disponibilidad de energía para la síntesis de proteína microbiana, resultando ser esta proteína la que en mayor proporción determina la proteína de la leche. En este sentido, Morand-Fehr y colaboradores (1991) indican cómo, en general, un mayor aporte energético da lugar a una subida en el contenido en proteína de la leche, no teniendo lo contrario siempre un efecto opuesto, es decir, una bajada en el suministro

de energía puede no determinar un menor contenido en proteína de la leche aunque se produzca una menor producción de ésta.

El tamaño de la fracción fibrosa de la dieta, en cuanto que es capaz de cambiar la fermentación ruminal, puede dar lugar a una leche de distinta composición, concretamente, con un diferente contenido en proteína. Así, cuando un heno se ofrece en forma granulada en lugar de en forma de fibra larga, el contenido en grasa de la leche puede llegar a bajar, mientras que sucede lo contrario en relación con el contenido en proteína. Estos efectos pueden explicarse por el hecho de que el forraje granulado da lugar en el rumen a una fermentación dirigida especialmente a la producción de propionato a expensas de acetato (Morand- Fehr y col., 1980, 1991). Sin embargo, Sanz Sampelayo y colaboradores (1998b) no obtiene diferencias en cuanto a la composición de una leche de cabra al administrar bien un heno de alfalfa en forma de fibra larga o en forma granulada, deduciéndose que el factor más determinante parecía ser la ingesta energética correspondiente.

Un caso particular es el que se refiere a la suplementación de la dieta con una grasa. La mayor densidad energética que entonces la dieta alcanza se traduce, especialmente, y dependiendo de la capacidad productiva del animal, en la obtención de una leche con un mayor contenido en grasa. Junto a esto, un efecto igualmente alcanzado, es la producción de una leche con un menor contenido en proteína, efecto que, en opinión de distintos autores, podría quedar relacionado con la secreción de insulina e incluso por una alteración de la síntesis proteica en el rumen (Morand-Fehr y col., 1991). En este sentido, hay que destacar que en el pequeño rumiante, la caída que en el contenido en proteína de la leche la suplementación con grasa produce en la vaca, parece ser de menor intensidad o incluso no

darse, sobre todo en la cabra, donde puede incluso obtenerse una leche con un nivel proteico más alto, resultado encontrado por Chilliard y Bocquie (1993) en 14 de los 20 estudios que fueron al respecto revisados. En nuestro grupo de trabajo, al suplementar la dieta de cabras en lactación con una grasa protegida, se obtuvo una leche con igual contenido en proteína o, incluso, con valores más altos, dependiendo del momento de la lactación (Sanz Sampelayo y col 2000, 2004).

Otro aspecto a considerar es el del contenido y naturaleza de la proteína de la dieta. Como indica Morand-Fehr y colaboradores (1991), los estudios llevados a cabo en este sentido resultan en la cabra escasos, obteniéndose, además, resultados contradictorios. En individuos de raza Alpina, en el centro de la lactación, al sustituir una harina de soja por harina de carne, en una ración que resultaba isoenergética e isonitroganda respecto a la primera, no se alteraba significativamente la producción de proteína láctea. Por el contrario, la sustitución de la harina de soja por harina de pescado, lograba en la cabra de raza Damascus, un incremento en la concentración de proteína en la leche, consiguiéndose, al mismo tiempo, una igual cantidad de leche (Hadjipanayoton, 1987). Del mismo modo, al sustituir harina de soja por semillas ricas en proteína, manteniéndose las dietas isoenergéticas e isonitrogenadas, no se conseguía ningún cambio ni sobre la cantidad ni sobre la naturaleza de la proteína láctea (Masson, 1981).

Como se ha indicado, en relación con el efecto de la naturaleza de la proteína dietética sobre el contenido en proteína de la leche, igualmente escasos resultan los estudios llevados a cabo en la cabra con el fin de establecer el efecto del nivel proteico de la dieta sobre el contenido de éste nutriente en la leche. Hadjipanayiotou y colaboradores (1987) introdujeron

en la dieta de cabras en lactación, valores de proteína comprendidos entre el 8 y 16%, deduciendo cómo el incremento en dicho nivel podía dar lugar a una mayor producción de leche, alterándose, de manera mínima, su concentración en proteína.

Como indica Morand-Fehr y colaboradores (2000), diferentes estudios relativos al efecto del contenido en proteína de la dieta sobre la composición de la leche de cabra, confirmaron que un incremento en la cantidad de proteína dietética, normalmente, establece una mayor producción de leche, no alterándose la concentración en proteína de la misma (Rubino y col., 1995, Pailan y Kaur, 1996). El efecto que el contenido en proteína de la dieta puede tener sobre la producción de leche queda resumido claramente por Caja y Bocquier (2000), de la siguiente manera: 1) bajo una determinada ingesta energética, se necesita un nivel mínimo de proteína, nivel por debajo del cual la producción de leche cae; 2) este nivel mínimo será mayor en los casos en que resulte mayor el nivel de producción de leche; y 3) un aumento en la concentración de proteína en la dieta sin que vaya acompañado de un incremento en la ingesta energética, determinará un incremento en la producción de leche, siempre que el límite de la capacidad productora del animal no se haya alcanzado. Estos autores (Caja y Bocquier, 2000) igualmente indican cómo, tanto el nivel de urea en leche, como en sangre, quedaba relacionado positivamente con el nivel de proteína de la dieta, detectándose también, de acuerdo con lo que hemos comentado, una relación directa entre la ingesta de proteína digestible sobre mantenimiento, y la producción de leche.

En el aspecto que se revisa, es necesario tener en cuenta como los sistemas que hoy se utilizan para estimar las necesidades en proteína del rumiante en lactación, distinguen entre la fracción de proteína dietética que

al degradarse en el rumen da lugar a proteína microbiana y aquella otra que al escapar de la fermentación ruminal llega intacta al intestino delgado (ARC, 1980, NRC, 1985). Desde la introducción de estos nuevos sistemas, se vienen llevando a cabo una serie de estudios tendentes a establecer el efecto que diferentes fuentes proteicas, en razón de su composición y degradabilidad, pueden llegar a tener sobre la producción láctea correspondiente, todo ello con la pretensión de llegar a optimizar el rendimiento del proceso en cuanto a lo que a producción de proteína láctea se refiere (Marphy ,1995). Sin embargo, los resultados al respecto obtenidos, no son siempre los esperados, y se señalan diferentes causas para explicar este hecho, pareciendo ser la principal razón la que apunta que para que una suplementación con proteína tenga un efecto positivo sobre la producción de proteína lácteas, la composición aminoacídica de la fracción no degradable de a misma debe ser tal que de lugar a una suplementación de la proteína microbiana, teniendo que ver también al respecto, el modelo de fermentación ruminal en cada caso establecido (Chandler, 1995, Rulquin y Verité, 1993). De acuerdo con esto, Sanz Sampelayo y colaboradores (1999) diseñaron para cabras en lactación una serie de dietas en las que una proporción de su proteína procedía de diferentes fuentes proteicas en razón de su mayor o menor degradabilidad ruminal. Junto con obtener el efecto de la cinética de degradación sobre la cantidad y composición de la proteína láctea, se estableció la aptitud tecnológica de la leche en cada caso producida (Sanz Sampelayo y col., 1998a), deduciéndose cómo en los casos en los que en razón de la naturaleza de la proteína dietética se conseguía un mayor nivel de proteína láctea, dicho incremento quedaba asociado a la cantidad de caseína (Sanz Sampelayo y col., 1999)

2.4. α_{S1} -CASEÍNA: UBICACIÓN, REGULACIÓN, EXPRESIÓN, POLIMORFISMO E INFLUENCIA EN LA COMPOSICIÓN DE LA LECHE

2.4.1. EL CLUSTER DE CASEÍNAS: FILOGENIA DE LOS GENES DE LAS CASEINAS SENSIBLES AL CALCIO Y REGULACIÓN DE LA EXPRESIÓN

Filogenia de los genes de caseínas sensibles al calcio

El ligado de locis de variantes alélicas bovinas, concretamente α_{S1} y β -CN fue el primer descubrimiento de eventos de no-independencia detectados entre ambas caseínas y lo que llevo a Grosclaude y colaboradores (1973) a considerar que los genes que codifican para α_{S1} y β - caseína debían estar situados muy cercanos dentro del cromosoma. En bovino, las caseínas se encuentran localizadas en el cromosoma autosómico 6, en concreto en unas 250 kilobases (kb) (Martin y col., 2002). En caprino los genes de las caseínas se localizan en el cromosoma 4 (Trujillo y col., 1998, Ramunno y col., 2004). En ambas especies se ha podido observar que la secuencia en la que se encuentran los genes dentro del cluster es: α_{S1} - β - α_{S2} - κ . La distancia entre α_{S1} - β es de tan solo 12kb y ambos poseen un patrón de transcripción convergente (Martin y col., 2002).

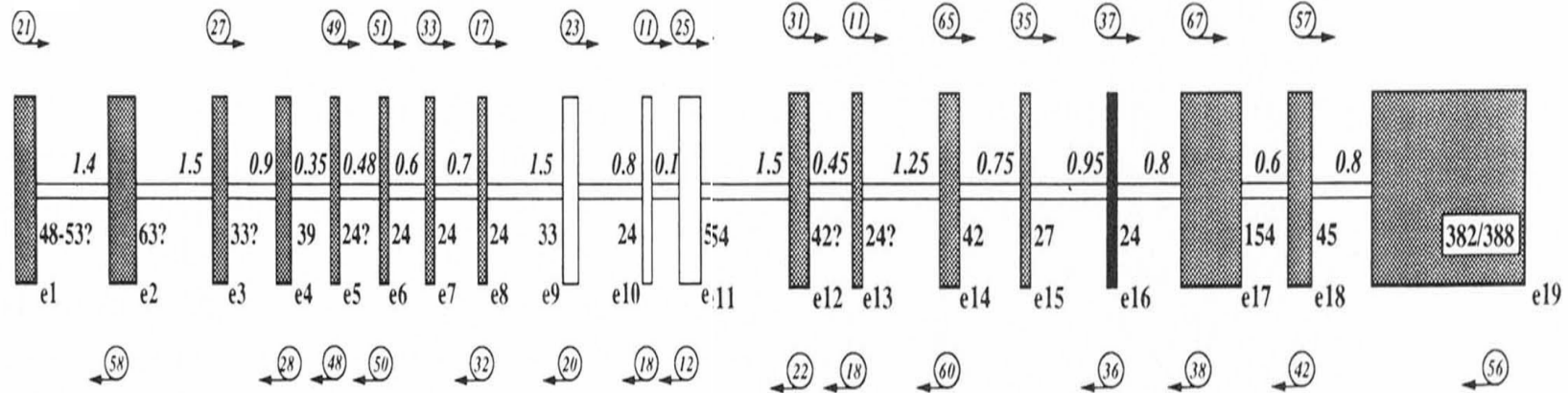
El CSN2, gen que codifica para la β -caseína, parece ser el más conservado entre especies, lo que hace pensar que a partir de él se produjeran fenómenos de duplicación y de barajamiento de los exones que posteriormente darían lugar a CSN1S1 y CSN1S2 (genes que codificaría α_{S1} y α_{S2} - caseína). Estos tres genes sensibles al calcio mantendrían altamente conservadas los extremos 5' y 3'UTR (región no traducible),

además del péptido señal y el lugar mayor de fosforilación (Rijnkels, 2002). En cambio, el CSN3 (codifica para κ -caseína) no está evolutivamente relacionado con los genes de caseínas sensibles al calcio, aunque físicamente está muy ligado a esta familia. En este caso, entre distintas especies, está altamente conservado el péptido líder y el caseinomacropéptido (Rijnkels, 2002).

El hecho de que todas las especies de mamíferos actuales tengan la familia de genes sensibles al calcio además del gen de la κ -caseína, hace suponer que los genes ancestrales emergieron antes de la radiación de los mamíferos (hace unos 300 millones de años) y que la familia de genes sensibles al calcio evolucionó a partir de un gen ancestral vía barajamiento y duplicación de exones y posteriormente se reclutó el gen que codifica para la κ -caseína (Rijnkels, 2002).

Toda esta evolución, nos lleva a un gen que codifica para α_{S1} -caseína, que está constituido por 19 exones, con tamaños que oscilan entre 24 pares de bases y 385, 18 intrones, de tamaños también diversos (90 a 1685 pares de bases), cuya proteína madura está codificada a partir del exón 2, el codón de parada en el exón 17 y la señal de poliadenilación en el exón 18.

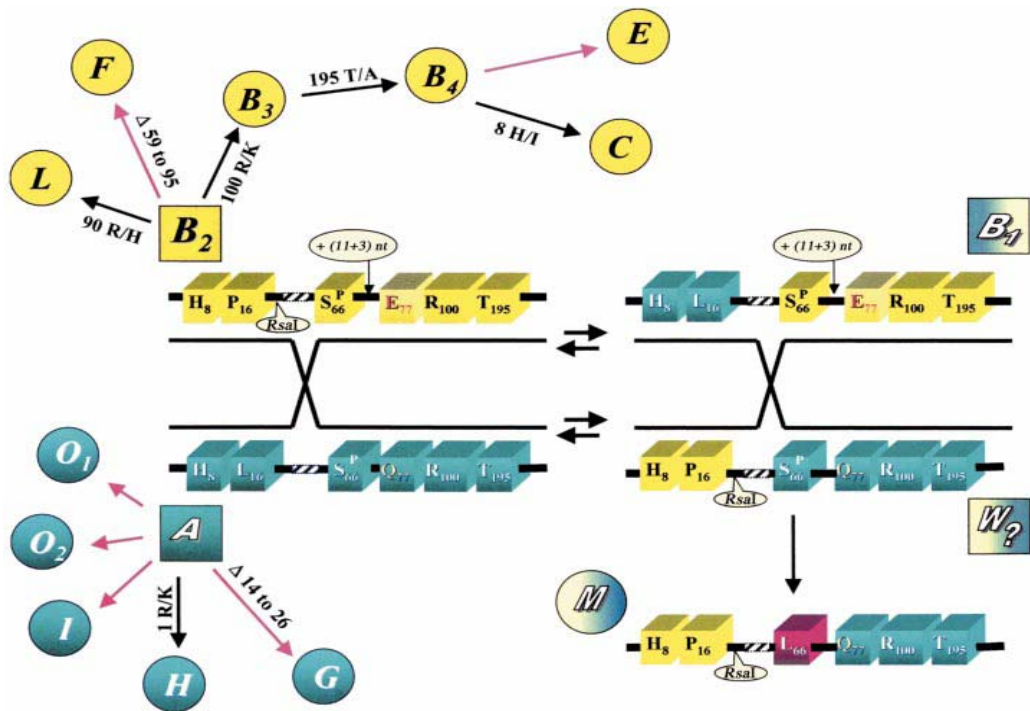
Figura 1: Estructura global de la organización del gen de la α_{S1} -caseína caprina



Fuente: Leroux y colaboradores (1992)

Pero además, dentro del CSN1S1 se produce su propia evolución filogenética, para dar lugar a las distintas variantes que hoy se conocen. Parece probado que el alelo B₁ es la variante ancestral, por su similitud con el ovino y bovino, además de otra variante aun no encontrada, a la que genéricamente se le conoce como W. La recombinación de ambas va a dar lugar al establecimiento de 4 posibles linajes: A, B₁, B₂ y W (Bevilacqua y col. 2002).

Figura 2: Árbol filogenético que integra posible recombinación interalélica entre dos linajes alelicos.



Fuente: Bevilacqua y colaboradores (2002).

Regulación de la expresión

Regulación hormonal de la expresión.

Dentro del complejo mecanismo de regulación de la transcripción de los genes que codifica las proteínas mayoritarias de la leche, las hormonas que tienen una implicación más importante son la prolactina, insulina, la hidrocortisona (glucocorticoide) y progesterona.

- La prolactina (PRL) es una hormona estrechamente ligada con la producción de leche, y sus niveles van cambiando a lo largo del embarazo, parto y lactación. Su secreción es estimulada durante la lactación o durante el ordeño. Durante la lactación, la PRL se une a su receptor y da lugar primero a la fosforilación y, posteriormente, a una dimerización de STAT5, hecho que activa la transcripción de proteínas específicas de la leche (Neville y col., 2002).
- Los glucocorticoides, envueltos en fluidez de los nutrientes, manteniendo los niveles de glucosa en sangre durante periodos de ayuno, tienen un gran efecto sobre la lactación, si bien no lo hacen de una manera directa. Los glucocorticoides interactúan con sus receptores específicos llamados receptores de glucocorticoide o GR y estos GR sufren una modificación conformacional que le permite su translocación al núcleo celular (Almawi y Melemedjian, 2002).
- La progesterona regula negativamente la lactogénesis mediante dos vías: disminuyendo la capacidad de la prolactina de aumentar el número de receptores para ella en

glándula mamaria y bloqueando los receptores de los glucocorticoides en tejido glandular (Tucker, 1999). Ambos mecanismos harían disminuir los niveles de factores activadores de la transcripción y permitirían, que el factor nuclear mamario específico de embarazo o PMF se una al promotor, inhibiendo la transcripción de los genes de proteínas lácteas. Una vez iniciada la lactación, este efecto de la progesterona se anula pues los receptores desaparecen.

- Insulina está relacionada con la fluidez de nutrientes en el tejido.

Regulación en cis de la expresión. Estructura del promotor.

Martin y Grosclaude (1993) establecieron los lugares de poliadenilación del mRNA, la caja TATA y los posibles cajas CAAT necesarias para el inicio de la transcripción. Estos estudios además aportaron importante información sobre la organización global de los genes en estudio:

- Conservación a lo largo de la evolución. Los principales cambios producidos han tenido lugar en los intrones, generalmente relacionado con cambio de tamaño.
- Secuencias consenso, localizadas aproximadamente unos 100 nucleótidos corriente arriba del inicio de transcripción.

En las regiones promotoras de los genes es donde se encuentran localizadas la mayoría de las secuencias reguladoras. De manera genérica,

Rosen y colaboradores (1999) explican como la transcripción de los genes de las caseínas se va a ver regulada por compuesto elemento-respuesta (CoREs) que es un cluster de sitios de unión para factores de transcripción que contienen tanto elementos de regulación positiva como negativa y que integra modelo de señal de traducción proteína:DNA y proteína:proteína. En la mayoría de los casos, el nivel de activación de CoRE es mayor que la suma de las acciones de los distintos elementos independientemente y, además, CoREs es capaz de reclutar factores de transcripción de distintas familias para la misma región promotora.

El concurso de las hormonas en este complejo mecanismo, está mediado por, principalmente, un conjunto de proteínas que se activan en presencia de éstas y que van a ser las que llevan a cabo su regulación a nivel del CoREs. Las secuencias CoREs más importante, en relación con la regulación de los genes de las caseínas, son:

- Secuencia para unión de STATs (Señal de traducción y activación de transcripción) consta de 13 nucleótidos, aguas arriba del promotor. Las proteínas STAT constituyen una familia y la más representativa en lactación es STAT5 o Factor de Glándula Mamaria (MGF) (Rosen y col., 1999). STAT5 son mediadores de la acción de la prolactina (PRL) (Debeljak y col., 2000).
- Secuencia CCAAT para unión de C/EBP (CCAAT proteína de unión potenciadora). Se trata de una secuencia repetida en más de una ocasión aguas arriba en la secuencia promotora. Las C/EBP es una familia de factores de transcripción altamente conservada y que se caracteriza por la presencia de una cremallera de leucina en el extremo carboxi-terminal que le permite dimerizarse y

unirse a DNA. La relación LAP/LIP (de sus siglas en inglés liver-enriched activator protein y liver-enriched inhibitory protein, activadora e inhibidoras, respectivamente), es muy importante para controlar los niveles de transcripción de los genes que codifican para proteínas lácteas. La activación de estas proteínas es a través de una cadena de señales que ocurre en la célula que no es muy conocida (Hennighausen y Robinson, 1998).

- GREs (Elementos respuesta a glucocorticoides) es una secuencia palindrómica, no son abundantes y se suele encontrar solo la mitad de esta secuencia, a pesar de la importancia que tienen los glucocorticoides en la regulación (Rosen, 1999). Los glucocorticoides actúan a través de su receptor específico (GR).
- Secuencia par unión de YY-1 (Yin Yang-1) secuencias abundantes en la región promotora de las caseínas, y están relacionadas con el control negativo de transcripción. El factor YY-1 consta de dos dominios de represión, uno hacia la mitad de la proteína y otro en su extremo carboxilo-terminal. El sitio de unión de YY1 es un sitio de unión débil, por lo que su acción se ve potenciada al unirse a LIP y con histonas, por lo que la actividad de este factor inhibidor está relacionada con la ausencia de las hormonas lactogénicas (Rosen, 1999).
- Factor nuclear Octámero-1 (NF Oct-1) es una secuencia de 8 nucleótidos. Hay varias repeticiones del octámero a lo largo del promotor, pero la más importante en cuanto a la regulación de los genes de proteínas lácteas es el que se encuentra entorno a la región -50 del promotor (Ramunno y col., 2004). Su activación no

se produce vía hormonal, sino que un adecuado estado fisiológico de la célula conduce a la presencia de kinasas, que dan lugar a su activación. Actúa generalmente cooperativamente con STAT5 (Zhao y col., 2002).

- Factor nuclear mamario específico de embarazo (PMF) es una corta secuencia palindrómica de 8 pares de bases. Una de estas secuencias suele encontrarse englobando a la región TATA del promotor, con lo que su acción debe de ser muy efectiva (Ramunno y col. 2004). La acción del PMF está mediado por la progesterona, que actúa como represor de la transcripción (Tucker, 1999).

La organización básica del gen CSN1S1 no difiere de lo que hemos expuesto como secuencias consenso de las caseínas sensibles al calcio, comenzando por caja TATA (-23/-29) y acabando por la señal de poliadenilación (+16656/+16661). Encontramos también en el promotor secuencias CCAAT para unión de C/EBP, secuencia para unión de STAT5, NF Oct-1, YY-1 y PMF (Ramunno y col., 2004).

En resumen, podemos decir que la presencia de insulina y glucocorticoides da lugar a un nivel de nutrientes óptimo para la síntesis de proteína láctea. Además, la presencia de prolactina activa kinasas que a su vez activan a STAT5 y los glucocorticoides interactúan con su receptor específico. Todo esto lleva a un estado celular adecuado para la activación del resto de factores de transcripción y con ello, se unen a sus secuencias específicas, desplazando a los inhibidores de transcripción, cuya unión al

DNA es más débil y facilitando la entrada del complejo de la RNA-transcriptasa.

2.4.2. POLIMORFISMO EN GENES DE LACTOPROTEÍNA

Los métodos de estudio del polimorfismo genético de las lactoproteínas pueden dividirse en dos grandes grupos; métodos de proteínas y métodos moleculares.

Entre los primeros destacamos las técnicas de electroforesis clásicas y todas sus variaciones, donde el criterio de separación es la diferente relación carga/masa, también las técnicas de isoelectroenfoque, basadas en la diferente migración a través de un gradiente de pH y últimamente también la electroforesis capilar que realiza la separación electroforética utilizando un tubo capilar como medio anticonvectivo. Debemos añadir por último las diferentes técnicas cromatográficas, muchas de las cuales han sido adaptadas durante las últimas décadas a este campo, con especial mención a las Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC, Jauber y Martín, 1992).

Dentro del segundo grupo, el primer procedimiento molecular aplicado al polimorfismo genético de las proteínas fue la técnica Southern. Sin embargo, el descubrimiento de la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR, Saki et al., 1985) y el posterior desarrollo de técnicas de detección de mutaciones sobre producto amplificado, que avanza a un ritmo vertiginoso en la actualidad, ha facilitado enormemente el diseño de protocolos moleculares específicos para el genotipado de estas variantes

Desde el descubrimiento inicial de dos variantes de la β -lactoglobulina bovina por Aschaffenburg y Drewry en 1955, otras proteínas lácteas fueron estudiadas para intentar poner de manifiesto otros posibles polimorfismos. Las variaciones genéticas son debidas a mutaciones en genes que conducen a sustituciones o deleciones de aminoácidos en las proteínas en leche. Desde entonces, variantes alélicas se ha encontrado tanto en la fracción caseínica de la leche (α_{s1} -caseína, α_{s2} -caseína, β -caseína y κ -caseína) como en proteína del lactosuero (β -lactoglobulina y α -lactoalbúmina).

La β -lactoglobulina, involucrada en el transporte de retinol (Mercier, y col., 1993), consta de 162 aminoácidos en bovino y se conocen dos variantes, las cuales se relacionan con cambios en niveles de grasa, proteína, caseínas y a rendimiento quesero.

En caprino es una proteína de 162 aminoácidos con una similitud de 95.7% con la variedad B bovina, aunque su movilidad electroforética difiere debido a su distinto grado de ionización (Trujillo y col., 1997). Está descrito (Chianese y col., 1993).

Dentro del estudio de la fracción sérica de la leche, el polimorfismo asociado a distintos niveles de β -lactoglobulina bovina, que, como hemos comentado, fue el primer polimorfismo descrito en leche, ha sido de gran importancia en el desarrollo de esquemas de selección. En ovino y caprino se consideró la β -lactoglobulina monomórfica, aunque estudios más recientes describen dos variantes caprinas, A y B en leche (Trujillo y col., 1997).

En el caso de la α -lactoalbúmina, es una proteína de 126 aminoácidos en bovino, con 19 aminoácidos cuando se encuentra en forma

de preproteína. Su actividad está relacionada con la síntesis de lactosa. En caprino, la α -lactoalbúmina es una proteína de 123 aminoácidos, que tiene un 91.1% de homología con la bovina.

Se han descrito en bovino 3 variantes alélicas en leche (Lodes, 1995). En caprino se describen electroforéticamente dos variantes (Maes y col., 1976) aunque no está descrita con exactitud las diferencias entre ellas.

Dentro de la fracción caseínica, la κ -CN es una de las más estudiada en bovino ya que está muy relacionada con el rendimiento quesero. Su actividad está relacionada con la estabilización de las micelas caseínicas pues la κ -CN se diferencia del resto de caseína en que se trata de una fosfoglicoproteína (Trujillo y col., 1998). La κ -CN es una proteína sensible a la quimosina, de modo que, en su presencia, la κ -CN se hidroliza y da lugar a dos fragmentos que se denominan para- κ -CN y caseinomacropéptido. La κ -CN bovina es una proteína de 169 aminoácidos (Mercier, y col., 1993). En cabra, la κ -CN es una proteína de 171 aminoácido y una similitud del 84% con la de vaca

Se han detectado numerosas variantes en vacuno, pero los autores consultados coinciden en el análisis de sólo dos de ellas, la A y la B, por ser las únicas relacionadas con diferencias a nivel de producción y composición de la leche, aunque en algunos aspectos, los resultados son controvertidos. En oveja no se han detectado polimorfismos relacionados con la κ -CN en leche, mientras que en DNA, estudios realizados con enzimas de restricción Pst I, distingue 3 alelos (Moioli, y col., 1998). En cabra, se detectan dos polimorfismo en leche (Moioli, y col., 1998; Trujillo y col., 1998) en la región de la para- κ -CN y, según recoge Trujillo y

colaboradores (1997), también aparecen 2 variantes en el fragmento de caseinomacropéptido pero no producen cambios a nivel electroforético. En DNA se encontraron marcadores en la región que contenía el gen de la κ -CN al digerir con enzimas de restricción BamHI, EcoRV y PvuII e hibridando con cDNA de κ -CN bovina (Moioli, y col., 1998). Según Di Luccia y colaboradores (1990), detectaron con técnica de isoelectroenfoque y se confirmaron a nivel de DNA por Carola y colaboradores (2001) dos variantes. En total, actualmente, 13 sitios polimórficos han sido detectados en cabra doméstica, permitiendo identificar 14 alelos, que dan lugar a 11 proteínas diferentes (Sacchi, y col., 2005). Además, recientemente se han detectado 2 polimorfismo más mediante PCR- Single Strand Conformational polymorphisms.

La β -caseína es una de las proteínas lácteas más abundante en leche de vaca. Consta de 209 aminoácidos. En cabra, la β -CN es también la proteína más abundante en leche. Consta de 207 aminoácidos.

Se describen, en bovino, al menos, 3 variantes alélicas, las cuales se asocian a distintos niveles de producción de leche y composición. En ovino, en leche, no se detectan polimorfismos (Moioli, y col., 1998), mientras que a nivel de DNA se detectan 3 al digerir con enzimas de restricción (EcoRV, Hindi y TaqI) e hibridando con cDNA de β -CN bovina. En leche (Moioli, y col., 1998) se consideraba monomórfica y a las bandas que aparecían en ensayos electroforéticos se asociaban a distintos estados de fosforilación (Richardson y Creamer 1974). También se evidenció un alelo nulo (Mahé y Grosclaude, 1993). En total se conocen 5 alelos, A, B y C relacionados con síntesis normal de β -CN y dos alelos nulos (Sacchi, y col., 2005), los cuales dan lugar a niveles de producto de transcripción desde 10 hasta 100 veces menores que el alelo A.

La α_{s2} -CN es una proteína poco estudiada en las tres especies que estamos comparando. En bovino, consta de 207 aminoácidos. En la cabra consta de 208 aminoácidos y presenta una homología de 87.9% con la bovina.

Se conocen en bovino 4 variantes (Lodes, 1995) a nivel de proteína, pero cómo influye cada variante en leche no parece ser muy clara. En oveja, en leche, no se han evidenciado polimorfismo en ensayos electroforéticos (Moioli, y col., 1998), aunque Chianese y colaboradores (1993b), en raza Manchega, encontraron una nueva variante por medio de las técnicas de electroforesis en poliacrilamida e inmunoblotting. En DNA, la digestión con EcoRV e hibridación con α_{s2} -CN bovina, da lugar a 3 polimorfismos (Di Gregori y col., 1991). En leche se pueden detectar 2 variantes, A y B (Boulangier y col., 1984). En 1994, Boumiol y colaboradores, por técnica de isoelectroenfoque, evidencian la variante C. Revisiones más recientes (Sacchi, y col., 2005) dan cuenta de hasta 8 alelos asociados a 3 niveles de síntesis, de modo que los alelos A, B, C, E, F y G dan una síntesis normal de α_{s2} -CN, D muestra niveles intermedios y O una expresión nula de α_{s2} -CN.

La α_{s1} - CN en vacuno, es una proteína de 199 aminoácidos. La α_{s1} -CN caprina también consta de 199 aminoácidos con una similitud con su homóloga bovina del 86.9% (Brignon y col., 1989) aunque a nivel de DNA muestra un 95% (Trujillo y col., 1998). A nivel de proteína, contiene una zona que se denomina sitio mayor de forforilación, que consta de 5 residuos de serina fosforilada que le confiere las características propias de las caseínas sensibles al calcio. En su composición amonoacídica podemos

destacar la ausencia de cisteína y la gran abundancia de glutámico, prolina y leucina. (Trujillo y col., 1997).

En vacuno, se han descrito 6 variantes alélicas que se clasifican en 3 grupos, en función del nivel de expresión, son alta (A, B, C), intermedia (D, E) y baja (F). En ovino, se han encontrado en leches hasta 5 variantes, A, B, C, D (Welsh) y E, de las cuales, A, C y D se conoce su estructura primaria (Ferretti y col., 1995). A nivel de DNA también se observan 5 variantes alélicas, 2 obtenidas mediante empleo de enzimas de restricción EcoRI y 3 con TaqI, e hibridadas con cDNA de su homóloga bovina (Di Gregori y col., 1991). Grosclaude y colaboradores (1987) y Mahé y Grosclaude (1989) apuntan a que, en caprino, existen al menos 15 variantes alélicas (A₀, A₁, A₂, A₃, B₁, B₂, B₃, C, D, F, G y O) que se asocian a 7 proteínas diferentes (A, B, C, D, E, F y G) y que dan lugar a 4 niveles de expresión, de modo que aportan 3,6g/l de proteína a la leche (A, B, C), 1,6g/l (E), 0,6g/l (F y G) 0g/l (alelo O). Trabajos más recientes (Kusza, S y col., 2006), dan cuenta de hasta 18 alelos diferentes a nivel de DNA, que incluye un alelo más nulo y el alelo M, relacionado con los alelos fuertes.

Base molecular de distinta síntesis de α_{s1} -caseína

Centrandose en el complejo polimorfismo genético del CSN1S1, y del producto de su transcripción, el mRNA, se encuentra una explicación a la distinta tasa de síntesis de α_{s1} -caseína.

Como indica Martin y colaboradores (2002), hasta la fecha no se han detectado polimorfismos a nivel de la secuencia promotora de CSN1S1 que se asocie a un cambio de afinidad entre los factores que operan a nivel de promotor, produciendo un cambio en la expresión, en caprino, pero, en la

raza bovina polaca, sin embargo, se ha establecido una combinación de haplotipos que engloba a los sitios de regulación de caseínas sensibles al calcio, con lo que podemos pensar que pueden existir diferencias en afinidad de los factores con sus secuencias de unión y pueda verse alterado el patrón de expresión del gen (Martin y col. 2002).

En cuanto a las principales variantes conocidas, como hemos indicado, el alelo B₁ parece ser el antecesor común de todas las variantes, y a partir de él se producen cambios a nivel de DNA que conducen a cuatro familias, la del alelo W (aún no determinado), B₁ A y del alelo B₂ (Bevilacqua y col., 2002), que, a su vez, se traducen en sustitución aminoacídica a nivel de proteína o, incluso, deleción de una parte de la proteína.

Las variante A, B y C son prácticamente iguales a nivel de mRNA, y a nivel proteico se producen sustituciones, dando lugar las tres, a una proteína madura de 199 aminoácidos (Ferranti y col., 1997), o a su variante de 198 fruto de un codón “saltarín” o “skipping” que hace que se pierda una glutamina en la posición 78, fruto de un error interno del espliciosoma (Martin y col., 2002).

La variante E, evoluciona a partir de la variante B₁, según Bevilacqua y colaboradores (2002), es fruto de una inserción de una secuencia truncada LINE (long interspersed repeated element) en el exon 19 lo que hace que a nivel de mRNA se produzca un fenómeno de autocomplementariedad entre la cola poli(A) del mRNA, con la secuencia rica en U que incluye esta LINE (procedente de una región 3`UTR del LINE), y hace aparentemente más estable la estructura secundaria del mRNA, aunque lo que realmente conlleve es una más rápida degradación

de éste, disminuyendo, al final, su estabilidad. A nivel de proteína, podemos detectar un par de cambios aminoacídico con respecto al alelo B (Jansà Pérez y col., 1994).

El alelo F y D son producto, no de una delección a nivel genómico, sino de un procesamiento de transcripto que da lugar a un mRNA al que le faltan tres (9, 10 y 11) y un exón (16), respectivamente (Lereux y col. 1992). El más estudiado de estos alelos es el F, en el que se detecta en el intrón 9 una inserción de dos nucleótidos y una delección de otro (una C), con respecto a la secuencia del alelo A, lo que hace que el espliciosoma no detecte la secuencia consenso para el correcto corte y empalme de exones, y como consecuencia, se pierden los exones codificantes 9,10 y 11 (Leroux y col., 1992). Los múltiples transcriptos fruto de cortes y empalmes diversos procedentes del alelo F reflejaría la debilidad relativa del sitio de corte y empalme en el precursor de mRNA y esto hace que se reduzca hasta 6 veces la cantidad de transcripto observado, el cual va a determinar que la cantidad de α_{S1} -caseína presente en la leche sea menor (Leroux y col., 1992).

Por último, hacer referencia a las variante nulas que molecularmente son debidas a delecciones masivas en el extremo 3' de la unidad de transcripción (Cosenza y col., 2001).

2.4.3. INFLUENCIA DEL POLIMORFISMO GENÉTICO EN LA COMPOSICIÓN DE LA LECHE

En la década de los 50 se comenzó a usar técnicas electroforéticas para determinar polimorfismos en caseínas, al principio en vacuno y más tarde, en la década de los 70, en ovino y caprino. Toda esta nueva

tecnología está encaminada a mejorar la calidad de la leche en general, y de su fracción proteica especialmente. En la actualidad se utilizan técnicas moleculares para el determinismo de, no solo variantes asociadas a genes de proteína y grasa de la leche, sino a todos los genes que se encuentran relacionados con la regulación de la expresión de estos y de las rutas metabólicas en las que intervienen.

En relación al contenido y calidad de la grasa en leche de vaca, encontramos diferencias no solo entre razas, sino también dentro de la misma raza. Estas diferencias sugirieron la existencia de polimorfismos asociados a genes candidatos que podrían codificar enzimas que actuarían en rutas relacionadas con el metabolismo lipídico (Medrano, 2002). El estudio de QTLs (locis asociados a rasgos cualitativos) ha conducido al establecimiento de relaciones estrechas entre, por ejemplo, contenido en grasa de la leche y regiones concretas del genoma con alta heredabilidad. Al profundizar en su estudio, se ha llegado a determinar algunos genes que forman parte de QTL relacionados con cantidad de grasa en leche, como el Diacilglicerol-Acil Transferasa I (DGAT1) involucrado en rutas metabólicas relacionadas con el paso de diacilglicéridos a triacilglicéridos en tejidos como hígado o glándula mamaria. Polimorfismos asociadas a DGAT dan lugar a distintas concentraciones de ácidos grasos libres en leche.

Recientemente se abre el campo de la investigación a la búsqueda de polimorfismos asociados a desaturasas más activas para aumentar la proporción de ácidos grasos insaturados en leche (Debeljak y col., 2000). Este es el caso de la esteroil-CoA desaturasa (SCD). El gen que codifica la SCD ha sido aislado y secuenciado, e incluso se dispone de un sistema para discriminar distintas variantes alélicas asociadas a su actividad, de modo

que individuos AB o BB proporcionan una mayor insaturación de ácidos grasos, disminuyendo la relación entre C18/C18:1 y C16/C16:1. Además, el incremento de la actividad de SCD podría conducir a mayores proporciones de ácido linoléico conjugado (CLA) en leche, con todas las ventajas que para el consumo humano esto supone (Debeljak y col., 2000).

Investigaciones hechas desde varios países informan de posibles asociaciones entre variantes genéticas de proteína láctea y aspectos de producción y composición de la leche y el conjunto de las propiedades relacionadas con su manufactura (Ng-Kwai-Hang, 1998). El exhaustivo estudio de los polimorfismos asociados a los cambios en la cantidad y composición de la proteína láctea, fueron incluidos en los esquemas de selección y han sido especialmente fructíferos en vacuno (Ojala, M., y col., 1997).

En β -lactoglobulina de vacuno se conocen diferencias entre distintas variantes y niveles de grasa en leche, Así, Aleandri y colaboradores en 1990 encontraron un aumento en producción de leche en los animales BB aunque Gonyon y colaboradores en 1987 no encuentran diferencias entre alelos. En cuanto a la relación a la cantidad de proteína en leche asociada a polimorfismo de este gen, autores como Gonyon y colaboradores en 1987 tampoco encuentran diferencias entre variantes, mientras Ascheffenbug y Drewry en 1957 encontraron que los individuos AA tenían mayor porcentaje que los AB y éste, a su vez, más que los BB. Este mayor contenido en proteína de la leche, detalla Ng-Kwai-Hang (1990), es debido a una mayor cantidad de proteínas séricas en individuos AA, mientras que los BB se asocian a más cantidad de caseína.

La κ -caseína es también un gen muy estudiado en vacuno. McLean (1984) encuentra que los individuos BB tienen mayor contenido en grasa,

proteína y caseína que los AA, mientras que otros autores (Alelandri y col., 1990, Gonyon y col., 1987) no encontraron diferencias. Ng-Lwai-Hang y colaboradores (1986) si que encontraron un aumento en el alelo B respecto al A en el contenido de grasa y en contenido proteico, Ng-Kwai-Hang (1987) diferencia entre distintas fracciones que se ven afectadas por el polimorfismo, de manera que el alelo B se relaciona con el incremento en ambas α_s - y κ -caseína, seroalbúmina e inmunoglobulinas, mientras que desciende el nivel de β -caseína, β -lactoglobulina y α -lactoalbúmina con respecto al alelo A.

Angulo y colaboradores (1994) encuentra, en raza Granadina, diferencias en producción de leche y caseína del genotipo BB con respecto a las demás combinaciones alélicas.

En relación a la β -caseína, diferentes autores recogidos en la revisión sobre el tema de Ng- Kwai-Hang (1998), no encontraron diferencias entre variantes en cuanto a producción láctea, aunque Bovenhuis y colaboradores (1992) obtuvieron que, de las combinaciones alélicas estudiadas, la BB era la que más leche producía, y la A^2B la que menos. Aleandri y colaboradores (1990) no encontraron diferencias entre alelos en relación a grasa en la leche, aunque otros autores (Ng-Kwai-Hang y col 1986 y McLean y col 1984) obtuvieron diferencias entre distintos fenotipos de β -caseína. De nuevo Ng-Kwai-Hang y colaboradores (1986), entre otros, encuentran que el contenido en proteína de leche en animales con el genotipo A^1B es mayor que el A^1A^1 y Gonyon y colaboradores (1987) confirman esto mismo, añadiendo que A^2 es el que menores niveles proporciona de los tres alelos en estudio. Ambos grupos están de acuerdo en que la combinación alélica más favorable para la β -caseína, en cuanto a obtener una mayor cantidad de proteína en leche, caseína, número de caseínas, y proteína del suero, es A^1B y la más negativa relacionada con

estos parámetros es A^2A^2 , que, sin embargo, está asociada a mayores niveles de β -lactoalbúmina y seroalbúmina.

Según Trujillo y colaboradores (1998), y al ser la β -caseína la proteína mayoritaria en la leche, la influencia de los alelos nulos produce drásticos descensos del contenido en proteína en leche en cabra.

La α_{s1} -caseína, objeto de nuestro estudio, tiene asociados a su complejo polimorfismo, efectos a varios niveles. Las comparativas entre variantes en vacuno se centran en A, B y C, por ser estas las más abundantes. La producción de leche, en el trabajo de revisión hecho por Kg-Kwai-Hang (1998) apunta a que no existen diferencias significativas entre fenotipos, sin embargo, el propio Kg-Kwai-Hang y colaboradores, (1984, 1986, 1990) encontraron diferencias, de modo que la variante B daba lugar a mayor producción de leche que A o C. En composición de leche, concretamente, en grasa, no se encuentran diferencias entre distintos fenotipos (Ng-Kwai-Hang y col., 1990, McLean y col., 1984, Gonyon y col., 1987). La proteína de la leche tampoco se ve afectada por el fenotipo en α_{s1} -CN (McLean y col., 1984, Gonyon y col., 1987, Ng-Kwai-Hang, 1990), aunque otros estudios (Aleando y col 1990) encuentran que el genotipo BC está asociado con mayor cantidad de proteína láctea que los BB. Ng-Kwai-Hang (1987) anteriormente encontró diferencias en el nivel de proteína de BC con respecto a otros genotipos y explica estas diferencias aludiendo a que esta combinación alélica produce un aumento de ambas α_s , β y κ -caseína.

En ovino, una variante que afecta a la composición de la leche, es la D o Welsh. Bolla y colaboradores (1989) afirman que este alelo está asociado a bajos niveles de proteína y grasa y Piredda y colaboradores (1993) asocian a este alelo con bajos niveles de nitrógeno y caseínas.

Diferentes autores recogidos en la revisión de Trujillo y colaboradores (1998) no observan diferencias significativas entre alelos en cuanto a la producción lechera, aunque Babieri (1995) encuentra que los animales AA producen significativamente menos que los AE, AF, EE y EF, si bien esta leche AA tenía valores energéticos mayores. En composición de leche, Mahé y colaboradores (1994) y Babieri y colaboradores (1995) encuentran que el genotipo AA muestra mayores valores de proteína en relación a AE, AF, EE, EF y FF. Clark y Sherbon (2000b) sostienen que leches que contengan al menos un alelo fuerte, tienen mayores valores en proteína y α_{s1} - caseína frente a leches con ambos alelos débiles, y además obtuvieron que todos los componentes lácteos eran menores cuando se analizan leches de individuos homocigotos para el alelo nulo. En cuanto a la grasa de la leche, los individuos AA muestran diferencias significativas con respecto a FF (Remeuf y col., 1993). Clark y Sherbon (2000b) no encuentran diferencias significativas en el contenido graso de leches con homocigosis para el alelo nulo, pero explican que puede deberse a que el tamaño de la muestra es pequeño. Trujillo y colaboradores (1998) recogen también, diferencias en el perfil de ácidos grasos entre AA y FF, de modo que los ácidos grasos de cadena corta y el esteárico son más abundantes en genotipos AA y el palmítico en genotipo FF.

En raza Malagueña, objeto de nuestro estudio, Angulo y colaboradores (1996), detectaron alelos A (0.09), B (0.09), E (0.65), F (0.04) y O (0.13). En esta raza (Angulo y col., 2002) han encontrado diferencias significativas a nivel de proteína y contenido caseínico.

Respecto de las diferencias que pueden existir según la raza, se conoce que el polimorfismo ligado a la síntesis de α_{S1} -caseína existe en distintas razas europeas, incluidas las españolas, y aunque en un principio, las magnitudes de los cambios en la síntesis de α_{S1} -caseína, según alelo, se consideraron similares a las detectadas en las razas francesas (Jordana y col., 1996), estudios más recientes señalan que este aspecto podría depender de la raza en cuestión, llegándose a detectar diferencias de síntesis de proteína y/o caseína entre genotipos extremos, entre la raza Alpina y la Malagueña (Angulo y col.2002).

2.4.4. EFECTO DEL POLIMORFISMO GENÉTICO DE LAS LACTOPROTEÍNAS SOBRE LA CALIDAD TECNOLÓGICA DE LA LECHE DE CABRA

La calidad tecnológica de una leche va a depender, especialmente, de su contenido en caseínas, fracción coagulable de la leche, y que, como hemos comentado en capítulos anteriores, está influida por la carga genética que a este nivel tiene el animal.

El polimorfismo asociado a la β -lactoglobulina va a influir en los procesos de coagulación en la medida en que determinadas variantes, la B en concreto, está asociada con un mayor número de caseínas, y esto a su vez, está asociado con un incremento en el rendimiento quesero en vacuno (Van Eenennaam, y col., 1991). En cabra, a este nivel no existen diferencias. La κ -caseína, en relación con rendimiento quesero, también es el alelo el B es que da lugar a mejores resultados, en cuanto a la formación de la cuajada, debido al incremento en el contenido en proteína de la leche de vaca (Van Eenennaam., y col., 1991) y en caprino también se supone

una influencia en el mismo sentido (Angulo y col., 1994). En la β -caseína Moiola y colaboradores (1998) apuntan que los alelos nulos se asocian a tiempo de coagulación más largos en caprino y cuajadas menos firmes (Chinaese y col., 1993).

La asociación del polimorfismo de la α_{S1} -caseína en vacuno, y en relación con el distinto rendimiento quesero, la variante A da lugar a un queso de menos calidad que la variante B (Sadler y col., 1968) y más difícil manejo de procesado (Thompson, 1969). También el alelo A da lugar a cuajadas más viscosas y mayor fuerza de adhesión que B y C (Mountfort, 1984). En oveja, Piredda y colaboradores (1993) asocian al alelo D con bajos niveles de nitrógeno y caseínas, y en relación a sus propiedades tecnológicas, estos mismos autores obtienen con la variante D tiempos de coagulación largos y corte de cuajada suave.

En cuanto a caprino, numerosos autores (Pierre y col., 1995, Delacroix-Buchet y col., 1996) deducen que el rendimiento quesero es mayor en leches procedentes de animales con genotipo AA frente a EE y FF. Clark y Sherbon (2000) encuentran sólo tendencias usando como grupo de trabajo individuos con al menos un alelo fuerte, aunque si obtienen diferencias al compararlos con leche de individuos homocigotos para el alelo nulo. Analizando los datos de sobre este trabajo, no encontramos comentarios sobre el número de células somáticas que esa leche tuviese, hecho que puede llegar a enmascarar los resultados, tal como apuntan Angulo y colaboradores (2002), de manera que en un estudio de características parecidas llevado a cabo en individuos de raza Malagueña, no encontraron diferencias significativas entre distintos genotipos a nivel de tiempo de coagulación, firmeza y rendimiento, lo que achacaron a que

no estuvieron estas muestras convenientemente corregidas en cuanto a su contenido en células somáticas.

En relación con los tiempos de coagulación, según recoge Trujillo y colaboradores (1998) en una revisión sobre el tema, las leches procedentes de animales FF coagulan más rápidamente que las EE, y las AA tienen un tiempo intermedio. En raza malagueña, Sánchez y colaboradores (1998) no obtuvieron diferencias significativas entre alelos en el tiempo de coagulación (CT) usando FormagraphO, mientras que en parámetros relacionados con firmeza medida a tiempo igual a CT y a 30 minutos después del inicio del proceso (K20 y A30, respectivamente) si que obtuvieron una influencia del genotipo sobre dichos parámetros.

La fracción mineral de la leche también se ve afectada por el genotipo y los individuos AA tienen mayores concentraciones de Ca total comparado con el resto de genotipos (Remeuf y col., 1993).

La calidad tecnológica de la leche está estrechamente relacionada con la estructura, composición y diámetro de la micela, aspecto que también está, por consiguiente, muy influenciado por el polimorfismo genético de las lactoproteínas.

Estructura de las micelas, diámetro e influencia de éstas sobre parámetros reológicos.

Las caseínas pueden ser clasificadas en función a su comportamiento en presencia de Ca, de manera que pueden precipitar ante él (α_{S1} , α_{S2} y β -caseína) o por el contrario, no precipitar, e incluso ser capaz de inhibir la reacción de precipitación (κ -caseína) (Walstra y col., 1984). Esta diferencia

en su comportamiento ante la presencia de calcio (Ca) sugiere papeles diferentes en la constitución de la micela (Horne, 2005). Horne (2005), de hecho, recoge en una revisión sobre la estructura de las micelas de caseína, cómo algunos autores que han analizado la secuencia aminoacídica interespecie y han encontrado que la zona altamente fosforilada de la caseína, que es sensible al Ca, tiende a agruparse en la secuencia y está muy conservada, además de mostrar su propio patrón de segregación anfipática que también se conserva, de modo que aminoácidos hidrófobos se sustituyen por otros aminoácidos hidrófobos, lo cual nos lleva a pensar que esta estructura anfipática es indispensable a la hora del ensamblaje.

Las caseínas son sintetizadas en las células epiteliales mamarias, concretamente en forma de preproteínas en la membrana del retículo endoplasmático (RE), una vez en el lumen de éste, y eliminado el péptido señal, las proteínas comienzan a interactuar (Farrell y col., 2005). Jaenicke y Lilie (2000) hablan del término auto-asociación (self-association) frente a agregación puesto que las reacciones en cadena conducen a una capacidad biológica de ensamblaje. De esta manera, las cadenas polipeptídicas de las caseínas adquieren su estructura secundaria y empieza a vislumbrarse la terciaria. Si analizamos el comportamiento de las caseínas individualmente en el RE, la β -caseína, como recoge Farrell y colaboradores (2006), para su ensamblaje en el RE, en vez de formar polímeros esféricos de tamaño limitado, siguen un patrón crítico micelar. La dimensión de este polímero no es fija y está condicionada por la fuerza iónica y temperatura. En el RE aun no se ha producido la fosforilación de las caseínas, pero las formas defosforiladas de la β -caseína, al menos en las especies de mamíferos donde esta es la proteína mayoritaria, y en especial en humano, tiene una propensión cercana al auto-ensamblaje de la forma fosforilada. La α_{S1} -caseína (Malin y col., 2005), muestra una progresiva asociación en

dímeros, tetrameros, hexámeros, etc., en una reacción altamente dependiente de pH y fuerza iónica, lo que llevó a pensar que la polimerización tenía que producirse en temperaturas menores a 25°C puesto que a 37°C sería aun más acentuada, aunque después se pudo observar que las variantes mayoritarias se despolimerizan a 37°C, comportándose, esencialmente, como dímeros. La α_{S2} -caseína no está aun estudiada, aunque se especula que su estructura lineal sería similar a la α_{S1} -caseína (Euston y Horne, 2005). La κ -caseína es la más distinta de todas las caseínas por su capacidad de solubilizarse en presencia de Ca, y de hacer que el resto de las proteínas de la micela no precipiten. También se diferencia en que la polimerización, en forma dímeros a octámeros, se produce por medio de uniones disulfuro, que tendrían lugar, en un principio, en la membrana del RE por acción de la Protein-disulfidoisomerasa, y por la sulfidril oxidasa (en RE y Golgi) y el ensamblaje sigue un patrón crítico micelar similar a de la β -caseína (Farrell y col., 2005).

Farrell y colaboradores (2006) deducen que, a grandes rasgos, podemos decir que la κ -caseína sufre un proceso de reducción por carboximetilación (RCM κ -caseína), esta RCM κ -caseína forma cadenas que dan lugar a los cuerpos amiloides. Alguno de sus puentes disulfuro entre κ -caseína puede ser roto a lo largo del tránsito por el RE para unirse a otra caseína, de modo que con un aumento de la concentración de α_{S1} -caseína (paso de proporción 1.5/1 a 4/1 de α_{S1} -caseína/ RCM κ -caseína) produciría un drástico descenso en el peso molecular de los complejos formados por polimerización (de 316,000 a 92,400). Además, la κ -caseína y la β -caseína tienen, como hemos dicho, un patrón de autoensamblaje similar, de manera que pueden aparecer en intercalada RCM κ -caseína en

el proceso de ensamblaje de β -caseína. Estas asociaciones darían moléculas de pesos moleculares demasiado elevados para que se produzca el tránsito de RE al Golgi, por lo que se produciría la degradación asociada al retículo endoplasmático (ERAD), que es un mecanismo de control en el paso de vesículas de uno a otro compartimento en célula secretora mamaria, por lo que se necesita la acción de la α_{S1} -caseína que actúa disociando estas estructuras y facilitando su transporte al Golgi, evitando acumulación en el RE. Esta forma de actuación de la α_{S1} -caseína está confirmada *in vivo* e *in vitro*, de modo que en casos tan extremos como humano, donde el porcentaje de β -caseína llega a ser de un 70% y ambas α -caseína están en concentraciones traza, son suficientes para que pueda producirse el tránsito entre compartimento celulares (Farrell y col., 2006).

Aunque el RE actúa como reservorio de Ca, las concentraciones que se observan no son suficientes para que se produzca las reacciones que desencadenan la formación de las micelas. Una vez en el Golgi se producen, básicamente, tres eventos (Farrell y col., 2006):

- a) Incremento de la concentración de Ca por medio de una bomba de Ca acoplada a una ATPasa.
- b) Fosforilación de las caseínas asociadas a la membrana, por medio de una casein kinasa que utiliza como sustrato de la reacción Ca-ATP, y que como resultado de su actuación se obtiene un residuo de serina fosforilado y el Ca debe de quedar unido a la caseína.
- c) Este ADP y el Ca retenido, por acción difosfatasa unida a membrana, da lugar a AMP, liberando el Ca y P inorgánico (Pi) en la cara interna de la membrana, donde aun sigue siendo fosforilada la caseína. El Ca y Pi continuarían en las vesículas del Golgi para dar lugar a submicelas (teoría de Schmidt y año) o a los nanoclustes (modelo de Holt, 1998).

Al analizar células epiteliales de glándula mamaria, cabras de alelo A muestran una típica morfología de RE rugoso con láminas paralelas rodeando a vesículas esféricas y el aparato de Golgi como sáculos rodeados de numerosas vesículas y vesículas secretoras. Pero en las cabras de alelos F u O, se produce una drástica dilatación del RE rugoso. Esto estaría en relación con lo anteriormente expuesto, puesto que las cabras con alelos fuertes no sufrirían el acúmulo de cadenas de κ y β -caseína, que serían disociadas por la α_{S1} -caseína.

En cuanto a la organización de las micelas, se han propuesto diversos modelos, aunque en la actualidad hay controversia en cuanto a la organización interna de la micela. Schmidt y Buchheim (1970) proponen que son pequeños agregados proteicos que se encuentra en las vesículas del Golgi de las células secretoras de la glándula mamaria y constituirían submicelas. A partir de estas submicelas se formarían las micelas como fruto del ensamblaje in vivo de éstas. Slattery y Evard (1973) observan que el tamaño de la micela tiene una relación inversa con la proporción de κ -caseína. Las submicelas estarían envueltas, en mayor o menor grado, por κ -caseína. La parte desnuda de estas submicelas entraría en contacto con otras dando lugar a las micelas. Eventualmente, la superficie con κ -caseína detiene el crecimiento micelar, de modo que esta reacción es sensible a la proporción de κ -caseína en la mezcla de caseínas, por lo que a este modelo se le conoce como cubierta del corazón (coat-core).

Waltra (1984) propone que el Ca y el P se encuentran ubicados dentro de la submicela y cada submicela interacciona según el modelo coat-core, explicando así la heterogeneidad química de la micela. Van Dijk

(1990) propone que dos cadenas de caseína están unidas por una línea de Ca y P pero estudios mas recientes recogidos en la revisión de Holt (1998) la desestiman, puesto que se indica que largos cluster de iones que contienen de 60 a 350 pares de Ca y P estarían unidas a de 5 a 50 cadenas de caseínas. El propio Holt (1998) propone que estos clusters, en lugar de supuestas submicelas, podrían ser en solitario responsables de la estructura heterogénea de las micelas. Mientras que en otros modelos se enfatiza el papel de interacción hidrofóbica en los modelos submicelares, para Holt (1992) el Ca y P formarían un nanocluster donde los sitios de interacción con los que serían los lugares mayor de fosforilación y la α_{S1} y α_{S2} -caseína estarían en disposición de formar enlaces en tres dimensiones al tener más de una región de fososerina en su estructura. De esta manera, un corazón de Ca-P estaría rodeado de 49 cadenas de caseínas, o lo que es lo mismo, por 49 cluster de fososerinas. Todo esto está muy de acuerdo con el modelo de Horne (2005) que propone el modelo de doble unión, en el cual, además de lo descrito por Holt, Horne propone unas uniones intermoleculares de zonas hidrofóbicas.

Independientemente de los modelos propuestos para explicar la estructura de las micelas, y actualmente, en controversia, lo que es incuestionables es que el diámetro micelar es un factor a tener en cuenta en relación a las características reológicas de las leches.

El tamaño de las micelas en la leche parece estar relacionada con el rendimiento quesero, de modo que hay un aumento en la dureza del gel conforme disminuye el tamaño micelar (Trujillo y col., 1998). Datos recogidos por Raynal y Remeuf (1998), nos indican la diferencia en el diámetro que existe entre micelas de diferentes especies, de esta manera, el

diámetro medio micelar en vaca está entorno a 188 ± 32 nm, en oveja 204 ± 4 nm y en cabra 249 ± 18 nm.

El diámetro micelar en leche de cabra, hemos de recordar que está, como en el caso de la leche de vaca, muy influenciada por la proporción de la κ -caseína, pero además, el alto polimorfismo de la α_{S1} -caseína ejerce su influencia muy importante sobre éste, puesto que el locus de la α_{S1} -caseína tiene un impacto importante sobre la síntesis y secreción de proteína de la leche (Martín y col., 1999). Pierre y colaboradores (1999) obtienen en sucesivas centrifugaciones, las medias de los diámetros micelares que van de 154 a 27 nm en leches A y 215 a 27 nm en leches “nulas”. En este mismo trabajo se recoge que las leche A tienen sobre un 70% de sus micelas con un diámetro que va de 50 a 100 nm, mientras que las leches “nulas” los diámetros del 70% de las micelas se distribuyen de 50 a 200 nm, aunque más de la mitad de estas caseínas tienen un diámetro ≥ 120 nm. Además, en leches “nulas” la proporción de κ -caseína que contenía las micelas de menor diámetro, fue en torno al 50% del total de caseínas que componía la micela, mientras que en las micelas de mayor tamaño, la proporción de κ -caseína fue sólo de un 20% del total. Tziboula y Horne (1999), en relación también a los diámetros micelares, que en leches de “alta” (alelos B/E), aproximadamente la mitad de las micelas tienen un diámetro distribuido entre 160-280 nm, con el pico de distribución de la curva en 225 nm, mientras que las leche de “baja” (alelo F), el 42% de las micelas tienen un diámetro distribuido entre 210-320 nm y el pico de distribución de tamaño está en 294 nm.

Según Pierre y colaboradores (1999) el distinto tamaño de micela implica también una variación de la proporción de cada una de las caseínas

que forman parte de ellas, de modo que el porcentaje de κ -caseína en una micela puede variar de 40% en micelas de pequeño tamaño a 10% en micelas de mayor tamaño, del total de las caseínas que la componen, mientras que el resto de caseínas (α_{S1} , α_{S2} y β -caseína) aumentan sus porcentajes al ir aumentando el tamaño de la micela. Tziboulla y Horne (1999) en su trabajo, recogen que el contenido en $\beta+\gamma$ caseína (puesto que la γ -caseína es producto de la proteólisis de la β -caseína) desciende conforme el tamaño micelar disminuye, al contrario de la κ -caseína que se incrementa con la disminución del tamaño de la micela. La α_{S2} -caseína también incrementa su cantidad conforme aumenta el tamaño micelar (de 8 a 11% en leches de “alta” para α_{S1} -caseína y de 14 a 22% en leches de “baja”) y la α_{S1} -caseína se comporta de la siguiente manera:

- a) Si la leche es de “baja”, la cantidad relativa de α_{S1} -caseína disminuye al aumentar el diámetro micelar.
- b) Si la leche es de “alta”, la cantidad neta de α_{S1} -caseína se incrementa al incrementar el diámetro micelar.

Al hablar de composición del Ca tenemos que hacer distinción entre los distintos valores que podemos obtener, puesto que se habla de Ca coloidal (formaría la red coloidal o del nanocluster), Ca soluble y Ca total (suma de los dos primeros). Datos que aporta Raynal y Remeuf (1998) hablan de, comparando datos de Ca soluble entre especies, en leche de vaca tendría 413 ± 100 mg/l, la oveja, 543 ± 44 mg/l y, la cabra, 394 ± 12 mg/l. Este Ca soluble está muy relacionado con el rendimiento quesero, puesto que el tiempo de coagulación y la dureza del gel y pequeños cambios en estos valores producen cambios drásticos en ambos parámetro reológicos (Tornadijo y col., 1998). Los valores de Ca total que obtiene Tziboulla y Horne (1999) hablan de que en leche de cabra, encontraríamos diferencias

entre genotipos, de modo que en leches de “alta” (en concreto utilizan para su estudio animales con alelos B₂ y E) tienen valores menores que las leches de “baja” (alelos F y O), en concreto 27.84 mmol vs. 31.90 mmol. Estos datos contrastan con los obtenidos por Pirisi y colaboradores (1994) que encuentran más cantidad de calcio total en leches ricas en α_{S1} -caseína y con los resultados que recoge Trujillo y colaboradores (1998) que destacan cómo las leches procedentes de cabras con genotipos AA tienen mayor cantidad de Ca total que las leches procedentes de FF, y que además ellos asocian a ventajas tecnológicas a la hora de la elaboración de quesos. Remeuf y colaboradores (1993) destacan cómo la relación Ca soluble/Ca total es más elevada en leches de cabras FF frente a AA.

2.5. NECESIDADES NUTRITIVAS DE LA CARA EN LACTACIÓN.

Como indica Boza (2005), los programas de alimentación se basan en el conocimiento de la necesidades nutritivas de los animales, en sus diferentes situaciones fisiológicas, así como en la adecuada valoración de la composición físico-química de los alimentos que entran a formar parte de la dieta, conocimientos que permitirán la formulación de raciones destinadas a los animales en sus diferentes fases productivas.

Junto con ello, será necesario también conocer la ingesta voluntaria de alimento en esas distintas fases del ciclo productivo, ya que la ingesta energética es el principal factor limitante de la producción láctea. Los datos recogidos en el trabajo de revisión de Jimeno y colaboradores (2004), nos muestran que las cabras de alta producción lechera tienen una capacidad de ingestión muy variada, que oscila entre 1.6 hasta 6.8% del peso vivo de los animales, lo que significa ingesta de 47.1 hasta 180g/Kg^{0.75} día.

Sobre esas variaciones influyen, además, los factores fisiológicos que controlan la ingesta, el tamaño del animal, la raza, la preparación de los animales para que aumenten el tamaño del rumen, la calidad de los forrajes incorporados a la dieta, la proporción forraje/concentrado, pero de forma especial, la situación productiva del animal, y así vemos, cómo en las últimas seis semanas de la gestación, las cabras disminuyen su capacidad de ingestión, alcanzando los valores mínimos de todo su ciclo productivo en las semanas anteriores al parto. Esta disminución de la ingesta en las cabras gestantes a término, tiene una gran importancia, dada la prolificidad de esta especie animal, que demanda, comparativamente con la oveja y la vaca, y en relación a su peso, mayores exigencias nutritivas. Ello es debido especialmente a la menor capacidad del rumen comprimido por un útero grávido con varios fetos, y sobre la que también ejerce un efecto negativo un exceso en la condición corporal. Una recomendación para esta delicada fase productiva, es la de aumentar la densidad energética, proteica y mineral-vitamínica de la dieta, con la finalidad de que la cabra disminuya en menor medida sus reservas corporales (Boza, 1998)

Por el contrario, la capacidad de ingestión de la cabra se eleva desde el parto hasta las 8 a 10 semanas, comenzando en las primeras semanas lentamente para alcanzar, a partir de la 8ª, una ingesta que cubra la totalidad de sus necesidades nutritivas. En este arranque de la lactación en las cabras buenas productoras de leche, están indicadas, como integrantes de la dieta, las grasas protegidas, concentrados proteicos poco degradables en el rumen, así como cereales con almidones resistentes a la microbiota de los preestómagos (Boza, 2005).

De acuerdo con Sauvant y colaboradores (1991), en las cabras en lactación y una vez alcanzado el valor máximo de la capacidad de ingestión (entre la 8 a 10 semana postparto), ésta disminuye de forma lineal a lo largo de la lactación, con una tasa media de unos 25g/semana. La ingesta en gramos al día de materia seca (MS) de las cabras productoras de leche, según los mencionados autores, y teniendo en cuenta la producción de leche en kg (PL) y el peso vivo de los animales en kg (PV), se puede deducir aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{Ingesta (en gramos)} = 533 + (305.2 \times \text{PL}) + (13.3 \times \text{PV})$$

Hadjipanayiotou y Morand-Fehr (1991) propusieron como una buena dieta para cabras lecheras selectas en el último periodo de la gestación, la que aportará entre 2.5 a 2.75 Mcal de EM / kg MS, y entre 120 y 140 g PB/kg de MS, así como el empleo de forrajes de buena calidad, muy palatables y de elevada digestibilidad de su materia orgánica (alfalfa, verzin, veza-avena, etc.), y una proporción forraje/concentrado de 40/60.

Las necesidades en los últimos 45 días de gestación en cabras lecheras de nuestras razas, con menor tamaño, se satisfacen con dietas que contengan un nivel energético de 9 a 10 MJ/kg de MS, así como una concentración de proteína alrededor del 12% de PB en MS, procurando que una parte de la proteína suministrado no sea degradable en el rumen, con el fin de compensar la menor síntesis de la microbiota, como consecuencia de la menor capacidad de ingestión durante esa fase de la producción.

En cuanto a las necesidades minerales de las cabras al final de la gestación, teniendo en cuenta los requerimientos fisiológicos totales, el coeficiente real de absorción de los minerales y un margen de seguridad del 10%, de acuerdo con Meschy (2002) serían los siguientes: Ca 8.7, P 3.9,

Mg 1.3. Los animales deberán disponer de corrector mineral de libre acceso, en especial aquellos que no salgan al pasto.

En chivas, la capacidad de ingestión aumenta a medida que se incrementa su peso corporal (Hadjipanayiotou y Morand-Fehr, 1991). De acuerdo con Morand-Fehr y Sauvant (1998), en el postdestete que comprende el periodo que va desde el destete hasta las 12 semanas de edad, al iniciar esta fase, las chivas habrán multiplicado por 2.5 su peso al nacimiento y estarán habituadas al consumo de alimento sólido (pienso de iniciación) ya que ello es muy importante para la producción de ácidos grasos volátiles que estimulan el desarrollo del epitelio ruminal. Al final de esta fase, los animales deberán tener una capacidad de ingestión próxima a los 350 g de concentrado al día. Durante el recrio de las chivas, que comprende desde los 3 meses de edad hasta los 45 días antes de su primer parto, su crecimiento debe ser moderado, en torno a los 140g/día, ya que mayor ritmo de crecimiento influiría sobre el adelantamiento de la pubertad, engrasamiento del animal y precoz desarrollo de la glándula mamaria (Bowden y col., 1995).

Al comienzo de la lactación, es relativamente alto el contenido de la grasa de la leche, como consecuencia de un 50% de la movilización de los depósitos grasos corporales, ya que los animales todavía se encuentran en una fase con una baja capacidad de ingestión y, consecuentemente, en balance energético negativo (Sauvant y Morand-Fehr, 1991), balance negativo demostrado por Chilliard y colaboradores (2003), al observar la alta correlación entre dicho balance y la presencia significativa en la leche de ácidos grasos con más de 18 átomos de carbono.

Al objeto de evitar esa drástica movilización de la grasa de las reservas corporales, es necesario aumentar la densidad energética de la dieta, recurriendo al uso de grasas protegidas, y así poder mantener una relación óptima forraje/concentrado y, al mismo tiempo, elevar la digestibilidad de la materia orgánica de la dieta, mediante el empleo en su elaboración de materias primas fácilmente digestible y muy palatables (Boza, 2005)

La incorporación de grasas protegidas en la dieta de la cabra lechera al inicio de la lactación, en unos porcentajes del 3.5 a 4.0% de MS, aumenta la producción total de leche y el porcentaje de la grasa de la misma, sin modificar su contenido en proteína (Brown-Crowder y col., 2001).

Las cabras son menos sensibles que las vacas a la longitud o tamaño de partícula procedente de los forrajes. Sanz Sampelayo y colaboradores (1998b) pusieron de manifiesto que las cabras son poco sensibles al tamaño de partícula del forraje (heno vs. granulado de alfalfa), sin afectarse ni el contenido en grasa de la leche ni la producción de ésta, ya que ambas se encuentran principalmente asociadas al contenido energético de la dieta, más que por la forma física del forraje consumido. También se pueden sustituir los forrajes por diversos subproductos agrícolas que aporten la adecuada cantidad de fibra para estimular la actividad ruminal (Boza, 2005).

En cuanto a la utilización del almidón de la dieta para síntesis de la leche, Morand-Fehr y Sauvant (1998) recomiendan que la cantidad de este carbohidrato en la ración de cabras lecheras de alta producción, sea inferior a o igual al 25% de la MS. Junto a ello, se recomienda que parte de dicho

almidón sea poco degradable en rumen, ya que así permitirá su digestión en el abomaso y posterior absorción intestinal de glucosa puesta a disposición de la glándula mamaria para la síntesis de lactosa y, consecuentemente, una mayor producción de leche.

En nuestro departamento y en nuestro grupo de trabajo, utilizando cabras Granadinas, Sanz Sampelayo y colaboradores (1999) estudiaron el efecto de cuatro fuentes de proteína que diferían en sus características de degradación ruminal (harina de semilla de girasol, haba caballar, gluten de maíz y semilla de algodón) sobre la producción y composición de la leche de cabras a mediado de la lactación y los suplementos proteicos ensayados proporcionaban el 18% de la PB de la dieta. Los resultados permitieron concluir que la fracción de proteína rápidamente degradable en rumen fue la más directamente relacionada con el contenido proteico de la leche. En menor medida, y con independencia de su perfil en aminoácidos, la fracción de proteína no degradable en rumen estuvo también relacionada con el contenido en proteína de la leche. Las cabras que consumían harina de girasol producían leche con un porcentaje de proteína significativamente superior al resto de fuentes. También Aldrighetto y Bailoni (1994) encontraron pequeñas mejorías en el contenido proteico y en el de caseína de la leche de cabra (5 y 7%, respectivamente) cuando emplearon un suplemento rico en proteína no degradable.

Las cabras lecheras de alta producción, explotadas bajo sistemas intensivos, tienen lactaciones muy largas (unos 8 meses) y no deben ser cubiertas antes de los 5 meses postparto, momento a partir del cual la producción de leche comienza a disminuir y el animal puede reponer sus reservas corporales, ya que es interesante que el animal reconstituya dichas reservas al final de la lactación antes del secado, pues la deposición de

grasa de reserva se efectúa de forma más eficaz en ese periodo (Morand-Fehr y Sauvant, 1998).

Actualmente, se recomienda en lactoreemplazantes para cabritos y piensos destinados a cabras de alta producción, la utilización de enzimas (proteasas, amilasas, celulasas), compuestos acidificantes (fosfórico, clorhídrico, cítrico, fórmico, málico, sórbico, etc., o su sales), así como aceites esenciales de plantas (anís, orégano, canela, ruibarbo, etc.), con objeto de mejorar la digestión y absorción de los nutrientes, eliminar la flora patógena a nivel intestinal y aumentar el crecimiento y producción de leche de los animales (Boza, 2002).

Recientemente, Sahlu y colaboradores (2004), revisaron toda la información disponible sobre los requerimientos nutritivos y desarrollaron diferentes ecuaciones con las que poder estimar las distintas necesidades. Los autores identifican áreas de investigación cuyo desarrollo daría lugar a poder precisar de mejor manera, las necesidades en cuestión.

En relación con las necesidades específicas, tanto de energía como de proteína, Aguilera y colaboradores (1990) estiman para la cabra de raza Granadina los siguientes valores:

- Necesidades de energía metabolizable para mantenimiento : 401 KJ/Kg^{0.75} día
- Necesidades para la producción de 1Kg de leche: 5.38 MJ/Kg^{0.75} día
- Necesidades proteicas para mantenimiento de cabra en lactación : 0.478 g N/ Kg^{0.75} día

- Necesidades para la producción de leche con un 4% de grasa: 65-106g de proteína bruta por kg de leche (según su degradabilidad en el rumen).

De acuerdo con esta información, así como la información en otros aspectos recogida por el AFRC (1998), Boza (2005) propone para cabras de 45Kg de peso vivo, con una producción de leche de hasta 3-4Kg/día (leche con un 5% de grasa y el 3.7% de proteína), las siguientes indicaciones en relación con su alimentación:

Ingesta de materia seca ,kg	2.0-2.5
Contenido en energía metabolizable, MJ/ Kg ^{0.75} día	10-11
Proteína bruta de la dieta, %	17
Proteína no degradable, g	60-80
Fibra bruta, % en la dieta	17-19
Grasa bruta, % en la dieta	4-5
Cálcio , g	22
Fósforo, g	10
Magnesio, %	4
Razón: forraje/concentrado	40/60

2.6. ANÁLISIS DE LA UTILIZACIÓN NUTRITIVA DE UNA DIETA EN EL RUMIANTE

2.6.1 INGESTA DE ALIMENTO

Boza (2005) comenta cómo los programas de alimentación se basan en el conocimiento de las necesidades nutritivas de los animales, en sus

diferentes situaciones fisiológicas. Junto con ello, este autor señala como resulta necesario conocer también la ingesta voluntaria de alimento que el animal alcanza en las distintas fases del ciclo productivo. En relación con la cabra en lactación, la principal consideración al respecto es que la ingesta energética es el principal factor limitante de la producción láctea. Jimeno y colaboradores (2004) informa de que la cabra de alta producción muestra una ingesta voluntaria muy variada, que oscilan entre el 1.6 y 6.8% de su peso vivo, valores que representa unas cantidades de 47 a 180g/kg^{0.75} día. Según Boza (2005) sobre estas variaciones influyen, además de los factores fisiológicos que controlan la ingesta, el tamaño del animal, la raza, la calidad del forraje, la razón forraje/concentrado, etc., así como la situación productiva del animal.

Ingesta voluntaria y características de la dieta.

Como indica Forbes (1995b), en el rumiante, la ingesta de alimento depende de la digestibilidad de la dieta correspondiente, consumiéndose más de las dietas cuya digestibilidad de la materia seca es mayor. Conrad y colaboradores (1964) ya señalaron este hecho, indicando cómo la ingesta quedaba relacionada con la digestibilidad de la materia seca de manera positiva para valores de ésta menores del 63%, y negativamente para valores mayores. Respecto del valor a partir del cual la ingesta muestra una relación negativa, Conrad y colaboradores (1964) informan de que dicho valor no puede considerarse fijo, sino dependiente, por ejemplo, de la capacidad productiva del animal. De manera general puede decirse que conforme aumentan los requerimientos energéticos, aumenta el valor de digestibilidad de la materia seca, a partir del cual la ingesta pasa a ser controlada principalmente a nivel metabólico.

Forbes (1995b) igualmente indica que para el caso de dietas constituidas por forrajes, el control de la ingesta se lleva a cabo, esencialmente, por medio físicos, operando como primer factor la capacidad digestiva. Cuando la dieta resulta más concentrada, el control de la ingesta pasará a ser llevado a cabo de acuerdo con los requerimientos energéticos del animal.

Respecto de los factores de composición nutritiva determinantes de la ingesta y, en concreto, el contenido en proteína de la dieta, Forbes (1995c) informa de que dentro del rango normal que dicho contenido presenta, la ingesta voluntaria no queda al respecto afectada. Por el contrario, cuando se trata de dietas de baja concentración proteica o de niveles muy altos, dicha ingesta puede llegar a disminuir. De acuerdo con esto, el nivel crítico más bajo de la proteína de un alimento, puede definirse como aquel por debajo del cual, la ingesta voluntaria disminuye y este comentario es aplicable tanto al monogástrico como al rumiante. El nivel crítico indicado resulta ser más bajo en el rumiante que en el monogástrico (Forbes, 1995c) debido a que el rumiante suplementa la proteína de la dieta con la urea de su saliva, y esta se puede emplear en el rumen para la síntesis de proteína microbiana.

Para el caso del pequeño rumiante, se ha establecido la relación entre el contenido en proteína bruta del alimento y la ingesta, detectándose una caída de ésta con dietas de menos de 70g de proteína/Kg. Badamana y colaboradores (1990) deducen que, en la cabra en lactación, el empleo de concentrados con 117-185 g proteína/kg, lograban una ingesta creciente de heno al igual que una mayor producción de leche sin que se afectara su composición. Empleando un margen más amplio de niveles de proteína, Badamana y Sutton (1992) indican que el empleo de cantidades por encima

de 180g proteína/kg en el concentrado, unos 140g/kg en la dieta, no resultaba positivo. De manera general, estos autores concluyen de sus ensayos, sobre cómo las respuestas beneficiosas que se consiguen mediante el incremento de proteína en la dieta, no parece que puedan derivarse cuando el nivel excede los 140g de proteína/kg. de dieta, al menos no bajo las condiciones intensivas que implica un ensayo de balance con animales incluso fistulados. En opinión de Badamana y Sutton (1992), cuando se trate de animales que se mantienen en condiciones más cercanas a la normalidad, bajo las que le resulte más fácil llegar a expresar su capacidad productiva, puede esperarse un efecto beneficioso paralelo al consumo de dietas de más alto contenido proteico.

En general, Morand-Fehr y Sauvant (1980) recomiendan para la cabra en lactación unos niveles de proteína bruta comprendidos entre 13 y 16% de la materia seca lo que dependerá de la fuente proteica, en cuestión, la producción de leche y estado de lactación. Sin embargo otros autores (Ciszuk y Lindberg, 1988) sugieren que una respuesta en la producción de leche puede obtenerse cuando se aumenta el nivel de proteína de la dieta hasta un 18% de la materia seca, sobre todo al comienzo de lactación.

En relación con lo que sucede en la cabra, Sauvant y colaboradores (1991) igualmente indican cómo la ingesta voluntaria depende de numerosos factores, los que deben ser identificados y cuantificados con el fin de llegar a establecer un manejo alimentario lo más apropiado posible. Dentro de los factores relacionados con el animal, estos autores señalan el estado fisiológico, comentando cómo durante la lactación, e independientemente de las variaciones debidas al momento de la misma, parece ser que la ingesta en cada momento alcanzada aparece relacionada con la producción de leche junto con el peso metabólico del animal.

Además de esto, el estatus energético parece también influir sobre la capacidad de ingesta, concluyendo que para un mismo peso y producción de leche, la mayor movilización lipídica que al comienzo de la lactación tiene lugar, se asocia con una menor ingesta voluntaria, si bien dicho efecto no parece darse en animales de alta capacidad productiva. Según Sauvart y colaboradores (1991), en este caso, los animales muestran una ingesta de materia seca más alta junto a una movilización lipídica a nivel corporal. Finalmente, las ingestas de estos animales pueden depender de la naturaleza de la fracción forraje, del nivel de concentrado y del nivel de proteína, aspectos ambos que pueden determinar la ingesta de forraje.

Respecto de la posible relación entre ingesta y producción de leche, McGilloway y Maine (2002) informan de cómo, al utilizar vacas de distinta capacidad productiva, las de alta capacidad llegaban a producir hasta un 22% más de grasa más proteína, por unidad de alimento consumido, resultando las ingestas de materia seca sólo algo superiores que las alcanzadas por los animales de una capacidad intermedia.

Cuando se administra una dieta completa, se recomienda considerar la digestibilidad de la materia orgánica de la misma o la densidad energética como valores predictores de la ingesta voluntaria de materia seca en la cabra. Sauvart y colaboradores (1987) observaron que al comienzo de la lactación, un aumento en la digestibilidad de la materia orgánica determina un incremento en la ingesta voluntaria, deduciéndose igualmente, que dicho aumento en la digestibilidad mejora simultáneamente el estatus energético del animal, lo que se debería a los efectos ejercidos al respecto, tanto por la mayor digestibilidad de la materia orgánica como por la mayor ingesta de materia seca.

Sauvant y colaboradores (1991) indican cómo cuando la densidad energética de la ración es suficiente para satisfacer los requerimientos energéticos del animal, la relación entre la ingesta de materia seca y el contenido en energía digestible de la ración, puede llegar a ser negativa.

Ingesta voluntaria y genética del animal

Respecto al efecto que sobre la ingesta voluntaria puede tener la genética del animal, Forbes (1995a) nos comenta que existe una gran variación individual de la ingesta en grupos de vacas, fenómeno que al parecer se mantiene a lo largo de la lactación (Little y col., 1991). A partir de unos estudios referentes igualmente, a vacas lecheras (Scottish Agricultural College, 1992), se calcularon los coeficientes de heredabilidad para la producción de leche, grasa y proteína, peso vivo, ingesta, etc., y como resultado observaron que el más alto era el de la ingesta. Comparando la ingesta de alimento entre diferentes razas de vaca lecheras, Oldenbroek (1988) concluye que las variaciones existentes entre individuos son, al menos parcialmente, de origen genético. Finalmente, y en este sentido, Schmidely y colaboradores (2002) cuando analizan la ingesta y producción de leche de la cabra Alpina, según grupo genético asociado bien a una producción alta o baja de α_{S1} -caseína, encontraron que los animales pertenecientes al grupo de alta alcanzaban una mayor ingesta, lo que en su opinión se debe a los mayores requerimientos que dichos animales tendrían a causa de la más alta producción de leche que llegan a alcanzar.

2.6.2. UTILIZACIÓN DE LA DIETA A NIVEL DIGESTIVO

El valor que una ingesta de alimento puede tener, por ejemplo, para la producción de leche, dependerá en primer lugar de la utilización que de la misma se realice a nivel digestivo. Distintos trabajos de revisión (Morand-Fehr, 1981, 2005; Tisserand y col., 1991; Lindberg y Gonda, 1996) analizan los principales aspectos a considerar en relación con la capacidad digestiva de la cabra, estudios que en su mayoría se refieren a resultados obtenidos en comparación con la oveja.

Respecto del efecto que la composición de la dieta puede tener sobre su digestibilidad, Lindberg y Gonda (1996) indican la importancia que la naturaleza de los hidratos de carbono así como del nitrógeno dietético alcanzan al respecto en razón de cómo el balance establecido entre ambos grupos de constituyentes es capaz de determinar el proceso fermentativo y, a la vez, el crecimiento microbiano en el rumen. Esto es lo que establece que el contenido y digestibilidad de las distintas fracciones fibrosas así como de la proteína sean los aspectos de mayor interés a considerar en cuanto al análisis de la digestibilidad de una dieta en la especie caprina. De lo indicado se deriva el que la digestibilidad de la materia orgánica de una dieta, aspecto del que depende el valor energético de la misma, se muestre fuertemente relacionado con el contenido en fibra (fibra bruta, fibra neutro detergente y ácido detergente) y lignina de la misma (Giger-Reverdin y col. 1992, 1994). El mejor predictor de dicha digestibilidad parece ser el contenido en lignina ácido detergente (Giger-Reverdin y col., 1992, 1994), no mejorándose la predicción al usar también el contenido en fibra neutro detergente y fibra ácido detergente (Giger Reverdin- y col., 1992). Sin embargo, Lindberg y Gonda (1996) indican que mediante el análisis de datos procedentes de distintos laboratorios europeos si parece deducirse

cómo la mejor estimación se consigue al emplear para ello el contenido de las dos fracciones fibrosas junto a la de lignina ácido detergente (Giger-Reverdin y col., 1994). De estos análisis parece igualmente concluirse cómo la interacción con el contenido en proteína de la dieta (16.3-33.3%) y/o de extractivas al éter (1.2-6.8%) o incluso con el nivel de ingesta, no resultaba significativa. Igualmente parece no influir al respecto la producción de leche alcanzada (Giger-Reverdin y Sauvant, 1991).

Respecto del efecto que el nivel de proteína incluido en la dieta puede tener sobre la digestibilidad de ésta así como de otros nutrientes, los resultados disponibles apuntan a que dicho efecto dependerá de la dieta en cuestión, analizándose en muchos casos el resultado de una suplementación proteica sobre la utilización digestiva de una dieta de mala calidad, concretamente de determinados forrajes o tipos de pastos (Swanson y col., 2000; Haddad y col., 2005). Respecto del efecto que el nivel de proteína dietética puede tener sobre la digestibilidad de la misma, Badamana y colaboradores (1990) encuentran en cabras en lactación mayores digestibilidades conforme dicho nivel se incrementaba, lo que se conseguía tanto sobre la digestibilidad de la materia orgánica y fibra ácido-detergente, como sobre la de la proteína. En este sentido, Badamana y Sutton (1992) al administrar a la cabra dietas con distinto nivel de proteína, obtienen valores de digestibilidad de la fibra neutro-detergente crecientes. En opinión de estos autores, este hecho se debía al mayor crecimiento bacteriano que con los niveles más altos de proteína pudieron alcanzarse, lo que originaría una mayor degradabilidad de la fibra dietética. Kadzere y Jingura (1993) al utilizar en la cabra dietas con niveles crecientes de soja, conseguían un incremento paralelo de la digestibilidad de la proteína.

En cuanto a lo que se comenta, un aspecto a considerar es el de la naturaleza de la proteína dietética en razón de la fracción de la misma que se degrada en el rumen o que resulta no degradable en el mismo, abandonándolo sin ser alterada, pudiendo ser por lo tanto, posteriormente digerida a nivel intestinal. Brun-Bellut y colaboradores (1990) al utilizar en cabras en lactación dietas con un 11,7 o 14% de proteína bruta, de la que un 6,7 y 9,7% era degradable, deducen valores indicativos de no alterarse ni la ingesta ni la digestibilidad de la materia orgánica y fibra. Al Jassim y colaboradores (1991) suplementan la dieta tanto de ovejas como de cabras con una proteína no degradable, deduciendo una caída en la digestibilidad de la proteína conforme crecía la suplementación. Por el contrario, Swanson y colaboradores (2000) al suplementar en ovejas un heno de baja calidad con distintos porcentaje de proteína no degradable, obtenían una digestibilidad mayor tanto de la materia seca, materia orgánica y proteína.

Sobre el efecto que en el aspecto que se revisa parece tener la raza y/o la genética del animal, Sahlu y colaboradores (1993), después de utilizar tres razas caprinas diferentes (Nubian, Alpina y Angora) y niveles distintos de proteína (9, 15 y 21%), deducen la no existencia de efecto en cuanto a la digestibilidad del nitrógeno. Schmidely y colaboradores (2002) empleando cabras de raza Alpina y Saanen genéticamente diferentes según su capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína en leche, animales que se alimentaban en base a dietas con distintos niveles de proteína, obtuvieron resultados indicativos de una no distinta digestibilidad del nitrógeno según grupo genético del animal, frente a una digestibilidad creciente igualmente del nitrógeno, de acuerdo con el nivel de proteína de la dieta.

2.6.3. UTILIZACIÓN DEL NITRÓGENO

Como indica Lindberg y Gonda (1996), la mayor pérdida de nitrógeno ingerido que tiene lugar en la cabra en lactación es a través de la orina (43%), siguiéndole en importancia la pérdida por heces (29%) y, finalmente, vía leche (24%). Al aumentar la ingesta de nitrógeno, todas las pérdidas aumentan, pero especialmente las debidas a orina, siendo menores las que corresponden a heces (Badamana y col., 1990; Badamana y Sutton, 1992). Las pérdidas de nitrógeno por orina resultan en la cabra dependientes de la calidad de la proteína dietética, junto a la disponibilidad energética (Giger-Reverdin y col., 1991). Las pérdidas por heces, a la vez de depender del nitrógeno ingerido, varían según la ingesta de hidratos de carbono estructurales y el contenido de lignina de la dieta o igualmente, del balance existente entre el nitrógeno degradable en rumen y la energía fermentable (Giger-Reverdin y col., 1991).

Distintos trabajos analizan igualmente los efectos de la composición de la dieta sobre los niveles de amonio en el rumen, estudios que esencialmente comparan cabra y oveja (García y col., 1994), análisis que en otros casos se realiza respecto del reciclaje de la urea, estimándose cómo al menos un 70% del nitrógeno ingerido pasa a través del pool corporal de urea (Lindberg y Gonda, 1996).

Respecto del efecto que la proporción de proteína no degradable o degradable presente en la dieta tiene, Al Jassin y colaboradores (1991) determinan que tanto en cabra como en oveja, al aumentar la fracción no degradable, aumenta la retención de nitrógeno. Por el contrario, Brun-Bellut y colaboradores (1990) obtienen en cabras en lactación una mayor excreción de nitrógeno urinario al aumentar el contenido en no degradable

en la proteína dietética, no detectando diferencias en cuanto al nitrógeno lácteo, ni en su concentración ni rendimiento respecto al ingerido.

Kadzere y Jingura (1994) al incluir en la dieta de cabras en lactación niveles crecientes de soja, obtienen balances de nitrógeno igualmente crecientes. Respecto de este efecto del nivel proteico, Badamana y Sutton (1992), al alimentar a cabras en lactación con concentrados con niveles variables de proteína, deducen cómo al aumentar la ingesta de nitrógeno, aumentaba la excreción del mismo por heces, orina y leche, obteniéndose por el contrario una retención a nivel corporal que no seguía pauta alguna. De los resultados obtenidos, los autores concluyen sobre cómo al utilizar un concentrado con un contenido en proteína superior al 18% o 14% a nivel de dieta completa, no parecen derivarse resultados que puedan considerarse justificativos de ese incremento. Negesse y colaboradores (2001) en cabras aun en crecimiento, administrando dietas cuyo contenido en proteína iba del 8,7 al 17,6%, deducían como al aumentar el nivel de proteína, aumentaba la retención proteica, disminuyendo la eficiencia con la que la proteína ingerida se retenía. Finalmente, Schmidely y colaboradores (2001) al emplear en cabras de raza Alpina y Saanen dietas con contenidos crecientes en proteína obtenían unas no diferentes excreciones de nitrógeno por heces. La excreción por orina y el paso a leche aumentaba entre el nivel más bajo de proteína usado (13,6%) y el intermedio (16,8%), no detectándose diferencias entre este intermedio y el superior (19,8%). Las relaciones existentes entre el nitrógeno digestible/nitrógeno ingerido y nitrógeno de heces y orina/nitrógeno de la leche aumentaban con el nivel de proteína, resultando por el contrario más bajo la relación existente entre el nitrógeno de la leche/nitrógeno digestible.

Respecto del efecto que la genética animal puede tener sobre el aprovechamiento del nitrógeno en la cabra, Sahlu y colaboradores (1993), administrando dietas con unos niveles de proteína comprendidos entre 9 y 25%, deducen la no existencia de diferencias de utilización, según raza empleada. En la vaca, considerando animales de distinto mérito genéticos en cuanto a lo que a producción de leche y de sus componentes se refiere, las de mayor mérito parece que llegan a producir una cantidad mayor de proteína láctea a expensas de una menor retención a nivel corporal, es decir, por medio de una distinta partición de los nutrientes absorbidos, que son dirigidos de manera especial hacia la producción de leche (McGilloway y Mayne, 2002). Refiriéndonos a cabras pertenecientes a los genotipos asociados bien a una alta o baja capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína, disponemos de los resultados obtenidos por Schmidey y colaboradores (2001), autores que obtienen valores no diferentes según genotipo animal, tanto de nitrógeno ingerido, nitrógeno excretado por heces y orina y nitrógeno digerido. Junto a esto, deducen valores más altos de nitrógeno lácteo en los animales de alta capacidad de síntesis, no resultando diferentes los valores de nitrógeno retenido a nivel corporal, si bien, numéricamente, este dato resultaba menor en los de alta capacidad. De acuerdo con los resultados obtenidos, los autores comentan cómo la eficiencia con la que el nitrógeno digestible se convertía en nitrógeno lácteo resultaba mayor en los animales de alta capacidad, lo que en su opinión sería posible a expensas de una menor pérdida de nitrógeno por orina.

2.6.4. UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA.

Nivel de proteína en la dieta y utilización de la energía

Schneider y colaboradores (1980) indican cómo la descripción cuantitativa del efecto que la composición de una dieta puede llegar a tener sobre la eficiencia de utilización de la ingesta de la energía metabolizable para la producción de leche, resultaba materia aun en controversia. Según estos autores, los resultados obtenidos en vaca a partir de ensayos de respirometría, se describían por medio de una función lineal dependiente de la metabolicidad de la energía. De acuerdo con las discrepancias existentes al respecto, Schneider y colaboradores (1980) analizan una serie de resultados correspondientes a ensayos en los que se establecía el balance energético, determinando el efecto que el nivel de ingesta, la razón proteína/energía de la dieta, la metabolicidad de la energía y el contenido en energía metabolizable de la dieta, podían tener sobre la eficiencia de utilización de la energía metabolizable, deduciendo cómo el nivel de proteína de la dieta ejercía un efecto negativo sobre dicha eficiencia, deduciéndose igualmente, que ésta resultaba máxima para unos valores de metabolicidad comprendidos entre 0,6 y 0,7. En nuestro grupo de trabajo, al emplear en la cabra en lactación unas dietas suplementadas con niveles variables de una grasa protegida frente al metabolismo ruminal, dietas que, por tanto, resultaban con niveles decrecientes de proteína bruta, se obtuvieron para la producción de leche, unas eficiencias brutas de utilización tanto de la ingesta de energía metabolizable como de la energía metabolizable disponible para la producción no diferentes (Sanz Sampelayo y col. 2002). De igual manera, Bava y colaboradores (2001) analizan en cabras en lactación la utilización de la energía a lo largo de todo este proceso, de dos dietas basadas una en un ensilado y otra libre de fracción forraje, dietas

que, además de resultar diferentes en cuanto a la naturaleza de sus fracciones fibrosas, eran distintas en su contenido en proteína, valores que resultaban iguales a un 14,8 y 21,4%. Los animales alimentados con la dieta sin forraje tuvieron una mayor ingesta energética además de una menor pérdida de energía por heces y por orina, efecto este último debido, en opinión de los autores, al más alto contenido que la dieta en cuestión presentaba en proteína. Cuando las pérdidas por metano se expresaban como porcentaje de la energía bruta ingerida, la producción resultaba mayor bajo consumo de la dieta con mayor nivel de fibra. Junto a esto, la metabolicidad resultaba menor para el caso de la dieta sin forraje, dato coincidente con el obtenido por van der Honnig (1975), autor que encuentra una metabolicidad menor en un 8-9% en el caso de empleo de dietas granuladas, frente a otras que aportaban una fibra larga. Al mismo tiempo, la producción de energía láctea resultaba similar para los dos tratamientos, y lo mismo para el caso de la eficiencia con la que la ingesta de energía metabolizable se utilizaba para la producción de energía láctea.

Genética animal y utilización de la energía

El efecto que bien la raza o el particular genotipo animal puede tener en la cabra en lactación sobre la utilización de la energía ingerida sobre todo a nivel metabólico no ha sido en absoluto abordado. Frente a esta ausencia de información, existe otra referente a la vaca, en la que se analiza el comportamiento que animales de los llamados de alto mérito genético presentan frente a los de un mérito menor. En este sentido Chase (2002) indica cómo en general en el rumiante en lactación, tanto la energía como el resto de nutrientes tienen que distribuirse con el fin de satisfacer sus requerimientos de mantenimiento, crecimiento, reproducción y producción de leche. Estos distintos requerimientos se satisfacen siguiendo un orden de

prelación que depende de los nutrientes disponibles en cada caso. En este sentido, Chase (2002) informa cómo para la vaca, los gastos prioritarios son en un principio, los de mantenimiento, seguidos por los de producción de leche y después, de reproducción. Conforme aumenta la ingesta, una fracción menor de la misma es la que se consume para el mantenimiento, hecho que demuestra cómo la ingesta es la variable que más determina la productividad del animal en lactación.

Respecto de cómo tiene lugar la utilización de la energía según genética animal, Agnew y colaboradores (2002) indican que bajo consumo de una dieta completa, la eficiencia de utilización de una ingesta de energía metabolizable para la producción de energía láctea resultaba mayor en los animales de mayor capacidad productiva, deduciéndose cómo la genética no tenía efecto ni sobre la digestibilidad ni sobre la metabolicidad de la energía. Además, se infería cómo no llegaba a afectarse la eficiencia con la que la energía disponible para la producción se convertía en energía láctea, siempre que se ajustase a una retención corporal igual a cero. De acuerdo con lo comentado, Agnew y colaboradores (2000) comentan como la mayor eficiencia de utilización de la ingesta de energía metabolizable para la producción de leche, se conseguía sin que se alterara ni la utilización a nivel digestivo ni metabólico. En opinión de estos autores, y dado el pequeño incremento que la ingesta muestra en los animales de alta capacidad, la mayor producción que tanto de leche como sus principales componentes tiene lugar, tiene que atribuirse a un cambio en la partición de los nutrientes, entre la producción de leche y su depósito a nivel corporal. Lo indicado puede determinar el que bajo un determinado régimen alimenticio, los animales de alta capacidad productiva logran una mayor producción, incluso por medio de una mayor movilización de reservas corporales o una menor tasa de depósito de los mismos a nivel corporal.

Algo parecido es lo que indica McGilloway y Mayne (2002) cuando indican cómo actualmente se acepta que la mejora que en la producción de leche se consigue cuando se emplean vacas de alto mérito genético, se origina a causa de un cambio que en la partición de nutrientes tiene lugar en el animal, derivándose una mayor proporción de los disponibles hacia la producción de leche, a expensas del peso vivo del animal. Con animales estabulados, los de alta o media capacidad productiva, producían una mayor cantidad de leche y grasa más proteína, que los de baja capacidad. Sin embargo, la ingesta de energía no llegaba a diferenciarse significativamente entre grupos.

Refiriéndose al mismo asunto, estudios llevados a cabo algunos años anteriores, llegaban a concluir esencialmente lo mismo, es decir, la mayor capacidad productiva de las vacas de mayor mérito genético parecía deberse esencialmente a una distinta partición que en el animal, de los nutrientes disponibles tiene lugar (Gordon y col., 1995a, b). En uno de estos estudios, los autores indican cómo tanto la producción de metano como la pérdida de calor o la eficiencia de utilización de la ingesta de energía metabolizable para la producción de energía láctea no resultaban diferentes entre grupos genéticos, lo que igualmente sucedía para la ingesta de materia seca y digestibilidad de la energía.

Aunque como hemos indicado no disponemos de información específica sobre la utilización de la energía en la cabra pertenecientes a distintos genotipos asociados a la mayor o menor capacidad de síntesis de la α_{S1} -caseína, se conoce como la utilización, por ejemplo del nitrógeno digestible para la producción de nitrógeno lácteo, resultaba mayor en cabras de raza Alpina y Saanen pertenecientes al genotipo de alta capacidad

de síntesis de α_{S1} -caseína, efecto que se lograba, al parecer, a expensas de una menor pérdida de nitrógeno por orina (Schmidely y col., 2002), resultados que desde un punto de vista de utilización de la energía, indicarían que la utilización de la digestible para la producción de energía láctea, sería mayor en los animales de más alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína.

3. MATERIAL Y MÉTODOS.

3 MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL.

Con el fin de cumplir el objetivo propuesto, se llevaron a cabo unos ensayos en los que se utilizaron un total de 25 cabras, pertenecientes 13 de ellas a los genotipos de alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína (3 AB y 10 BB) y 12 a los de baja capacidad (3 EF y 9 EF) las cuales se encontraban en el centro de su segunda, tercera o cuarta lactación (8-16 semanas después del parto), Estos animales se alimentaron en base a dos dietas diferentes según su contenido en proteína bruta (aproximadamente 14, D1, y 18%, D2, de la materia seca de la dieta), Antes de la realización de los distintos ensayos, dentro de cada grupo genético, los animales se dividieron de manera enteramente al azar, en dos subgrupos, Con los animales pertenecientes a cada genotipo, e llevaron a cabo unos ensayos de alimentación, balance y producción láctea, los que se realizaban durante dos periodos de tiempo consecutivos (1^a y 2^a experiencia), siendo cada subgrupo de animales alimentados en base a cada una de las dietas experimentales, cambiándose de dieta al pasarse de la primera a la segunda de las experiencias, El diseño de estos ensayos correspondía, por tanto, a la realización de dos experiencias consecutivas con intercambio de dieta. De acuerdo a lo indicado, el diseño podría representarse de la siguiente manera

	D1		D2	
E1	A ₁	B ₁	A ₂	B ₂
E2	A ₂	B ₂	A ₁	B ₁

Donde:

A₁ y A₂: Subgrupos de animales de alta producción de α_{S1} -caseína..

B₁ y B₂: Subgrupos de animales de baja producción de α_{S1} -caseína.

D1 y D2: Dieta 1 y Dieta 2, respectivamente.

E1 y E2: Experiencia 1ª y 2ª, respectivamente.

3.2. SELECCIÓN DE ANIMALES

Para la realización de este estudio y, con el fin de disponer de los animales necesarios, se utilizaron cinco rebaños de cabras de la raza Malagueña, pertenecientes a la Asociación Española de Criadores de la Cabra Malagueña, tomándose, para su genotipado, muestras de 300 individuos.

La extracción de DNA de muestras de sangre se llevó a cabo en el laboratorio de Producción Animal de Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes de la Universidad de Córdoba, según protocolo desarrollado por Amills (1996), que consta de las siguientes etapas:

- Fase de obtención de glóbulos blancos. Con una mezcla 500 μ l de mezcla de TE (10 mmol de tris-HCl y 1 mmol de EDTA) e igual volumen de muestra de sangre, agitándose y centrifugándose a 13.000 rpm durante 2 minutos.
- Fase de lisis celular. El pellet de glóbulos blancos se lisa y lava repetidamente con 500 μ l de TE y centrifugándose a 13.000 rpm hasta que adquiriera color blanco.
- Fase proteolítica. Añadiendo Proteasa K (4 μ l) y su tampón correspondiente (400 μ l), dejándose incubar a 56°C durante 4h.
- Fase de solubilización de DNA. El DNA se solubiliza añadiendo 400 μ l de solución de cloroformo:isoamílico y centrifugándose durante 10 minutos a 13.000 rpm, con lo que el DNA queda en la fase acuosa.
- Fase de precipitación de DNA. Al DNA se le añade 40 μ l de cloruro sódico 2M y 800 μ l etanol absoluto, se agita por inversión y se elimina el sobrenadante, obteniendo un pellet con DNA.
- Fase de deshidratación de DNA: Se añade 1000 μ l de etanol 70% y se centrifuga a 13.000 rpm durante 5 minutos. El DNA deshidratado se encuentra en el pellet, con lo que se retira el sobrenadante y se deja secar en campana de vacío.

- Fase de rehidratación de DNA. El pellet de DNA es resuspendido en 200 μ l de agua miliQ.
- Fase de comprobación de la extracción. Se incuba 1h a 56°C. Tras este periodo se ha de comprobar que el DNA está totalmente disuelto.

El DNA extraído se enviaba a la Unitat de Genètica y Millora de la Facultat de Veterinària de la Universidad Autònoma de Barcelona donde se llevaba a cabo la determinación del genotipo de la caseína α s1 por la amplificación de este DNA mediante PCR (reacción en cadena de la polimerasa) y RFLP (fragmentos de restricción de longitud polimorfica) , según el método descrito por Amills (1996), de acuerdo con las fases siguientes:

- Amplificaciones del exón 19. La presencia de una inserción de una secuencia LINE (Line Interspersed Nucleotide Element) truncada en su extremo, da lugar a la variante E del gen de la α s1- CN (Jansá y col., 1994). Para determinar su presencia, se amplifica esta región del exón 19, mediante uso de los cebadores o primers específicos para amplificar esta secuencia mediante PCR y posterior lectura en gel de agarosa 1.5% de baja resolución y bromuro de etidio, dando como resultado un patrón de bandas característico:
 - a) Presencia de solamente una banda 590 pares de bases (pb) indica la presencia en homocigosis del alelo E (EE)
 - b) Presencia de solamente una banda de 133 pb, indica la ausencia del alelo E en dicha muestra (--).

- c) Presencia de las bandas de 590 y 133 pb, indican heterocigosis para el alelo E (E-).
- Amplificación de inton 8-exon 9-intron 9 en donde se pueden detectar la presencia/ausencia de una inserción (I) de 11 pares de bases y/o la delección (D) de 1 nucleótido (Ramunno y col., 2000). Mediante primers específicos que flanquean esta zona, se amplifica por PCR y por RFLP se lleva a cabo una digestión con una enzima que tiene como diana de corte lugares específicos asociados a esta inserción y delección y proporciona un patrón de bandas a partir de los cuales se puede diferenciar los alelos A/O, B/E y F, según la siguiente combinación de haplotipos:
- a) $I^- + D^-$ alelo A/O (por éstas técnicas son indistinguibles, y nos apoyamos en el distinto contenido proteico que se observa en muestras de leche para discriminar alelos).
- b) $I^+ + D^-$ alelo B/E (la discriminación entre alelos se establece en función de los resultados de PCR de exon 19, específica para alelo E).
- c) $D^+ + I^+$ alelo F.

Se realizó el estudio en cabras de genotipo asociados a un contenido elevado de caseína (AB y BB para el gen de la alfa s1 caseína) y cabras asociadas a bajo contenido en caseínas (FF para alfa s1 caseína). Debido al bajo porcentaje de cabras de baja producción de caseínas, fueron también utilizadas las cabras de genotipo heterocigoto EF.

Como hemos indicado, los animales seleccionados debían estar en su 2^a, 3^a o 4^a lactación y además debían entrar en el periodo principal de los ensayos de balance, en el centro de su lactación, es decir, entre las semanas 8 y 16 después del parto.

El número de cabras finalmente seleccionadas para el experimento fueron 25:

- 3 AB - 10 BB - 3 FF - 9 EF

3.3. METÓDICA DE LAS EXPERIENCIAS.

Cada animal recibía diariamente una dieta compuesta por 1kg de concentrado y 1kg de forraje. En el diseño de las dietas se tenía en cuenta los requerimientos específicos de la cabra en lactación (Aguilera y col., 1990), Las dos dietas utilizadas (D1 y D2) se diferenciaban esencialmente en cuanto a su contenido en proteína bruta, cantidades que resultaban prácticamente iguales a 14 y 18% de la materia seca. La fracción forraje de la D1 quedaba formada por 700 g de heno de alfalfa y 300 g de paja de cereales, mientras que la de la D2, quedaba constituida por 800 g de heno de alfalfa y 200 g de paja de cereales. La composición en ingredientes de los concentrados correspondientes a las D1 y D2, así como la composición química de ambos concentrados y de los dos forrajes utilizados, se presenta en la Tabla 1.

El suplemento minero-vitamínico, suministraba por kg de concentrado, lo siguiente: 2,32 g de Ca, 6,84 g de P, 10,0 g de ClNa, 0,92 g de Fe, 0,12 g de Cu, 0,60 g de Zn, 0,48 g de Mn, 1,20 g de Mg, 0,02 g de Co, 1.333.333 UI de vitamina A, 2.080.000 UI de vitamina D₃, 520 UI de vitamina E, 0,32 g ácido nicotínico y 0,16 g de vitamina B₁+B₆+B₁₂.

La duración de cada experiencia era de 24 días. Durante los 15 primeros, fase de adaptación a las dietas experimentales, los animales se disponían individualmente en boxes, administrándose la fracción forraje y concentrado de las dietas en comederos separados, disponiendo a la vez los animales, de agua de manera continuada. Cada día, a las 9 horas, una vez cuantificado el consumo de alimento correspondiente al día anterior, los animales se ordeñaban manualmente, cuantificándose la producción en cada caso alcanzada, administrándose, a continuación, la dieta del día, Transcurrido este tiempo, los animales se pasaban a jaulas individuales de metabolismo, donde, junto al control de la ingesta de forraje y concentrado, era posible recoger separadamente y de manera cuantitativa, tanto las heces como la orina de los mismos. Los tres primeros días de esta nueva etapa, se consideraban de adaptación a la nueva situación, tratándose a los animales de la manera ya descrita. Durante los cinco días siguientes, fase principal de los ensayos de balance, además de controlar diariamente las ingestas de alimento y producción de leche, se llevaba a cabo la recogida de excretas, tomándose muestras representativas tanto de los alimentos ofrecidos como de la producción de leche, heces y orina, recogándose igualmente, a diario y de manera cuantitativa, los restos tanto de forraje como de concentrado, correspondientes a la dieta del día anterior. Todas las muestras recogidas se guardaban en congelador a -20°C hasta el momento de su análisis. Además de esto, la producción de leche correspondiente al día siguiente de terminación de los ensayos de balance, se recogía para ser empleada en las pruebas correspondientes a la valoración tecnológica, siendo en este caso establecida la composición por NIRS (espectroscopia en el infrarrojo cercano). El peso vivo de los animales se establecía al llegar al laboratorio, así como al inicio y final de los ensayos de balance.

Tabla 1: Composición de los concentrados y forrajes utilizados.

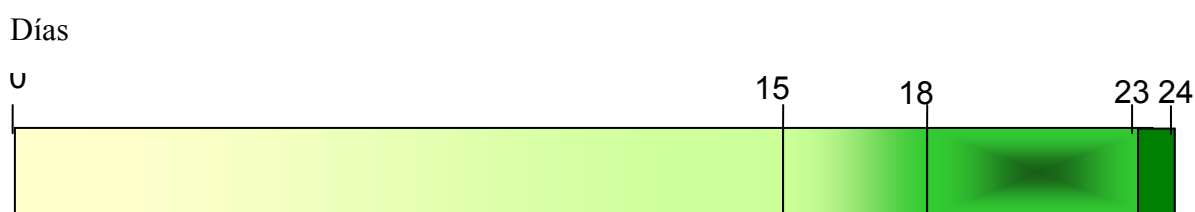
	Concentrados		Heno de alfalfa	Paja de cereal
	1	2		
Ingredientes				
Avena	293	150		
Maíz	390	75		
Haba	240	335		
Grasa bypass	37	-		
Gluten de maíz	-	200		
Semilla de algodón	-	200		
Complemento mineral-vitamínico	40	40		
Composición química (%MS)				
Materia seca (MS)	89,05	89,52	91,80	89,37
Materia orgánica	92,06	91,70	92,51	94,84
Proteína bruta(PB)	12,68	19,56	18,59	4,74
Fibra neutro-detergente	27,76	36,68	50,10	74,10
Fibra ácido-detergente	8,56	16,29	36,80	45,80
Lignina ácido-detergente	0,92	3,46	9,20	5,16
Grasa	6,83	6,46	0,99	-
Energía (MJ/kgMS)	18,55	18,49	19,02	18,20





Concentrados 1 y 2: Fracción concentrada de las dietas 1 y 2.

MS: Materia seca.

Terminada la primera experiencia, los animales volvían a disponerse en los boxes, cambiando el tipo de dieta de la manera ya indicada, comenzando a desarrollarse la segunda experiencia, cuya marcha y etapas resultaban idénticas a las de la primera.

La marcha experimental descrita se resumen el el siguiente diagrama.



-  Fase de adaptación a las dietas. Control diario de ingestas y producción de leche
-  Fase de adaptación a las células de metabolismo. Control diario de ingestas y producción de leche
-  Fase principal de los ensayos de balance. Control diario de ingestas y producción de leche. Recogida de muestras de restos de alimentos ofrecidos, leche, heces y orina.
-  Recogida de leche producida para su valoración tecnológica.

3.4. MEDIDAS Y ANÁLISIS.

3.4.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y CONTENIDO ENERGÉTICO DE LAS MUESTRAS DE ALIMENTOS, LECHE Y EXCRETAS

El contenido en materia seca (MS) y nitrógeno (N) de las muestras de forraje y concentrado, restos, heces, orina y leche, así como el de grasa de la leche, se determinaban empleando muestras frescas. Todos los demás análisis se realizaban en muestras ya secas.

La MS de las distintas muestras de alimento, se establecía por desecación en estufa a $100\pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 24h, mientras que las de heces, orina y leche se determinaban por liofilización, El contenido en N de las muestras de alimento, heces y orina se analizaba por el método Kjeldahl (Association of Official Analytical Chemist (AOAC), 1990). Los resultados obtenidos se convertían en cantidades de proteína bruta por medio del factor multiplicador 6,25.

El contenido en N proteico de la leche se calculaba como la diferencia entre el N total y el no proteico (NNP), siendo el N total determinado en muestra de leche completa y el NNP en el filtrado que se obtiene después de precipitar las proteínas con ácido tricloroacético, al 12% (peso/volumen) (Martín-Hernandez y col., 1988). El N caseínico se calculaba como la diferencia entre el N proteico y el N del suero, siendo este último a su vez calculado como la diferencia entre el N no caseínico (NNC) y el NNP. Finalmente, el NNC se establecía en el filtrado obtenido a partir de muestras de leche entera después de su precipitación a $\text{pH}= 4,6$, empleando como buffer una solución al 10% (peso/volumen) de ácido

acético+acetato sódico 1N. El contenido en N de las distintas muestras se llevaba a cabo por el método de Kjeldahl (AOAC, 1990). Las cantidades de N proteico, caseínico y del suero se convertían en proteína, aplicando el factor multiplicador 6,38.

El contenido en fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD) y lignina ácido detergente (LAD) de las muestras de alimentos y heces se llevaba a cabo de acuerdo con el método de Van Soest y colaboradores (1991).

La grasa de las muestras de leche se determinaba por el método de Gerber (Pearson, 1976) y las de los distintos alimentos y heces por extracción con éter de petróleo (punto de ebullición 40-60°C), previa hidrólisis ácida con CIH 3N.

El contenido en cenizas de los alimentos, heces y leche se determinaba por ignición en horno eléctrico a 550°C.

La cantidad de lactosa de las muestras de leche se calculaba como la diferencia entre la cantidad de materia orgánica (MS-cenizas) y la suma de proteína y grasa.

El contenido en energía de las muestras de alimento, heces, orina y leche se llevaba a cabo en bomba calorimétrica adiabática.

3.4.2. DETERMINACIÓN DEL PERFIL EN ÁCIDOS GRASOS DE LA GRASA LÁCTEA.

Con el objeto de determinar el perfil en ácidos grasos de la grasa de las muestras de leche, los metil ésteres de los correspondientes ácidos grasos se separaban en un cromatógrafo de gases (Perkin-Elmer, Norfalk, CT), provisto de una columna capilar SP-2560 (100 m x 0,25 mm de diámetro interno x 0,2 μ m) (Supelco Bellofonte, PA), equipado con detector ionizador de llama (FID). La programación de temperatura era la siguiente: 100 a 185°C a 5°C/minuto, manteniéndose durante 30 minutos y, de 185 a 230°C, a 5°C/minuto, manteniéndose durante 26 minutos. El gas transportador era N₂. Las temperaturas de inyección y detección eran 300 y 325°C, respectivamente.

La identificación de los picos correspondientes a los distintos ácidos grasos se llevaba a cabo mediante comparación de la muestra problema con una mezcla de ésteres de ácidos grasos de perfil cromatográfico conocido (mezcla FAME de 37 ácidos grasos, Supelco Bellafonte, PA). Con el objeto de identificar los isómeros de ácido linoleico conjugado (CLA), se emplearon estandars de cis 9-trans11 CLA y trans 10-cis 12 CLA (Matreya Inc. PA). Con el fin de corregir las áreas de los picos individuales de los ácidos grasos de menos de 10 átomos de carbono, se empleó un estandar de aceite de mantequilla (CRM 164; Bureau Comisión of the European Community Bureau of References, Bruselas, Bélgica).

3.4.3. DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LA LECHE POR METODOLOGÍA NIRS

La metodología NIRS que se utilizó para obtener la composición de la leche correspondiente al día siguiente de finalización de los ensayos de balance, se basa en la emisión de un haz de luz sobre la muestra que vamos a analizar, la cual, en función de la naturaleza de los enlaces presentes en sus moléculas, fundamentalmente de aquellos de tipo -CH, -NH, -OH y -CO, interaccionará con ellos absorbiendo una determinada cantidad de radiación electromagnética en el rango del infrarrojo cercano ó NIR, de 780 a 2.500 nm (Burns y Ciurczak, 1992 y 2001). Para la obtención de espectros de las muestras de leche, se utilizó un espectrofotómetro monocromador de espectro continuo (Foss-NIRSystems 6500 SY I), equipado con módulo de giro, el cual realiza medidas entre 400 y 2500 nm. Los valores de absorbancias se tomaron a intervalos de 2 nm. Por tanto, cada espectro está constituido por 1.050 valores de absorbancia, de los cuales, 350 corresponden a la zona del visible (400-1.100 nm.) y 700 a la zona del Infrarrojo Cercano (1.100-2.500 nm.). Para la recogida de espectros, se utilizó el programa ISI NIRS3 versión 2.05 (Infrasoft International, Port Matilda, PA, USA). El programa empleado para el tratamiento quimiométrico de los datos espectroscópicos fue el Winisi II ver.1.04 FossNIRSystem/Tecator (Infrasft International LLC). La preparación de muestras para la lectura consistió en calentamiento previo de la leche a 40°C con posterior agitación, introduciéndose un filtro de fibra de vidrio (Millipore AP40) empapado en la muestra de leche. Los filtros, previamente desecados (24h en estufa a 40°C), se colocaban en el fondo de la cápsula, con la cara de lectura (la cara cuadrículada) de los mismos, enfrentada a la ventana de cuarzo.

3.4.4. ELABORACIÓN DE QUESOS.

Las elaboraciones de quesos individuales se llevaron a cabo en la Planta Piloto de Lácteos del CIFA de Hinojosa del Duque. (Córdoba), siguiendo el protocolo experimental adaptado por Ares (1995) según receta de queso madurado tradicional de Málaga (Ares y col., 1996). Consta de una etapa de calentamientos en cubeta inoxidable (SELECTA), coagulación a 32°C con cuajo anima (30 ml/l de leche), corte tamaño grano de arroz, desuerado por agitación y recalentamiento de la masa y modelado en recipientes de 500g, los cuales se presan dos veces (la primera desde 0,5kg a 1,5 kg, durante 30 minutos y, la segunda con 1,5 kg, durante 15 minutos). Tras esto se pesa la masa (P1), obteniéndose el rendimiento 1 (R1). A continuación se sala en cámara a 10°C, en salmuera al 14% (peso/volumen), dejándose madurar durante tres semanas en cámara a 9°C y ventilación forzada, periodo tras el cual se volvió a pesar la masa (P2) para obtener el rendimiento 2 (R2).

3.4.5. CINÉTICA DE COAGULACIÓN DE LAS MUESTRAS DE LECHE. OBTENCIÓN DE OPTIGRAMAS

Los ensayos de coagulometría se realizaron en el equipo Optigraph (patente nº 96120) que ha sido desarrollado en Francia por el INRA (LGMPA, Thiverval-Grignon) e Ysebaert Dairy Division (Frepillon). Consta de un sistema operativo de 32 bits (W9X, NT, 2000), con una resolución de 1024 x 768. Está constituido por una pieza de aluminio que tiene 10 microcubetas alineadas, de 1 cm de ancho, donde se colocan las muestras de leche. Cada una de ellas tiene lateralmente dos ventanas de zafiro enfrentadas, para permitir el paso de la luz infrarroja. Esta pieza se introduce en un receptáculo del propio equipo dotado de un elemento

calefactor para lograr una temperatura constante dentro del rango entre 25 y 45 °C, y donde se localizan los diodos emisores y receptores a cada lado de las microcubetas. El receptáculo se comunica con un módulo electrónico, que convierte las señales ópticas en eléctricas (RS 232-RS 422/485). El Optigraph está conectado, a su vez, al módulo informático del sistema, dotado del programa específico para las diversas funciones del equipo y para analizar los resultados obtenidos.

El equipo puede funcionar en diferentes condiciones de ensayo presentado una gran sensibilidad ante cualquier modificación de los factores que afectan a la coagulación de la leche (temperatura, pH, dosis de cuajo, tipo de enzima coagulante, etc.). Cada diodo emisor envía una radiación infrarroja de la intensidad elegida que pasa a través de cada una de las microcubetas que contienen las muestras de leche (10 ml). Un diodo receptor analiza la radiación transmitida hasta el otro lado de la microcubeta. Cuando la coagulación de la leche va avanzando, después de añadir el cuajo, la intensidad de la radiación recibida disminuye progresivamente. El registro, en tiempo real, de la señal recibida, da lugar a la curva óptica (optigrama), a partir de la que se obtienen los resultados de los parámetros medidos (Guyonnet, 1999). En las curvas clásicas se obtiene un optigrama por microcubeta, que representa la evolución de la atenuación de la señal (en voltios) frente al tiempo durante la coagulación de la leche. El equipo Optigraph fue validado por el Laboratoire de Génie et de Microbiologie des Procédés Alimentaires (LGMPA) del Institut National de la Recherche Agronomique (INRA).

Tras el encendido y arranque del programa informático, se fija el valor de la temperatura del ensayo a 32 °C, colocándose en el receptáculo las cubetas de diez pocillos con la leche (10 ml. en cada pocillo)

previamente atemperada a 32 °C en el baño termostático y agitadas durante 5 minutos. Se utilizaba 1 voltio como intensidad de radiación óptima de trabajo del equipo. Se preparaba la dilución de cuajo de 1:100 (peso/volumen) de extracto de cuajo en polvo CHR-Hansen, (fuerza 1300 IMc U/g, FIL-157), previamente atemperada en el baño termostático a 32°C, añadiéndose 3 µl de la solución de cuajo a cada uno de los pocillos del ensayo agitando suavemente durante 20 segundos.

3.5. PARÁMETROS OBTENDIDOS O ESTIMADOS.

Ensayo de balance.

Ingesta de materia seca: Cantidades expresada como g/animal y día y g/ por unidad de peso metabólico y día ($\text{g/kg}^{0.75}$ día).

Ingestas de los distintos nutrientes y de la energía: excreciones fecales de los distintos nutrientes y de la energía.

- Cantidades de materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína bruta, grasa, fracciones fibrosas (FND, FAD y LAD) y energía, expresadas como: g/animal y día y MJ/animal y día en MS.

Digestibilidades de los distintos nutrientes y de la energía.

- Cantidades iguales a las ingestas diarias correspondientes menos las excreciones fecales (absorción aparente) partida por las ingestas.

Contenido en proteína digestible (PD) y energía digestible (ED) de las dietas.

- Cantidades iguales a las aparentemente absorbidas (ingeridas menos excreción fecal) partidas por la ingesta diaria de MS, expresadas, finalmente, como g/kg de MS y MJ/kg de MS.

Balance de N.

- Valores de N ingerido (NI), N excretado en heces (NH), N excretado en orina (NO), N digestible (ND), balance de N (BN), N retenido (NR) y N derivado a leche (NL), cantidades expresadas como g/kg^{0,75} y día.
- Además se calcularon las relaciones entre: NH/NI; NO/NI; NO/ND; NB/NI; NL/NI; NL/ND; NR/NI; NR/NB; NL/NB y (NH+NO)/NL

Balance de la energía.

- Valores de energía bruta ingerida (EB), energía excretada en heces (EH), energía excretada en orina (EO), pérdida de energía por CH₄ (ECH₄), energía digestible (ED), energía metabolizable (EM) y energía derivada a leche (EL). Cantidades expresadas en KJ/kg^{0,75} y día.
- La ECH₄ se calculaba como un 9,09% de la ED (Aguilera y col., 1990). La ED como la EB-EH y, por último, la EM como ED-(EO+ECH₄).
- Además se calculaban las relaciones entre: EL/ED, EL/EM y EM/EB.

Cantidad de leche producida y composición de la misma.

- La cantidad de leche producida se expresaba como g/animal y día.

- Los contenidos en sus distintos componentes (materia seca, proteína, caseína, grasa, minerales totales, lactosa y energía) se expresaban como g/kg de leche o MJ/kg de leche.
- Los rendimientos de los distintos componentes se calculaban cómo g/animal y día y, MJ/animal y día.

Perfil en ácidos grasos de la grasa láctea

- Por cromatografía gaseosa, se determinaba el perfil de ácidos grasos (%) de la grasa de las distintas muestras de leche. Junto a los valores de ácidos grasos individuales, se calculaba el total de ácidos grasos de cadena media (MCT) (C₆-C₁₄), así como el total de ácidos grasos de cadena larga (con más de 18 átomos de carbono).

Composición de la leche obtenida para su valoración tecnológica.

Además, y en muestras de leche obtenidas el día siguiente al de terminación del ensayo de balance, se determinaba su composición por el método NIRS (espectroscopia en el infrarrojo cercano).

- Se calculaba su contenido (g/kg) en materia seca, proteína, caseína, α_{S1} -caseína, α_{S2} -caseína, grasa, lactosa
- Se determinaban, igualmente, los correspondientes rendimientos en g/animal y día.

Valoración de la calidad tecnológica de la leche producida.

- Rendimientos queseros 1 y 2: peso de la masa de queso tras el segundo prensado (P1) o peso tras los 21 días de maduración (P2), respectivamente, partido por el peso de la leche de partida, expresado en %
- Tiempo de coagulación (R) se mide en minutos

- Firmeza del coágulo cuando el tiempo es igual a R (AR) y cuando el tiempo es igual a 2R (A2R). Medidas expresadas en voltios.

3.6. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE RESULTADOS.

Los valores obtenidos para las distintas variables fueron analizados estadísticamente en un ordenador compatible tipo PC. Se utilizó el paquete estadístico Statgraphics® Plus para Windows® (Statgraphics, 1991).

Las distintas variables se analizaron a nivel univariante, por medio de un análisis de la varianza correspondiente al diseño factorial: 2 (tipo de dieta) x 2 (grupos genéticos) de acuerdo con el modelo general lineal. El modelo contemplaba el efecto causado tanto por el tipo de dieta como por el grupo genético animal, así como la posible interacción entre ambos efectos. Cuando el término correspondiente a la interacción resultaba no significativo ($P > 0,05$), la partición de la varianza se establecía omitiendo dicho término. Las posibles diferencias existentes entre las medias correspondientes a los distintos tratamientos, se establecían utilizando el test de rango múltiple de Duncan. Las tablas recogen los valores medios, la desviación estándar residual y el nivel de significación correspondiente.

Además de esto, algunos conjuntos de datos correspondientes a un mismo apartado de resultados y discusión, se analizaban a nivel multivariante por medio de un análisis factorial. En estos casos, los distintos factores se extraían según el método de componentes principales, siendo el método de rotación elegido, el varimax. El número de factores considerados según los casos, dependía tanto de la fracción de varianza

explicada por cada uno de ellos, como del posible significado de los mismos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 COMPOSICIÓN DE LAS DIETAS CONSUMIDAS

La especie caprina se caracteriza por presentar una alta capacidad de selección de los alimentos de los que dispone, de acuerdo con el sistema de producción bajo el que se mantiene (Morand-Fehr y col 1991a). Esta fue la causa por la que se consideró necesario analizar la composición de las dietas consumidas por cada uno de los grupos genéticos utilizados. Los resultados deducidos a partir de la composición del concentrado y forraje ofrecido así como de la de los restos correspondientes se presentan en la Tabla 2.

El primer punto que queremos destacar es que cuando se administraba tanto la D1 como la D2, la composición de la consumida por los dos grupos de animales resultaba prácticamente idéntica. Al mismo tiempo, el contenido en proteína bruta en ambas dietas se mostraba igual a los valores de antemano elegido, con el fin de deducir el efecto de la concentración proteica de la dieta sobre la producción y composición de la leche, según genotipo del animal. El contenido en energía bruta alcanzaba valores idénticos para todos los casos, resultando por tanto las dietas isoenergéticas. Junto al nivel en proteína, la única diferencia clara de composición detectada fue la del contenido en fracciones fibrosas, sobre todo las del contenido en fibra neutro detergente (FND), en concreto en la D2 obtenemos valores más altos para esta fracción debido a que entre sus componentes se encontraba tanto el gluten de maíz como la semilla de algodón, ingredientes que presentaban un alto contenido en FND, en concreto, 44.6 y 53.5 % respectivamente, en sustitución especialmente de grano de maíz, que mostraba un nivel de FND bastante más bajo (28.7%)

Tabla 2: Composición nutritiva (%MS) de las dietas consumidas según dieta administrada y genotipo del animal.

Genotipo ²	Dieta ¹			
	1		2	
	Baja	Alta	Baja	Alta
MS	90,36±0,17	90,42±0,23	90,60±0,09	90,39±0,42
MO	94,67±0,43	94,08±0,62	93,51±0,29	93,82±0,53
PB	14,28±0,11	14,23±0,21	18,35±0,16	18,56±0,26
Grasa	4,09±0,14	4,51±0,20	3,98±0,07	4,07±0,08
Minerales	5,23±0,39	5,45±0,69	5,91±0,29	5,55±0,55
FND	39,54±0,60	40,68±1,35	44,65±0,62	44,66±0,73
FAD	21,59±0,66	22,45±0,75	25,50±0,52	26,75±0,47
LAD	3,71±0,22	3,90±0,23	5,21±0,31	5,38±0,20
Energía (MJ/Kg ^{0.75} día)	18,96±0,06	19,04±0,08	19,04±0,09	19,00±0,16

¹ Dieta 1 y 2 con, aproximadamente, un 14 y 18% de proteína bruta, respectivamente. ² Genotipo de baja y alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína en leche. MS: Materia seca; MO: Materia orgánica; FND: Fibra neutro-detergente; FAD: Fibra ácido-detergente; LAD: Lignina ácido-detergente.

4.2 INGESTA DE MATERIA SECA Y ENERGÍA METABOLIZABLE

Junto a la composición de la dieta y resultando incluso mas importante que ella, la utilización nutritiva de la misma, así como su valor para la producción de leche depende, en primer lugar, del nivel de ingesta en cada caso alcanzado, valor determinante del estatus energético del animal (Giger y col., 1987; Morand-Fehr y col., 1991b; Sanz Sampelayo y col., 1998; Boza, 2005). Los valores obtenidos en este estudio tanto para las ingestas diarias de materia seca ($\text{g/kg}^{0.75}\text{día}$) como de energía metabolizable ($\text{KJ/kg}^{0.75}\text{día}$) se muestra en la Tabla 3.

Tanto la ingesta de materia seca como de energía metabolizable por unidad de peso metabólico (valores estimados del modo que se indica en el capítulo correspondiente), aparecían no afectados de manera significativa ($P>0,05$) por el tipo de dieta, ejerciendo, por el contrario, el factor genotipo animal un efecto significativo ($P<0,05$) tanto para el caso de ingesta de materia seca como de energía metabolizable, de manera que fueron mayores los valores correspondientes a los animales de alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína en leche frente a los de baja.

En relación a la ingesta voluntaria que alcanza la cabra en lactación, Boza (2005) comenta que los valores resultan en general muy variables, dependiendo además de los factores fisiológicos que controlan la ingesta, del tamaño del animal, raza, características, composición de la dieta, etc. Respecto de los factores de composición de la ración determinantes de la ingesta voluntaria, en relación con el nivel de proteína, Forbes (1995c) indica que, dentro del rango normal que dicho contenido presenta, la ingesta voluntaria no queda al respecto afectada, detectándose una caída en

Tabla 3: Ingesta de materia seca (IMS; g/Kg^{0.75}día) y energía metabolizable (IEM; KJ/kg^{0.75}día) según dieta y genotipo. Análisis de la varianza correspondiente al factorial: 2 (niveles de proteína en la dieta) x2 (genética animal)

Genotipo ²	Dieta ¹				DER	Nivel de significación		
	1		2			Efecto Dieta (D)	Efecto Genotipo (G)	DxG
	Baja	Alta	Baja	Alta				
IMS	75,4	87,8	81,1	86,5	11,77	NS	*	NS
IEM	893,3	1031,4	939,1	1006,2	140,95	NS	*	NS

¹ Dieta 1 y 2 con, aproximadamente, un 14 y 18% de proteína bruta, respectivamente. ² Genotipo de baja y alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína en leche
 DER: desviación estándar residual; NS: no significativo; *: P<0,05.

los casos en que dicho contenido puede calificarse de bajo o alto. A partir de diferentes ensayos llevados a cabo en cabras en lactación, con el fin esencial de incrementar las ingestas de la fracción forraje de la dieta, Badamana y colaboradores (1990) y Badamana y Sutton (1992) deducen que el empleo de concentrados con un nivel de proteína superior al 18%, no conseguía efecto alguno sobre los niveles de ingesta. Junto a esto y refiriéndose a la utilización que puede presentar la dieta, Forbes (1995b) indica que en el rumiante en general, la ingesta de alimento depende de la digestibilidad de la dieta, consumiéndose más de aquella cuya digestibilidad de la materia seca resulta mas alta, efecto que se verifica hasta un determinado valor de aquella, valor que, al parecer, depende de la capacidad productiva del animal. En relación con lo que sucede en la cabra, Sauvart y colaboradores (1991) informan de que, cuando se administra una dieta completa, la digestibilidad de la materia orgánica o la densidad energética de la ración pueden servir para predecir la ingesta voluntaria de materia seca.

Finalmente, en relación al efecto que el genotipo del animal puede tener sobre la ingesta voluntaria, hoy se admite que en general, las variaciones existentes dentro de grupos son, al menos parcialmente, de origen genético (Oldenbroek, 1998). En este sentido y en cabras, Schmidely y colaboradores (2002) analizan, en individuos de raza Alpina y Saanen, la ingesta según grupo genético asociado a una alta o baja capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína, deduciéndose que los animales de alta capacidad alcanzaban una mayor ingesta, lo que en opinión de los autores se debería a sus mayores requerimientos a causa de la mayor producción de leche que dichos animales son capaces de alcanzar. De acuerdo con lo comentado por Badamana y colaboradores (1990), y teniendo en cuenta los resultados obtenidos en este estudio según tipo de dieta, podemos indicar

que los niveles de proteína utilizados resultaban apropiados, no pudiéndose calificar ninguno de ellos como bajos y no obteniéndose en consecuencia ningún cambio en la ingesta al pasar de la D1 a la D2. Del mismo modo, al resultar la digestibilidad tanto de la materia seca como de la materia orgánica no diferentes (como se discutirá en el apartado correspondiente de esta Memoria), se deducía, de acuerdo con Forbes (1995b) y Sauvant y colaboradores (1991), una ingesta según tipo de dieta consumida, igualmente no diferentes.

Al mismo tiempo, en los animales de alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína, y con el fin de desarrollar de la mejor manera posible su más alto potencial productivo, se conseguía una ingesta tanto de materia seca como de energía metabolizable un 11% mayor que la alcanzada por los de baja capacidad, aspecto coincidente con lo indicado por Schmidely y colaboradores (2002), cuando expresan, al igual que nosotros, la ingesta de materia seca en relación con la tasa metabólica del animal.

4.3 INGESTA, FLUJO FECAL Y DIGESTIBILIDAD DE LOS DISTINTOS NUTRIENTES Y DE LA ENERGÍA. CONTENIDO EN PROTEÍNA DIGESTIBLE Y ENERGIA DIGESTIBLE DE LAS DIETAS CONSUMIDAS

El primer aspecto que consideramos sobre la utilización nutritiva de una dieta, es el que se refiere a su aprovechamiento a nivel digestivo, lo que in vivo normalmente se analiza por medio del establecimiento de la digestibilidad aparente de los distintos nutrientes y de la energía, valores que se definen como la cantidad absorbida aparentemente de cada uno de ellos (ingesta menos excreción fecal) en relación con la ingerida. Cuando en este sentido se analiza el comportamiento de distintas dietas, hoy suele considerarse el estudio y comparación tanto de las ingestas como de las excreciones fecales, así como la digestibilidad resultante (Fernández y col., 2004). Los valores deducidos según grupo genético y dieta administrada se presentan en la Tabla 4, recogándose en ella también los resultados del tratamiento estadístico realizado.

Los valores de ingestas diarias de materia seca, materia orgánica, minerales y energía bruta, no se vieron afectados de manera significativa ($P>0,05$) ni por la dieta ni por el genotipo, sucediendo lo mismo ($P>0,05$) en relación con los flujos fecales y digestibilidades. Las ingestas y flujos fecales de proteína bruta resultaban lógicamente diferentes ($P<0,05$) según dieta consumida, deduciéndose, al mismo tiempo, unas digestibilidades no distintas ($P>0,05$), tanto si comparamos el tipo de dieta como el genotipo. Junto a esto, y si bien las ingestas de grasa no se mostraban afectadas ni por el tipo de dieta ($P>0,05$) ni por el genotipo animal ($P>0,05$), los flujos fecales fueron menores ($P<0,05$) para el caso de consumo de la D1, resultando en consecuencia mayores ($P<0,05$) las digestibilidades

correspondientes a dicha dieta. Finalmente, y en razón de las diferencias de composición existentes entre las fracciones fibrosas de las dietas, las ingestas tanto de fibra neutro detergente como ácido detergente resultaban estadísticamente más altas ($P < 0,05$) bajo consumo de la D2, infiriéndose al mismo tiempo unas excreciones fecales no distintas ($P > 0,05$) tanto según tipo de dieta como genotipo, y, en consecuencia, estadísticamente superiores ($P < 0,05$) las digestibilidades alcanzadas con el consumo de la D2. Junto a todo lo indicado, y para todos los valores analizados, la interacción entre factores no resultaba en ningún caso significativa ($P > 0,05$).

En la Tabla 4 se presentan también los contenidos de proteína digestible (g/kg MS) y energía digestible (MJ/kg MS) deducidos según dieta administrada y genotipo animal. En este sentido, la única diferencia detectada significativamente fue la correspondiente al contenido en proteína digestible, valores que de manera lógica resultaban estadísticamente superiores ($P < 0,05$) para el caso de consumo de la D2.

El efecto que en el rumiante en general, y en la cabra en particular, puede tener la composición de la dieta sobre su aprovechamiento a nivel digestivo dependerá, en primer lugar, tanto de la naturaleza como del contenido que de hidratos de carbono y proteína presente dicha dieta, puesto que el balance que en cada caso se establece entre ambos grupos de constituyentes es capaz de determinar tanto el modelo de fermentación como el crecimiento microbiano a nivel del rumen (Lindberg y Gonda, 1996). Junto a esto, igualmente se conoce cómo el contenido en grasa de una dieta puede influir de manera sensible sobre la fermentación ruminal, en razón del efecto bactericida que niveles altos de la misma pueden llegar a tener sobre la población microbiana. Debido a todo lo comentado y con el fin de llegar a estimar la digestibilidad de la materia orgánica de una dieta

Tabla 4: Ingesta (g/día y MJ/día), excreción fecal (g/día y MJ/día) y digestibilidades de los distintos nutrientes y de la energía. Contenido en proteína digestible (g/kg MS) y energía digestible (MJ/kg MS) de las dietas consumidas. Efecto del tipo de dietas y genotipo animal.

Genotipo ²	Dieta				DER	Nivel de significación		
	1		2			Efecto dieta (D)	Efecto genotipo (G)	DxG
	Baja	Alta	Baja	Alta				
Ingesta MS	1355,67	1498,75	1493,19	1418,92	208,25	NS	NS	NS
Excreción fecal	402,00	447,71	452,44	448,38	95,05	NS	NS	NS
Digestibilidad	0,703	0,703	0,697	0,684	0,0357	NS	NS	NS
Ingesta MO	1284,77	1417,07	1410,94	1340,17	179,50	NS	NS	NS
Excreción fecal	343,10	375,52	386,60	391,35	79,29	NS	NS	NS
Digestibilidad	0,733	0,735	0,726	0,708	0,0336	NS	NS	NS
Ingesta proteína	193,59	213,27	274,00	263,35	40,74	***	NS	NS
Excreción fecal	54,21	59,24	74,24	72,64	13,66	**	NS	NS
Digestibilidad	0,716	0,723	0,729	0,726	0,0248	NS	NS	NS
Ingesta grasa	55,45	67,59	59,43	57,75	6,09	NS	NS	NS
Excreción fecal	10,36	13,12	13,60	13,37	1,79	***	NS	NS
Digestibilidad	0,813	0,806	0,772	0,769	0,0281	**	NS	NS

(continuación página siguiente)

(continuación Tabla 4)

Ingesta minerales	70,90	81,68	82,25	78,75	11,08	NS	NS	Ns
Excreción fecal	53,70	60,00	63,60	60,01	12,55	NS	NS	NS
Digestibilidad	0,242	0,265	0,227	0,238	0,0845	NS	NS	NS
Ingesta FND	536,03	609,70	666,71	633,69	93,37	*	NS	NS
Excreción fecal	226,70	273,80	264,00	265,60	55,56	NS	NS	NS
Digestibilidad	0,557	0,551	0,604	0,581	0,0435	NS	NS	NS
Ingesta FAD	292,96	336,46	380,76	379,56	52,34	***	NS	NS
Excreción fecal	145,50	163,60	158,70	181,90	36,73	NS	NS	NS
Digestibilidad	0,503	0,514	0,583	0,521	0,0655	*	NS	NS
Ingesta energía	25,70	28,67	28,43	26,96	7,98	NS	NS	NS
Excreción fecal	7,38	8,30	8,45	7,85	1,77	NS	NS	NS
Digestibilidad	0,713	0,709	0,703	0,708	0,0365	NS	NS	NS
Proteína digestible	102,24	102,88	133,77	134,75	13,25	***	NS	NS
Energía digestible	13,52	13,55	13,42	13,45	0,70	NS	NS	NS

¹ Dieta 1 y 2 con aproximadamente un 14 y 18% de proteína bruta, respectivamente. (2) Genotipo de baja y alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína en leche.

MS: materia seca; MO: materia orgánica; FND: fibra neutro-detergente; FAD: fibra ácido-detergente

DER: desviación estándar residual; NS: no significativo; *: $p < 0,05$.; **: $p < 0,01$.; ***: $p < 0,001$.

de la que depende su valor energético, se ha tratado de establecer, para la cabra en lactación, la relación existente entre dicha digestibilidad y la composición de la dieta en cuestión, en cuanto a su contenido en las distintas fracciones fibrosas, proteína y grasa (Giger-Reverdin y col., 1992, 1994), deduciéndose cómo la estimación más precisa se obtenía en función del contenido en FND, FAD, lignina ácido detergente (LAD) y grasa o extractivas al éter (Giger-Reverdin y col., 1994), interviniendo en la ecuación establecida la FND, LAD y extractiva al éter con un coeficiente negativo y la FAD con positivo.

Independientemente de cómo la digestibilidad de la materia orgánica y energía de una dieta para la cabra en lactación llega a depender de la composición de ésta, otros efectos de dicha composición sobre la digestibilidad de los distintos nutrientes está siendo objeto de estudio. En este sentido, de particular interés parece ser el contenido y naturaleza de la proteína dietética. En general, de la información disponible puede deducirse cómo al aumentar el contenido en proteína, sobre todo cuando se trata de dietas de baja calidad, la digestibilidad de este nutriente puede incrementarse, dependiendo, por tanto, dicho efecto de los niveles de proteína existentes (Badamana y col., 1990; Badamana y Sutton, 1993; Kadzere y Jingura, 1993; Swanson y col., 2000, Haddad y col., 2005). De algunos de estos estudios (Badamana y col., 1990; Badamana y Sutton, 1993) se deduce que al incrementar el nivel de proteína de la dieta, además de una más alta digestibilidad de la proteína, se obtenía una mayor digestibilidad de la FND y/o FAD, efecto que en opinión de Badamana y Sutton (1993) podría deberse al mayor crecimiento bacteriano que con un nivel más alto en proteína pudo alcanzarse, lo que daría lugar a una mayor degradabilidad de la fibra dietética. Junto a esto, la naturaleza de la proteína en cuanto a la fracción de la misma que resulta degradable o no

degradable en el rumen, ciertos resultados apuntan a que dicho aspecto no parece determinar la digestibilidad de la proteína (Brun-Bellut y col., 1990), deduciéndose en otros casos que al aumentar la fracción no degradable, se obtiene bien una digestibilidad de la proteína más alta (Swanson y col., 2000) o por el contrario, más baja (Al Jassim y col., 1991), discrepancia que podría deberse bien al nivel de proteína incluido en la dieta así como a otros aspectos relacionados con la composición o calidad de la fracción forraje. Finalmente y tal como se deduce de la información disponible al respecto (Sahlu y col., 1993, Schmidely y col., 2002), ni la raza ni el genotipo parece determinar la digestibilidad de la ración, o de manera más concreta, la digestibilidad de su proteína.

Teniendo en cuenta los factores implicados en este estudio así como los resultados obtenidos respecto del aprovechamiento digestivo de los distintos nutrientes y de la energía en la cabra, podemos observar cómo nuestros resultados se muestran, en líneas generales, de acuerdo con la información disponible al respecto. Lo primero que debemos resaltar es que, dado que las ingestas correspondientes, menos para el caso de la proteína, aparecían no distintas, la diferencias detectadas en cuanto a las digestibilidades pueden ser consideradas como independientes de dichas ingestas y, por lo tanto, indicativas de la utilización digestiva correspondiente.

La digestibilidad de la materia orgánica mostraba unos valores similares para los cuatro casos considerados, lo que de acuerdo con lo deducido por Giger-Reverdin y colaboradores (1994) se debía a que, aunque la D1 presentaba unos contenidos en FND y LAD superiores, también lo eran los valores correspondientes a la FAD, contenidos que en la ecuación establecida para estimar en función de los mismos, la

digestibilidad de la materia orgánica, intervienen con signos negativo y positivo, respectivamente.

La digestibilidad de la proteína fue similar, independientemente de la dieta y genotipo animal. Aunque dichos coeficientes no aparecían diferentes, debemos considerar que, bajo consumo de la D2, se lograba una igual digestibilidad a partir de una ingesta más alta, lo que debía determinar que la cantidad de proteína digestible ($\text{g/kg}^{0.75}\text{día}$) correspondiente al consumo de la D2, resultaba más alta. En relación al efecto que en la digestibilidad de la proteína podría haber tenido la degradabilidad de la misma, tenemos que indicar que, si bien la proteína del concentrado correspondiente a la D2, sin considerar su contenido en maíz, alcanzaba una degradabilidad menor, al tener en cuenta las dietas completas (fracción concentrado más forraje), la degradabilidad de la proteína no se mostraba diferente. A nuestro entender, la ausencia de incremento en la digestibilidad de la proteína al aumentar en la dieta el nivel de la misma, sería consecuencia de los valores de dichos niveles, los que pueden considerarse como medianos, el de la D1 y alto el de la D2. Sin duda, si dichos valores hubieran sido más bajos, el paso de uno a otro hubiera implicado un aumento en la digestibilidad correspondiente.

Respecto de la digestibilidad de la FND y FAD, tenemos que destacar cómo al pasar de la D1 a la D2, además de detectarse unas ingestas más altas, se deducían flujos fecales no diferentes y, en consecuencia, digestibilidades mayores. Recordando lo indicado por Badamana y Sutton (1993), sin duda, el distinto crecimiento microbiano que en el rumen tuvo que determinar el diferente contenido proteico de las dietas, sería el causante de estos resultados. Al mismo tiempo y considerando la composición en ingredientes del concentrado correspondiente a la D2, se

observa cómo en él intervienen ingredientes menos degradables (gluten de maíz y semilla de algodón). Este hecho daría lugar a una reducción de la energía rápidamente degradable, con lo que se dispondría de más tiempo para la celulolisis, pudiéndose originar, en consecuencia, unas digestibilidades más altas de las fracciones fibrosas (Fallon y col., 1986; Fernández y col., 2004). Los valores de energía digestible aparecían, como en el caso de las digestibilidad de la materia orgánica, no diferentes, demostrando ser esta digestibilidad el valor por el que mejor se estima el contenido energético de una dieta.

Un aspecto que resulta ajeno a la información bibliográfica aquí considerada para discutir los valores obtenidos respecto de la digestibilidad de los distintos nutrientes, es el que se refiere a la digestibilidad de la grasa. Partiendo de ingestas no diferentes, se deducía para el caso de consumo de la D1 unas excreciones fecales menores, hecho que determinaba unas digestibilidades más altas. Considerando los ingredientes que formaban parte del concentrado de dicha D1, debemos resaltar cómo, aunque en pequeña cantidad, intervenía una grasa protegida. En opinión de Grummer y colaboradores (1988) y Schneider y colaboradores (1988), esta grasa presenta, en relación con la contenida en las membranas celulares o en otros componentes de la dieta, una más alta disponibilidad, pudiendo alcanzar, en consecuencia, una mayor digestibilidad.

4.4 UTILIZACIÓN DEL NITRÓGENO.

Si como se ha indicado en la Introducción de este estudio, uno de los objetivos perseguidos por medio de su realización, era el de llegar a identificar las causas que a nivel de utilización nutritiva determinan las distinta capacidad productiva de la cabra lechera, según su pertenencia a un genotipo bien de alta o baja capacidad de síntesis de α_{S1} - caseína, uno de los aspectos de mayor interés será el del análisis de la utilización del nitrógeno ingerido.

Los valores obtenidos según dieta consumida y genotipo animal se presentan en la Tabla 5, recogiendo en ella los resultados del tratamiento estadístico practicado. La ingesta, excreción fecal, perdida por orina, nitrógeno digestible (ingerido menos excretado en heces), balance de nitrógeno (digerido menos pérdida por orina), nitrógeno derivado a leche y nitrógeno retenido a nivel corporal (balance de nitrógeno menos el derivado a leche), valores todos ellos expresados como $g/kg^{0.75}$ día, se mostraban afectados de manera significativa ($P < 0,05$) por el tipo de dieta consumida, resultando los valores medios correspondientes a los animales de alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína, mayores que los correspondientes a los de baja capacidad. Junto a esto, la interacción entre factores para el caso del balance de nitrógeno y nitrógeno derivado a leche, resultaba significativo a $P=0,12$ y $P=0,07$, respectivamente, lo que indicaba que el efecto del factor genotipo animal se debía esencialmente a lo que sucedía bajo consumo de la D1, aspectos que se representan en las Gráficas 1 y 2.

Tabla 5: Valores de ingesta y balance de nitrógeno (g/kg^{0.75}día). Relaciones indicativas de su utilización. Efecto del tipo de dieta y genotipo animal.

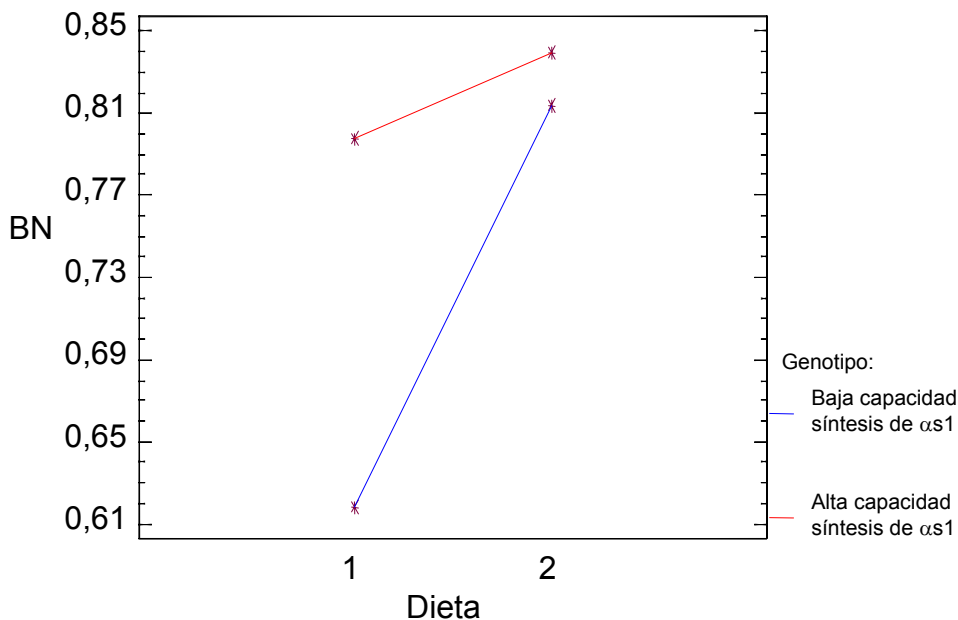
Genotipo ²	Dieta ¹				DER	Nivel de significación		
	1		2			Efecto Dieta (D)	Efecto Genotipo (G)	DxG
	Baja	Alta	Baja	Alta				
NI	1,717	1,999	2,397	2,568	0,337	***	*	NS
NH	0,490	0,554	0,594	0,712	0,116	***	**	NS
NO	0,610	0,648	0,982	1,017	0,158	***	NS	NS
ND	1,227	1,445	1,803	1,860	0,324	***	*	NS
NB	0,618	0,797	0,813	0,839	0,155	*	*	NS
NL	0,312	0,395	0,387	0,400	0,060	*	**	NS
NR	0,306	0,403	0,427	0,445	0,140	*	NS	NS
NH/NI	0,285	0,277	0,249	0,273	0,026	*	NS	NS
NO/NI	0,356	0,324	0,410	0,396	0,044	***	NS	NS
NO/ND	0,498	0,457	0,552	0,597	0,067	**	NS	NS
NB/NI	0,360	0,398	0,339	0,331	0,056	*	NS	NS
NL/NI	0,182	0,198	0,164	0,163	0,044	*	NS	NS
NL/ND	0,259	0,273	0,216	0,219	0,060	*	NS	NS
NR/NI	0,178	0,199	0,178	0,174	0,054	NS	NS	NS
NL/NB	0,504	0,496	0,476	0,477	0,120	NS	NS	NS
NR/NB	0,495	0,506	0,525	0,530	0,112	NS	NS	NS
(NH+NO)/NL	3,526	3,043	4,072	4,323	0,98	**	NS	NS

¹ Dieta 1 y 2 con aproximadamente un 14 y 18% de proteína bruta, respectivamente. ² Genotipo de baja y alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína en leche.

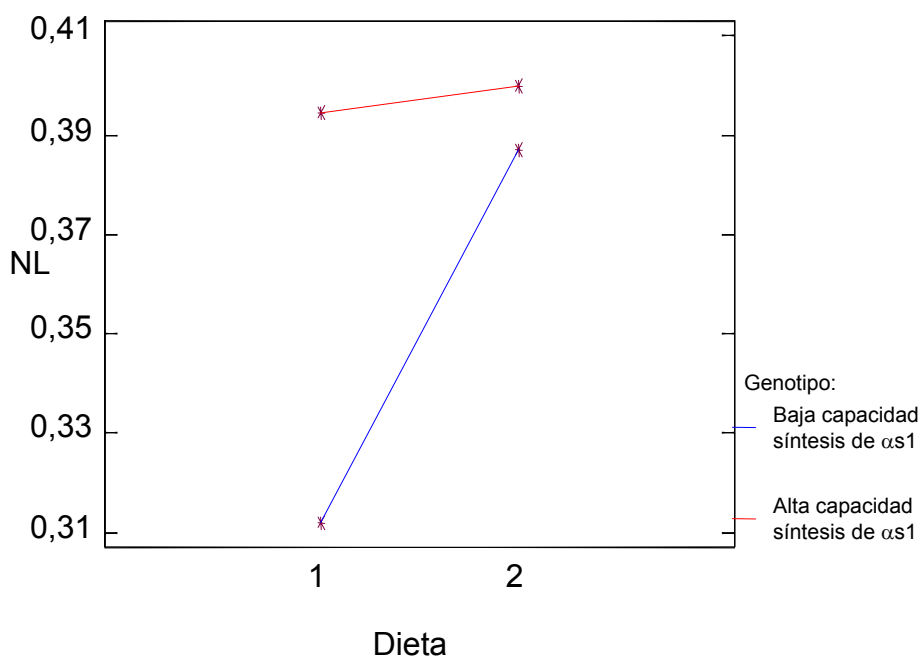
DER: desviación estándar residual; NS no significativo; *: P<0.05; **: P<0.01; *** :P<0.001.

NI: nitrógeno ingerido; NH: nitrógeno de heces; NO: nitrógeno de orina; ND: nitrógeno digestible; BN: balance de nitrógeno; NL: nitrógeno de leche; NR: nitrógeno retenido a nivel corporal

Grafica 1: Representación gráfica de la interacción detectada entre factores (dieta y genotipo) para el balance de nitrógeno (NB). Cantidades expresadas en $\text{g/kg}^{0.75}$ día.

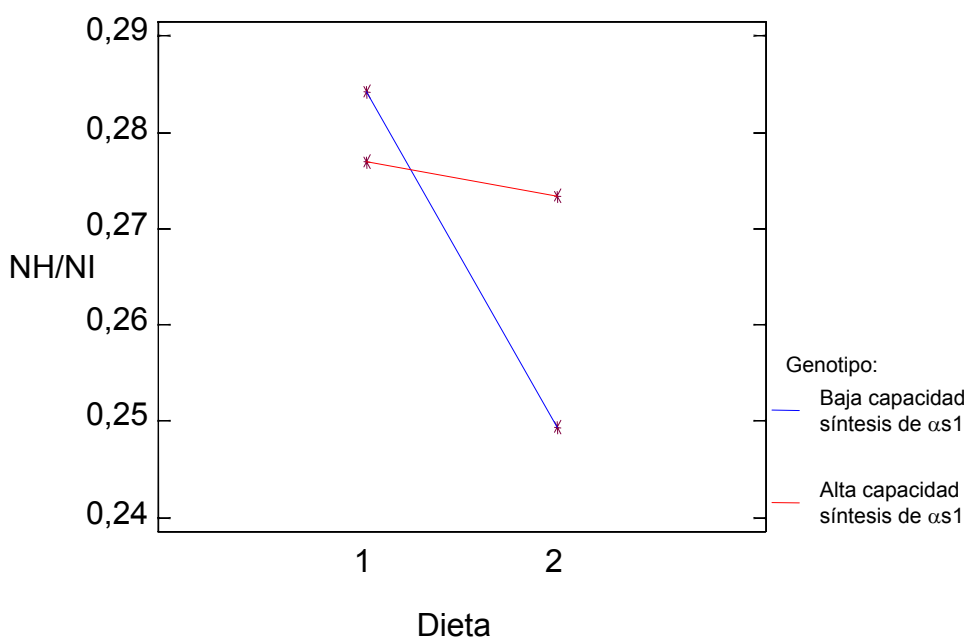


Grafica 2: Representación gráfica de la interacción detectada entre factores (dieta y genotipo) para el nitrógeno derivado a leche (NL). Cantidades expresadas en $\text{g/kg}^{0.75}$ día.



La relación existente entre nitrógeno heces /nitrógeno ingerido aparecía diferente ($P < 0,05$) según dieta, resultando mayor el valor medio correspondiente al consumido por la D1, lo que, de acuerdo con la interacción detectada entre factor a $P = 0,06$, se debía principalmente a lo que sucedía en los animales pertenecientes al genotipo de baja capacidad de síntesis de α_{S1} - caseína, aspecto representado en la Gráfica 3.

Grafica 3: Representación gráfica de la interacción detectada entre factores (dieta y genotipo) para el nitrógeno de las heces/nitrógeno ingerido (NH/NI). Cantidades expresadas en $\text{g/kg}^{0.75}$ día.

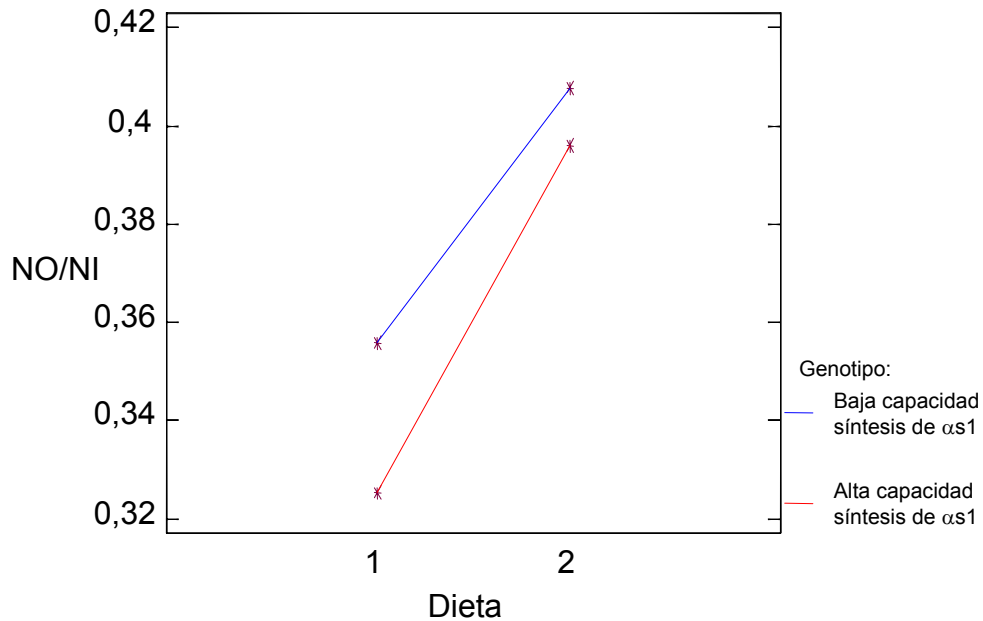


La relación existente entre el nitrógeno de la orina/nitrógeno ingerido, nitrógeno de la orina/nitrógeno digerido, balance de nitrógeno/nitrógeno ingerido, nitrógeno leche/nitrógeno ingerido y nitrógeno derivado a leche/nitrógeno digerido aparecían afectada por el tipo de dieta ($P < 0,05$), resultando para los dos primeros casos mayor el valor medio correspondiente a la D2, sucediendo lo contrario para las otras

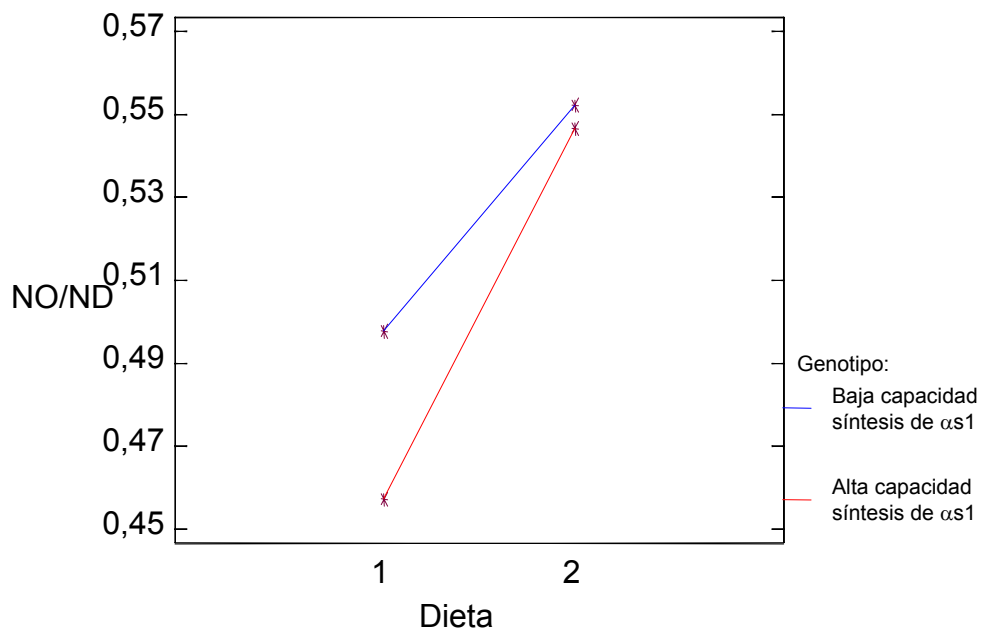
relaciones indicadas. Además, para el caso de las relaciones existentes entre nitrógeno de la orina/nitrógeno ingerido, nitrógeno de la orina/nitrógeno digerido y nitrógeno derivado a leche/nitrógeno digerido, se detectaba una interacción entre factores a $P=0,18$, $0,12$ y $0,08$, respectivamente, lo que en los tres casos indicaba que bajo consumo de la D2, los valores correspondientes a los dos grupos genéticos resultaban prácticamente iguales, lo que no sucedía bajo consumo de la D1, aspecto que se muestra en las Gráfica 4, 5 y 6. Igualmente, para el caso de la relación existente entre el balance de nitrógeno/nitrógeno ingerido, se infería una interacción ente factores a un nivel de $P=0,18$, que indicaba que bajo consumo de la D2, los valores correspondientes a los dos grupos de animales resultaban prácticamente iguales, lo que no ocurría bajo consumo de la D1, resultando entonces más alto el valor correspondiente a los animales de alta capacidad de síntesis de α_{S1} - caseína, aspecto que se muestra en la Gráfica 7.

Las relaciones existentes entre nitrógeno retenido/nitrógeno ingerido, nitrógeno derivado a leche/balance de nitrógeno y nitrógeno retenido/balance de nitrógeno, resultaban, no afectadas de manera significativa ($P>0,05$), por ninguno de los factores implicados. Finalmente, la excreción total de nitrógeno (suma de la excreción por heces y orina) partida por la cantidad de nitrógeno derivado a leche aparecía afectada de manera significativa ($P<0,05$) por la dieta consumida, de manera que resultaba mayor el valor medio correspondiente a la D2. Además, para esto último caso, se detectaba una interacción entre factores a $P=0,14$, según la cual, bajo consumo de la D1 el valor correspondiente al genotipo de alta capacidad de síntesis resultaba más bajo, no encontrándose diferencias bajo consumo de la D2, aspecto que se muestra en la Grafica 8.

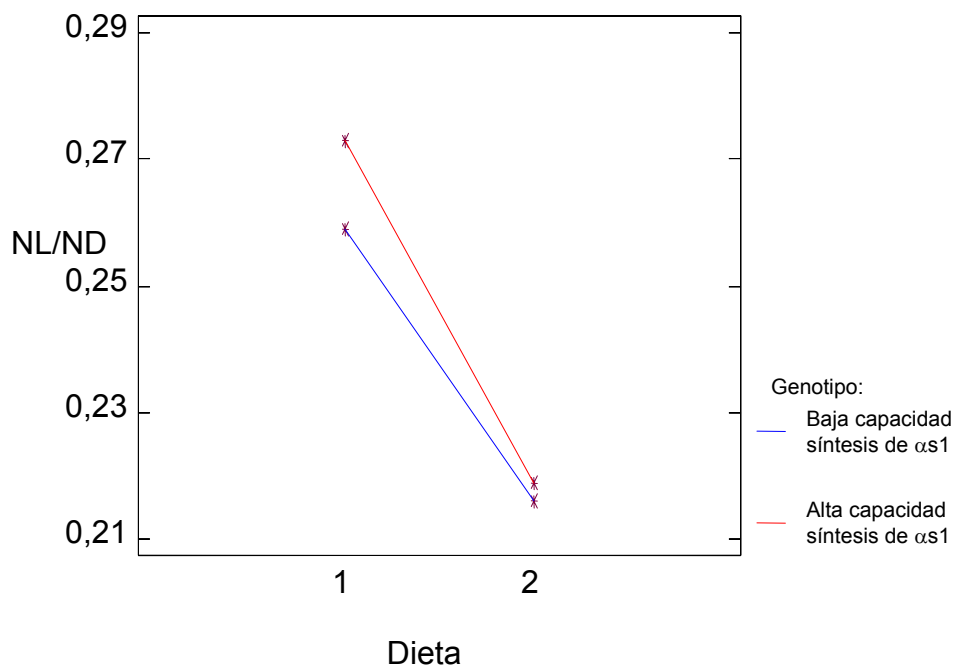
Grafica 4: Representación gráfica de la interacción detectada entre factores (dieta y genotipo) para la pérdida de nitrógeno por orina/nitrógeno ingerido (NO/NI). Cantidades expresadas en $\text{g/kg}^{0.75}\text{día}$.



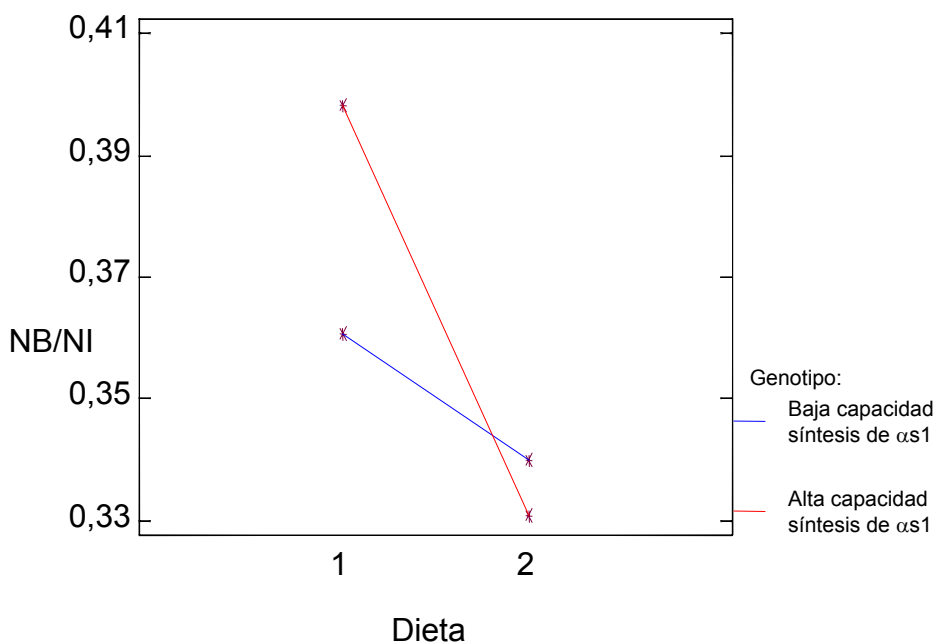
Grafica 5: Representación gráfica de la interacción detectada entre factores (dieta y genotipo) para la pérdida de nitrógeno por orina/nitrógeno digerido (NO/ND). Cantidades expresadas en $\text{g/kg}^{0.75}\text{día}$.



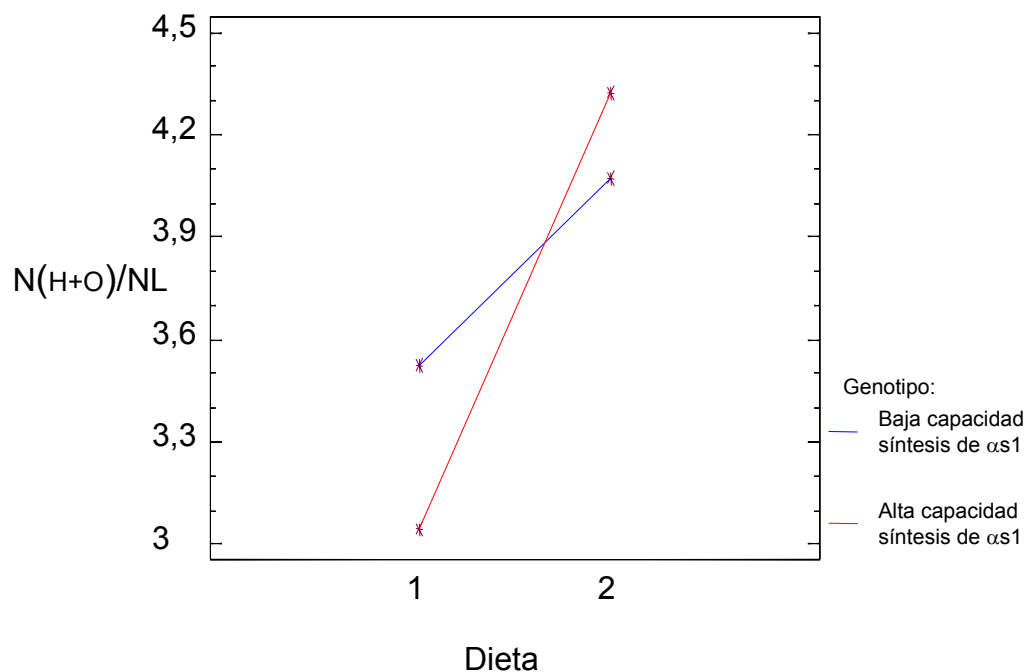
Grafica 6: Representación gráfica de la interacción detectada entre factores (dieta y genotipo) para el nitrógeno derivado a leche/nitrógeno digerido (NL/ND). Cantidades expresado en $\text{g/kg}^{0.75}\text{día}$.



Grafica 7: Representación gráfica de la interacción detectada entre factores (dieta y genotipo) para el balance de nitrógeno/nitrógeno digerido (NB/ND). Cantidades expresadas en $\text{g/kg}^{0.75}\text{día}$.



Grafica 8: Representación gráfica de la interacción detectada entre factores (dieta y genotipo) para la excreción de nitrógeno por heces y orina/nitrógeno derivado a leche ($N_{(H+O)}/NL$). Cantidades expresadas en $g/kg^{0.75}$ día.



Lindberg y Gonda (1996) informan cómo, en la cabra lechera, la mayor pérdida de nitrógeno ingerido tiene lugar por medio de la excreción por orina, siguiéndole la pérdida por heces y el que se deriva a leche, cantidades que se sitúan sobre el 43, 29 y 24%, respectivamente, de la pérdida total. De acuerdo con esta información y teniendo en cuenta los resultados obtenidos en nuestro estudio, podemos decir que las cantidades obtenidas resultan respecto de las indicadas por Lindberg y Gonda (1996) bastante parecidas, deduciéndose para el caso de consumo de la D1, 43, 35 y 22% para animales de baja capacidad de síntesis de α_{s1} -caseína y 41, 35 y 25%, respectivamente, para los de alta capacidad. Bajo consumo de la D2 y para los dos mismos grupos de animales, los porcentajes obtenidas fueron de 50, 30 y 20% y, 48, 33 y 19%, respectivamente.

En relación al efecto que el nivel de proteína de la dieta determina sobre la utilización del nitrógeno en la especie caprina, distintos ensayos apuntan a que, al aumentar la ingesta del mismo, aumenta su excreción tanto por heces como por orina y leche así como la cantidad absorbida y digerida (Kadzere y Jingura, 1994; Badamana y col., 1990; Badamana y Sutton, 1993). Schmidely y colaboradores (2002) emplean en cabras de raza Alpina y Saanen tres dietas con niveles crecientes de proteína, obteniéndose unas excreciones fecales no distintas, lográndose por el contrario, al cambiar del nivel más bajo de proteína (13,6%) al intermedio (16,8%), un incremento en la excreción por orina y el paso a leche. Entre el intermedio de los niveles indicados y el más elevado de los utilizados (19,8%), los autores citados no detectan diferencias entre los valores de excreción comentados. Junto a esto, las relaciones existentes entre el nitrógeno de la orina/nitrógeno digerido, así como entre la suma de nitrógeno excretado por heces frente a nitrógeno derivado a leche aumentaban con el nivel proteico de la dieta, resultando por el contrario menor la relación que se establecía entre el nitrógeno de la leche y el digerido.

Los resultados obtenidos en nuestro estudio en cuanto al efecto del tipo de dieta sobre la excreción de nitrógeno tanto por heces como por orina y leche, así como sobre los valores de nitrógeno digerido, coinciden con los comentados anteriormente, deducidos por distintos autores (Badamana y col., 1990; Badamana y Sutton, 1993; Kadzere y Jingura, 1994). A diferencia de lo indicado por Badamana y Sutton (1993) y coincidiendo con Schmidely y colaboradores (2002), los cambios de nitrógeno retenido a nivel corporal, en vez de no seguir pauta alguna, resultaban crecientes con el nivel proteico de la dieta. En relación a lo

deducido por Schmidely y colaboradores (2002) de resultar no diferentes los valores de excreción de nitrógeno por heces al aumentar el nivel proteico de la dieta, lo primero que indicamos es que, respecto a lo generalmente obtenido, lo deducido por estos autores, puede considerarse un resultado extraño, aunque al observar los valores concretos consignados en el trabajo, puede verse cómo resultan crecientes con el nivel de proteína, si bien sus diferencias no alcanzaron significación estadística.

Respecto de las relaciones establecidas con el fin de analizar la utilización del nitrógeno en cada caso llevadas a cabo, deducimos cómo la relación existente entre el nitrógeno de la orina/nitrógeno ingerido o nitrógeno de la orina/nitrógeno digerido aumentaba con el nivel proteico de la dieta, lo que indicaba una caída en la disponibilidad metabólica del mismo, resultados coincidente con lo encontrado por Schmidely y colaboradores (2002). La relación que se establecía entre el nitrógeno derivado a leche/ingesta de nitrógeno o nitrógeno derivado a leche/nitrógeno digerible, disminuía al aumentar el nivel de proteína en la dieta, resultado indicativo de la caída que las eficiencias de utilización del nitrógeno, tanto ingerido como digerido, experimentan con el nivel de proteína, para la producción de leche, resultados que nuevamente coinciden con los deducidos por Schmidely y colaboradores (2002). Finalmente y, como ya hemos mencionado, estos autores calculan la relación existente entre la excreción total de nitrógeno, tanto por heces como por orina, frente al nitrógeno derivado a leche, obteniendo, como nosotros, valores crecientes con el nivel de proteína, aspecto a tener en cuenta desde un punto de vista ecológico.

De los efectos detectados en este estudio, según genotipo animal, lo primero que debemos destacar es cómo la información inferida se muestra

hasta cierto punto dependiente de la dieta consumida. Considerando lo que sucede bajo ingesta de la D1, se observa que los animales de alta capacidad alcanzaban, frente a los de baja, una mayor ingesta y en consecuencia una mayor disponibilidad de nitrógeno digestible (17,8%). Esto unido a que, en relación con el nitrógeno digestible, la pérdida por orina era más baja, (8,2%), hacía que tanto el balance de nitrógeno como el derivado a leche resultaran más altos en estos mismos animales. Por lo tanto, podemos decir que la mayor ingesta y mejor utilización del nitrógeno a nivel metabólico, junto con la cantidad que del disponible, a ese nivel se deriva para la producción de leche, son las causas que desde un punto de vista de utilización nutritiva, determinan la distinta capacidad productiva de los dos grupos de animales. Este comportamiento resulta distinto del que se indica para vacas de diferentes méritos genéticos. Según McGilloway y Maine (2002) los animales de alto mérito genético llegan a producir más leche y más cantidad de proteína láctea por medio de una distinta partición de los nutrientes absorbidos, los cuales dirigen, especialmente, hacia la producción de leche. Refiriéndonos nuevamente al estudio de Schmidely y colaboradores (2002), estos autores indican cómo la mayor producción de nitrógeno lácteo en los animales de alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína, se debía a la menor excreción que de nitrógeno por orina en relación con el digestible, tenía lugar. Sin embargo, junto a esto, en dicho estudio se observa para los mismo animales de alta, una menor retención de nitrógeno a nivel corporal, lo que determinaba que una fracción mayor del balance de nitrógeno se derivara a leche, contribuyendo por tanto este aspecto al resultado obtenido. En nuestro estudio el balance de nitrógeno se distribuía en todo los casos prácticamente al 50% entre la producción de nitrógeno lácteo y retención corporal, no detectándose al respecto variación alguna digna de comentar.

Si consideramos ahora lo sucedido bajo consumo de la D2, se observa cómo los animales de alta capacidad frente a los de baja, siguen alcanzando una mayor ingesta, pero a un nivel mucho más bajo, lo que determina que la disponibilidad de nitrógeno digestible resulte sólo un 3,2% mayor. La pérdida de nitrógeno por orina, aunque se mostraba, como en el caso del consumo de la D1, no diferente entre grupos, resultaba, en relación con el nitrógeno digestible, ya prácticamente no diferentes, lo que indica una igual utilización a nivel metabólico del nitrógeno absorbido. En consecuencia, se obtienen unos balances de nitrógeno junto a cantidades derivadas a leche, prácticamente iguales. Por lo tanto, parece deducirse que, tanto la mayor capacidad de ingesta como mejor utilización que del nitrógeno a nivel metabólico los animales de alta presentaban, depende del nivel de proteína de la dieta, mostrándose el más alto utilizado en nuestros ensayos, prácticamente situado en el límite al respecto. En la Tabla 6 se presentan las diferencias que dentro de cada dieta se establecían entre los grupos para los valores de la relación entre nitrógeno de la orina/nitrógeno digestible, balance de nitrógeno/nitrógeno derivado a leche, observándose claramente lo que sucede entre grupos al cambiar de dieta. Igualmente, en la Tabla 7 se presentan las diferencias que dentro de cada grupo genético se establecían entre dietas, para los mismos valores, observándose lo que en cada caso acontece.

En relación a con lo indicado, puede recordarse cómo uno de los mecanismos de regulación de la ingesta que se señalan, sobre todo para la etapa de crecimiento, es aquel por el cual el animal consume un alimento de una determinada composición, con objeto de lograr un máximo crecimiento, es decir, una máxima retención proteica (Radcliffe y Webster, 1978). Esto es lo que, al parecer, determina que por medio de una

Tabla 6: Diferencias existentes dentro de cada dieta, entre los valores de nitrógeno de la orina/nitrógeno digestible, balance de nitrógeno y nitrógeno de leche, según genotipo animal¹.

Dieta	Diferencias entre grupos	
	D1	D2
NO/ND	-8,23	-0,91
NB	+28,96	+3,20
NL	+26,60	+3,36

¹ Los valores incluidos son: $[(\bar{X}_{GA} - \bar{X}_{GB}) / \bar{X}_{GB}] \times 100$:

GB: Grupo de animales de baja; GA: Grupo de animales de alta

NO: nitrógeno excretado por orina; ND: nitrógeno digestible; NB: balance de nitrógeno; NL: nitrógeno derivado a leche.

Tabla 7: Diferencias existentes dentro de cada grupo genético, entre los valores de nitrógeno de la orina/nitrógeno digestible, balance de nitrógeno y nitrógeno de leche, según grupo genético¹.

Genotipo	Diferencias entre dietas	
	GB	GA
NO/ND	-10,84	+19,691
NB	+31,55	+5,27
NL	+24,04	+1,27

¹ Los valores incluidos son $[(\bar{X}_{D2} - \bar{X}_{D1}) / \bar{X}_{D1}] \times 100$

GB: Grupo de animales de baja; GA: Grupo de animales de alta

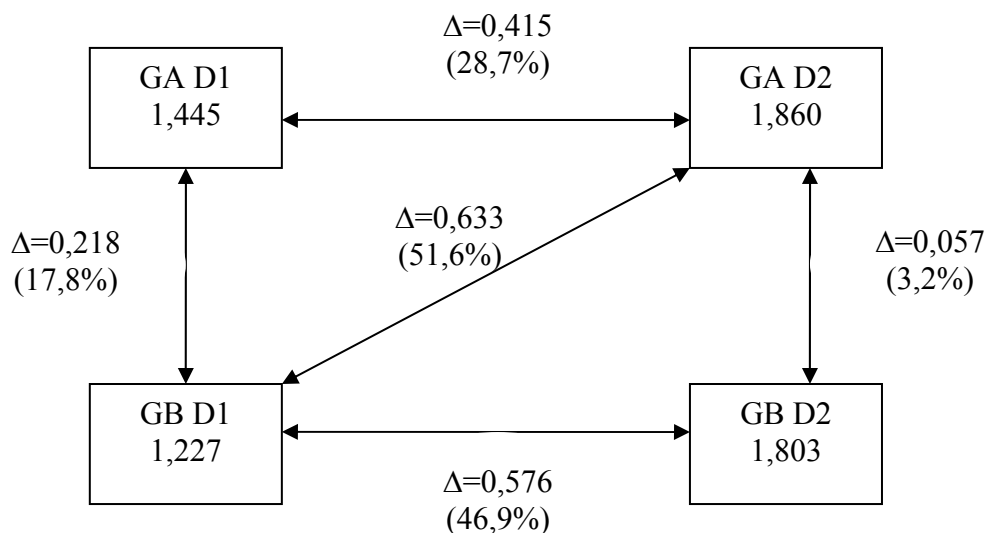
NO: nitrógeno excretado por orina; ND: nitrógeno digestible; NB: balance de nitrógeno; NL: nitrógeno derivado a leche.

alimentación forzada, no se consiga una retención proteica más alta que la que se produciría bajo condiciones de *ad libitum* (McCracken y col., 1994). Quizás, y de modo semejante, pudiera decirse que los animales de alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína poseen, frente a los de baja, una mayor capacidad de utilización metabólica del nitrógeno ingerido o digerido, para la producción de leche, regulando su ingesta voluntaria de acuerdo, al menos en parte, con dicha capacidad. Este aspecto del distinto comportamiento de los dos grupos genéticos según dieta consumida, no han podido ser comparados con los resultados de Schmidely y colaboradores (2002) pues, si bien estos autores emplearon tres niveles crecientes de proteína, los valores consignados en el trabajo y comentados, son sólo las medias correspondientes a cada genotipo, independientemente del tipo de dieta, o las medias correspondientes a cada nivel proteico, independientemente del genotipo.

Además de pretender identificar las causas que determinan a nivel de utilización nutritiva la distinta capacidad productiva de los animales en función del grupo genético al que pertenecen, otro de los objetivos planteados en este estudio fue identificar la posible interacción que entre genotipo-nutrición pudiera establecerse. En este sentido y a pesar de lo comentado anteriormente, en ningún caso desde un punto de vista estadístico se detectaron interacción entre factores significativas, lo que permite en principio decir que los dos efectos analizados resultaron independientes y, por lo tanto, que dicha interacción nutrición-genética existía. Con el fin de analizar la magnitud de esta suma de efectos, podemos considerar, según se presenta en los esquemas siguientes qué sucede al cambiar de dieta y/o grupo genético en relación con los valores aquí más interesantes: nitrógeno digestible, balance de nitrógeno y la

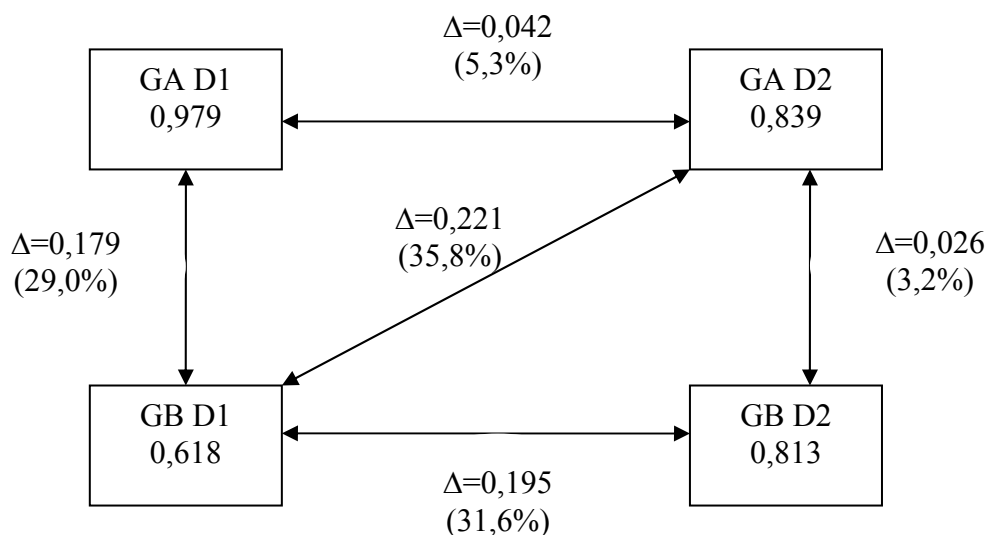
partición de este en nitrógeno derivada a leche y nitrógeno retenido a nivel corporal.

Nitrógeno digestible ($\text{g/Kg}^{0.75}\text{día}$) según cambio de dieta y/o grupo genético



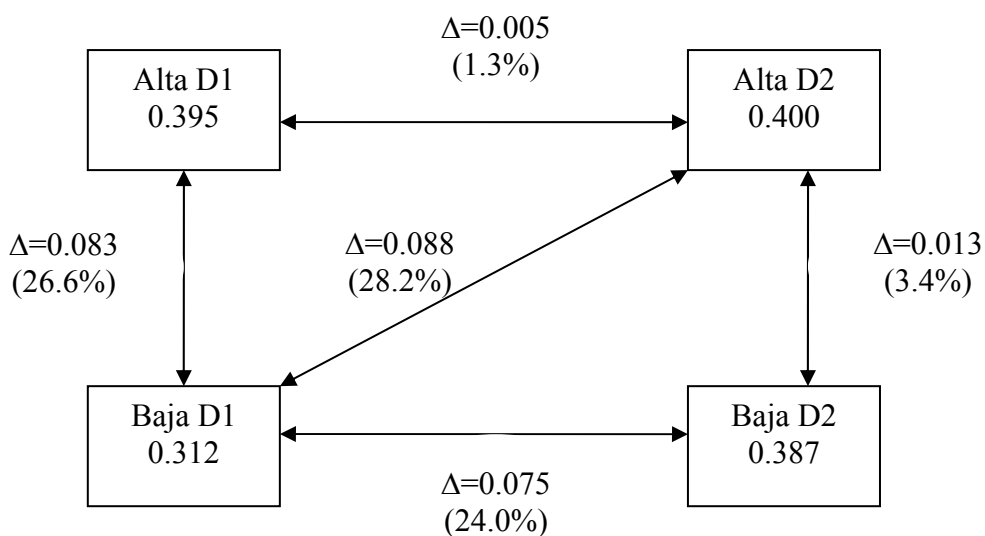
GA: Grupo de animales de alta capacidad de síntesis de αs1 -caseína
 GB: Grupo de animales de baja capacidad de síntesis de αs1 -caseína

Balance de nitrógeno ($\text{g/Kg}^{0.75}\text{día}$) según cambio de dieta y/o grupo genético



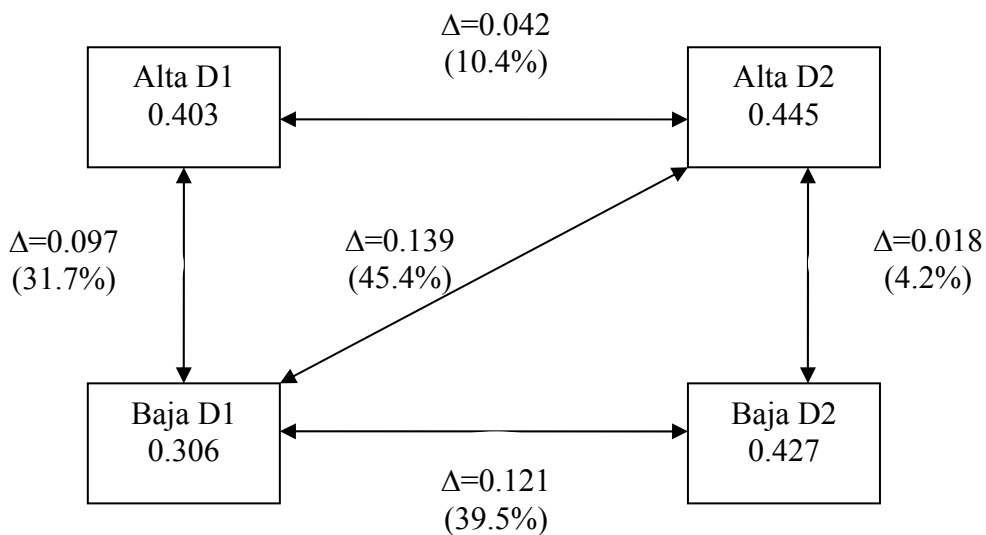
GA: Grupo de animales de alta capacidad de síntesis de αs1 -caseína
 GB: Grupo de animales de baja capacidad de síntesis de αs1 -caseína

Nitrógeno derivado a leche ($\text{g/Kg}^{0.75}$ día) según cambio de dieta y/o grupo genético



GA: Grupo de animales de alta capacidad de síntesis de α s1-caseína
 GB: Grupo de animales de baja capacidad de síntesis de α s1-caseína

Nitrógeno retenido ($\text{g/Kg}^{0.75}$ día) según cambio de dieta y/o grupo genético



GA: Grupo de animales de alta capacidad de síntesis de α s1-caseína
 GB: Grupo de animales de baja capacidad de síntesis de α s1-caseína

En todos los casos, lo que se conseguía al cambiar de grupo animal de baja capacidad consumiendo la D1 al de alta consumiendo la D2, resulta ser el incremento más alto, prácticamente la suma del que se obtendría cambiando primero de dieta o grupo genético y después de grupo genético o dieta. Sin embargo, dicho incremento resulta igualmente en todos los casos, más o menos semejante al que se obtendría mediante el cambio de dieta en los animales de baja, o de grupo genético, bajo consumo de la D1.

Como resumen, y tratando de considerar lo que, desde un punto de vista práctico, los posibles cambios producirían, podemos decir:

- 1) Animales de baja capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína. Cambio de D1 a D2. Habría un mayor consumo de nitrógeno (39,6%), mayor excreción por heces (21,2%) y orina (61,0%). A pesar de esto, tanto el nitrógeno digestible como el balance de nitrógeno resultarían mayores (46,9 y 31,6%, respectivamente), lográndose igualmente una cantidad más alta de nitrógeno lácteo (24,0%) y nitrógeno retenido a nivel corporal (39,5%). Al mismo tiempo, la excreción total (suma de nitrógeno de heces y de orina) aumentaría (43,3%). El beneficio del cambio vendría dado según la repercusión económica que, por una parte, tendría el empleo de una dieta de mayor contenido proteico, y por otra, la mayor producción de proteína láctea, sin olvidar tampoco el aspecto ligado a la mayor excreción total de nitrógeno.
- 2) Animales de alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína. Cambio de D1 a D2. Se consigue una mayor ingesta de

nitrógeno (28.5%), excretándose más por heces (28,5%) y por orina (56,9%). El nitrógeno digestible resulta igualmente mayor (28,7%), no cambiando sensiblemente el balance total (5,3%). Como consecuencia de lo anterior, el nitrógeno derivado a leche no se incrementa (1,3%) y el retenido a nivel corporal lo hace de manera no muy sensible (10,4%), aumentando igualmente la excreción total (suma de heces y orina), en relación con el nitrógeno lácteo (42,1%). En este caso, el cambio de dieta se muestra claramente no aconsejable.

- 3) Consumo de D1. Cambio de animales de baja capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína por animales de alta capacidad. Se consume más nitrógeno a partir de mayor ingesta de dieta (16,4%), aumenta algo la excreción de nitrógeno por heces (13,1%) y mínimamente por orina (6,2%), resultando mayor el nitrógeno digestible (17,8%) y el balance total (29,0%). En consecuencia, el nitrógeno derivado a leche se incrementa (26,6%), así como el depositado a nivel corporal (31,7%). Al mismo tiempo, la excreción total de nitrógeno/nitrógeno lácteo disminuye (13,7%). El beneficio de este cambio resulta, patente tanto, desde un punto de vista productivo como ecológico.

- 4) Consumo de la D2. Cambio de animales de baja capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína por animales de alta capacidad. Se consume algo más de nitrógeno (7,1%) a partir de una dieta de alto contenido proteico. La excreción por heces resulta mayor (19,9%), detectándose en cuanto al nitrógeno

digestible, balance de nitrógeno y nitrógeno lácteo incrementos mínimos (3,2, 3,2, 3,4%, respectivamente), los que en ningún caso resultan significativos. Se deduce claramente la no obtención de beneficios con el cambio indicado.

Análisis multivariante de los valores de utilización de nitrógeno según dieta consumida y genética del animal.

Con el fin de establecer el patrón de relación existente entre los distintos valores de nitrógeno considerados (ingesta, excreción fecal, excreción por orina, digestible, balance, cantidad derivada a leche y depositado a nivel corporal) junto a el genotipo (alta o baja capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína) y dieta (D1 y D2), se llevó a cabo un análisis multivariante factorial. El método de extracción de factores fue el de Componentes Principales y el de rotación elegido fue el Varimax, extrayéndose los tres primeros factores que explicaban un 58.25, 14.75 y 10.68% de la varianza total.

En la Tabla 8 se presenta la matriz factorial correspondiente así como la proporción de varianza explicada por cada factor. El factor 1 representaba claramente el tipo de dieta consumida, determinante, en función de su composición, de la ingesta de nitrógeno así como de su utilización. El factor dos quedaba explicado, de manera especial, tanto por el balance de nitrógeno como por la cantidad del mismo retenido a nivel corporal. Finalmente, el factor tres representaba claramente el genotipo animal como determinante de la producción de nitrógeno lácteo. En la Gráfica 9 se muestra la situación de las distintas variables respecto de los

Tabla 8. Valores de ingesta y balance de nitrógeno ($\text{g/kg}^{0.75}\text{día}$) según dieta consumida y genotipo animal. Resultados de análisis multivariante factorial realizado.

Variable	Matriz Factorial		
	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Genotipo	0.0594	0.0991	0.8400
Dieta	0.8422	0.0599	0.0869
NI	0.8266	0.5043	0.1959
NH	0.7598	0.3012	0.2332
NO	0.9604	0.1743	0.0182
ND	0.7472	0.5119	0.1684
BN	0.2953	0.8852	0.3181
NL	0.1701	0.1718	0.7683
NR	0.2343	0.9545	0.0771

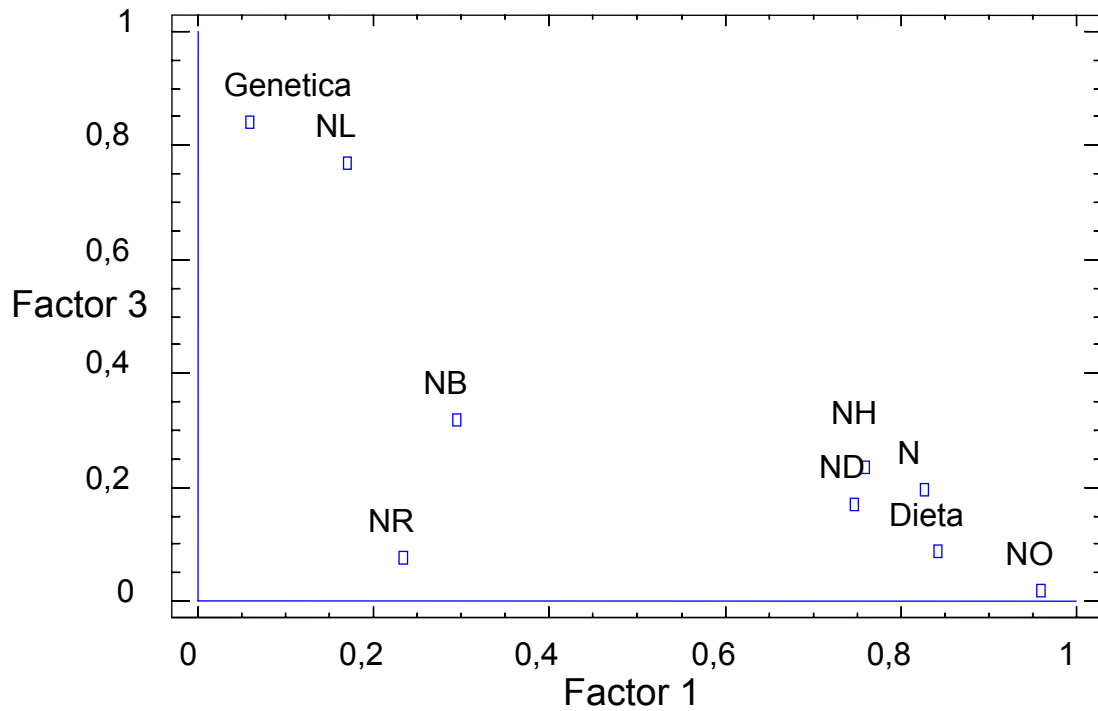
Factor	Autovalor	Varianza explicada	Varianza explicada acumulativa
1	5.242	58.25	58.25
2	1.328	14.75	73.00
3	0.961	10.68	83.68

NI: nitrógeno ingerido; NH: nitrógeno de las heces; NO: nitrógeno de la orina; ND: nitrógeno digestible; BN: balance de nitrógeno; NL: nitrógeno derivado a leche; NR: nitrógeno retenido a nivel corporal

factores 1 y 3, observándose cómo las variables relacionadas con el tipo de dieta y con su utilización, se sitúan en la parte más positiva del factor 1. Por el contrario, el genotipo y nitrógeno lácteo quedaba en la zona más positiva del factor 3 al que definen.

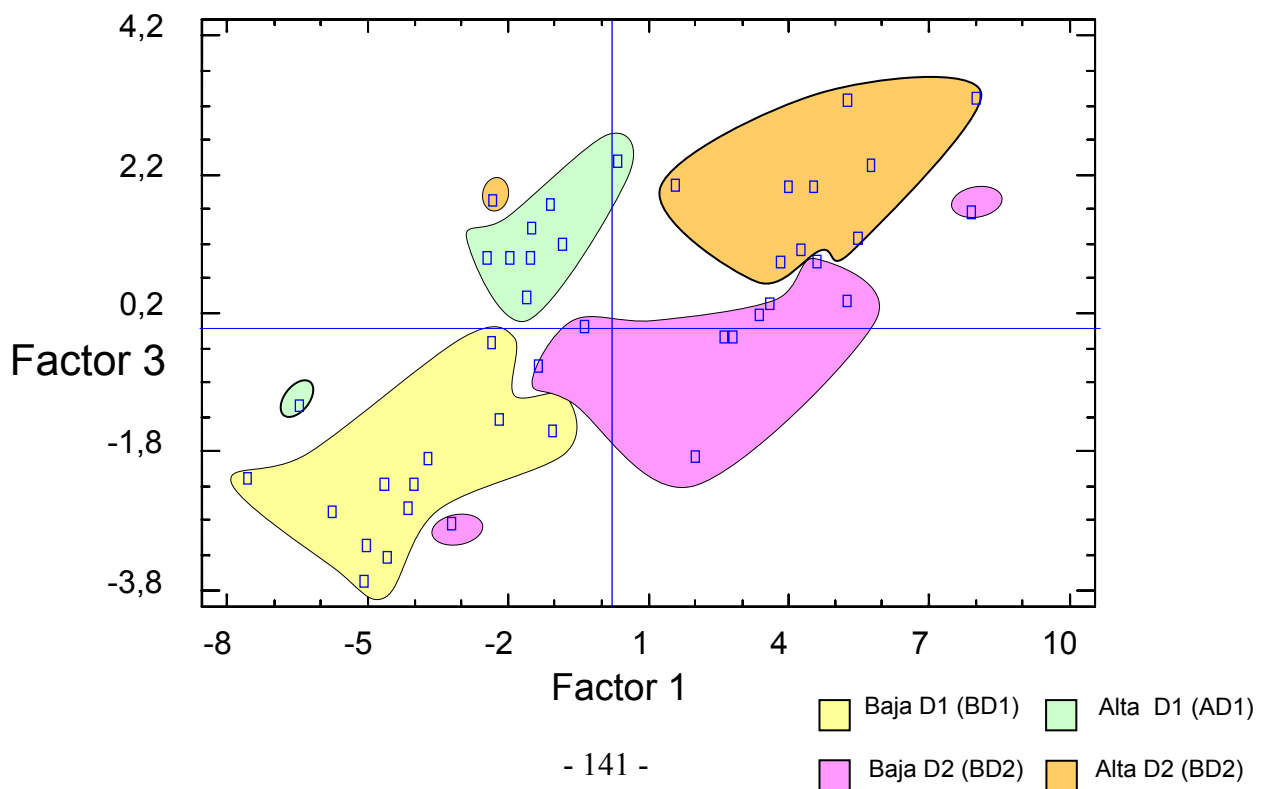
En la Gráfica 10 aparecen las distintas unidades experimentales según su situación respecto de los mismos factores 1 y 3. Los animales pertenecientes al grupo de alta capacidad quedaban colocados en la parte positiva del factor 3, situándose los que consumían la D2 más hacia la derecha, zona positiva del factor 1. Por el contrario, los de baja capacidad quedaban bien en la parte negativa del factor 3, sobre todo los animales que consumían la D1. A partir de las situaciones de los distintos relativos de los distintos grupos, puede nuevamente deducirse los cambios que resultarían más beneficiosos en cuanto a lo que a producción de nitrógeno lácteo se refiere.

Gráfica 9: Situación de las distintas variables en relación con los factores 1 y 3.



NI: nitrógeno ingerido; NH: nitrógeno de las heces; NO: nitrógeno de la orina; ND: nitrógeno digestible; BN: balance de nitrógeno; NL: nitrógeno derivado a leche; NR: nitrógeno retenido a nivel corporal.

Gráfica 10: Situación de las distintas unidades experimentales en relación con los factores 1 y 3.



4.5 UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA

Los valores considerados con el fin de inferir los efectos de los factores implicados sobre la utilización de la energía, se presentan en la Tabla 9.

Las ingestas de energía bruta, pérdida de energía por heces, ingesta de energía digestible (energía bruta menos la excretada por heces), pérdida por metano, ingesta de energía metabolizable (energía digestible menos la excretada por orina y metano) y energía derivada a leche, cantidades todas expresados como $\text{KJ/kg}^{0.75}\text{día}$, resultaban no afectadas por el tipo de dieta consumida ($P>0,05$). Por el contrario, todos estos valores aparecían de manera significativa ($P<0,05$) diferentes según el genotipo del animal, resultando superiores los valores medios correspondientes al grupo de animales de alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína. Al mismo tiempo, y para el caso de la energía derivada a leche, se detectaba una interacción significativa ($P<0,05$) entre factores, según la cual, la cantidad correspondiente a los animales de alta capacidad resultaba mayor sólo para el caso de consumo de la D1. De igual manera, y si bien el factor dieta no ejercía un efecto principal significativo ($P>0,05$), el valor medio correspondiente a la D2 resultaba superior ($P<0,05$) al alcanzado bajo consumo de la D1, para el grupo de animales de baja capacidad de síntesis, aspecto que se observa en la Gráfica 11.

Tabla 9: Valores de ingesta y balance de energía (MJ/kg^{0.75}día). Relaciones indicativas de su utilización. Efecto del tipo de dieta y genotipo animal.

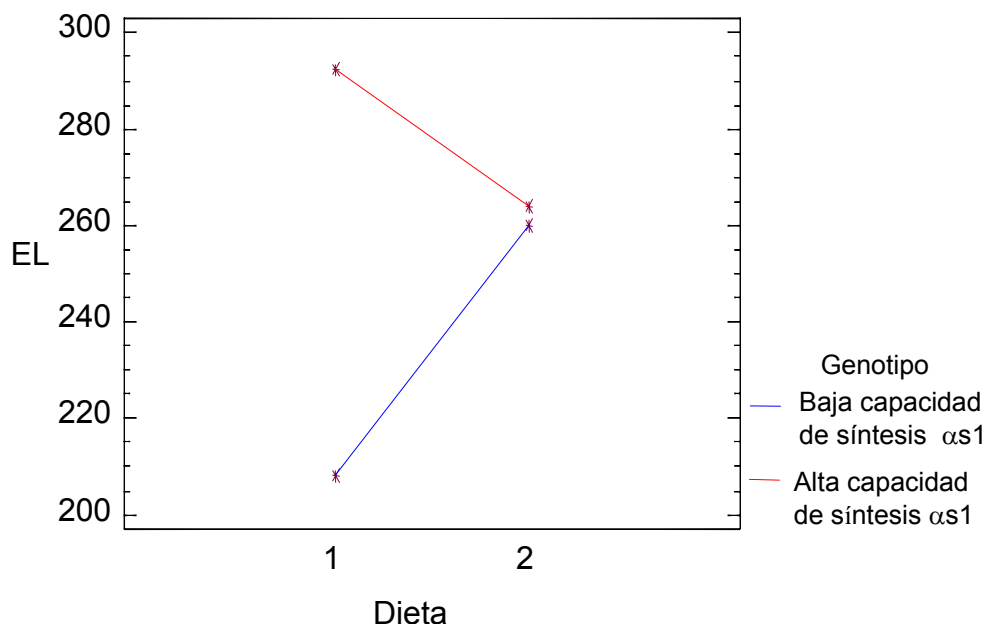
Genotipo ²	Dieta ¹				DER	Nivel de significación		
	1		2			Efecto Dieta (D)	Efecto Genotipo (G)	DxG
	Baja	Alta	Baja	Alta				
EB	1428,7	1657,1	1550,4	1643,0	228,60	NS	*	NS
EH	410,0	480,4	462,6	479,8	67,28	NS	*	NS
ED	1018,6	1170,5	1087,8	1163,2	161,47	NS	*	NS
EO	30,8	32,7	49,8	51,3	7,89	***	NS	NS
ECH ₄	92,6	106,4	98,9	105,7	14,68	NS	*	NS
EM	895,3	1031,4	939,1	1006,2	140,95	NS	*	NS
EL	207,9	292,5	259,8	264,0	52,53	NS	**	*
EL/ED	0,204	0,253	0,239	0,227	0,043	NS	NS	*
EL/EM	0,232	0,287	0,277	0,262	0,049	NS	NS	*
EM/EB	0,627	0,625	0,606	0,612	0,0039	***	NS	***

¹ Dieta 1 y 2 con aproximadamente un 14 y 18% de proteína bruta, respectivamente. ² Genotipo de baja y alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína en leche.

DER: desviación estándar residual; NS: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01; ***: p<0,001.

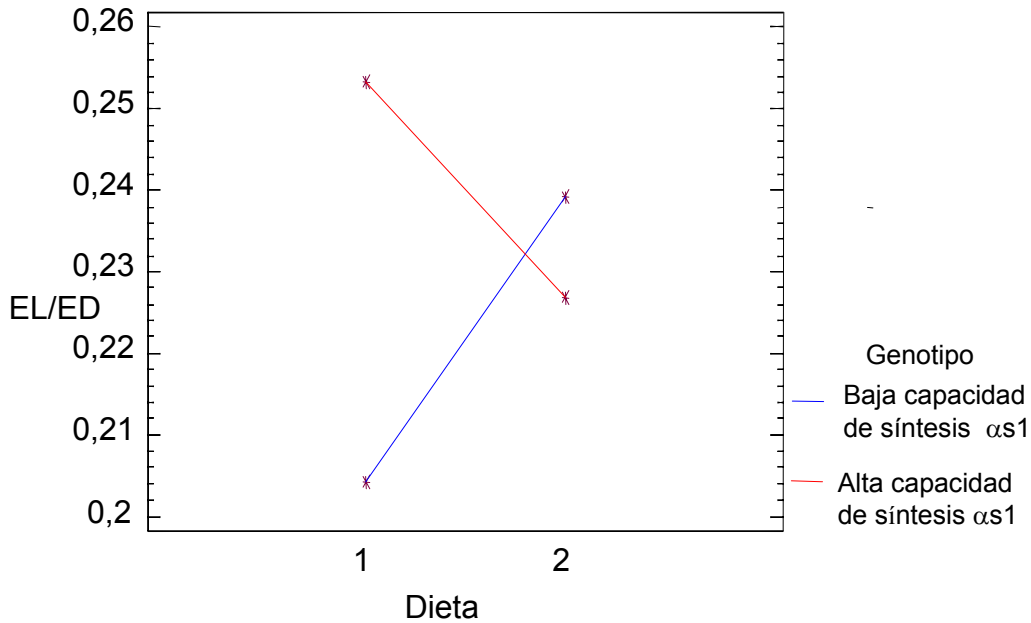
EB: ingesta de energía bruta; EH: pérdida de energía por heces; ED: energía digestible; EO: pérdida de energía por orina; ECH₄: pérdida de energía por metano; EM: energía metabolizable; EL: energía derivada a leche

Grafica 11: Representación gráfica de la interacción detectada entre factores (dieta y genotipo) para la energía derivada a leche (EL). Cantidades expresadas en $\text{kJ/kg}^{0.75}\text{día}$.



Las relaciones existentes entre la cantidad de energía derivada a leche y la energía digestible o energía metabolizable se detectaban en un principio no afectadas de manera significativa ($P > 0,05$) ni por el tipo de dieta ni por el genotipo animal, detectándose en ambos casos una interacción ($P < 0,05$) entre factores. De acuerdo con esto, bajo consumo de la D1, los animales de alta capacidad de síntesis alcanzaban valores mayores que los de baja capacidad y estos últimos mostraban, igualmente, valores más altos bajo consumo de la D2 frente a la D1, resultados que se muestran en la Gráfica 12 y 13.

Grafica 12: Representación gráfica de la interacción detectada entre factores (dieta y genotipo) para la energía derivada a leche/energía digestible (EL/ED). Cantidades expresadas en $\text{kJ/kg}^{0.75}$ día.



Grafica 13: Representación gráfica de la interacción detectada entre factores (dieta y genotipo) para la energía derivada a leche/energía metabolizable (EL/EM). Cantidades expresadas en $\text{kJ/kg}^{0.75}$ día.

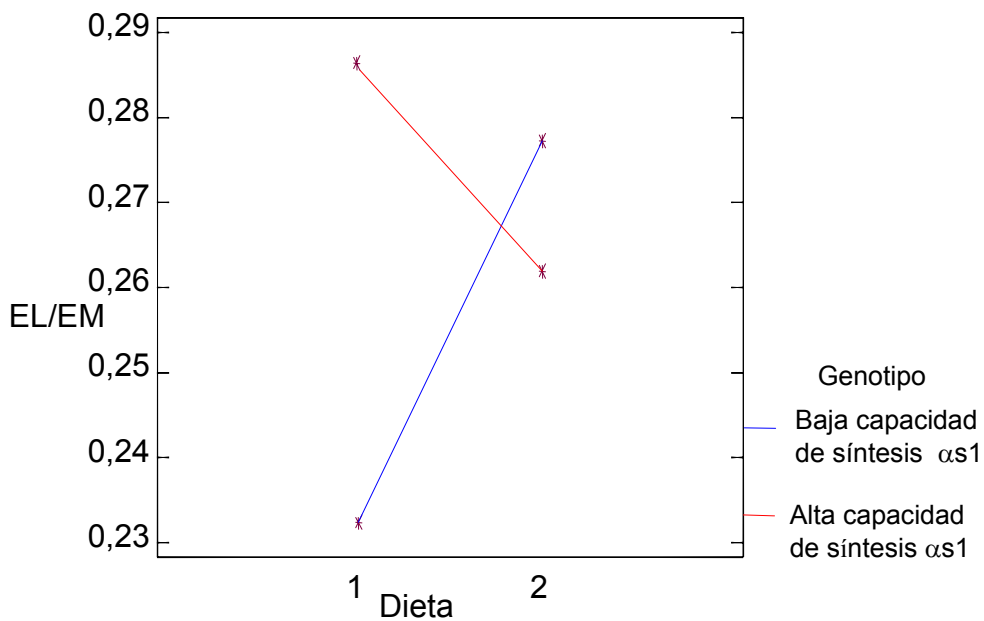


Tabla 10: Diferencias existentes dentro de cada dieta, entre los valores de energía derivada a leche (EL; KJ/kg^{0.75} día), y relaciones entre dichas cantidad y la energía digestible (ED; kJ/kg^{0.75} día) y la metabolizable (EM; kJ/kg^{0.75} día), según genotipo animal.

Dieta	Diferencias entre grupos genéticos	
	D1	D2
EL	+40,69	+1,62
EL/ED	+24,02	-5,02
EL/EM	+23,71	-5,73

(1) Los valores incluidos son: $[(\bar{X}_{GA} - \bar{X}_{GB}) / \bar{X}_{GB}] \times 100$

GA: Grupo de animales de alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína.

GB: Grupo de animales de baja capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína

Tabla 11: Diferencias existentes dentro de cada grupo genético, entre los valores de energía derivada a leche (EL; KJ/kg^{0.75} día), y relaciones entre dichas cantidad y la energía digestible (ED; KJ/kg^{0.75} día) y la metabolizable (EM; KJ/kg^{0.75} día), según dieta consumida.

Genotipo	Diferencias entre dietas	
	GB	GA
EL	+24,96	-9,74
EL/ED	+17,16	-10,28
EL/EM	+19,40	-8,71

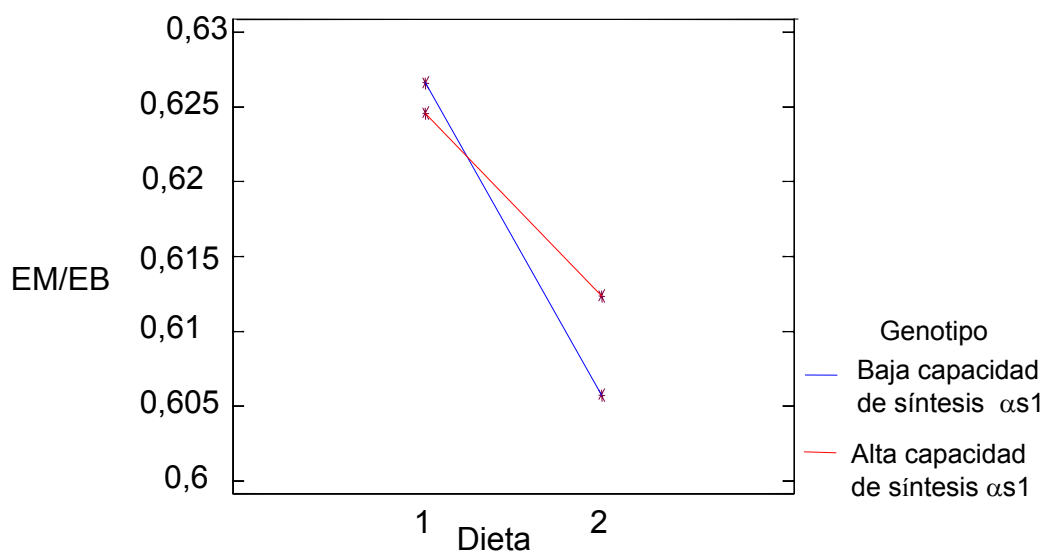
(1) Los valores incluidos son: $[(\bar{X}_{D2} - \bar{X}_{D1}) / \bar{X}_{D1}] \times 100$

GA: Grupo de animales de alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína. GB: Grupo de animales de baja capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína

Con el fin de observar el significado de estas interacciones, en las Tablas 10 y 11 se presentan las diferencias existentes entre los valores de energía derivada a leche y relaciones entre energía derivada a leche/energía digestible y energía derivada a leche/energía metabolizable, dentro de cada grupo genético según dieta y, dentro, de cada dieta según grupo genético, observándose la magnitud del cambio de grupo genético dentro de una misma dieta y de la dieta dentro de cada grupo genético.

Junto a esto, la excreción de energía por orina se veía afectada por el tipo de dieta ($P < 0,05$), resultando mayor el valor medio correspondiente al consumo de la D2. Finalmente, la metabolicidad de la energía (ingesta de energía metabolizable/energía bruta) resultaba mayor ($P < 0,05$) bajo consumo de la D1, detectándose al mismo tiempo una interacción entre factores igualmente significativa ($P < 0,05$), indicativa de que si bien el factor genotipo no resultaba significativo ($P > 0,05$), el valor medio correspondiente a los animales de alta capacidad, se mostraba estadísticamente superior ($P < 0,05$) para el caso de consumo de la D2, aspecto que se representa en la Gráfica 14.

Grafica 14: Representación gráfica de la interacción detectada entre factores (dieta y genotipo) para la metabolibilidad de la energía (EM/EB). Cantidades expresadas en $\text{KJ/kg}^{0.75}\text{día}$.



Antes de comentar los resultados inferidos por medio del análisis estadístico correspondiente, indicamos cómo, de acuerdo con la marcha experimental de estos ensayos, no se pudo determinar la ingesta de energía metabolizable en cada caso alcanzada. Cuando se trata de una misma clase de animales bajo consumo de dietas similares, los valores de ingestas de energía metabolizable pueden ser estimadas aplicando un factor a las cantidades correspondientes de energía digestible (Sanz Sampelayo, 2002a). Sin embargo, al analizar la utilización metabólica del nitrógeno, se deducía cómo ésta resultaba más alta para los animales de alta capacidad de síntesis de α_{s1} -caseína, lo que indicaba que el paso de energía digestible a metabolizable dependía del genotipo animal. De acuerdo con esto y al disponerse experimentalmente de las pérdidas de energía por orina, las cantidades de energía metabolizable se establecieron cómo diferencia entre las de energía digestible y las pérdidas por orina más metano, estimándose

esta últimas de acuerdo con Aguilera y colaboradores (1990), cómo un 9.09% de las digestibles, teniendo en cuenta lo indicado por Gordon y colaboradores (1995), de que dicha pérdida no resultaba diferente entre animales de distinta capacidad productiva. En nuestro caso, las pérdidas de energía por orina representaron respecto de las digestibles unos porcentajes iguales a 3,0 y 2,8% bajo consumo de la D1 y, 4.6 y 4.4 bajo consumo de la D2, para los animales de baja y alta capacidad de síntesis, respectivamente. A pesar de estas diferencias, las cantidades de energía metabolizable calculadas resultaron en la D1 iguales al 87.9 y 88.1% de la digestible para los animales de baja y alta capacidad de síntesis, respectivamente, valores que para la D2 eran de 86.3 y 86.5%, es decir, prácticamente iguales dentro de cada grupo genético (87.1 y 82.3 para los de baja y alta capacidad productiva).

Al analizar los resultados obtenidos a partir del análisis estadístico practicado, observamos que de los efectos ejercidos por el factor tipo de dieta, lo primero que se deduce es cómo la pérdida de energía por orina resultaba más alta bajo consumo de la D2, ya que se trata de una dieta con un mayor contenido proteico, hecho que determina, como ya hemos comentado, una mayor excreción de nitrógeno por esta vía. De acuerdo con esto último, y dado que la energía de la orina corresponde esencialmente a la de los compuestos nitrogenados de la misma, observamos cómo los cambios en las cantidades de energía excretada por orina se corresponden a los mismo detectados en relación con la excreción de nitrógeno también por orina. Además de lo indicado según tipo de dieta, se infería cómo en el caso del contenido en nitrógeno, que la cantidad de energía excretada por orina no mostraba cambios significativos dentro de cada dieta según genotipo animal. Si como ya hemos comentado en otros apartados, y

deducimos aquí nuevamente, los animales de alta capacidad alcanzaban una ingesta significativamente mayor, el que la excreción de energía por orina no muestre esta mayor ingesta, refleja, como ya se ha discutido, el que estos animales presentaban una mayor capacidad de utilización del nitrógeno a nivel metabólico. En cuanto a la utilización de la energía, y si bien en este caso no se pudo establecer el balance energético, se infería cómo la energía derivada a leche resultaba mayor para los animales de alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína. A este nivel hay que tener en cuenta cómo los animales de alta capacidad llegaban a producir, no sólo una mayor cantidad de proteína láctea, sino también de grasa, aspecto que sin duda tuvo que ver en las diferencias detectadas en cuanto a la energía que en cada caso se derivaba a leche.

Otro valor detectado en principio diferente según dieta consumida, era el de la metablicidad de la energía, la que resultaba más alta bajo consumo de la D1. En este sentido, Bava y colaboradores (2001), utilizando en cabras en lactación dos dietas diferentes, resultando una de ellas, carente en forraje, la que a su vez mostraba una mayor cantidad tanto de proteína bruta como de fibra neutro-detergente, fibra ácido-detergente y lignina ácido-detergente, obtuvieron, para esta última, una metablicidad de la energía más baja que la alcanzada por la dieta testigo. En nuestros ensayos, la D2, además de presentar en su composición un mayor nivel de proteína bruta, también resultaban más altas las cantidades de las distintas fracciones de fibra. Si una dieta con mayor cantidad de proteína alcanza una eficiencia de utilización de la misma más baja y peor digestibilidad cuando sus distintas fracciones fibrosas presentan mayores niveles, el resultado obtenido tanto por nosotros como por Bava y colaboradores (2001) puede considerarse normal de acuerdo con la composición de la

dietas utilizada, en los aspectos señalados. Lo que en nuestro caso resulta diferente es el hecho por el cual, el efecto del tipo de dieta no se mostraba significativo al considerar lo sucedido en los animales de alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína, aspecto que se debería a la mejor utilización que de la energía ingerida como proteína, que dichos animales tuvieron que alcanzar.

Finalmente, respecto de lo deducido en relación con las eficiencias brutas de utilización, bien de la energía digestible o metabolizable para la producción de energía láctea, y a pesar de lo obtenido en otros estudios en los que se establecía cómo dicha eficiencia parecía disminuir con el nivel proteico de la dieta (Schneider y col., 1980) o no resultaba diferente de acuerdo con aquel (Sanz Sampelayo y col., 2002a), en nuestro caso lo que se infería era cómo dichas eficiencias bajo consumo de la D1 resultaban mayores en los animales de alta capacidad de síntesis y, considerando los de más baja capacidad, las eficiencia indicadas resultaban más altas bajo el consumo de la D2. Nuevamente, y de manera semejante a lo que comentábamos al discutir los resultados obtenidos sobre la utilización del nitrógeno para la producción de leche, todo parece indicar que la mayor capacidad productiva de los animales de alta depende del nivel proteico de la dieta. Dos casos diferentes fueron los observados en este estudio. En uno de ellos el factor limitante de la utilización bien del nitrógeno o de la energía para la producción de leche sería el nivel proteico de la dieta y, en otro, de acuerdo con las dietas utilizada, dicho factor parecía ser la capacidad productiva del animal.

Cuando se analizan la eficiencia con la que una ingesta de energía metabolizable se utiliza para la producción de leche, junto con el análisis

de la relación que en cada caso se establece entre la energía derivada a leche y la metabolizable ingerida, se suele considerar la relación existente entre la energía láctea producida y la metabolizable disponible para la producción, calculada ésta como la diferencia entre la energía metabolizable ingerida y los correspondientes costos de mantenimiento (Sanz Sampelayo y col., 1998, 2002a). En nuestro caso no hemos considerado esta última relación, la que se hubiera podido determinar estimando simplemente los costos de mantenimiento energéticos calculados para la raza utilizada o una lo más similar posible. Sin embargo, de acuerdo con el hecho de emplear, dentro de la raza elegida, individuos que genéticamente presentaban una capacidad productiva diferente, hemos considerado la posibilidad de que los correspondientes gastos de mantenimiento resultaran distintos. Ya hemos indicado cómo la información disponible sobre la utilización de la energía en la cabra en lactación, según distinto grupo genético asociado a la síntesis de proteína y/o caseína, resulta absolutamente nula. Por el contrario, referente a lo que sucede en la vaca, al analizar dicha utilización en individuos de los llamados de alto o bajo mérito genético, los autores opinan que la distinta capacidad productiva se debe, esencialmente, a una diferente partición que tiene lugar de los nutrientes disponible para la producción, nutrientes que en los animales de mayor mérito genético se derivan esencialmente hacia la producción de leche frente a su depósito a nivel corporal (Agnew y col. 2002; Gordon y col. 1995a, b). En este sentido, Agnew y colaboradores (2002) comentan cómo, si bien la eficiencia de utilización de la ingesta de energía metabolizable para la producción de leche resulta más alta en los animales de mayor mérito genético, cuando lo que se considera es dicha eficiencia, pero en relación con la energía disponible para la producción, la diferencia entre grupos genéticos desaparece, lo que apunta a que exista un

diferente coste energético de mantenimiento entre grupos, aspecto que sería de gran interés analizar.

Análisis multivariante de los valores obtenidos de balance energético, según dieta y genotipo animal

Como en el caso del análisis de la utilización del nitrógeno, con el fin de establecer el patrón de relación existente entre los distintos valores de balance energético considerados: ingesta de energía bruta, energía de las heces, energía digestible, energía del metano, energía de la orina, energía metabolizable y energía de la leche, junto al genotipo (animales de alta y baja capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína) y tipo de dieta (D1 y D2), se llevó a cabo un análisis multivariante factorial. El método de extracción de factores fue el de componentes principales y el de rotación el varimax, extrayéndose los tres primeros factores, los que llegaban a explicar un 66.35, 16.75 y 10.02% de la varianza total.

En la Tabla 12, se presenta la matriz factorial correspondiente, así como la proporción de la varianza explicada por cada factor. El primer factor representaba claramente la ingesta energética, ingesta que determinaba la pérdida por metano y, con menor intensidad, la pérdida por orina y la energía derivada a leche, factor que a su vez resultaba independiente del tipo de dieta, teniendo sólo “un poco que ver” con el genotipo animal. El factor 2 representaba el tipo de dieta, la que, al parecer, determinaba la pérdida de energía por orina y, con bastante menor intensidad, la pérdida por heces, no teniendo nada que ver con la ingesta ni con el genotipo animal. El tercer factor representaba claramente el genotipo, el que mostraba, de acuerdo con los coeficientes de peso

correspondientes, una relación de intensidad media con los valores de ingestas energéticas (energía bruta, digestible y metabolizable) así como con las pérdidas por heces y metano, mostrando, al mismo tiempo, no tener relación ni con el tipo de dieta ni con la pérdida de energía por orina.

En la Gráfica 15, se representan las distintas variables según su situación en relación con los factores 2 y 3. En la parte más positiva del factor 2 se sitúan las variables dieta y energía de la orina, las que, de acuerdo con sus coeficientes de peso, hemos comentado que definían esencialmente este factor. En la parte más positiva del factor 3 se sitúa la variable genotipo animal, que, como hemos expuesto, muestra una relación de intensidad media con la energía derivada a leche. En la gráfica 16, se representa las unidades experimentales en relación con los mismos dos factores. El eje correspondiente al factor 2 divide a las unidades experimentales según dieta consumida, quedando en la parte más positiva los animales alimentados con la D2, los que excretaban, en razón de la composición de dicha dieta, una mayor cantidad de nitrógeno por orina. Frente a esto, el eje correspondiente al factor 3, separaba a las unidades experimentales según su grupo genético, quedando los pertenecientes al grupo de alta capacidad situados en la parte positiva del mismo.

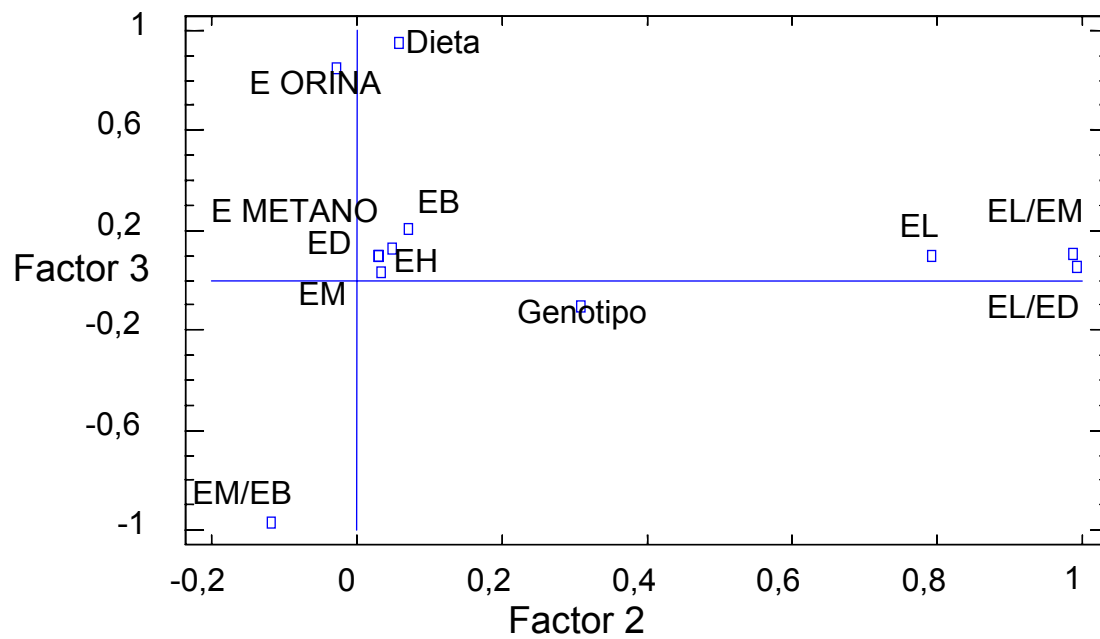
Tabla 12: Valores de ingesta y balance de energía (KJ/kg^{0.75}día) según dieta consumida y genética animal. Resultados del análisis multivariante factorial realizado.

Variable	Matriz Factorial		
	Factor 1	Factor 2	Factor3
EB	0,9721	0,1546	0,1630
EH	0,9585	0,2269	0,1504
ED	0,9752	0,1318	0,1582
ECH ₄	0,9752	0,1315	0,1580
EO	0,4536	0,8542	-0,0061
EM	0,9801	0,0659	0,1658
EL	0,5924	0,1273	0,4706
Dieta	-0,0207	0,9785	0,0592
Genotipo	0,1771	0,0067	0,9464

Factor	Autovalor	Varianza explicada	Varianza explicada acumulativa
1	5,971	66,35	66,35
2	1,507	16,75	83,10
3	0,902	10,02	93,12

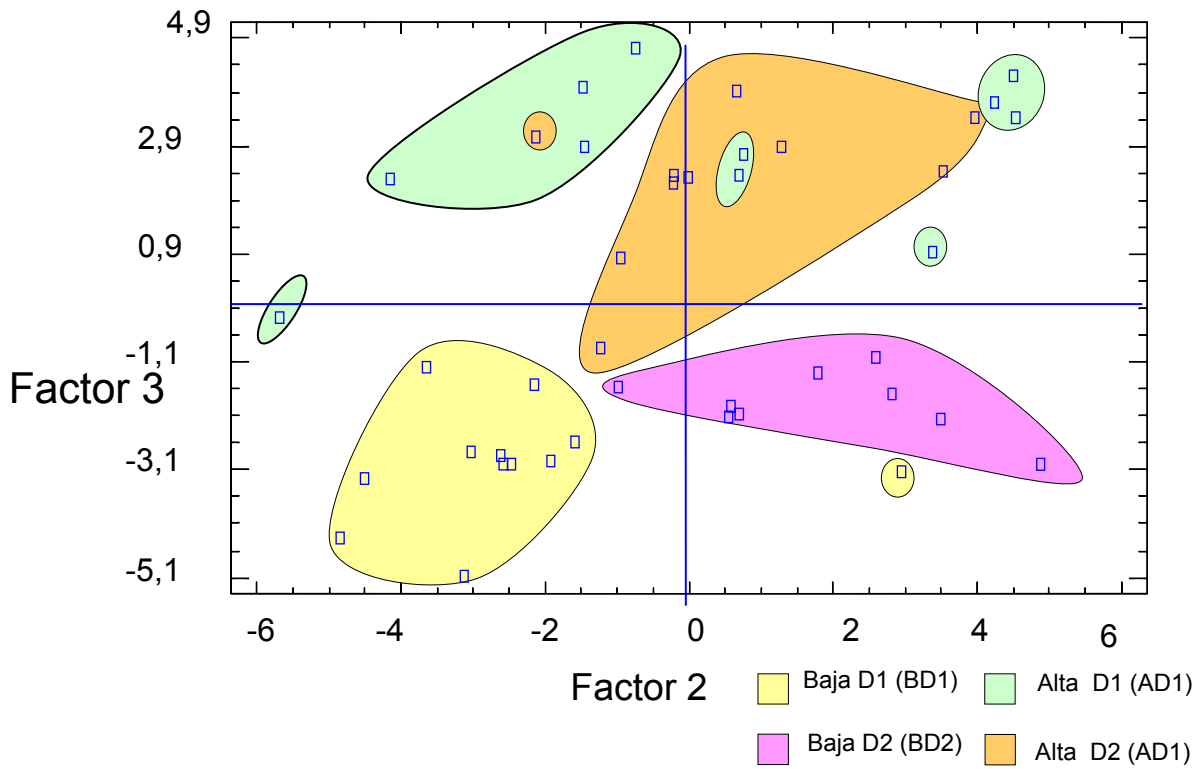
EB: energía bruta; EH: energía de las heces; ED: energía digestible; ECH₄: pérdida de energía por metano; EO: pérdida de energía por orina; EM: energía metabolizable; EL: energía derivada a leche.

Grafica 15: Situación de las distintas variables en relación con los factores 2 y 3.



EB: energía bruta; EH: energía de las heces; ED: energía digestible; ECH4: energía de metano; EO: energía de la orina; EM: energía metabolizable; EL: energía derivada a leche

Grafica 16: Representación de las distintas unidades experimentales respecto a los factores 2 y 3



4.6 PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LECHE.

Tal cómo se indica en el capítulo de material y métodos, la producción de leche fue controlada individualmente durante la fase principal de los ensayos de balance, obteniéndose muestras representativas para la determinación de su composición, lo que se llevaba a cabo principalmente por análisis químico. Además de esto, la leche producida el día siguiente al de terminación de los citados ensayos, se utilizaba para el estudio de su calidad tecnológica, determinándose su composición por método NIRS (Espectroscopía en el Infrarrojo Cercano), composición que incluía las cantidades de α_{S1} - y α_{S2} -caseína,

4.6.1. CANTIDAD DE LECHE PRODUCIDA. CONCENTRACIÓN Y RENDIMIENTOS DE SUS PRINCIPALES COMPONENTES

En las Tablas 13 y 14 se recogen los valores medios correspondientes a los distintos parámetros, así como los resultados del tratamiento estadístico realizado. Respecto de los valores obtenidos en los ensayos de balance (Tabla 13), la cantidad de leche producida (g/día) así como los rendimientos (g/día) de sus principales componentes (materia seca, proteína, caseína y grasa), aparecían afectados de manera significativa ($P < 0,05$) por el factor dieta, deduciéndose en consecuencia valores medios más altos, bajo consumo de la D2. Además, para la producción de leche así como para los rendimientos de los componentes indicados, se infería una interacción entre factores significativa ($P < 0,05$), que indicaba que el efecto principal de la dieta se debía a lo que sucedía en los animales de baja capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína (Gráficas 17, 18, 19, 20 y 21).

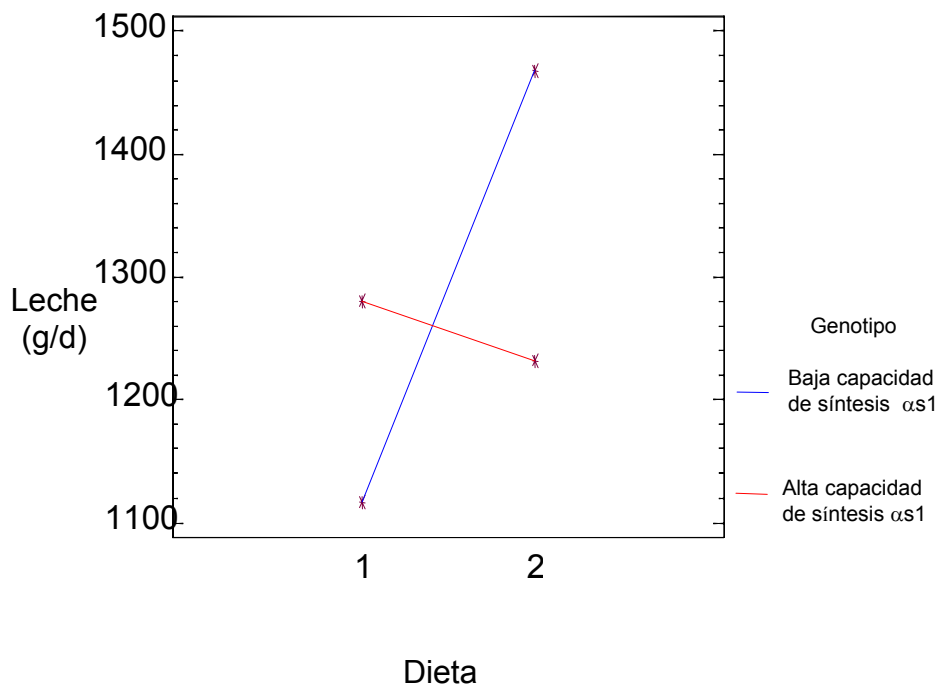
Tabla 13: Producción y composición de la leche. Efecto del genotipo y dieta administrada. Ensayo de balance.

Genotipo ²	Dieta ¹				DER	Nivel de significación		
	1		2			Efecto Dieta (D)	Efecto Genotipo (G)	DxG
	Baja	Alta	Baja	Alta				
Leche, g/día	1116,7	1279,7	1468,5	1232,1	238,1	*	NS	**
Materia Seca, g/Kg	132,9	141,3	129,9	143,2	6,71	NS	***	NS
Proteína, g/Kg	31,9	34,4	30,8	35,3	3,48	NS	*	NS
Caseína, g/Kg	26,0	28,4	24,8	29,0	2,56	NS	*	NS
Grasa, g/Kg	47,8	51,9	47,5	54,7	5,24	NS	**	NS
Minerales, g/Kg	7,9	7,8	7,8	7,7	0,29	NS	NS	NS
Lactosa, g/Kg	45,3	47,1	43,8	45,5	3,00	NS	NS	NS
Energía, MJ/Kg	3,45	3,62	3,31	3,63	0,28	NS	**	NS
Materia Seca, g/día	148,4	180,8	190,7	176,4	32,92	*	NS	**
Proteína, g/día	35,6	43,8	45,2	43,0	6,74	**	NS	***
Caseína, g/día	29,0	36,3	37,1	35,7	6,21	**	NS	**
Grasa, g/día	53,4	66,4	69,8	67,4	13,62	*	NS	*
Minerales, g/día	8,8	10,0	11,4	9,5	2,16	NS	NS	*
Lactosa, g/día	50,6	60,3	64,3	56,1	12,77	NS	NS	*
Energía, MJ/día	3,85	4,60	4,65	4,13	0,89	NS	NS	**

¹Dieta 1 y 2 con aproximadamente 14 y 18% de proteína bruta, respectivamente. ²Genotipo de baja y alta capacidad de síntesis de α s1-caseína, respectivamente. DER: desviación estándar residual; NS: no significativo; *: p<0.05; **: p<0.01; ***: p<0.001.

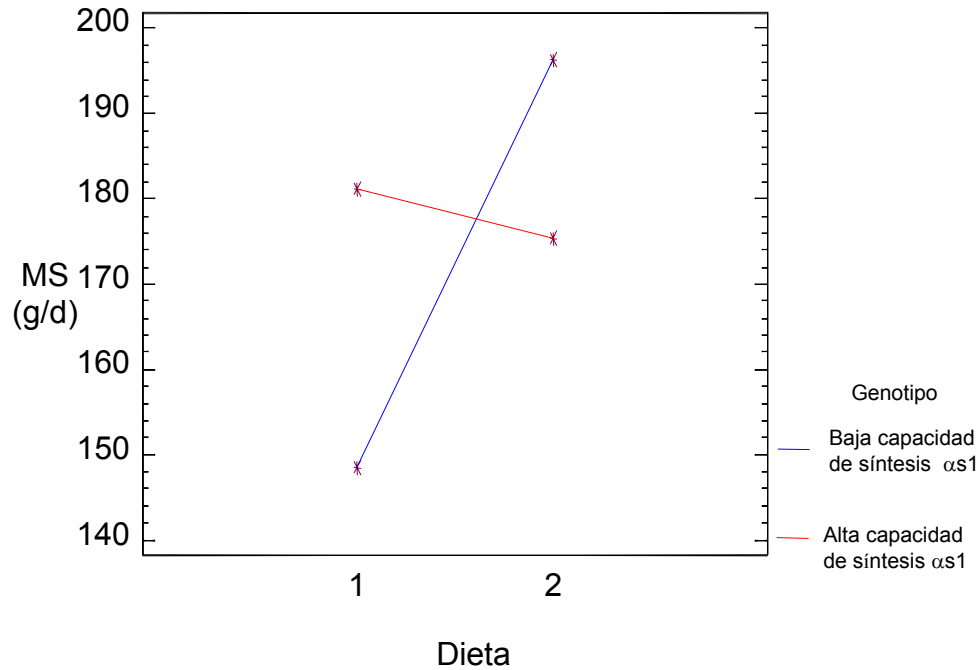
Igualmente, se infería una interacción significativa ($P < 0,05$) entre factores para el caso del rendimiento en minerales, lactosa y energía, interacción que en un principio indicaba que, si bien la dieta no ejercía un efecto principal significativo ($P > 0,05$), los animales de baja capacidad de síntesis alcanzaban rendimientos mayores bajo consumo de la D2 (Gráficas 22, 23 y 24).

Grafica 17: Representación gráfica de la interacción detectada entre factores (dieta y genotipo) respecto de la producción de leche. Cantidades expresadas en g/día.;

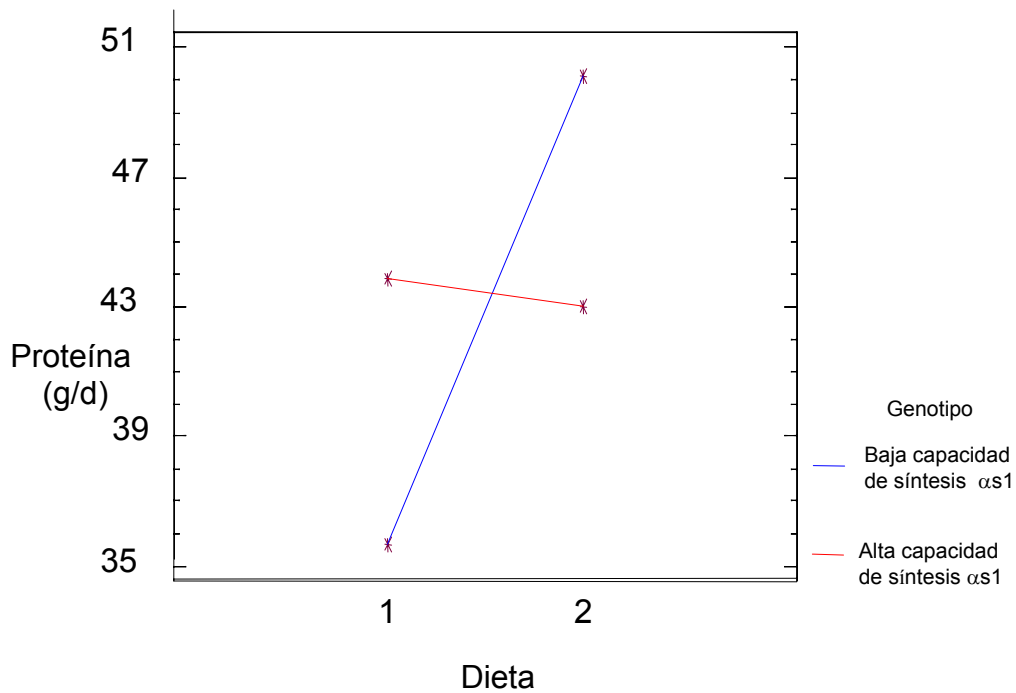


Grafica 18: Representación gráfica de la interacción detectada entre factores (dieta y genotipo) respecto del rendimiento en materia seca (MS).

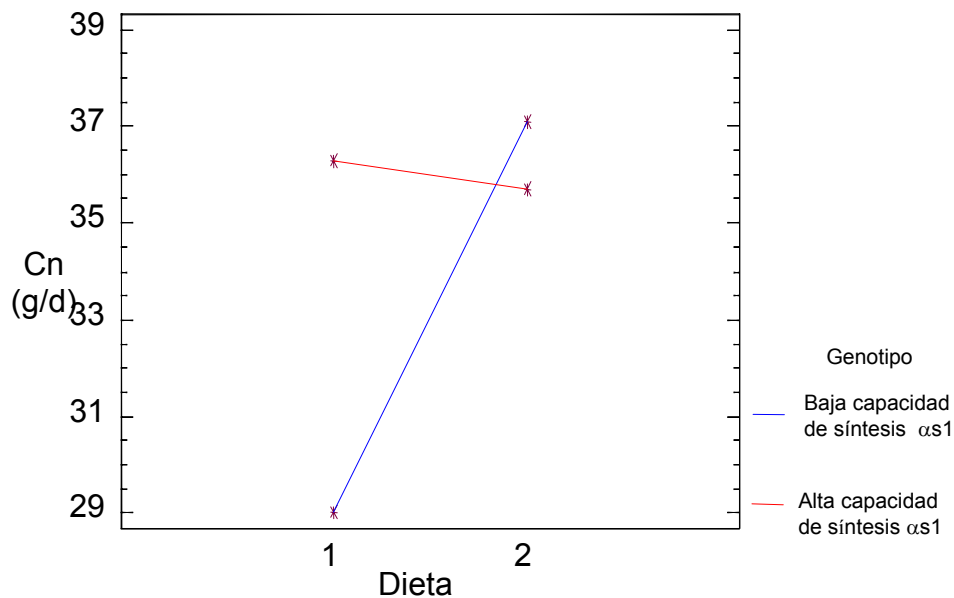
Cantidades expresada en g/día.;



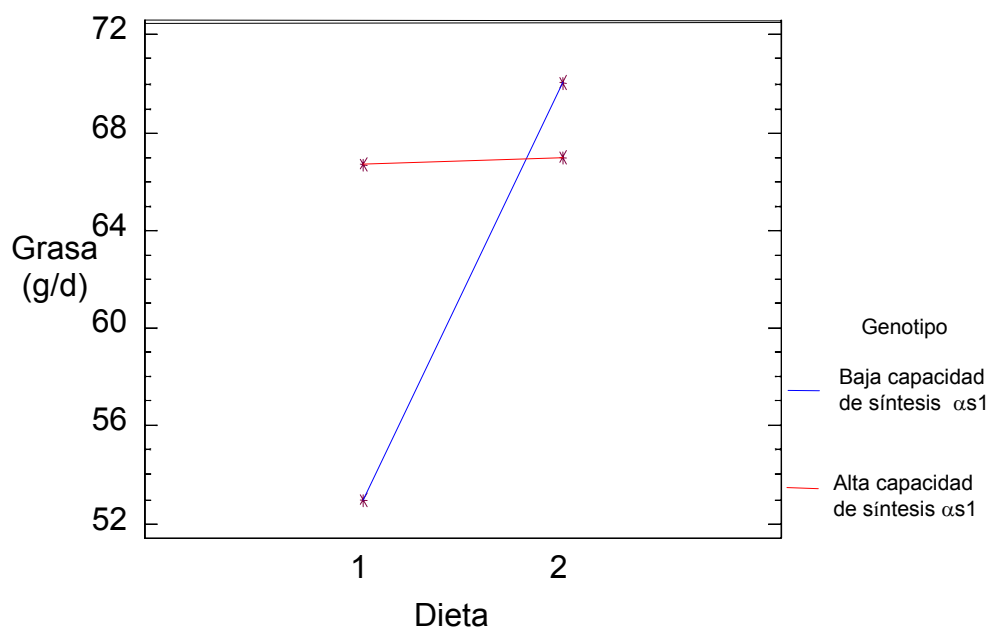
Gráfica 19: Representación gráfica de la interacción detectada entre factores (dieta y genotipo) respecto del rendimiento en proteína. Cantidades expresadas en g/día.



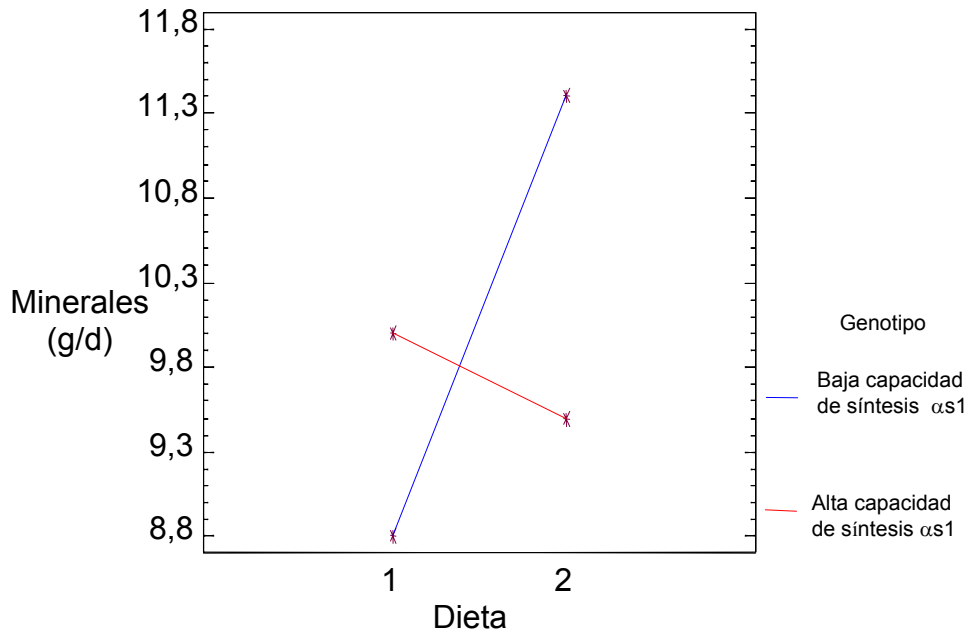
Gráfica 20: Representación gráfica de la interacción detectada entre factores (dieta y genotipo) respecto del rendimiento en caseínas totales (Cn). Cantidades expresada en g/día.



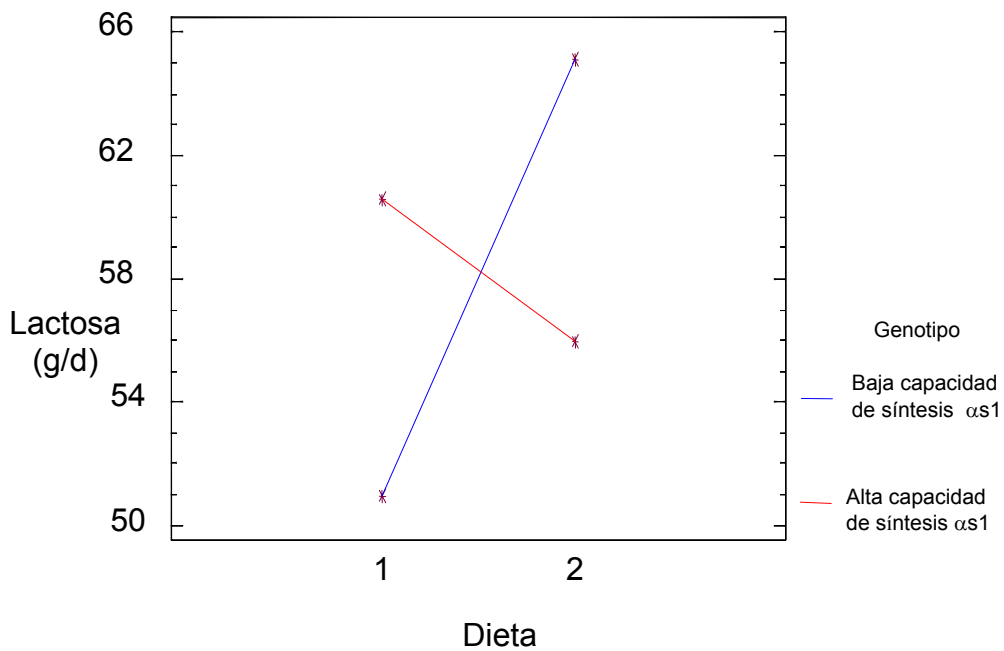
Gráfica 21: Representación gráfica de la interacción detectada entre factores (dieta y genotipo) respecto del rendimiento en grasa. Cantidades expresadas en g/día.



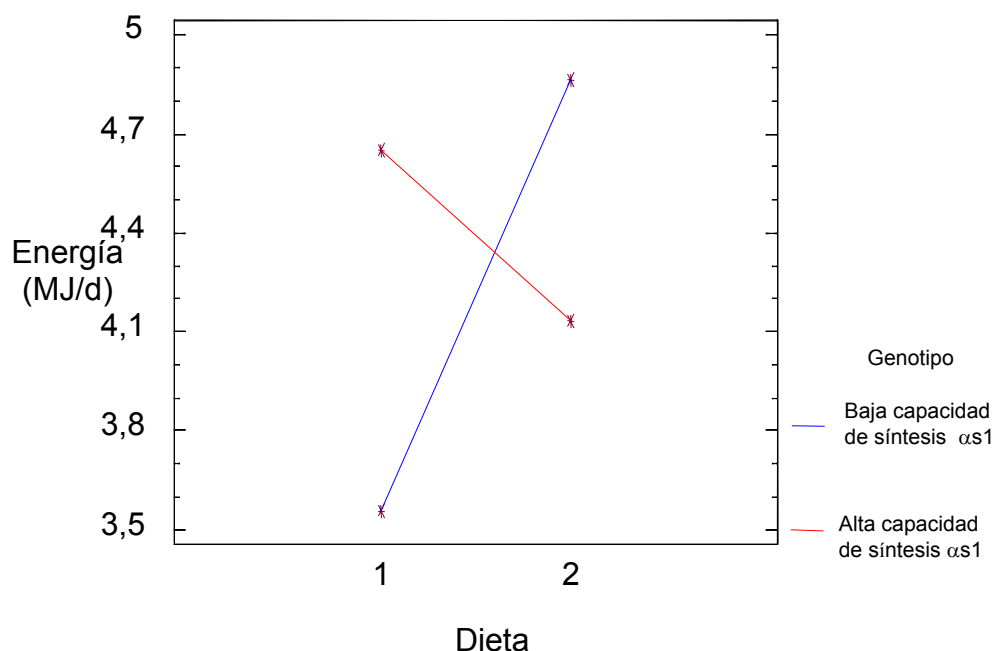
Gráfica 22: Representación gráfica de la interacción detectada entre factores (dieta y genotipo) respecto del rendimiento en minerales expresada en g/día.



Gráfica 23: Representación gráfica de la interacción detectada entre factores (dieta y genotipo) respecto del rendimiento en lactosa. Cantidades expresadas en g/día.



Gráfica 24: Representación gráfica de la interacción detectada entre factores (dieta y genotipo) respecto del rendimiento en energía. Cantidades expresadas en MJ/día.



Al mismo tiempo, la interacción indicada muestra en todos los casos cómo, a pesar de no resultar significativa ($P > 0,05$) el efecto del factor genotipo, los valores medios alcanzados bajo consumo de dieta 1 (D1) resultaban en los animales de alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína mayores que los logrados por los de baja capacidad.

Los contenidos en materia seca, proteína, caseína, grasa (g/kg) y energía (MJ/kg) de la leche, aparecía afectados de manera significativa ($P < 0,05$) por el factor genotipo animal, deduciéndose valores medios mayores en los animales de alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína, efecto que se detectaba igualmente para el contenido en lactosa a $P = 0,05$.

En la Tabla 14 se presentan los valores medios de producción y composición de la leche, correspondientes al día siguiente al que terminaron los ensayos de balance, datos analíticos obtenidos por NIRS. Para el caso del rendimiento de la fracción α_{S1} -caseína (g/día) se dedujo un efecto principal significativo ($P < 0,05$) del factor genotipo, efecto indicativo de que el valor medio correspondiente a los animales de alta resultaba mayor que el correspondiente a los de baja. Además, y tanto para el rendimiento de α_{S1} -caseína, como del resto de componentes considerados, excepto la grasa, así como para la producción de leche (g/día), se detectaba una interacción significativa entre factores ($P < 0,05$), que indicaba como para el caso de la α_{S1} -caseína, el efecto del genotipo se debía a lo que sucedía bajo consumo de la D1, Para la D2 y, si bien el valor medio correspondiente a los animales de alta resultaba mayor que el de los de baja, la diferencia no alcanzaba significación estadística ($P > 0,05$) (Gráfica 25). Al mismo tiempo, y a pesar de no detectarse un efecto significativo del factor dieta ($P > 0,05$), para los animales de baja capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína, el valor medio correspondiente a la D2 resultaba mayor que el alcanzado bajo consumo de la D1. Para los rendimientos de materia seca, proteína, caseína, α_{S2} -caseína y lactosa, la interacción señalada indicaba igualmente, que, a pesar de no detectarse efecto principal significativo ($P > 0,05$) de la dieta, los valores medios correspondientes a los animales de baja capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína, bajo consumo de D2, resultaban mayores que los alcanzados bajo consumo de D1 (Gráficas 26, 27, 28, 29 y 30). Para estos mismos parámetros, las interacciones que

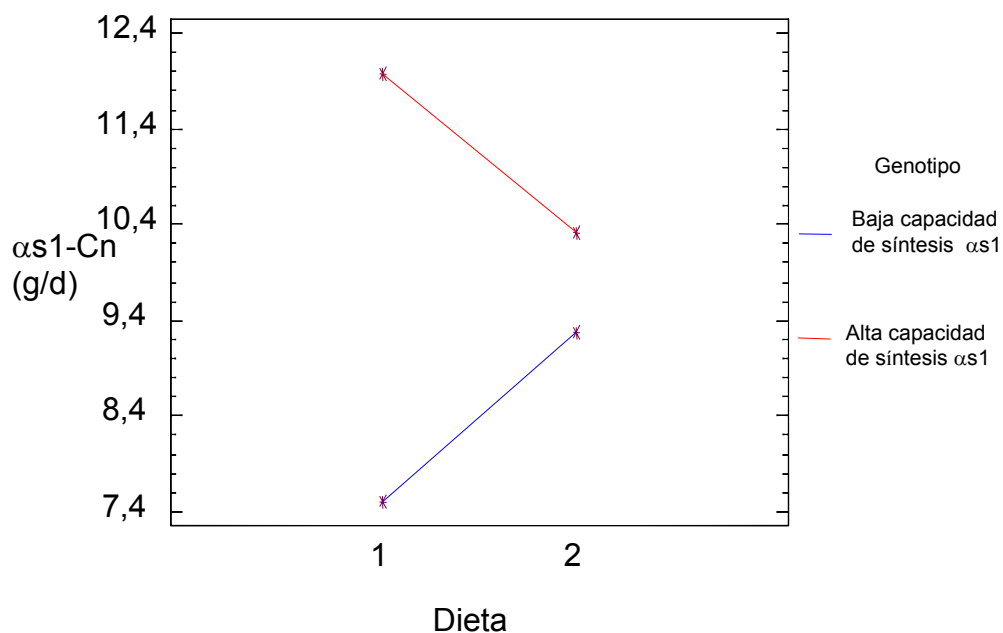
Tabla 14: Producción y composición de la leche. Efecto del genotipo y dieta administrada. Final de ensayo de balance.

Genotipo ²	Dieta ¹				DER	Nivel de significación		
	1		2			Efecto Dieta (D)	Efecto Genotipo (G)	DxG
	Baja	Alta	Baja	Alta				
Leche, g/día	1116,7	1253,8	1445,8	1097,3	247,10	NS	NS	**
Materia seca g/día	144,9	174,8	193,0	159,0	38,16	NS	NS	**
Proteína g/día	39,9	51,0	52,5	45,4	11,15	NS	NS	**
Caseína g/día	32,3	40,5	43,3	36,4	9,40	NS	NS	**
α_{S1} -caseína g/día	7,5	12,0	9,3	10,3	1,86	NS	***	**
α_{S2} -caseína g/día	3,8	5,1	5,0	4,1	1,20	NS	NS	**
Grasa g/día	53,8	68,0	73,2	64,7	20,45	NS	NS	NS
Lactosa g/día	54,2	61,8	70,0	53,0	12,45	NS	NS	**
Materia seca, g/Kg	130,5	138,8	132,8	144,6	8,99	NS	***	NS
Proteína, g/Kg	35,9	40,7	36,1	41,3	4,14	NS	***	NS
Caseína, g/Kg	29,1	32,4	29,8	33,1	3,78	NS	**	NS
α_{S1} -caseína g/Kg	6,7	9,6	6,4	9,6	0,97	NS	***	NS
α_{S2} -caseína g/Kg	3,4	4,0	3,5	3,8	0,63	NS	*	NS
Grasa g/Kg	48,9	53,4	50,0	58,2	9,72	NS	*	NS
Lactosa g/Kg	48,6	49,2	48,3	48,4	2,02	NS	NS	NS

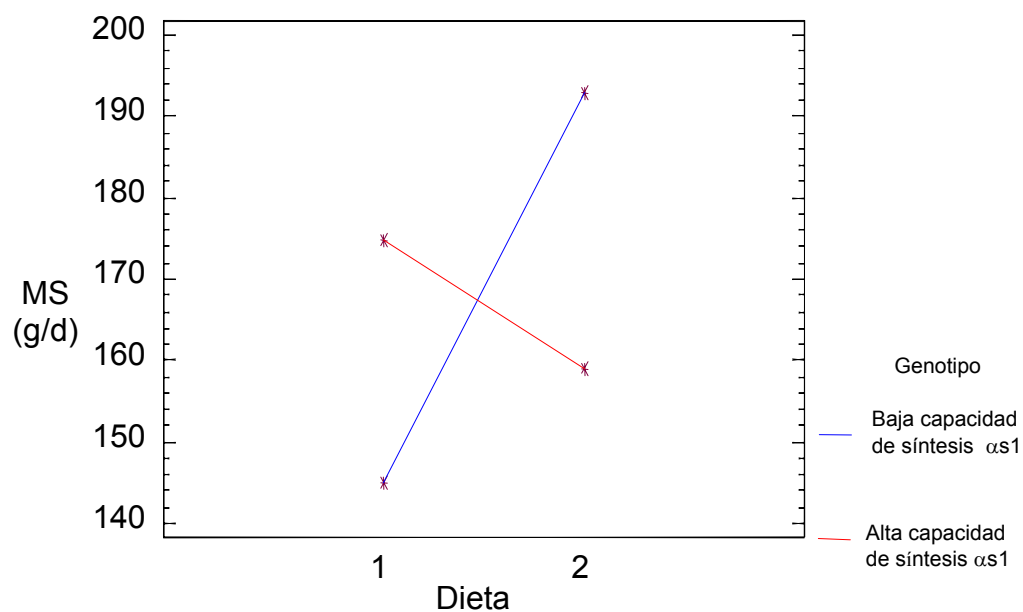
¹Dieta 1 y 2 con aproximadamente 14 y 18% de proteína bruta, respectivamente. ²Genotipo de baja y alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína, respectivamente.
 DER: desviación estándar residual; NS: no significativo; *: p<0.05; **: p<0.01; ***: p<0.001.

analizamos indicaban que, si bien no se detectaba un efecto significativo del factor genotipo animal ($P>0,05$), los valores medios conseguidos bajo consumo de la D1 por los animales de alta, resultaban mayores que los correspondientes a los de baja. Estos dos últimos aspectos se detectaban también para el rendimiento de la grasa, a un nivel de $p=0,08$ (Gráfica 31)

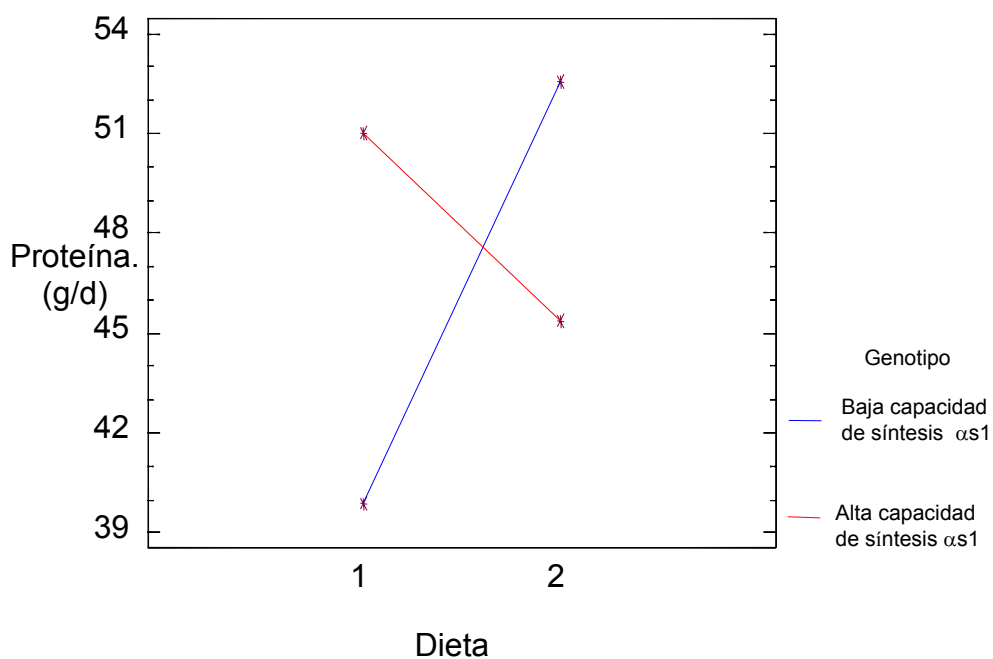
Grafica 25: Representación gráfica de la interacción detectada entre factores (dieta y genotipo) respecto del rendimiento en α_{S1} -caseína (α_{S1} -Cn). Cantidades expresadas en g/día.



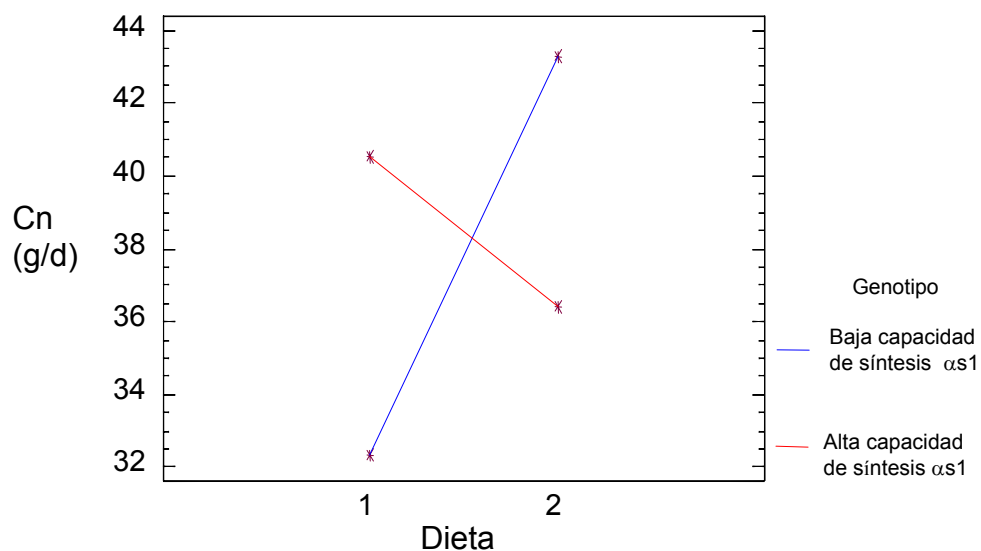
Gráfica 26: Representación gráfica de la interacción detectada entre factores (dieta y genotipo) respecto del rendimiento de materia seca (MS). Cantidades expresadas en g/día.



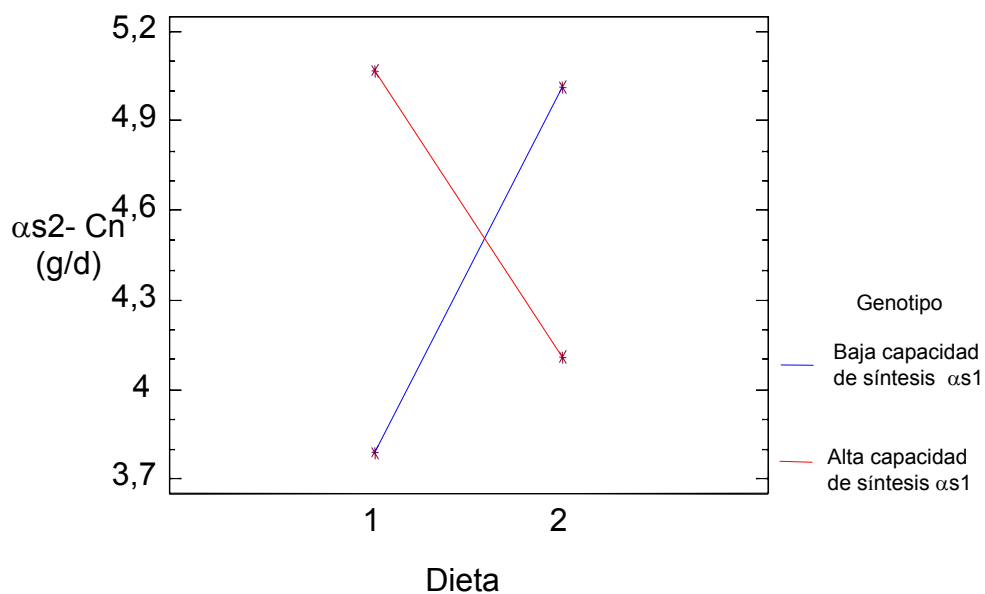
Gráfica 27: Representación gráfica de la interacción detectada entre factores (dieta y genotipo) respecto del rendimiento en proteína. Cantidades expresadas en g/día.



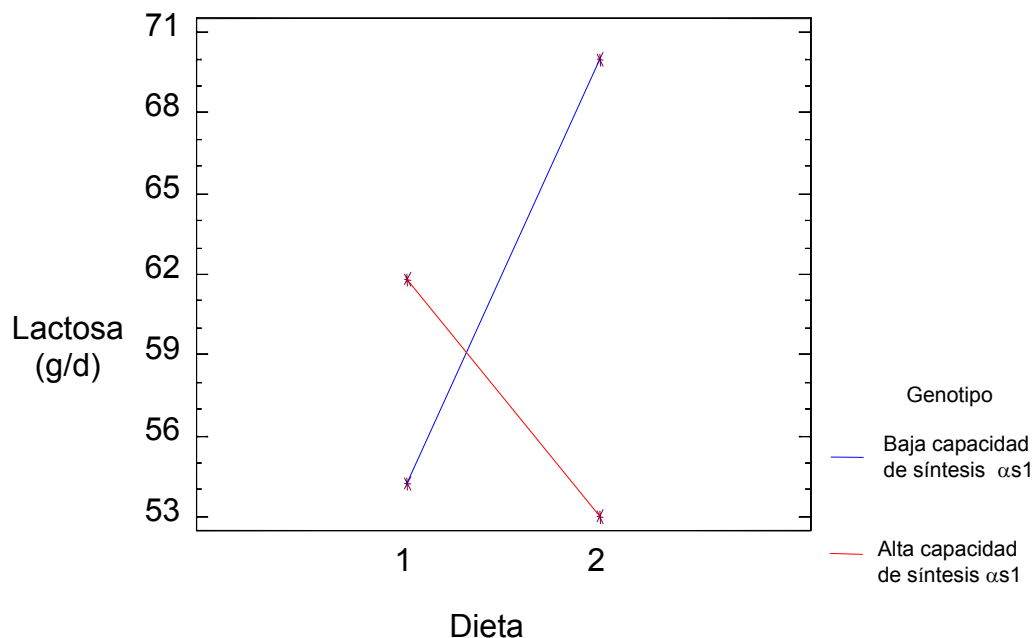
Gráfica 28: Representación gráfica de la interacción detectada entre factores (dieta y genotipo) respecto del rendimiento en caseína (Cn.). Cantidades expresadas en g/día.



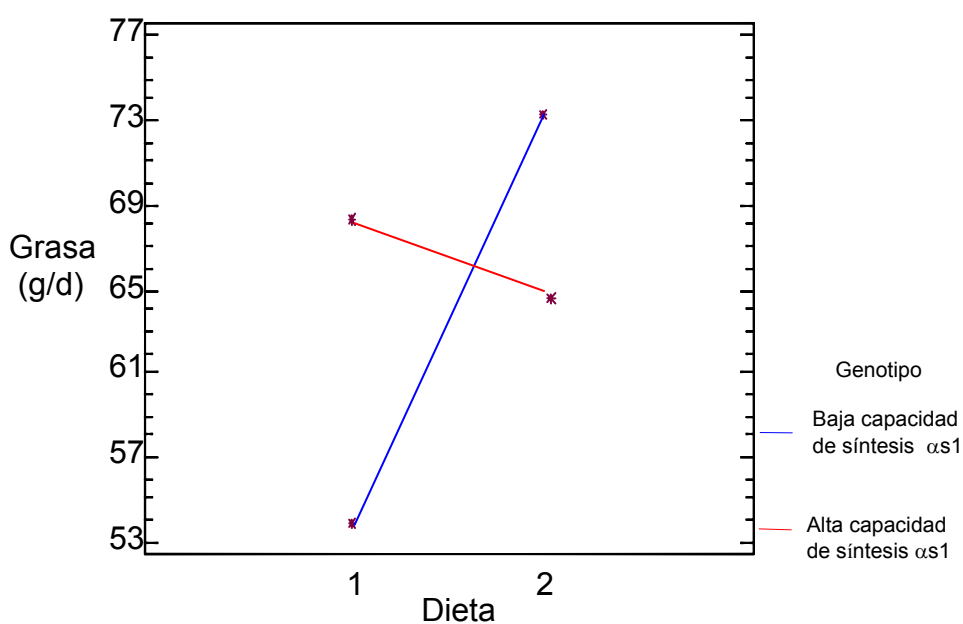
Gráfica 29: Representación gráfica de la interacción detectada entre factores (dieta y genotipo) respecto del rendimiento en α_{s2} -caseína (α_{s2} -Cn.). Cantidades expresado en g/día.



Gráfica 30: Representación gráfica de la interacción detectada entre factores (dieta y genotipo) respecto del rendimiento en lactosa. Cantidades expresadas en g/día.



Gráfica 30: Representación gráfica de la interacción detectada entre factores (dieta y genotipo) respecto del rendimiento en grasa. Cantidades expresadas en g/día.



Finalmente, los contenidos en materia seca, proteína, caseína, α_{S1} -caseína, α_{S2} -caseína y grasa (g/Kg) aparecían afectados de manera significativa ($p < 0,05$) por el genotipo, deduciéndose valores medios mayores para los animales de alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína.

Con el fin de poner mas de manifiesto los cambios que dentro de una misma dieta o grupo genético tienen lugar en cuanto a la producción de leche y rendimiento de sus distintos componentes y para las concentraciones de estos últimos, en las Tablas 15, 16, 17 y 18 se presentan las diferencias detectadas correspondientes a los datos obtenidos por análisis químico y calorimétrico.

Según lo recogido en la Tabla 15, se observa cómo bajo consumo de la D1, los animales de alta capacidad de síntesis muestran, frente a los de baja, una productividad sensiblemente más alta, Al mismo tiempo, bajo consumo de la D2, los animales de alta no manifiestan frente a los de baja una mayor capacidad productiva. Por el contrario, se detecta una bajada en la producción de leche así como en los rendimientos de sus distintos componentes, si bien estas diferencias no resultaban, en general, significativas, Los valores recogidos en la Tabla 16 muestran igualmente cómo al cambiar de la D1 a la D2, los animales de alta no ponen de manifiesto una mayor capacidad productiva. Por el contrario, los de baja experimentan una sensible mejora. En relación con la concentración en leche de sus distintos componentes, la Tabla 17 pone de manifiesto cómo los valores correspondientes a los animales de alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína resultan sensiblemente mas altos, tanto bajo consumo de la D1 como de la D2, resultando en éste último caso las diferencias aún mayores,

Tabla 15: Diferencias existentes dentro de cada dieta, entre los valores de producción de leche (g/día) y rendimiento de sus diferentes componentes (g/día o MJ/día), según grupo genético¹

Dieta	Diferencias entre grupos genéticos	
	D1	D2
Leche	+14,60	-16,10
Materia seca	+21,83	-7,50
Proteína	+23,03	-4,87
Caseína	+25,17	-3,77
Grasa	+24,34	-3,44
Minerales	+13,64	-16,67
Lactosa	+19,17	-12,75
Energía	+26,23	-11,18

¹Los valores incluidos son: $[(\bar{X}_{GA} - \bar{X}_{GB}) / \bar{X}_{GB}] \times 100$

GA: Grupo de animales de alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína; GB: Grupo de animales de baja capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína

Tabla 16: Diferencias existentes dentro de cada grupo genético, entre los valores de producción de leche (g/día) y rendimientos de sus diferentes componentes (g/día y MJ/día), según dieta consumida¹

Genotipo	Diferencias entre dietas	
	GB	GA
Leche	+31,50	-3,86
Materia seca	+28,50	-2,43
Proteína	+26,97	-1,83
Caseína	+25,17	-1,65
Grasa	+30,71	1,51
Minerales	+29,55	-5,00
Lactosa	+27,08	-6,97
Energía	+20,78	-15,02

¹Los valores incluidos son: $[(\bar{X}_{D2} - \bar{X}_{D1}) / \bar{X}_{D1}] \times 100$

GA: Grupo de animales de alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína; GB: Grupo de animales de baja capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína

Tabla 17: Diferencias existentes dentro de cada dieta entre los valores de composición de la leche (g/Kg o MJ/Kg), según grupo genético¹.

Dieta	Diferencias entre grupos genéticos	
	D1	D2
Materia seca	+6,32	+10,24
Proteína	+7,84	+14,71
Caseína	+9,23	+16,94
Grasa	+8,58	+15,16
Minerales	--	--
Lactosa	+3,97	+3,88
Energía	+4,93	

¹Los valores incluidos son: $[(\bar{X}_{GA} - \bar{X}_{GB}) / \bar{X}_{GB}] \times 100$

GA: Grupo de animales de alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína; GB: Grupo de animales de baja capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína

Tabla 18: Diferencias existentes dentro de cada grupo genético entre los valores de composición de leche (g/Kg o MJ/Kg), según dieta consumida¹.

Genotipo	Diferencias entre dietas	
	GB	GA
Materia seca	-2.26	+1.34
Proteína	-3.45	2.62
Caseína	-4.62	2.11
Grasa	-0.63	+5.39
Minerales	-1.27	-1.28
Lactosa	-3.31	-3.40
Energía	-4.06	+0.28

¹Los valores incluidos son: $[(\bar{X}_{D2} - \bar{X}_{D1}) / \bar{X}_{D1}] \times 100$

GA: Grupo de animales de alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína; GB: Grupo de animales de baja capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína

si bien este cambio no adquiriría significación estadística. Finalmente, la Tabla 18 muestra cómo la composición de la leche tanto para los animales de baja como de alta, resulta sin grandes diferencias al pasar de la D1 a la D2. Los animales de baja producen más leche, resultando ésta, de manera lógica, más diluida. Los de alta producen algo menos, resultando, por ello, algo más concentrada.

En relación con el efecto del genotipo sobre la cantidad de leche producida, tenemos que indicar cómo la información disponible resulta algo contradictoria pues, mientras que algunos autores no encuentran al respecto un efecto significativo (Mahé y col., 1993; Schmidely y col., 2002), otros autores detectan mayores producciones en los animales de baja (Barbieri y col., 1995). En opinión de Schmidely y colaboradores (2002), no resulta lógico suponer que en este sentido puedan existir diferencias entre genotipos. De acuerdo con la información comentada y teniendo en cuenta lo obtenido en nuestro estudio, podría decirse que lo que sucede es que dicha producción no depende exclusivamente de factores genéticos, sino también del tipo de dieta en cada caso consumida. Si como Morand-Fehr y colaboradores (2000) informan, en la especie caprina, al aumentarse el nivel proteico de la dieta, generalmente se consigue una mayor producción de leche con una igual o incluso algo más baja concentración proteica, lo que sucede en los animales de baja al cambiar de D1 a D2, resultando totalmente de acuerdo con lo que exponen estos autores. Frente a esto, en los de alta capacidad se produce una misma cantidad de leche, con una igual concentración proteica. Sin embargo, considerando qué ocurre bajo consumo de la D2, los animales de alta muestran frente a los de baja una menor producción de leche, alcanzando ésta una mayor

concentración de proteína, aspecto por el que se caracterizan estos animales.

Los resultados obtenidos en relación con el efecto del genotipo sobre la concentración de los principales componentes, (materia seca, proteína, caseína, grasa y energía), valores que resultan mayores para el caso de la leche producida por los animales de alta capacidad de síntesis, podemos comentar que éste es un aspecto de sobra conocido y establecido en distintas razas (Mahé y col., 1994; Trujillo y col., 1998; Angulo y col., 2002; Schmidely y col., 2002). Respecto a la asociación de la α_{S1} -caseína, y el contenido en grasa de la leche, Leroux y colaboradores (2004) opinan que no se debe a diferencias en la expresión de las enzimas clave implicadas en la lipogénesis, sino que podría estar ligado a la expresión de algunos genes que codifican las proteínas de la membrana de los glóbulos de grasa.

Sin duda, la información que de este estudio se deduce en relación con los rendimientos de cada uno de los componentes de la leche parecen ser los más ilustrativos. Las cantidades de materia seca, proteína, caseína, α_{S1} -caseína y α_{S2} -caseína, grasa y lactosa producidas diariamente, se mostraban dependientes de los dos factores implicados de la manera siguiente: bajo consumo de la D1, los animales más productivos resultaban ser los de alta, lo que dejaba de suceder bajo consumo de la D2. Al mismo tiempo, los animales de baja mostraban una mayor capacidad productiva al pasar del consumo de la D1 a la D2, lo que no sucedía en los animales de alta. Estos resultados podrían compararse con los obtenidos por Schmidely y colaboradores (2002), autores que utilizan individuos de raza Alpina y

Saenen, tanto de alta como de baja capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína, y que, como en nuestro caso, eran alimentados con dietas diferentes en cuanto a su contenido proteico, Sin embargo, los datos publicados se refieren a valores medios correspondientes a cada genotipo, independientemente del tipo de dieta, o a cada dieta, independientemente del genotipo.

Sobre las causas que determinan los resultados aquí obtenidos en relación con los rendimientos de los distintos componentes, debemos recordar los resultados discutidos sobre la capacidad de ingesta y de utilización metabólica del nitrógeno, de los que se deducía que los individuos de alta capacidad mostraban bajo consumo de la D1 una mayor ingesta por unidad de peso metabólico, junto a una mejor utilización metabólica del nitrógeno disponible para la producción de leche, aspectos que prácticamente desaparecía bajo consumo de la D2. Por lo tanto, esa mayor ingesta y utilización del nitrógeno parece depender del nivel proteico de la dieta, resultando estar el más alto de los niveles empleados por nosotros, más o menos situado en el límite correspondiente

La información referente a los rendimientos de los distintos componentes resulta, a nuestro entender, el único argumento con el que se podría discriminar sobre el empleo de bien distintas variantes genéticas y/o tipo de dieta, con objeto todo ello de obtener una óptima producción, para lo que se tendría que tener en cuenta también los costos implicados.

Finalmente, queremos comentar que independientemente de la metodología empleada para la determinación de la composición de las muestras de leche, los efectos detectados se deducían lógicamente

semejantes. Sin embargo, los valores de algunos parámetros aparecían algo diferentes, según se refieran a datos obtenidos por análisis químicos o por NIRS, hecho que se debería a que, además de tratarse de muestras distintas, son datos procedentes de diferentes metodologías.

Análisis multivariante de los datos de composición de la leche, según dieta y genotipo animal.

Lo mismo que hemos realizado en otros capítulos de esta memoria, con el fin de establecer el patrón de relación existente entre los distintos valores de composición de la leche según genotipo y dieta consumida, se llevó a cabo un análisis multivariante factorial, utilizándose para ello los datos obtenidos por tecnología NIRS, por ser éstos los que presentaban los contenidos de las fracciones de la α_S -caseína. El método de extracción de factores utilizado fue el de componentes principales y el de rotación elegido, el Varimax, extrayéndose los tres primeros factores que explicaban un 43,72, 18,56 y 11,81% de la varianza total.

En la Tabla 19 se presenta la matriz factorial obtenida, así como la proporción de la varianza explicada por cada factor. El factor 1 quedaba representado especialmente por la concentración de proteína, junto a la cantidad de caseína, α_{S1} - y α_{S2} -caseína, variables que mostraban una relación significativa con la variable genotipo. Por tanto, este factor podría definirse como el contenido en las distintas fracciones proteicas determinadas por el genotipo animal. El siguiente factor representaba a la grasa junto a la materia seca, variables que mostraban una leve relación con

Tabla 19: Valores de composición de leche (g/Kg) por NIRS según dieta consumida y genotipo animal. Resultados del análisis multivariante factorial realizado.

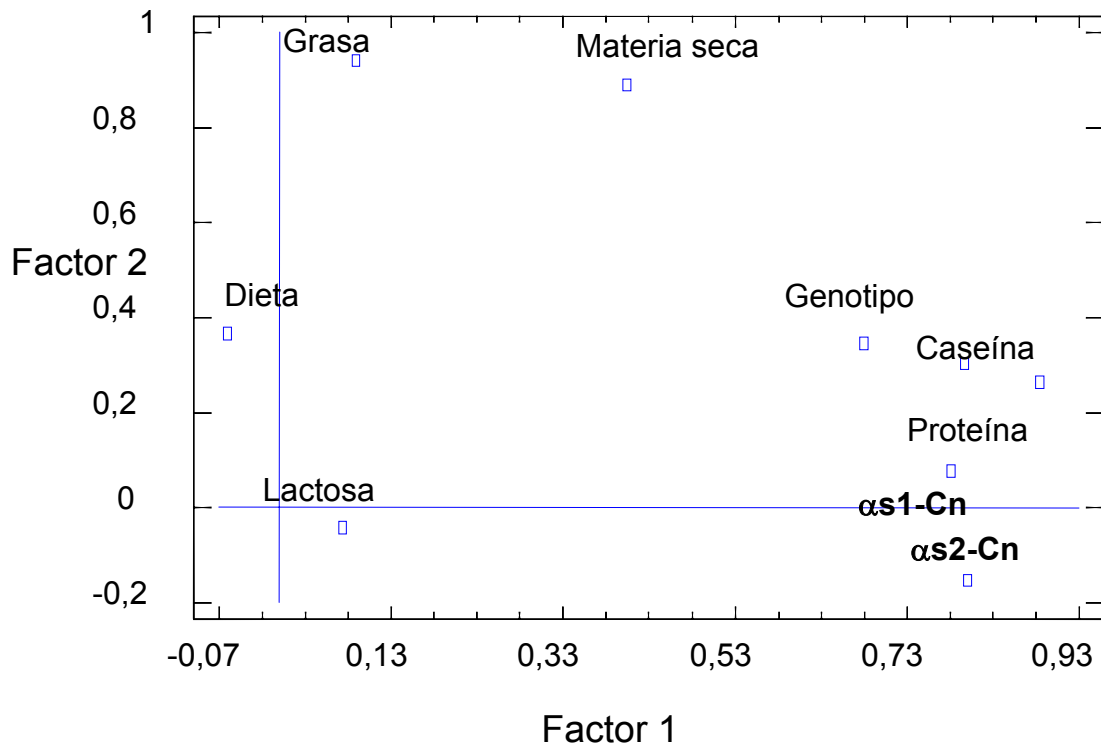
Variable	Matriz Factorial		
	Factor 1	Factor 2	Factor3
Genotipo	0,6806	0,3440	0,3156
Dieta	-0,0607	0,3655	-0,2840
α_{S1} -caseína	0,7826	0,0752	0,3111
α_{S2} -caseína	0,8013	-0,1540	0,1789
Caseína	0,7977	0,3003	-0,4144
Proteína	0,8848	0,2634	-0,2273
Grasa	0,0887	0,9414	0,0537
Materia seca	0,4038	0,8888	-0,0844
Lactosa	0,0735	-0,0433	0,8301

Factor	Autovalor	Varianza explicada	Varianza explicada acumulativa
1	3,9349	43,72	43,72
2	1,6702	18,56	62,28
3	1,0625	11,81	74,09

el genotipo y tipo de dieta, pudiéndose entonces definir como el contenido en grasa determinado tanto por el genotipo como por la dieta. Finalmente, el factor 3 quedaba representado por el contenido en lactosa, variable que, al ser determinante de la cantidad de leche, se mostraba sólo con una leve relación con el genotipo y que parece indicar cómo la cantidad de leche podría quedar, al menos en parte, determinada por el genotipo.

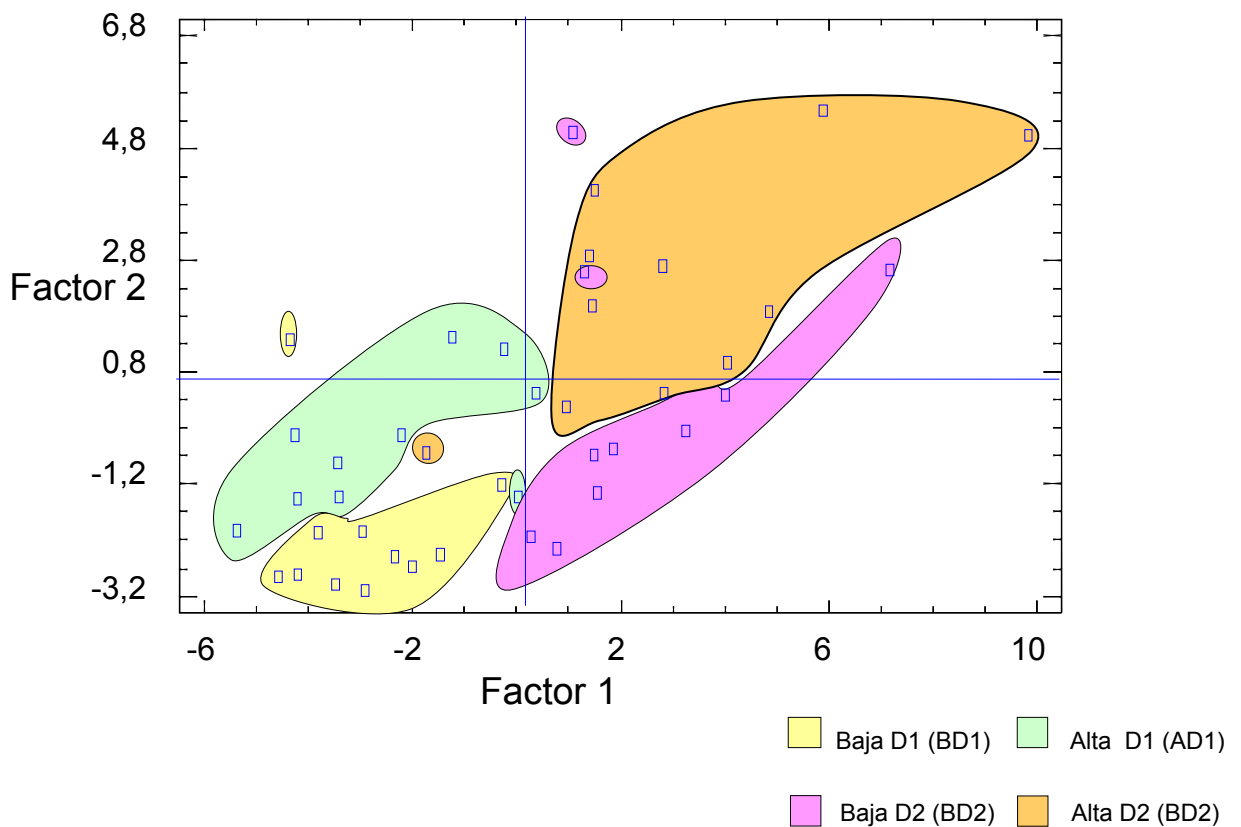
En la Gráfica 32 se representa la situación de las distintas variables respecto de los factores 1 y 2, observándose cómo la concentración en proteína y en las distintas fracciones proteicas junto a la variable genotipo, se situaba en la parte más positiva del factor 1, quedando la concentración de grasa y materia seca situadas en la parte más positiva del factor 2.

Grafica 32: Situación de las distintas variables en relación con los factores 1 y 2.



En la grafica 33 aparecen las distintas unidades experimentales según su situación respecto de los mismos factores 1 y 2, observándose cómo los individuos de alta se situaban en la parte positiva del factor 1 y los de baja, en la negativa, Además de esto, se observa cómo el factor 2 no es capaz de separar claramente a los distintos grupos según su genotipo y tipo de dieta consumida, situándose en una zona más superior especialmente las unidades correspondientes al consumo de la D2.

Grafica 33: Situación de las unidades experimentales en relación con los factores 1 y 2.



4.6.2 COMPOSICIÓN DE LA GRASA LÁCTEA. PERFIL EN ÁCIDOS GRASOS DE LA LECHE

En la Tabla 20 se presentan los porcentajes correspondientes a los distintos ácidos grasos, según genotipo y dieta consumida. El genotipo aparecía ejerciendo un efecto principal significativo ($P < 0,05$) sobre los niveles de ácido butírico ($C_{4:0}$), caproico ($C_{6:0}$), caprílico ($C_{8:0}$), cáprico ($C_{10:0}$), láurico ($C_{12:0}$) y linoleico ($C_{18:2}$), así como sobre los niveles totales de los de cadena media (C_6 - C_{14}). De acuerdo con esto, los valores medios correspondientes a los ácidos caproico, caprílico, cáprico, láurico y totales de cadena media, resultaban mayores en la grasa de la leche producida por los animales de alta capacidad de síntesis, sucediendo lo contrario en el caso del ácido butírico y linoleico, La dieta aparecía ejerciendo un efecto principal significativo ($P < 0,05$) sobre los niveles de los ácidos caprílico, cáprico, láurico, palmítico ($C_{16:0}$), esteárico ($C_{18:0}$), oleico ($C_{18:1}$), linoleico y linoleico conjugado (CLA), así como sobre la cantidad total de los de cadena media y cadena larga (más de 18 átomos de carbonos), De acuerdo con este efecto, los valores medios correspondientes a los ácidos caprílico, cáprico, láurico y palmítico resultaban mayores en la grasa de la leche producida bajo consumo de la D1, sucediendo lo contrario en el caso de los de cadena larga. Al mismo tiempo se detectaba una interacción significativa ($P < 0,05$) entre factores, para el caso de los niveles de ácido butírico y caprílico, deduciéndose que el nivel de ácido butírico resultaba mayor en los animales de baja capacidad solo bajo consumo de la D2. De igual modo, el nivel de ácido caprílico resultaba mayor bajo consumo de la D1 solo en el caso de los animales de baja capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína.

Tabla 20: Composición de la grasa láctea. Perfil en ácidos grasos (%). Efecto del genotipo y dieta administrada.

Genotipo ²	Dieta ¹				DER	Nivel de significación		
	1		2			Efecto Dieta (D)	Efecto Genotipo (G)	DxG
	Baja	Alta	Baja	Alta				
C _{4:0}	0,43	0,42	0,55	0,39	0,11	*	NS	*
C _{6:0}	1,68	1,77	1,61	1,77	0,18	*	NS	NS
C _{8:0}	2,63	2,61	2,08	2,57	0,33	*	**	*
C _{10:0}	9,73	10,12	7,43	9,21	1,46	*	**	NS
C _{12:0}	3,97	4,66	2,88	4,19	0,94	***	**	NS
C _{14:0}	9,51	10,87	9,36	9,95	1,97	NS	NS	NS
C _{14:1}	0,58	0,60	0,50	0,57	0,11	NS	NS	NS
C _{16:0}	36,69	37,27	31,36	29,32	3,44	NS	***	NS
C _{16:1}	0,56	0,41	0,47	0,46	0,18	NS	NS	NS
C _{18:0}	8,72	8,83	15,34	15,09	2,97	NS	***	NS
C _{18:1}	23,03	20,72	24,75	24,31	4,21	NS	*	NS
C _{18:2}	1,89	1,19	2,68	1,50	0,83	***	*	NS
C _{20:0}	0,14	0,07	0,13	0,11	0,09	***	*	NS
CLA	0,29	0,35	0,42	0,47	0,16	NS	*	NS
C _{20:4}	0,11	0,13	0,12	0,10	0,03	NS	NS	NS
MCT	28,10	30,62	23,86	28,25	4,18	*	*	NS
AGCL	34,18	31,28	43,44	41,58	6,40	NS	***	NS

¹Dieta 1 y 2 con aproximadamente 14 y 18% de proteína bruta, respectivamente. ²Genotipo de baja y alta capacidad de síntesis de α s1-caseína, respectivamente.

DER: desviación estándar residual; NS: no significativo; *: p<0.05; **: p<0.01; ***: p<0.001.

CLA: ácido linoleico conjugado; MCT: triglicéridos de cadena media; AGCL: ácidos grasos de cadena larga.

De manera general podemos decir que los efectos aquí detectados según genotipo están de acuerdo con los indicados por distintos autores. Sauvant y colaboradores (1993) comentan que bajo un balance energético positivo, los niveles de ácidos grasos de cadena corta y media (C₄- C₁₄), resultan mayores en la grasa de la leche procedente de animales de alta capacidad. Del mismo modo, Lamberet y colaboradores (1996) indican cómo la proporción de ácidos grasos de cadena corta resulta normalmente mayor en el caso de la grasa de la leche de animales de alta. Al mismo tiempo, cabe destacar cómo los niveles de ácidos grasos de cadena larga, aquellos que aparecen en la leche procedentes de la dieta o reflejando una movilización lipídica a nivel corporal, no mostraban diferencias algunas según genotipo, resultado que indicaría la no existencia de dicha movilización.

El distinto perfil en ácidos grasos detectado según genotipo resulta difícil de explicar ya que cómo indica Leroux y colaboradores (2004), la asociación entre el polimorfismo de la α_{S1} -caseína y el contenido en grasa de la leche, no parece deberse a diferencias en la expresión de las enzimas claves asociadas a la lipogénesis, Sin embargo, si aunque estas enzimas principales no tuviesen esa implicación, pero hubiera otras relacionadas con la expresión de alguna proteína que interviniera regulando la lipogénesis (síntesis de novo de ácidos grasos) resultaría lógico que, junto con la producción de una mayor cantidad de grasa láctea, ésta presentara niveles más altos de ácidos grasos de cadena corta y media, es decir, los que se producen en la síntesis de novo, aspecto actualmente en estudio (Leroux y col., 2004).

Los efectos detectados según tipo de dieta consumida resultan ser reflejo de la composición lipídica de alguno de los componentes de la dieta.

Así, la grasa de la leche obtenida bajo consumo de la D1, dieta que, frente a la D2, incluía cantidades mayores de avena, maíz y grasa bypass, presentaba unos niveles mayores de ácidos grasos de cadena media y ácido palmítico. Por el contrario, la grasa de la leche producida bajo el consumo de la D2 mostraba mayores niveles de ácido esteárico, oleico y linoleico, presentes todos ellos en la semilla de algodón. Lo mismo sucedía para el caso del ácido linoleico conjugado, el que se formaría como consecuencia de la existencia de un mayor nivel de sus principales precursores. Todo esto determinaba que la cantidad total de ácidos grasos de cadena larga, alcanzara en esta grasa, una proporción más alta, y que, en consecuencia, existiera una menor proporción de los ácidos grasos de cadena media.

4.7. CALIDAD TECNOLÓGICA DE LA LECHE PRODUCIDA

Cuando se indica cómo el contenido en caseína, y más concretamente de α_{S1} -caseína de la leche de cabra, resulta dependiente del polimorfismo asociado al gen que codifica dicha fracción proteica, igualmente se comenta cómo los distintos grupos genético en cuestión influyen en las propiedades tecnológicas de la leche, dando lugar lo genotipos de más alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína a un mayor rendimiento de cuajada, una cuajada más firme, así como un mayor rendimiento quesero (Grosclaude y col., 1994; Haenlein, 1996).

La calidad tecnológica de las muestras de leche recogidas al día siguiente de terminación de los ensayos de balance, se analizó por medio de estudio de elaboración experimental de queso, según receta de queso madurado tradicional de Málaga (Ares y col., 1996) y por coagulometría medida en espectro del infrarrojo cercano, empleando para ello un coagulómetro Optigraph.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 21, en la que se recogen los rendimientos queseros (en %), el tiempo de coagulación (en minutos) y la firmeza de la cuajada (en voltios).

Tanto el rendimiento quesero 1 como el rendimiento quesero 2, aparecían afectados de manera significativa ($P < 0.05$) por el genotipo. Del mismo modo, la firmeza de la cuajada AR y A2R, resultaba diferente ($P < 0.05$) según grupo genético, mientras que el tiempo de coagulación (R), no se encuentra afectado ni por la dieta ni por el genotipo ($P > 0,05$).

Tabla 21: Rendimiento quesero 1 y 2 (%), tiempo de coagulación (minutos) y firmeza de cuajada (en voltios), según dieta y genotipo. Análisis de la varianza correspondiente al factorial: 2 (niveles de proteína en la dieta) x2 (genética animal).

Genotipo ²	Dieta ¹				DER	Nivel de significación		
	1		2			Efecto Dieta (D)	Efecto Genotipo (G)	DxG
	Baja	Alta	Baja	Alta				
Rendimiento quesero 1	16,23	19,34	15,30	19,01	3,455	NS	**	NS
Rendimiento quesero 2	10,14	12,03	9,53	12,04	2,11	NS	**	NS
R	11,229	12,011	8,529	11,549	2,501	NS	NS	NS
AR	5,328	9,097	3,123	10,262	4,512	NS	*	NS
A2R	5,412	11,676	3,348	9,666	3,617	NS	**	NS

¹ Dieta 1 y 2 con, aproximadamente, un 14 y 18% de proteína bruta, respectivamente. ² Genotipo de baja y alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína en leche

DER: desviación estándar residual; NS: no significativo; *: P<0,05; **P<0,01

Rendimiento 1 y 2: peso de la masa de queso tras el segundo prensado (P1) o peso tras los 21 días de maduración (P2), respectivamente, partido por el peso de la leche de partida, expresado en %; R: tiempo de coagulación en minutos; AR: firmeza del coágulo en tiempo a tiempo=R, expresada en voltios; A2R es la firmeza de la cuajada tiempo =2R, expresadas en voltios.

El hecho de que la composición de la leche quedara claramente determinada por el genotipo, sobre todo en cuanto a lo que a su contenido en proteínas coagulables se refiere, justifica las diferencias detectadas, igualmente según genotipo, en relación con el rendimiento quesero de las muestras de leche. Delacroix-Buchet y colaboradores (1996) obtienen que el rendimiento quesero de la leche procedente de cabras AA era mayor que el rendimiento de la leche EE y esta, a su vez, mayor que la de FF.

En este mismo sentido, Clark y Sherbon (2000) no obtuvieron diferencias, aunque sí tendencias, en rendimientos, usando como grupo de trabajo cabras con al menos un alelo fuerte frente a homocigotas para el alelo nulo. En dicho estudio no se refleja si se utilizó como covarianza el recuento de células somáticas, puesto que, como recoge Angulo y colaboradores (2002), este aspecto puede enmascarar los resultados que a este nivel se podrían encontrar. En nuestro caso, si bien no se tuvo en cuenta dicho factor, las diferencias entre grupos genéticos quedaban establecidas de manera significativa, pudiendo haber resultado incluso mayores si el cofactor indicado por Angulo y colaboradores (2002) se hubiera tenido en cuenta.

En cuanto a los resultados obtenidos para el tiempo de coagulación, estos coinciden con lo deducido por Angulo y colaboradores (1998), igualmente en individuos de la raza Malagueña. Sobre la dificultad de detectar diferencias entre los grupos utilizados en cuanto a este parámetro, pensamos que podría deberse al hecho de que el grupo de baja capacidad de síntesis por nosotros utilizado, quedaba constituido por individuos cuya respuesta en este sentido, podía haber sido bastante diferente. De los 12 animales que formaban dicho grupo, nueve eran EF y tres FF, indicando Trujillo y colaboradores (1998) cómo el alelo F determina los tiempos de

coagulación más cortos y el E el más largo, correspondiendo al alelo A un tiempo intermedio.

Sánchez y colaboradores (1998), empleando un coagulómetro FormagraphO, obtienen unos valores de firmeza, medida a tiempo igual al tiempo de coagulación (K20) y a 30 minutos después del comienzo del ensayo (A30), estadísticamente diferentes entre grupos, de manera que los de alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína mostraban una firmeza mayor que los de baja. En nuestro caso, empleando un coagulómetro Optigraph, obtenemos unos resultados similares a los de Sánchez y colaboradores (1998) puesto que el valore AR por nosotros determinado, es semejante al K20 obtenido por dichos autores. En nuestro caso, y de manera lógica dado su significado, el parámetro A2R resultaba igualmente diferente entre genotipos.

RESUMEN Y CONCLUSIONES.

5. RESUMEN Y CONCLUSIONES.

Conociendo el polimorfismo genético que la especie caprina presenta, en relación con distintos grados de expresión para la síntesis de α_{S1} -caseína, aspecto determinante de la composición de la leche en cuanto a su contenido en proteína, caseína y α_{S1} -caseína, así como también, en grasa, se juzgó interesante el analizar las causas que a nivel de utilización nutritiva determinan dicho comportamiento productivo, tratándose de este modo de establecer, la posible interacción entre: nutrición-genética. Para ello se utilizaron 23 animales de raza Malagueña, pertenecientes genéticamente, bien a los grupos de alta o baja capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína, animales que fueron alimentados en base a dos dietas diferentes en cuanto a su contenido proteico, 14 y 18% de la materia seca de la dieta.

De los ensayos realizados de utilización tanto digestiva como metabólica del nitrógeno y de la energía, de producción y composición de leche así como de calidad tecnológica de la misma, ensayos en los que se analizaba el efecto ejercido tanto por el tipo de dieta como por la genética animal, se concluye:

1^a) La cantidad de materia seca ingerida por unidad de peso metabólico, resulta ser la primera de las causas determinantes del particular comportamiento productivo, llegando a alcanzar los animales de alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína, frente a los de baja, un 10,7% más de ingesta de materia seca.

2^a) La utilización digestiva de los distintos nutrientes, así como de la energía, se muestra semejante para ambos grupos genéticos, detectandose

determinados efectos del tipo de dieta en razón de su particular composición.

3ª) Según grupo genético, se deduce una distinta utilización metabólica del nitrógeno. De acuerdo con esto, los animales de alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína, alcanzan por medio de la menor excreción de N por orina, unos balances de nitrógeno y cantidades derivadas a leche, más altas. Junto a esto, bajo consumo de la D2 se consigue igualmente, un balance de nitrógeno más alto además de una mayor cantidad del mismo derivada a leche.

4ª) Respecto de la utilización metabólica del nitrógeno, los resultados en cada caso obtenidos, muestran cómo el efecto del genotipo animal se debe a lo que sucedía, especialmente, bajo consumo de la D1, y, el de la dieta, al comportamiento de los animales de baja capacidad de síntesis.

5ª) El análisis de la utilización de la energía para la producción de leche, muestra, claramente, que de modo semejante a lo indicado sobre la utilización del nitrógeno, los animales de alta derivan una mayor cantidad de energía hacia la producción de leche, como consecuencia, especialmente, de ser capaces de perder menos energía por orina, efecto debido, esencialmente, a lo que sucede bajo consumo de la D1.

6ª) De acuerdo con los resultados obtenidos respecto de la utilización metabólica tanto del nitrógeno como de la energía, junto al ya comentado en relación con la capacidad de ingesta, podría decirse que los animales de alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína poseen, frente a los de baja, una mayor capacidad de utilización metabólica del nitrógeno y de la energía

para producción de leche, regulando su ingesta voluntaria de acuerdo, al menos en parte, con dicha capacidad.

7^a) La composición de la leche producida y, en consecuencia, su calidad tecnológica, responde exactamente, a lo ya establecido, según genotipo del animal productor. Al mismo tiempo, tanto el tipo de dieta como el grupo genético animal, se muestran ejerciendo unos efectos sobre los rendimientos de los principales componentes de la leche, similares a los obtenidos en relación con las cantidades tanto de nitrógeno como de energía derivada a leche.

CONCLUSIONES GENERALES

1^a) A nivel de utilización nutritiva, la composición de la leche producida por los animales de alta capacidad de síntesis de α_{S1} -caseína se debe, junto su capacidad de ingesta, a la mejor utilización que tanto del nitrógeno como de la energía, alcanzan a nivel metabólico.

2^a) De acuerdo con las características de las dietas y animales utilizados, se infieren unos efectos de la dieta dependientes del genotipo animal y otros del genotipo animal dependientes de la dieta en cuestión. Del análisis de los cambios que respecto de la producción de nitrógeno y energía láctea tiene lugar, dentro de una misma dieta según grupo genético y dentro de un mismo grupo genético según dieta, se deducen las alternativas que resultarían más beneficiosas frente a otras que se manifiestan claramente desaconsejable.

BIBLIOGRAFÍA

6. BIBLIOGRAFÍA

- AFRC (Agricultural and Food Research Council). 1998. The Nutrition of goat. CAB. International Wallingford. Reino Unido. p. 118.
- Agnew, R.E., Yan, T., Gordon, F.J. 2002. Nutrition of the high genetic merit dairy cow. Energy metabolism studies. En: Recent developments in ruminant nutrition 4 (J. Wiseman y P.C. Garnsworthy eds.) Nottingham University Press. Reino Unido. pp. 255-282.
- Agricultural Research Council (ARC). 1980. The nutrient requirements of ruminant livestock. CAB. Slough, Reino Unido.
- Agüera, M^a P., Ares, J.L., Carrizosa, J., Urrutia, B., Falagán, A., Serradilla, J.M. 2001. Efecto del polimorfismo genético de la caseína α_{S1} sobre la composición y propiedades tecnológicas de la leche de cabra. I Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. p. 267.
- Aguilera, J.F., Prieto, C., Fonollá, J. 1990. Protein an energy metabolism of lactating Ganadita goats. *British J. Nutr.* 63: 165-175.
- Al Jassim, R.A.M., Hassan, S.A., Al Ani, A.N., Dana, T.K. 1991. Effects of undegradable protein supplementation on digestion and nitrogen balance in sheep and goats. *Small Rumin. Res.* 5: 57-63.
- Aleandri, R., Buttazzoni, L.G., Schneider, J.C., Caroli, A., Davoli, R. 1990. The effects of milk protein polymorphisms on milk components cheese producing ability. *J Daity Sci.* 73: 241-255.
- Almawi, W.Y., Melemedjian, O.K. 2002. Negative regulation of nuclear factor- κ B activation and fuction by glucocorticoids. *Journal of Molecular Endocrinology.* 28:69-78.
- Alonso de Herrera, G. 1981. Agricultura General, Edición crítica de E. Terrón, Servicio de Publicación Ministerio de Agricultura. Cap: 13 y 14. Madrid.
- Alonso, L., Fontecha, J., Lozada, L., Fraga, M.J., Juárez, M. 1999, Fatty acid composition of caprine milk: major, branched-chain and trans fatty acids. *J. Dairy Sci.* 82:878-884.

- Álvarez de Cienfuegos. 1958. Misceláneas de estudios árabes y hebraicos. 7, 85.
- Andrighetto, I., Bailoni, L., 1994. Effect of different animal protein sources on digestive and metabolic parameters and milk production in dairy goats. *Small. Rumin. Res.* 13: 127-132.
- Angulo, C., Amills, M., Ares, J.L., Jiménez, I. Jordana, J. Sanchez, A., Serradilla, J.M. 1996. Genetic of casein and its relation with yield, composition and cheese making in Spanish breeds of goats. 47th Annual Meeting of European Association for Animal Production. Lillehammer (Noruega) p.209
- Angulo, C., Ares, J.L., Amills, M., Sánchez, A., Ilahi, H., Serradilla, J.M. 2002. Effect of α_{S1} -casein polymorphism on dairy performances of Malagueña goats. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. Montpellier, Francia. pp. 71-74
- Angulo, C., Ares, J.L., Amills, M., Sánchez, A., Ilahi, H., Serradilla, J.M. 2002. Effect of α_{S1} -Casein Polymorphism on Dairy Performances of Malagueña Goats. pp. 71-74.
- Angulo, C., Ares, J.L., Amills, M., Sánchez, A., Ilahi, H., Serradilla, J.M. 2002. Effect of α_{S1} -casein polymorphism on dairy performances of Malagueña goats. *Proc. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production.* pp. 71-74.
- Angulo, C., Díaz Carrillo, E., Muñoz, A., Alonso, A., Jiménez, L., Serradilla, J.M. 1994. Effect of electrophoretic goat's κ -casein polymorphism on milk yield and main components yield. V World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Guelph. 19: 333-336.
- Angulo, C., Díaz-Carrillo, E., Muñoz, A., Alonso, A. Jiménez, I., Serradilla, J.M. 1994. Effects of electrophoretic goat's κ -casein polymorphisms on milk yield and main components yield. 5th World Congress of Genetic Applied to Livestock Production. Guelphes (Canada). Vol. 19.pp: 333-336.
- Anónimo. Siglo XI. Libro de las utilidades de los animals. Edición traducida por Carmen Ruiz Bravovillsante. 1980. Fundación Universitaria española. Madrid.

- ARC (Agricultural Research Council). 1980. The nutrient requirements of ruminant livestock. CAB. Slough. Reino Unido.
- Ares, J.L. 1995. Prospección del sector quesero en Andalucía: Tecnologías tradicionales y aspectos socioeconómicos. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba.
- Ares, J.L.; Ortega, J.M.; Barriga, D.; Jiménez, L. 1996. Transferencia de tecnologías para la elaboración de quesos madurados de cabra en la provincia de Málaga. Publicaciones de la Consejería de Agricultura y Ganadería. Junta de Castilla y León, p.39-43.
- Aschaffenburg, R., Drewry, J. 1957. Genetics of the β -lactoglobulins of cow's milk. *Nature*. 180: 376-378.
- Association of Official Analytical Chemists. 1990. Official methods of analysis, 15th edition. AOAC, Washington, DC. EE.UU.
- Badamana, M.S., Sutton, J.D. 1992. Hay intake milk production and rumen fermentation in British Saanen goats given concentrates varying widely in protein concentration. *Anim. Prod.* 54: 395-403.
- Badamana, M.S., Sutton, J.D. 1992. Hay intake, milk production and rumen fermentation in British Saanen goats given concentrates varying widely in protein concentration. *Anim. Prod.* 54: 395-403.
- Badamana, M.S., Sutton, J.D., Oldham, J.D. Mavlem, A. 1990. The effect of amount of protein in the concentrates on hay intake and rate of passage, diet digestibility and milk production in British Saanen goats. *Animal Prod.* 5: 333-342.
- Badamana, M.S., Sutton, J.D., Oldham, J.D., Mowlem, A. 1990. The effect of amount of protein in the concentrates on hay intake and rate of passage, diet digestibility and milk production in British Seamen goats. *Anim. Prod.* 51: 333-342.
- Barbieri, E., Manfredi, E., Elsen, J.M., Ricordeau, G., Bouillon, J., Grosclaude, F., Mahé, M.F., Bibé, B. 1995, Effects of the α -s1 casein locus on dairy performance and genetic parameters of Alpine goats. *Gen. Sel. Evol.* 27: 437-450.

- Barbieri, M.E., Manfredi, F., Elsen, J.M., Ricordeau, G., Bouillon, J., Grosclaude, F. 1995. Influence du locus de la caséine α_{S1} sur les performances laitières et les paramètres génétiques de chèvres de race Alpine. *Gene. Sel. Evol.* 27: 437-450.
- Barrionuevo, M., Alférez, M.J.M., López Aliaga, I., Sanz Sampelayo, M.R., Campos M.S. 2002. Beneficial effect of goat milk on nutritive utilization of iron and copper in malabsorption syndrome. *J. Dairy Sci.* 85: 657-664.
- Bava, L., Rapetti, L., Crovetto, G.M., Tamburini, A., Sandrucci, A., Galassi, G., Succi, G. 2001. Effects of a nonforrage diet on milk production, energy and nitrogen metabolism in dairy goats throughout lactation. *J. Dairy Sci.* 84: 2450-2459.
- Bevilacqua, C., Ferranti, P., Garro, G., Veltri, C., Lagonigro, R., Leroux, C., Pietrolà, E., Addeo, F., Pilla, F., Chianesse, L., Martin, P. 2002. Interallelic recombination is probable responsible for the occurrence of a new α_{S1} -casein variant found in the goat species. *Eur. J. Biochem.* 269:1293-1303.
- Bligh, J., Clndsley, J.L., Thomson, J.C., McDonald, A.G. 1976. *Environmental physiology of animals.* Blackwell Scientific Publication. Londres. p: 427.
- Bligh, J., Harthoorn, A.M. 1965. Continuous radiotelemetric records of the deep body temperature of some unrestrained African mammals under near-natural conditions. *J. Physiol.* 176:145-148.
- Bocquier, F., Rouel, J., Domalain, A., Chilliard, Y. 2000. Effect of concentrate/dehydrated alfalfa ratio on milk yield and composition in Alpine dairy goats fed hay based diets. *Options Méditerranéennes.* 52:99-101.
- Bondi, A.A., 1989. *Nutrición Animal.* Ed. Acrabia. Zaragoza, pp 441-447
- Boniol, C., Brignon, G., Mahé, M.F., Printz, C. 1994. Biochemical and genetic analysis of variant C of Caprine Alpha-s2 casein (*Capra Hircus*). *Anim. Genet.* 25: 173-177.

- Borden, C.E., Plaut, K., Maple, R.L., Caler, W. 1995. Negative effects of a high level of nutrient on mammary gland development of prepubertal goats. *J. Dairy Sci.* 78: 1751-1733.
- Boulanger, A., Grosclaude, F., Mahé, M.F. 1984. Polymorphisme des caséines α -s1 et α -s2 de la chèvre. *Génét. Sél. Evol.* 16: 157-175.
- Bovenhuis, H., Vam Arendonk, J.A.M., Korver, S. 1992. Associations between milk protein polymorphisms and milk production traits. *J. Dairy Sci.* 72: 2549-2559.
- Boza J. 1993. Planificación ganadera del sureste ibérico. En: *Nutrición de Rumiantes en Zonas Áridas y de Montaña y en relación con la Conservación del Medio Natural*, Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca, Colección Congresos y Jornadas. 29/93. pp. 59-66.
- Boza J., Silva, J.H., Azocar, P. 1985. Recursos alimenticios en zonas áridas, *Simp, Int. Sobre Explotación caprina en zonas áridas*. Servicio de Publicaciones Cabildo de Fuertventura, 191-197
- Boza López, J., Sanz Sampelayo, M.R. 1997. Aspectos nutricionales de la leche de cabra. *A.R.A.C.V.A.O.* 10: 109-139.
- Boza, J. 1983. Requerimientos hídricos de la cabra. *AYMA.* 24:3-4.
- Boza, J. 1991. Papel de los ruminantes en los ecosistemas áridos. En: *Nutrición de rumiantes en zonas áridas y de montaña* (F.F. Bermudez, ed.) CSIC. pp. 7-15.
- Boza, J. 1998. Efecto del nivel alimentario en la esfera reproductiva de la oveja y de la cabra. En: *Reproducción y mejora de pequeños rumiantes*. Servicio de Publicaciones Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Sevilla. pp. 285-295.
- Boza, J. 2002. Enzimas acidificantes, aceites esenciales y otros aditivos en nutrición animal. *Curso de Nutrición Animal*. Universidad Internacional de Andalucía. Antonio Machado. Baeza.
- Boza, J. 2005. Alimentación de la cabra de aptitud láctica. *Curso Nutrición de Rumiantes*. CIHEAM. Zaragoza.

- Boza, J. 2005b. Papel del ganado caprino en las zonas dsfavorecidas, XXX Jornadas Científicas Nacionales y IX Internacionales de la SEOC. Granada.
- Boza, J., Sanz Sampelayo, M.R. 1984. Antecedentes históricos de la cabra en Andalucía, Jábega. pp: 69.-75.
- Brignon, G., Mahé, M.F., Grosclaude, F., Ribadeau-Dumas, B. (1989) Sequence of caprine α s1-casein and characterization of those of its genetic variants which are synthesized at a high level, α s1-Cn A, B and C. *Protein Seq. Data Anal.* 2: 181-188.
- Brown-Crowder, I.E., Hart, S.P., Cameron, M., Sahlu, T., Goetsch. 2001. Effects of dietary tallow level on performance of Alpine does in early lactation. *Small. Rumin. Res.* 39: 233-241.
- Brun-Bellut, J., Blanchart, G., Vignon, B. 1990. Effects of rumen-degradable protein concentration in diets on digestion, nitrogen utilization and milk yield by dairy goats. *Small. Rumin. Res.* 3: 575-581.
- Caja, G., Bocquier, F. 2000. Effects of nutrition on the composition of sheep`s milk, *Options méditerranéennes.* 52:59-74.
- Campos, M.S., López Aliaga, I., Alférez, M.J.M., Nestares, T., Barrionuevo, M. 2003. Effects of goat`s or cow`s milk on nutritive utilization of calcium and phosphorus in rats with intestinal resection, *Br. J. Nutr.* 90:61-67.
- Cano, G.M. 1974. La comarca de Baza. Artes Gráficas, Valencia.
- Caroli, A., Jann, O., Budelli, E., Bolla, P., Jáger, S., Erhardt, G. 2001. Genetic polymorphism of κ -casein (CSN3) in different breeds and characterization at DNA level. *Anim. Genet.* 32: 226-230.
- Ciszuk, P., Lindberg, J.E. 1980. Response in feed intake, digestibility and nitrogen retention in lactating dairy goats fed increasing accounts of urea and fish meal. *Acta Agriculturae Scandinaviaca.* 38:381-395.
- Clark, S., Sherbon, J.W. 2000. Genetic variants of α hs1-CN in goat milk: breed distribution and associations with milk composition and coagulation properties. *Small Rumin. Res.* 38: 135-143.

- Conrad, H.R. Pratt, A.D., Hibbs, J.W. 1964. Regulation of feed intake in dairy cows. 1. - Change in importance of physical and physiological factor with increasing digestibility. *J. Dairy Sci.* 47: 54-62.
- Cosenza, G., Pappalardo, M., Pastore, N., Rando, A., Di Gregorio, P., Masina, P., Ramunno, L. 2001. An AS-PCR method for identification of carriers of the goat CSN1SI⁰ allele. A.S.P.A. XIV Congress, Pirenze. pp. 64-66.
- Chandan, R., Attaie, R., Sahani, K.M. 1992. Nutritional aspects of goat milk and its products. Proc. V Int. Conference on Goat. Nueva Delhi, pp. 1869-1890.
- Chandler, P. 1993. Milk protein: A question of content or amount actually produced. *Feedstuffs*, agosto 14, pp.11-12.
- Chandler, P., 1995. Amino acid nutrition of dairy cows advances but still has ways to go. *Feedstuffs*. 67:11-14.
- Chase, L.E. 2002. Feeding dairy cows of high genetic merit. En : Recent developments in ruminant nutrition 4 (J. Wiseman y P.C. Garnsworthy eds.) Nottingham University Press. Reino Unido. pp. 1-11.
- Chilliard, Y., Bocquier, F., 1993. Effects of fat supplementation on milk yield and composition in dairy goats and ewes. Proc. 5^a Int. Symp. on la qualità nelle produzioni dei piccoli ruminanti. pp. 61-78
- Chinaese, L., Garro, G., Addeo, F., López-Gálvez, G., Ramos, M. 1993(b). The nature of β -casein heterogeneity in caprine milk. *Le Lait*. 73: 533-547.
- Debeljak, M., Susnik, S., Milosevic-Berlic, T., Medrano, J.F. Dovc, P. 2000. Gene technology and milk production. *Food Technol. Biolechnol.* 38: 83-89.
- Delacroix-Buchet, A., Degas, C., Lambertet, G., Vassal, L. 1996. Influence des variants AA et FF de la caséine α 1 caprine sur le rendement fromager et les caractéristiques sensorielles des fromages. *Lait*. 76; 217-241.
- Di Gregori, P., Rando, A., Pieragostini, E., Masina, P. 1991. DNA polymorphism at the casein loci in sheep. *Anim. Genet.* 22:21-30.

- Di Luccia, A., Mauriello, R., Chianese, L., Moio, L., Addeo, F. (1990). κ -casein polymorphism in caprine milk. *Sci. Tecn. Latt. Cas.* 41: 305-314.
- Díaz, E., Analla, M., Muñoz-Serrano, A., Alonso-Moraga, A., Serradilla, J.M. 1999. Variation of milk yield and contents of total casein and casein fraction in Murciano-Granadina goats. *Small Rumin. Res.* 34: 141-147.
- Díaz-Carrillo, E., Angulo, C., Jordana, J., Sánchez-Palma, A. 1994. Casein variations in one Spanish herd of goats and their relationships with production trait. 45th Annual Meeting of the European Association for Animal Production. Edimburgh (Reino Unido). p. 296.
- Doquier, F., Rouel, J., Domalain, A., Chillard, Y. 2000. Effect of concentrate/dehydrated alfalfa ratio on milk yield and composition in Alpine dairy goats fed hay base diets. *Options méditerranéennes.* 52: 99-101.
- Fallon, R.J., Willians, P.E.V., Innes, G.M. 1986. the effects on feed intake, growth and digestibility of nutrients of including calcium soaps of fat in diets for young calves. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 14: 103-115.
- Farell, Jr. H.M. 1998. Physical equilibria: proteins. En: *Fundamentals of Dairy Chemistry* (NB Wong ed.). 3rd edition. Reinhold (NY): Van Nostrand, pp. 461-510.
- Fernández, J.R., Rodríguez Osorio, M., Ramos, E., de la Torre, G., Gil Extremera, F., Sanz Sampelayo, M.R. 2004. Effect of rumen-protected supplements of fish oil on intake, digestibility and nitrogen balance of growing goats. *Anim. Sci.* 79: 483-491.
- Ferranti, P., Addeo, F., Malorni, A., Chianese, L., Leroux, C., Martin, P. 1997. Differential splicing of pre-messenger RNA produces multiple forms of mature caprine α s1-casein. *Eur. J. Biochem.* 249: 1-7.
- Ferretti, L., Leone, P., Sgaramella, V. 1990. Long range restriction análisis of the bovine casein genes. *Nucleic Acids. Res.* 18: 6829-6833.
- Forbes, J.M. 1995a. Reproduction and lactation. En: *Voluntary food intake and diet selection in farm animal.* (J.M. Forbes ed). CAB. International Wallingford. Reino Unido. pp. 186-203.

- Forbes, J.M. 1995b. Diet digestibility and concentration of available energy. En: Voluntary food intake and diet selection in farm animal. (J.M. Forbes ed). CAB. International Wallingford. Reino Unido. pp. 204-225.
- Forbes, J.M. 1995c. Specific nutrients affecting intake. En: Voluntary food intake and diet selection in farm animal. (J.M. Forbes ed). CAB. International Wallingford. Reino Unido. pp. 186-2003.
- French, M.H. 1970. Observaciones sobre la cabra. 2ª ed. FAO, Estudios Agropecuarios, 8. Roma,
- Giger, S., Sauvant, D., Hervien, J. 1987. Influence of the kind of compound feed on goat milk production and composition. *Anm. Zootech.* 36:334-335.
- Giger-Reverdin, S., Aufrère, J., Sauvant, D., Demarquilly, C., Vermorel, M. 1994. Prediction of the energy values of compounds feeds for ruminants. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 48: 73-98.
- Giger-Reverdin, S., Sauvant, D. 1991. Evaluation and utilization of concentrates in goats. En: Goat Nutrition (P. Morand-Fehr ed.) Pudoc Wageningen, Holanda. pp. 172-183.
- Giger-Reverdin, S., Sauvant, D., Hervieu, J., Dorleans, M. 1991. Faecal and urinary nitrogen losses as influenced by the diet carbohydrate and protein fractions in goat. 6th Int. Sympto. Protein Metabolism and Nutrition. pp. 358-360.
- Giger-Reverdin, S., Sauvant, D., Hevieu, J., Dorleans, M. 1992. Prediction of organic matter digestibility of compound feeds for dairy goats. En: Recent advances in goat nutrition (R.M. Acharya, ed.) Int. Goat Association. Nueva Dehli, India. pp. 903-907.
- Gordon F.J., Patterson, D.C., Yan, T., Porter, M.G., Mayne, C.S., Unsworth, E.F. 1995b. The influence of genetic index for milk production on the response to complete diet feeding and the utilization of energy and nitrogen. *Anim. Sci.* 61: 199-210.
- Gordon, F.J., Porter, M.G., Mayne, C.S., Unsworth, E.F., Kilpatrick, D.J. 1995a. Effect of forage digestibility and type of concentrate on nutrient utilization by lactating dairy cattle. *J. Dairy Res.* 62: 15-27.

- Goyon, D.S., Mather, R.E., Hines, H.C., Haenlein, C.F.W., Arave, C.W., Gaunt, S.N. 1987. Association of bovine blood and milk polymorphism with lactation traits: Holsteins. *J. Dairy Sci.* 70: 2585-2598.
- Grosclaude, F., Mahé, M.F., Brignonon, G., Di Stasio, L., Jeunet, R. 1987. A Mendelian polymorphism underlying quantitative variation of goat α_{S1} -casein. *Gene. Sel. Evol.* 19: 399-412.
- Grosclaude, F., Mercier, J.C., Ribadeau-Dumas, B. 1973. Genetic aspect of cattle casein research. *Net Milk Dairy J.* 72: 328.
- Grosclaude, F., Ricordeau, G., Martin, P., Remeuf, F., Vassal, L., Bouillon, J. 1994. Du gène au fromage: le quantitative de la caséine α_{S1} , ses effets, son evolution [From the gene to the cheese: goat α_{S1} -casein, its effects, its evolution.] *INRA. Prod. Anim.* 7: 3-19.
- Grummer, R.R. 1988. Influence of prilled fat and calcium salts of palm oil fatty acids on rumianl fermentation and nutrient digestibility. *J. Dairy Sci.* 71: 117-123.
- Guyonnet, J.P. 1999. L'Optigraph. Un remplaçant pour du Formagraph. *Revue Laitiere Française*, 595, 36-37.
- Haddad, S.G., Mahmoud, K.Z., Talfaha, M.A. 2005. Effect of varying levels of dietary undegradable protein on nutrient intake, digestibility and growth performance of Awasi lambs fed on high wheat straw diets. *Samll Rumin. Res.* 58: 231-236.
- Hadjipanayiotou, M. 1987. Studies fo the response of lactating Damascus goats to dietary protein. *J. Anim. Phys. Anim. Nutr.* 57: 41-52.
- Hadjipanayiotou, M., Koumas, A., Georghiades, E. 1987. Effect of protein source on performance in lactation of chios ewes and Damascus goats and degradability of protected and unprotected soybean meal in the rumen of goats. *Ann. Zootech*, 36: 326-327.
- Hadjipanayiotou, M., Morand-Fehr, P. 1991. Intensive feeding of dairy goats: En Goat nutrition. (P. Morand-Fehr ed.). Pudoc. Wageningen. pp. 197-208.

- Haeleln, G.F.W. 2004. Goat milk in human nutrition. *Small Rumin. Res.* 51:155-163.
- Hafez, E.S.E. 1968. *Adaptation of domestic animals.* Lea, Febiger. Filadelfia.
- Henninghausen, L., Robinson, G.W. 1998. Think globally, act locally: the making of a mouse mammary gland. *Genes&Dev.* 12: 449-455.
- Holt, C. 1998. Casein micelle substructure and calcium phosphate interactions studied by sephacryl column chromatography. *J. Dairy Sci.* 81: 2294-3003.
- Holt, C. 2004. An equilibrium thermodynamic model of the sequestration of calcium phosphate by casein micelles and its application to the calculation of the partition of salts in milk. *Eur. Biophys. J.* 33: 435-447.
- Horne, D.S. 2005. Casein micelle structure: Models and muddles. *Current Opinion in colloid and interface science.* (En prensa).
- INRA. 2000. Optigraph, an INRA-YSEBAERT Dairy Division System to characterize milk coagulation capabilities. INRA-Lgmpa. France.
- Jaenicke, R., Lilie, H., 2000. Folding and association of oligomeric and multimeric proteins. *Adv. Protein Chem.* 53: 329-401.
- Jansà Pérez, M., Leroux, C., Sánchez Bonastre, A., Martin, P. 1994. Occurrence of a LINE sequence in 3'UTR of the goat α_{s1} -casein E-encoding allele associated with reduced protein synthesis level. *Gene* 147: 179-187.
- Jimeno, V., García Rebollar, P., Castro, T. 2004. Nutrición y alimentación del caprino en sistemas intensivos de explotación. XIX Curso de especialización FEDNA. Madrid, pp. 155-178.
- Jordana, J., Amills, M., Díaz, E., Angulo, C., Serradilla, J.M. 1996. Genes frequencies of caprine α_{s1} -casein polymorphism in Spanish goat breeds. *Small. Rumin. Res.* 20: 215- 221.
- Kadzere, C.T., Jingura, R. 1993. Digestibility and nitrogen balance in goats given different levels of crushed whole soybeans. *Small. Rumin. Res.* 10: 175-180.

- Kusza, S., Veress, G., Kukovics, S., Jávör, A., Sanchez, A., Angiolillo, A., Bösze, Z. 2006. Genetic polymorphism of α s1- and α s2-caseins in Hungarian Milking Goats. *Small Rumin. Res.* En prensa.
- Le Houreau, N.H. 1989. Agrosilvicultura y silvopastoralismo para combatir la degradación del suelo en la cuenca mediterránea. En: *Degradación de zonas áridas del entorno mediterráneo*, Monografías de la Dirección General de Medio Ambiente, MOPU. Madrid. pp. 105-116.
- Lindberg, J.E., Gonda, H.L. 1996. Fiber and protein digestion in goats. En: *Proc 6th Int. Conference on Goats*. Vol 2. Int. Academic Publishers. Pekin, China. pp. 495-509.
- Little, W., Manston, R., Wilkinson, J.I.D., Tarrant, M.E. 1991. Some factors related to the voluntary intake of silage by individual dairy cows housed as a group during two winter-feeding periods. *Anim. Prod.* 53: 19-25.
- Lodes, A. (1995). *Beziehungen zwischen Zusammensetzung und Labgerinnungseigenschaft der Milch und genetischen Varianten der Milchproteine*. PhD thesis. The Technical University of Munich, Germany.
- M.A.P.A. 2004. *Anuario de Estadística Agraria, 2002*, Secretaría General y Técnica, Madrid,
- Maes, E., Prieels, J.P., Dolnans, M., Leonis, J. (1976). Identification of two genetic variants of goat α -lactoalbumin. *Arch. Int. Physiol. Biochim.* 84: 641-642.
- Mahé, M.F., Grosclaude, F. 1989. Alpha-s1 Cn^D, another allele associated with a decreased synthesis rate at caprine locus. *Génét. Sél. Evol.* 21: 127-129.
- Mahé, M.F., Grosclaude, F. 1993. Polymorphism of β -casein in the Creole goat of Guadalupe: evidence for null allele. *Genet. Selv. Evol.* 25:403-408.
- Mahé, M.F., Manfredi, E., Ricordeau, G., Piacere, A., Grosclaude, F. 1994. Effets du polymorphisme de la caséine α - s1 sur les performances laitières de la race Alpine. *Gente. Sél. Evol.* 26: 151-157.

- Malin, E.L., Brown, E.M., Wickhand, E.D. Farrell, Jr H.M. 2005. Contributions of terminal peptides to the associative behaviour of α_{S1} -casein. *J. Dairy Sci.* 88: 2318-2328.
- Martin, P., Szymanowska, M., Zwierzchowski, L., Leroux, C. 2002. The impact of genetic polymorphisms on the protein composition of ruminant milks. *Reprod. Nutr. Dev.* 42: 433-459.
- Martínez Ferez, A., Rudloff, S., Guadix, A., Henkel, C.A., Pohlentz, G., Boza J.J., Guadix, E.M., Kunz, C. 2006. Goats`milk as a natural source of lactose-derived oligosaccharides: Isolation by membrane technology. *Int. Dairy J.* 16: 173-181.
- Martín-Hernandez, M.C., Juárez, M., Ramos, M., Martín-Álvarez, P.J. 1988. Composición de la leche de cabra de razas Murciana y Granadina, *Anal. Bromatol.*40:237-248.
- Masson, C. 1981. Utilisation des graines protéagineuses dans l`alimentation de la chèvre en début de lactation. *Ann. Zootech.* 30:435-442.
- McCrackens, K.J., McEvoy, J., McAllister, A., Lilley, J., Urquhart, R. 1994. Effects of overfeeding on protein/energy metabolism and hay composition of high genetic potential bears. *Proc 13th Symposium of Energy Metabolism.* EAAP Publication n°46. pp. 217-220.
- McGilloway, D.A., Mayne, C.S. 2002. The importance of grass availability for the high genetic merit dairy cow. En: *Recent Developments in Ruminant Nutrition 4* (J. Wiseman y P.C. Garnsworthy Eds.) Nottingham University press. Nottingham. Reino Unido. pp. 13-45.
- McLean, D.M., Graham, E.R.B., Ponzoni, R.W., McKenzie, H.A. 1984. Effects of milk protein genetic variants on milk yield and., composition. *J. Dairy Res.* 51:531-546.
- Medrano, J.F. 1998. Modification of the composition of milk fat in dairy cows utilizing genetic selection. *California Dairy Res. Foundation.*
- Mercier, J.C. Vilotte, J.L. Provot, C. 1993 Structure and function of milk protein genes. *J. Dairy Sci.* 76:3079-3098.
- Meschy, F. 2002. Eléments minéraux majeurs: données récentes chez les caprins. *INRA. Prod. Anim.* 15: 267-271.

- Moioli, B., Pilla, F., Tripaldi, C. 1998. Detection of milk protein genetic polymorphisms in order to improve dairy traits in sheep and goats: a review. 1998. *Small Rumin. Res.* 27:185-195.
- Montserrat, P. 1990. Pastoralism and desertification, En: Strategies to combat desertification in mediterranean europe, Report EUR 11175, Luxemburgo. pp: 85-103.
- MOPU. 1982. La Naturaleza. Unidades Ambientales. Publicaciones Dirección General de Medio Ambiente, E.P.E.S. IG.
- Morand-Fehr, P. 1981. Caractéristiques du comportement alimentaire et de la digestion des caprins. En: Proc. Int. Symposium on Nutrition and Systems of Goat Feeding, Tours, Francia. OM Press. pp. 21-45.
- Morand-Fehr, P. 2005. Recent developments in goat nutrition and application. A review. *Small Rumin. Res.* 60: 25-43.
- Morand-Fehr, P., Bas, P., Blanchart, G., Daccord, R., Giger-Reverdin, S., Gihad, E.A., Hadjipanayiotou, M., Mowlen, M., Remeuf, F., Sauvant, D., 1991 Influence of feeding on goat milk composition and technological characteristic. En: Goat Nutrition (P. Morand-Fehr ed.). Pudoc Wageningen, Holanda. pp. 209-224.
- Morand-Fehr, P., Boyazoglu, J. 1999. Present state and future outlook of the small ruminant sector. *Small Rumin. Res.* 34: 175-188.
- Morand-Fehr, P., Owen, E., Giger-Reverdin, S. 1991a. Feeding behaviour of goats at the trough. En: Goat Nutrition. (P. Morand-Fehr ed.). Pudoc Wageningen. Holanda. pp 3-12.
- Morand-Fehr, P., Sanz Sampelayo, M.R., Fedele, Y.V., Le Frileux, Y., Eknaes, M., Sxhmidely, P.H., Giger-Reverdin, S., Bas, P., Rubino, R., Havrevoll Ø, Sauvant, D. 2000. Effects of feeding on the quality of goat milk and cheeses. 7th International Conference on Goats. Tours (Francia). Vol. 1 pp. 53-58.
- Morand-Fehr, P., Sanz Sampelayo, M.R., Fedele, Y.V., Le Frileux, Y., Eknaes, M., Schmidely, Ph., Giger-Reverdin, S., Bas, P., Rubino, R., Havrevall, Ø., Sauvant, D. 2000. Effect of feeding on the quality of goat milk and cheese. Proc. 7^a Int. Conf. sobre la cabra. Tomo 1. pp. 53-65.

- Morand-Fehr, P., Sauvant, D. 1980. Composition and yield of goat milk as affected by nutritional manipulation. *J. Dairy Sci.* 63: 1671-1680.
- Morand-Ferh, P., Sauvant, D. 1988. Apports alimentaire recommandés et capacité d'ingestion de la chèvre laitière. En: *Alimentation des Bovins, Ovins et Caprins.* (R. Jarrige ed.). INRA. Paris. pp.282-304.
- Moranh-Fehr, P., Chilliard, Y., Sauvant, D. 1982. Goat milk and its components: secretory mechanisms and influence of nutritional factors. III Int. Conference on Goat. *Dairy Goat Journal.* Publishnig Co. pp. 113-121.
- Mountfort, M. 1984. Patient project building herd of raw milk type A cow. *Dairy Exporter*, December, pp. 29-33
- Murphy, J.J. 1995. Modification of bovine milk fat and protein by nutritional means. Proc 46^o Annual Meeting de la E.A.A.P. Wageningen. Holanda. p.44.
- National Research Council (NRC). 1985. Ruminant nitrogen usage. Natl. Acad. Press. Washington, D.C. USA.
- NCR (Nutricional Research Council). 1985. Ruminant nitrogen usage. Natl. Acad. Preess. Washington, DC. EE.UU.
- Negesse, T., Rodehutsord, M., Pfeffer, E. 2001. The effect of dietary crude protein level on intake, growth, protein retention and utilization of growing made Saanen kids. *Small Rumin. Res.* 39: 243-251.
- Neville, M.C., McFadden, T.B., Forsyth, I. 2002. Hormonal Regulation of Mammary Differentiation and Milk Secretion. *J. Mammary Gland Biology and Neoplasia.* Vol 7, n^o1 pp. 49-66.
- Ng-Kwai-Hand, K.F., Hayes, J.F., Moxley, J.E., Monardes, H.G. 1986. Relationships between milk protein polymorphisms and major milk constituents in Holstein-Friesian cows. *J Dairy Sci.* 69: 22-26.
- Ng-Kwai-Hand, K.F., Hayes, J.F., Moxley, J.E., Monardes, H.G. 1990. Effect of genetics variants of κ -casein and β -casein on stability of calcium-caseinate model systems. 23rd Int.Dairy Congr. 2, p. 688.
- Ng-Kwai-Hang, K.F. 1998. Genetic polymorphism of milk proteins: Relationships with production traits, milk composition and

technological properties. Lennoxville Conference on milk Production. pp.132-147.

Ng-Kwai-Hang, K.F., Hayes, J.F., Moxley, J.E., Monardes, H.G. 1984. Association of genetic variants of casein and milk serum proteins with milk, fat, and protein production by dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 67: 835-840.

Ojala, M., Famula, T.M., Medrano, J.F. 1997, Effects of milk protein traits of Holstein and Jersey cow in California. *J. Dairy Sci.* 80:1176-1785.

Oldenbroek, J.K. 1988. Feed intake and energy utilization in dairy cows of different breeds. Tesis Doctoral Universidad de Wageningen, Holanda.

Pailan, G. H., Kaur, H. 1996. Influence of dietary protein content and digestibility on milk yield and blood constituents in lactating goats. *Small Rumin. Res.* 20: 47-51.

Park, Y.W. 1994. Hypo-allergenic and therapeutic significance of goat milk. *Small Rumin. Res.* 14:151-159.

Pearson, D. 1976. Laboratory techniques in food analysis. Butterworths. Londres. Reino Unido.

Pierre, A., Michel, F., Le Graet, Y. 1995. Variation in size of goat milk casein micelles related to casein genotype. *Lait.* 75. 489-502.

Pierre, A., Michel, F., Zahoute, L. 1999. Composition of casein micelles in relation to size in goat milks with A and null α_{S1} -casein variants. *Int. Dairy Journal.* 9: 179-183

Piredda, G., Papoff, C.M., Sanna, R., Campus, R.L. 1993. Influenza del genotipo della α - s1 caseina ovina sulle caratteristiche chimico-fisiche e lattodinamometriche del latte. *Sci. Tecnc.. Latt. Cas.* 44: 135-143.

Pirisi, A., Colin, O., Laurent, F., Scher, J., Parmentier, M. 194. Comparison of milk composition cheesemaking properties and textural characteristic of the cheese from two groups of goats with a high or low rate of α_{S1} -casein synthesis. *Int. Dairy Journal.* 4: 329-345.

Pyne, G. T. 1934. The colloidal phosphate of milk. *Biochem. J.* 28: 940-948.

- Quiles, A., Gonzalo, C., Barcina, Y., Fuentes, F., Hevia, M. 1994. Protein quality of Spanish Murciano-Granadina goat milk during lactation. *Small Rumin. Res.* 14: 67-72.
- Radcliffe, J.D., Webster, A.J. 1978. Sex, body composition and regulation of feed intake during growth in Zucker rat. *Br. J. Nutr.* 39: 483-492.
- Ramunno, L., Cosenza, G., Rando, A., Illario, R., Gallo, D., Di Bernardino, D., Masina, P. 2004. The goat α 1-casein gene: gene structure and promoter analysis. *Gene.* 334:105-111.
- Rapetti, L., Falaschi, U., Lodi, R., Vezzoli, F., Tamburini, A., Greppi, G.F., Enne, G. 1995. The effect of liquid whey fed to dairy goats on milk yield and quality. *Small Rumin. Res.* 17: 213-221.
- Raynal, K., Remeuf, F. 1998. The effect of heating on physicochemical and renneting properties of milk: a comparison between caprine, ovine and bovine milk. *Int. Dairy Journal.* 8: 695-706.
- Remeuf, F. 1993. Influence du polymorphisme génétique de la caséine α -s1 caprine sur les caractéristiques physicochimiques et technologiques du lait. *Laít.* 73:549-558.
- Ricordeau, G., Mocquot, G. 1967. Influence des variations saisonnières de la composition du lait de chèvre sur le rendement en fromage. Conséquences pratiques pour la sélection. *Ann. Zootech.*, 16: 165-181.
- Richardson, B.C., Creamer, L.K. 1974. Comparative micelle structure III. The isolation and chemical characterization of caprine β ₁-casein and β ₂-casein. *Bioch. Biophys. Acta.* 365: 133-137.
- Rosen, J.M., Wyszomierski, S.L., Hadsell, D. 1999. Regulation of milk protein gene expression. *Ann. Rev. Nutr.* 19: 407-436.
- Rubino, R., Moioli, B., Fedele, V., Pizzilo, M., Morand-Fehr, P. 1995. Milk production of goat grazing native pasture under different supplementation regimes in southern Italy. *Small. Rumin. Res.* 17:213-221
- Rulquin, H., Verité, R. 1993. Aminoacid nutrition of dairy cows: productive effects and animal requirements. En: *Recent Advances in Animal Nutrition* (P.C. Garnsworthy, J.D.A. Cole eds.) Univ. Press, Nottingham. Reino Unido pp. 55-57.

- Rulquin, H., Verité, R. 1993. Aminoacid nutrition of dairy cows: productive effects and animal requirements. En: Recent Advances in Animal Nutrition. (P.C. Garnsworthy y Cole, J.D.A. eds.). Univ. Press., Nottingham, Reino Unido, pp. 55-77.
- Sacchi, P., Chessa, S., Budelli, E., Bolla, P., Ceriotti, G., Soglia, D., Rasero, R., Cauvin, E., Caroli, A. 2005, Casein haplotypes in five Italian goat breeds. *J. Dairy Sci.* 88:1561-1568.
- Sacchi, P., Chessa, S., Budelli, E., Bolla, P., Ceriotti, G., Soglia, D., Rasero, R., Cauvin, E., Carola, A. 2005. Casein haplotype structure in five Italian goat breeds. *J. Dairy Sci.* 88: 1561-1568.
- Sadler, A.M., Kiddy, C.A., McCann, R.E., Mattingly, W.A. 1968. Acid production and curd toughness in milks of different α_{S1} -casein types. *J. Dairy Sci.* 51: 28-30-
- Sahlu, T., Goetsch, A.L., Luo, J., Nsahlai, I.V., Moore, J.E., Galyean, M.L., Owons, F.N., Ferrell, C.L., Johnson, Z.B. 2004. Nutrient requirements of goats: developed equations, other considerations and future research to improve them. *Small. Rumin. Res.* 53: 191-219.
- Sahlu, T., Hart, S.P., Fernandez, J.M. 1993. Nitrogen metabolism and blood metabolites in three goats fed increasing amounts of protein. *Small. Rumin. Res.* 10:281-292.
- Sanchez Martinez, M. 1980. Historia de andalucía. Ed, Planeta, Vol 1, Barcelona.
- Sánchez, A., Angulo, C., Amills, M., Ares, J.L., Serradilla, J.M. 1998. Effect of α_{S1} -casein genotype on yield, composition and cheese making properties of milk Malagueña breed of goats. 6th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production. Armidale NSW (Australia). Vol. 24, pp. 242-245.
- Sánchez, A., Angulo, C., Amills, M., Ares, J.L., Serradilla, J.M. AÑO. Effect of α_{S1} -casein genotype on yield, composition and cheese making properties of milk in the Malagueña breed of goats. 6th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. Armidale (NSW), Australia. pp. 71-74

- Sanz Sampelayo, M.R., Fernández, J.R., de la Torre, G., Ramos, E., Carmona, F.D., Boza, J. 2003. Calidad de la leche de los pequeños rumiantes. R.A.C.V.A.O. 16:155-166.
- Sanz Sampelayo, M. R., Pérez, L., Gil, F., Boza, J.J., Boza, J. 1999. Use of different dietary protein sources for lactating goats: Milk production and composition as functions of protein degradability and amino acid composition. J. Dairy Sci. 82: 555-565.
- Sanz Sampelayo, M.R. Pérez, L., Boza, J., Amigo, L. 1998a. Forage of different physical forms in diets of lactating Granadina goats. Nutrient digestibility and milk production and composition. J. Dairy Sci. 81:492-498.
- Sanz Sampelayo, M.R., Amigo, L., Ares, J.L., Sanz, B., Boza, J. 1998b. The use of diets with different protein source in lactating goats: composition of milk and its suitability for cheese production. Small Rumin. Res. 31: 37-43.
- Sanz Sampelayo, M.R. Pérez, L., Gil Extremera, F., Boza, J.J. Boza, J. 1999. Use of different dietary protein sources for lactating goats: Milk production and composition as function of protein degradability and amino acid composition. J. Dairy Sci. 82: 555-565.
- Sanz Sampelayo, M.R., Boza, J. 2005. Influencia del tipo de dieta sobre la composición de la grasa de la leche de cabra y oveja. R.A.C.V.A.O. 18: 1-30.
- Sanz Sampelayo, M.R., Martín-Alonso, J.J., Pérez, L., Gil Extremera, F., Boza, J. 2004, Dietary supplements for lactating goats by polyunsaturated fatty acid-rich protected fat, Effects alter supplement withdrawal, J. Dairy Sci. 87:1796-1802.
- Sanz Sampelayo, M.R., Pérez, L., Martín Alonso, J.J. Gil Extremera, F., Boza, J. 2002a. Effects of concentrates with different contents of protected fat rich in PUFAs on the performance of lactating Granadina goats. 1. Feed intake, nutrient digestibility, N and energy utilisation for milk production. Small Rumin. Res. 43: 133-139.
- Sanz Sampelayo, M.R., Pérez, L., Martín-Alonso, J.J., Amigo, L., Boza, J. 2002b. Effects of concentrates with different contents of protected fat rich in PUFAs on the performance lactating Granadina goats. Part II. Milk production and composition. Small Rumin. Res. 43:141-148.

- Sauvant, D., Morand-Fehr, P. 2000. Quantitative analysis of dairy goat response to concentrate supply. Proc 7th Int. Conf. on Goats. Vol. 1 International Goat Association. pp: 80-81.
- Sauvant, D., Morand-Fehr, P. 2000. Quantitative analysis of dairy goat response to concentrate supply. 7^a Int. Conference on Goat. Tomo 1- pp. 80-81.
- Sauvant, D., Morand-Fehr, P., Giger-Reverdin, S. 1991. Dry matter intake of adult goats. En: Goat Nutrition (P Morand-Fehr ed.). Pudoc Wageningen. Holanda. pp. 25-36.
- Sauvant, K., Hervien, J, Giger, S., Ternois, F., Mandrau, N., Morand-Fehr, P. 1997. Influence of the diet organic matter digestibility on the goat nutrition and production at the onset of lactation. Anm. Zootech. 37: 355 (Abst).
- Scottish Agricultural College (SAC). 1992. Laughill 92. SAC, Edingurgh, 88 pp.
- Schmidely, P., Sauvant, D. 2001. Taux butyreux et composition de la matière grassée u lait chez les petits ruminant: effets de l'apport de matières grasses ou d'aliment concentré. INRA. Prod. Anim. 14: 337-357.
- Schmidely, Ph., Meschy, F., Tessier, J., Sauvant, D. 2002. Lactation response and nitrogen, calcium and phosphorus utilization of dairy goats differing by the genotype for α_{S1} -casein in milk, and fed diets varying in crude protein concentration. J. Dairy Sci. 85: 2299-2307.
- Schmidt, D.G. 1980. Colloidal aspects of the casein. Neth Milk Dairy J. 34: 42-64
- Schmidt, D.G. 1982. Association of caseins and casein micelles structure. En: Developments in Dairy Chemistry. 1 Proteins.(P.F. Fox, ed.) Appl. Sci. Publ. Londres. Reino Unido. pp. 61-86.
- Schmidt, D.G., Buccheim, W. 1970. An electron microscopic investigation of casein micelles in cow milk. Milchwissenschaft 25: 596.

- Schneider, P., Sklan, D., Chalupa, W., Kronfeld, D.S. 1988. Feeding calcium salts of fatty acids to lactating cows. *J. Dairy Sci.* 71: 2143-2150.
- Schneider, W., Fritz, D., Reiche, J.R., Menke, K.H. 1980. Effect of protein content and metabolizability of the diet on the efficiency of utilization of metabolizable energy in dairy cows. En: *Proc 8th Symposium on Energy Metabolism* (L. E. Mount ed.) Butterworths, Londres. pp. 341-344.
- Shkolniz, A., Maltz, E., Gordin, S. 1980. Desert conditions and goat milk production. *J. Dairy Sci.* 63: 1749-1753.
- Slattery, C.W., Eward, R. 1973. A model for the formation and structure of casein micelles from subunits of variable composition. *Biochim. Biophys. Acta* 317: 529-538.
- Statgraphics. 2001. User manual: Statistical Graphics System by Statistical Graphics Corporation. Rock-Will, MD.
- Swanson, K.C., Caton, J.S., Redmer, D.A., Burke, V.I., Reynolds, L.P. 2000. Influence of undegraded intake protein on intake, digestion, serum hormones and metabolites and nitrogen balance in sheep. *Small Rumin. Res.* 35: 225-233.
- Thompson, M.P., Gordon, W.G., Boswell, R.T. Farrell, H.M. 1969. Solubility, solvation and stabilization of α_{s1} and β -caseins. *J. Dairy Sci.* 52: 1166-1173.
- Tisserand, J.L., Hadjipanayiotou, M., Gihan, E.A. 1991. Digestion in goats. En: *Goat Nutrition* (P. Morand-Fehr ed.). Pudoc Wageningen, Holanda. pp. 46-60.
- Tornadizo, M.E., Marra, A.I., Gracia Fontán, M.C., Prieto, B., Carballo, J. 1998. La calidad de la leche destinada a la fabricación de quesos: calidad química. *Cienc. Tecnol. Aliment.* Vol. 2, No 2, pp. 79-91.
- Trujillo, A.J., Guamis, B., Carretero, C. 1997. Las proteínas mayoritarias de la leche de cabra. *Alimentaria.* 19:19-28.
- Trujillo, A.J., Jordana, J., Guamis, B., Serradilla, J.M. Amills, M. 1998. Review: Polymorphism of the caprine α_{s1} -casein gene and its effect on the production, composition and technological properties of milk

and on cheese making and ripening. 1998. Food Sci. Tech Int. 4: 217-235.

Tycker, H.A. 1999. Hormones, Mammary Growth and Lactation: a 41-Year Perspective. J. Dairy Sci. 83:874-884.

Tziboula, A., Horne, D.S. 1999. The role of α_{S1} -casein in the structure of caprine casein micelles. Int. Dairy Journal. 9: 173-178.

Van Dijk, H.J.M. 1990. The properties of casein micelles. 1 The nature of the micellar calcium phosphate. Neth. Milk Dairy J. 44: 65-81.

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

Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74:3583-3597.

Vassal, I., Delacroix-Buchet, A., BBouillon J. 1994. Influences de génotypes AA, EE et FF de la caséine α_{S1} caprine sur le rendement fromager et les caractéristiques sensorielles de fromages traditionnels. Premières observations [Influence of genotypes AA, EE and FF of goat α_{S1} -casein on cheese yield and sensorial characteristics of craft cheese: First observations]. Le Lait. 74: 89-103.

Walstra, P.W., Jenness, R. 1984. Dairy chemistry and Physics. (J. Wiley and Son, eds.). Nueva York (NY) EE.UU.

Ysebaert. 2000. Optigraph, User's manual. Dairy Division. France.

Zhao, F.Q., Adachi, K., Oka, T. 2002. Involvement of Oct-1 transcriptional regulation of β -casein gene expression in mouse mammary gland. Biochimica et Biophysica Acta. 1577: 27-37.