

Study of the incorporation of the peak yield and the persistency of the lactation curve as selection criterion in the breeding program of the goats Murciano-Granadina

Judith Carmen Miranda Alejo



TITULO: *Estudio de la incorporación del pico productivo y la persistencia de la curva de lactación como criterio de selección en el programa de mejora de la cabra Murciano-Granadina*

AUTOR: *Judith Carmen Miranda Alejo*

© Edita: UCOPress. 2019
Campus de Rabanales
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A
14071 Córdoba

<https://www.uco.es/ucopress/index.php/es/>
ucopress@uco.es



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

Programa de Doctorado en Recursos Naturales y Gestión Sostenible

**Estudio de la incorporación del pico productivo y la persistencia
de la curva de lactación como criterio de selección en el programa
de mejora de la cabra MURCIANO-GRANADINA**

(Study of the incorporation of the peak yield and the persistency of
the lactation curve as selection criterion in the breeding program of
the MURCIANO-GRANADINA goats)

TESIS DOCTORAL

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR PRESENTADO POR

Judith Carmen Miranda Alejo

Dirigido por:

Dr. D. Cecilio Barba Capote

Dr. D. José Manuel León Jurado

En Córdoba, a 13 de septiembre de 2019



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA



D. CECILIO JOSÉ BARBA CAPOTE, PROFESOR CONTRATADO DOCTOR DEL DEPARTAMENTO DE PRODUCCION ANIMAL DE LA UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA.

INFORMA:

Que la tesis Doctoral titulada “Estudio de la incorporación del pico y la persistencia de la curva de lactación como criterio de selección en el programa de mejora de la cabra Murciano-Granadina”, que se recoge en la siguiente memoria y de la que es autora D^a. JUDITH CARMEN MIRANDA ALEJO, ha sido realizada bajo mi dirección, cumpliendo las condiciones exigidas para que la misma pueda optar al Grado de Doctor por la Universidad de Córdoba.

Lo que suscribo como director de dicho trabajo y a los efectos oportunos, en Córdoba a tres de septiembre de dos mil diecinueve.

Fdo. Dr. Cecilio José Barba Capoteo



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA



D. JOSE MANUEL LEÓN JURADO, VETERINARIO DEL CENTRO AGROPECUARIO DE LA DIPUTACION DE CÓRDOBA Y COLABORADOR HONORARIO DEL DEPARTAMENTO DE GENÉTICA DE LA UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA.

INFORMA:

Que la tesis Doctoral titulada “Estudio de la incorporación del pico y la persistencia de la curva de lactación como criterio de selección en el programa de mejora de la cabra Murciano-Granadina”, que se recoge en la siguiente memoria y de la que es autora D^a. JUDITH CARMEN MIRANDA ALEJO, ha sido realizada bajo mi dirección, cumpliendo las condiciones exigidas para que la misma pueda optar al Grado de Doctor por la Universidad de Córdoba.

Lo que suscribo como director de dicho trabajo y a los efectos oportunos, en Córdoba a tres de septiembre de dos mil diecinueve.

Fdo. Dr. José Manuel León Jurado



TÍTULO DE LA TESIS:

ESTUDIO DE LA INCORPORACIÓN DEL PICO Y LA PERSISTENCIA DE LA CURVA DE LACTACIÓN COMO CRITERIO DE SELECCIÓN EN EL PROGRAMA DE MEJORA DE LA CABRA MURCIANO-GRANADINA

DOCTORANDO: D^a JUDITH CARMEN MIRANDA ALEJO

INFORME RAZONADO DEL/DE LOS DIRECTOR/ES DE LA TESIS

(Se hará mención a la evolución y desarrollo de la tesis, así como a trabajos y publicaciones derivados de la misma).

Durante el desarrollo de la Tesis, la doctoranda ha profundizado en el conocimiento de la evaluación genética del ganado caprino de especialización láctea. En primer lugar, en el ámbito de la caracterización de la curva de lactación de la raza Murciano-Granadina a través del estudio de las variables del rendimiento lechero, pico productivo y persistencia mediante la función Spline, considerando el efecto distintos factores de variación como la zona geográfica, el tipo de parto, número de parto y época del año. En segundo lugar, se ha ahondado en la estimación de los parámetros genéticos de los caracteres productivos referidos anteriormente utilizando modelos multivariantes y, en tercer lugar, basándose en las mismas variables productivas, se han estudiado las tendencias genéticas y fenotípicas.

Estos estudios son extrapolables al resto de razas caprinas españolas de aptitud láctea que cuenten con esquemas de selección en funcionamiento, así como a cualquier otra población caprina en el ámbito internacional, así como se constata que las variables rendimiento al pico y persistencia podrían ser propuestas como posibles nuevos criterios de selección en el programa de mejora genética de la cabra Murciano-Granadina.

La doctoranda ha adquirido las habilidades y competencias necesarias para poder abordar la problemática del sector caprino de orientación láctea desde una doble perspectiva; por una parte, desde la orientación investigadora con toda su secuencia metodológica y por otra parte, bajo la óptica de la aplicación de dichos conocimientos para la resolución de casos de modo solvente.

La presente Tesis Doctoral ha dado lugar a los siguientes trabajos:

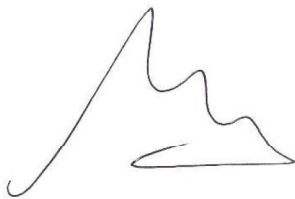
Miranda-Alejo, Judith-Carmen; León-Jurado, José-Manuel; Pieramati, Camilo; Gómez-Carpio, Mayra; Valdés-Hernández, Jesús; Barba-Capote, Cecilio. 2019. Use of Spline function for the characterization on peak yield, peak day and persistency in lactation curves in Murciano-Granadina goats. Italian Journal of Animal Science, Vol. 18 (1): 888-897. Doi: 10.1080/1828051X.2019.1593057

Miranda-Alejo, Judith-Carmen; León-Jurado, José-Manuel; Pieramati, Camilo; Gómez-Carpio, Mayra; Valdés-Hernández, Jesús; Barba-Capote, Cecilio. 2019. Estimation of Genetic Parameters for Peak Yield, Yield and Persistency Traits in Murciano-Granadina Goats Using Multi-Traits Model. Animals. Vol. 9 (411): 1-13. Doi: 10.3390/ani9070411

Miranda-Alejo, Judith; León-Jurado, José-Manuel; Pieramati, Camilo; Gómez-Carpio, Mayra; Valdés-Hernández, Jesús; Barba-Capote, Cecilio. Evaluación de tendencias genéticas y fenotípicas para los caracteres pico productivo, rendimiento lechero y persistencia de lactación en la raza caprina Murciano-Granadina. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. En prensa.

Por todo ello, se autoriza la presentación de la tesis doctoral.

Córdoba, a tres de septiembre de dos mil diecinueve



Fdo.: Cecilio José Barba Capote



Fdo.: José Manuel León Jurado

AGRADECIMIENTOS

La gratitud es una virtud que fortalece nuestra condición humana y ennoblece tanto a quien agradece como a quien sabe aceptar el reconocimiento.

Esta tesis doctoral, realizada en la Universidad de Córdoba, va dedicada a cada una de esas personas especiales que he ido conociendo en el transcurso de esta aventura científica; su apoyo, paciencia y amistad incondicional me han ayudado muchísimo para la cosecha de este logro profesional y personal. Un logro impensable por las graves brechas de género, carencia de materiales de índole investigativo-económico, la burocracia y la falta de recursos humanos cualificados en mi país.

Por ello hago mención especial a las instituciones: Ministerio de Asuntos Exteriores y Cooperación-Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo – (MAEC-AECID); Embajada de Cuba en Bolivia, Programa Erasmus+ y Banco Santander, que invierten en ciencia y me dieron el impulso, voto de confianza otorgándome becas que posibilitaron alcanzar este logro profesional.

A la Federación Española de Criadores de Caprino Raza Murciano-Granadina (MURCIGRAN) y Juan Vicente Delgado director del grupo PAIDI AGR-218 por permitirme desarrollar esta tesis.

A las instituciones que me permitieron realizar estancias de investigación en especial a ceiA3, Deula-Niemburg GMBH (Hannover-Alemania), Università degli Studi di Perugia (Perugia-Italia), la Universidad de Concepción (Chillán-Chile), Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích (České Budějovice -República Checa), Universidad Central de la Provincia de Buenos Aires (Tandil-Argentina) y a todas

las personas que trabajan en ellas que me han ayudado y apoyado, de una forma activa y profesional; y sin la cual no habría podido realizar parte de este trabajo. Mención especial a mi alma mater la Universidad Agraria de La Habana en Cuba por toda la formación brindada a través de ejemplares profesores que fueron pieza fundamental para direccionar mi andadura por los caminos de la investigación. Agradecimientos especiales para Irurzun, Delahante(†), Hernández, Lamazares, Joa, Pulgarón, Edmundo, Palmiro, Osmany, Danilo Sánchez y Rafael Dausá.

A mis directores de tesis Cecilio Barba Capote y José Manuel León Jurado, por su orientación y la confianza otorgada, gracias. To Camillo Pieramati my “*mentore scientifico*” at the University of Perugia - Italy, where I was able to carry out an important research and training phase, to thank you from the heart for all the time invested, the teachings, the confidence, the hospitality, the human quality; that despite your many professional and personal responsibilities you gave me quality time; without a doubt all my admiration for a person who represents for me an example of good research, tenacity and improvement. When I grow up, I want to be like you.

I would like to thank Lloyd Dale Van Vleck of University of Nebraska, USA; Abdoallah Sharaf and Miroslav Obornik from Biology Centre ASCR in České Budejovice, Czech Republic for their assistance and support in bioinformatics data base management, genetic software, analysis and project management.

A *mi abuelo Pablo*, que estaría gratamente encantado, de ver que una de sus nietas se ha dedicado a seguir el camino andado por él: el campo y los animales. Agradecerte todas tus enseñanzas, el amor y respeto hacia la madre tierra “*la*

Pachamama”, tu buen hacer con tu “*batallón*” de nietos, tu estupendo carácter pues siempre fuiste muy alegre y en mis recuerdos vales por 10 abuelos. Me enseñaste que si miramos profundamente a nuestra *Pachamama* solo entonces comprenderíamos las mejores cosas.

A mis padres, por su ser siempre un ejemplo de perseverancia y tener un temple envidiable ante las adversidades, no hay manera de pagarles por todo su apoyo incondicional, comprensión, cariño, y darme todo lo que tenían en la medida de sus posibilidades. Con sus valores inculcados me han enseñado que, con mucho trabajo, esfuerzo, perseverancia, actitud y mostrándose como uno realmente es, se puede conseguir materializar sueños.

A Jesús, por creer en mis capacidades, impulsándome en los momentos críticos cuando el camino se hacía muy largo de atravesar, gracias por tu apoyo incondicionalidad, paciencia y tu inestimable compañía en esta etapa, sabes que esta tesis es tuya como mía. Gracias por todo el aguante y embarcarte en las cosas que te propongo.

A mis hermanos, que siempre me han acompañado en esta bella aventura de la vida, apoyándome y dándome ese aliento para continuar y seguir en la lucha diaria. Aunque lleve mucho tiempo sin verles recuerden siempre que en mi mente y recuerdos siempre están presentes. La familia es la que hace que todo valga la pena, cada esfuerzo, cada renuncia y cada paso que doy en la vida.

A mis profesores y compañeros del máster porque con ellos aprendí muchas cosas nuevas y verlas desde diferentes puntos de vista, permitiéndome un

crecimiento personal y profesional. Hacer mención especial a José Luis Guzmán Guerrero por haberme dado el empujón inicial de esta aventura; gracias por la oportunidad.

“Familia” es también la gente que uno elige porque el auténtico vínculo no lo hace la sangre, sino el verdadero afecto, en esa tesitura agradecer a Almudena, Bolívar, Jeffry, Ana, y Margot mi más sincero aprecio y agradecimiento por todo lo vivido.

A los amigos y compañeros de los Departamentos de Producción Animal y Genética, porque siempre me han colaborado y ayudado en lo que he necesitado en especial a Abdala, Ander, Asma, Diana, Gaby, Javier, José Luis, María, Mayra, Saif, Sergio y Vincenzo. También agradecimientos a los amigos de otros departamentos en otras instituciones: Devon, Agustín, Tatianne, Susana, Nancy, Emilio, Jaime, Pablo, Ansgar, Ahmed, Pauli, Diana, Caro, Edwin, José, Nalva, Felipe, Dasha, profe Nugent, Neysis e Ignacio Chirico que en todo este tiempo hemos tenido oportunidad de intercambiar buenas experiencias.

En definitiva, agradecida con la vida por todo este tiempo, por las experiencias, por lo vivido, por esos errores cometidos valiosísimas lecciones y por haberme dado una nueva oportunidad de vivir plenamente rodeada de gente estupenda.

Non temete i momenti difficili, IL MEGLIO VIENE DA LÌ.

(Rita Levi-Montalcini 1909-2012)

“Life is not easy for any of us. But what of that? We must have perseverance and above all confidence in ourselves. We must believe that we are gifted for something and that this thing, at whatever cost, must be attained”

(Maria Skłodowska-Curie 1867-1934)

Dedicado a:
Benedicto y Sonia

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	9
ÍNDICE	19
ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS	23
ABSTRACT	27
RESUMEN	31
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	35
1.- Introducción y antecedentes	37
2. Distribución geográfica mundial.....	41
3. Censos y producción de leche de cabra.....	45
4. Clasificación de razas españolas.....	51
5. La raza autóctona Murciano-Granadina.	54
6. Gestión del libro genealógico.	56
7. Programa de mejora de la raza Murciano-Granadina para garantizar su sostenibilidad.	59
8. Valoración genética.....	61
9. Objetivos de la tesis.....	64
CAPÍTULO I: USE OF SPLINE FUNCTION FOR THE CHARACTERIZATION ON PEAK YIELD, PEAK DAY AND PERSISTENCY IN LACTATION CURVES IN MURCIANO- GRANADINA GOATS	67
ABSTRACT	71
1.1. INTRODUCTION	73
1.2. MATERIALS AND METHODS	75
1.3. RESULTS	79
1.4. DISCUSSION	83
1.5. CONCLUSION	90
1.6. ACKNOWLEDGEMENTS	91
CAPÍTULO II: GENETIC PARAMETERS FOR PEAK YIELD, YIELD AND PERSISTENCY TRAITS IN MURCIANO-GRANADINA GOATS USING MULTI-TRAITS MODELS	93
ABSTRACT	97
2.1. INTRODUCTION	99
2.2. MATERIALS AND METHODS	101
2.3. RESULTS	106
2.4. DISCUSSION	111
2.5. CONCLUSION	120

2.6. ACKNOWLEDGEMENTS	121
CAPÍTULO III: EVALUATION OF GENETIC AND PHENOTYPIC TRENDS FOR PEAK, YIELD AND LACTATION PERSISTENCY TRAITS IN THE MURCIANO-GRANADINA GOAT BREED	123
ABSTRACT	127
3.1. INTRODUCCIÓN	129
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS	131
3.3. RESULTADOS	133
3.4. DISCUSIÓN	138
3.5. CONCLUSIONES	142
3.6. AGRADECIMIENTOS	142
CONCLUSIONES GENERALES	143
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	147

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

Tabla 1.- Catálogo de clasificación de razas según MAPA.	52
Figura 1.- Fechas y eventos relacionados con el origen y la difusión del pastoreo de cabras en todo el mundo (Pereira, 2010).	39
Figura 2.- El origen y la dispersión de las cabras domésticas en todo el mundo. Fechas aproximadas (años antes del presente) para la primera aparición de cabras domésticas en una región específica y las principales rutas de su difusión inicial. El área sombreada en el suroeste de Asia Indica la porción occidental de la actual distribución de cabras bezoar (<i>Capra aegagrus</i>). Crédito imagen: Pereira, F., 2010 Adaptado de trabajos de Mason, Smith, Bogucki, Shackleton y Zeder.	44
Figura 3.- Evolución del censo caprino mundial (1961-2018).	45
Figura 4.- Producción mundial de leche por especie. FAOSTAT 2019.	46
Figura 5.- Cabezas de ganado caprino vs producciones lecheras por regiones (porcentajes a 2018).	47
Figura 6.- Principales países productores de ganado caprino en el mundo (porcentajes 2018).	47
Figura 7.- Principales países productores de leche de cabra (porcentajes 2018).	48
Figura 8.- Distribución del censo caprino por comunidades autónomas de España para el 2018.	51
Figura 9.- Distribución porcentual de las razas caprinas españolas.	53
Figura 10.- Estructura del Esquema de Selección de la cabra Murciano-Granadina.	63

CAPÍTULO 1

Table 1. 1.- Data coding by levels.	76
Table 1. 2.- Biomodeling of the lactation curve in Murciano-Granadina goat for knot, productions and persistency fitted by Spline function including full data set and to each level of the factors analysed.	79

Table S 1.- F-values of measured variables of productions and persistency according to the fixed effects considered in the statistical analysis and the SD of random effects.	92
---	----

Figure 1. 1.- Biomodeling of the lactation curve in Murciano-Granadina goats and their persistency. PY = peak yield, IP = initial persistency, FP = final persistency and TP = total persistency.	80
---	----

Figure 1. 2.- Biomodeling of the lactation curve in Murciano-Granadina goats: PY = peak yield, IP = initial persistency, FP = final persistency and TP = total persistency according to variation factors: (a) dairy control nuclei of Almeria, Cordoba and Granada; (b) type of kidding (single, twin, triplet and upper), (c) lactation number (first, second, third, fifth and upper); and (d) season spring, summer, fall and winter; all adjusted by Spline.	81
---	----

CAPÍTULO 2

Table 2. 1.- Descriptive statistics for PY (kg/day), Y (kg/day) and P (dimensionless) traits in Murciano-Granadina goats.	107
Table 2. 2.- Estimates of variance components (additive genetic (σ^2_a), permanent environmental (σ^2_{pe}), residual (σ^2_e) and phenotypic variances (σ^2_p)), heritability (h^2) and repeatability (re) for PY, Y and P traits estimated by uni-, bi- and multi-traits models in Murciano-Granadina goats.	107
Table 2. 3.- Genetic (above diagonal) and phenotypic correlations (below diagonal) for PY, Y and P traits in Murciano-Granadina goats.	109
Table 2. 4.- Range of estimated breeding values (EBVs), accuracy and average reliability of EBVs obtained for PY, Y and P traits estimated by uni-bi-multi-traits models in Murciano-Granadina goats.	110
Table A 1.- Descriptive characteristics of the pedigree file.	121

CAPÍTULO 3

Figura 3. 1.- Tendencia genética para el carácter del pico productivo por año de nacimiento en cabras Murciano-Granadinas. (Genetic trend for peak yield by birth year in Murciano-Granadinas goats). Nota: el b que aparece en el modelo se evalúa con un error estándar de ± 0.0000799 y un p-valor = $<2e-16^{***}$	134
Figura 3. 2.- Tendencia genética para el carácter de rendimiento lechero por año de nacimiento en cabras Murciano-Granadinas. (Genetic trend for yield by birth year in Murciano-Granadinas goats). Nota: el b que aparece en el modelo se evalúa con un error estándar ± 0.0000866 y un p-valor = $<2e-16^{***}$	134
Figura 3. 3.- Tendencia genética para el carácter de persistencia por año de nacimiento en cabras Murciano-Granadinas. (Genetic trend for persistency by birth year in Murciano-Granadinas goats). Nota: el b que aparece en el modelo se evalúa con un error estándar de ± 0.0000396 y un p-valor = 0.58.	135
Figura 3. 4.- Tendencia fenotípica para el carácter del pico productivo por año de nacimiento en cabras Murciano-Granadinas. (Phenotypic trend for peak yield by birth year in Murciano-Granadinas goats). Nota: el b que aparece en el modelo se evalúa con un error estándar de ± 0.0006009 y un p-valor = $<2e-16^{***}$	135
Figura 3. 5.- Tendencia fenotípica para el carácter de rendimiento lechero por año de nacimiento en cabras Murciano-Granadinas. (Phenotypic trend for yield by birth year in Murciano-Granadinas goats). Nota: el b que aparece en el modelo se evalúa con un error estándar de ± 0.0004643 y un p-valor = $<2e-16^{***}$	136
Figura 3. 6.- Tendencia fenotípica para el carácter de persistencia por año de nacimiento en cabras Murciano-Granadinas. (Phenotypic trend for persistency by birth year in Murciano-Granadinas goats). Nota: el b que aparece en el modelo se evalúa con un error estándar de ± 0.000329 y un p-valor = 0.02.	136

ABSTRACT

In this last decade, due to the nutritional needs and demands of an expanding demography, at the global level, there has been a progressive awareness of the need to reduce the impact of the carbon footprint. Because of this, there is a growing interest and concern for products of animal origin that must respond to these specific challenges by regions. In fact, now not only are more productive animals are required, but it is also necessary to rely on the sustainability of those competitive production systems, respecting the animal welfare, providing adequate information by species and place of origin while maintaining high quality production standards. In Spain, goat milk production is generally used to make cheese, where quality brands linked to local breeds have been developed to grant them protection, not only as part of the country's animal genetic heritage, but also because they bring benefits for sustainability of the rural environment that this entails. At the national level within the specialized dairy goat breeds is the Murciano-Granadina, which is part of a select group of the highest quality for its high productive potential, characterized by longer periods of lactation and linked to cultural traditions deeply rooted in southern European livestock. This breed has a breeding program that bases its selection criteria on traits such as: milk yield, protein, fat and dry extract and more recently morphological traits. The novelty of this work is that it evaluates the biomodelation of traits of the lactation curve, such as the peak yield, peak day, yield and persistency. Two traits that to date have not been reported, their phenotypes and genetic behaviours. This study actually integrates the information from these economically important traits in order to examine the lifetime profitability of these dairy goats, the benefit of animal welfare and find out if their productive yields have been reduced. Also, we established the strategy of estimating genetic parameters

and evaluating genetic-phenotypic trends for the traits of interest that are not yet incorporated in the breeding program of the breed (that is, peak yield and persistency), therefore, all this information is taken into the consideration by the MURCIGRAN association. Therefore, the objective of the first chapter was to characterize the peak yield, peak day, yield and persistency through biomodelation with respect to variations in factors (i.e., region, type of kidding, lactation number and season) using for this the *Spline* model for its best fit for the breed. In Chapter 2, special attention was paid to estimate the genetic parameters for previously studied traits using multivariate models, testing the accuracy of the calculation of genetic values and possible convergence problems. Chapter 3 presents a study to evaluate both genetic and phenotypic trends for all traits analysed in the breed. The results of these investigations show that the peak yield and persistency were adequately localized in the lactation curves by through parameters and knots *Spline*, traits that like the yield were affected by the variation factors and that affected the scale and/or shape of the curves, confirming also that the high productions are in the decrease of the trait of persistency. After the estimation of genetic parameters of these analysed traits, it was determined that these were low and somewhat close to intermediate values, indicating that most of their variations were due to environmental factors suggesting that they are very complex traits and remain fairly stable for several generations. The genetic correlations observed for the traits of peak yield-yield were highly correlated and positive, which indicates that it is possible to select for both, while the traits of productive peak yield-persistency and yield-persistency showed low to negligible and negative values. These results indicate that there is no antagonism between the traits under study and that they can be

combined in the early stages of the evaluation of the breeding program, with a careful interpretation of persistency trait analysis. Our contribution to science may provide information for a better understanding of the behaviour of the traits of the Murciano-Granadina goat lactation curve, and its respective impact on reproduction, health and, more importantly, it may provide the basis for incorporating the information available into studies related to other functional traits and animal welfare in dairy production.

RESUMEN

En las últimas décadas, debido a las necesidades y demandas alimenticias de una demografía expansiva, a nivel global hay una progresiva concientización para reducir el impacto de la huella de carbono. Debido a esto existe un creciente interés y preocupación por los productos de origen animal que deben responder a estos desafíos específicos por regiones. En efecto, ahora no solo se requieren animales más productivos, hay que basarse en la sostenibilidad de esos sistemas competitivos de producción respetando el bienestar de los animales, proporcionando una adecuada información por especie y lugar de procedencia manteniendo los estándares de producción de alta calidad. En España, la producción lechera caprina va destinada generalmente a la elaboración de quesos, donde se han desarrollado marcas de calidad vinculadas a razas locales para otorgarles protección, no solo como parte del patrimonio genético animal del país, sino también porque traen beneficios para la sostenibilidad del medio rural que ello conlleva. A nivel nacional dentro de las razas caprinas lecheras especializadas se encuentra la raza Murciano-Granadina, misma que forma parte de un selecto grupo de primer orden por su elevado potencial productivo, caracterizada por periodos de lactancia más prolongados y su vinculación estrecha a las tradiciones culturales de gran arraigo en la ganadería meridional europea. Esta raza cuenta con un programa de mejora genética que basa sus criterios de selección en caracteres como: rendimiento lechero, proteína, grasa y extracto seco y más recientemente caracteres morfológicos. La novedad de este trabajo es que evalúa la biomodelación de caracteres de la curva de lactación como el pico productivo, día al pico, rendimiento y la persistencia. Caracteres que a fecha de hoy no han sido reportados sus comportamientos tanto fenotípicos como genéticos; de hecho, en este estudio

se integra la información de estos rasgos económicamente importantes con vistas a examinar la rentabilidad de por vida de esta raza lechera, el beneficio al bienestar animal y si se han mermado sus rendimientos productivos. También, instauramos la estrategia de realizar estimación de parámetros genéticos y evaluación de tendencias genéticas-fenotípicas para los caracteres de interés que aún no se encuentran incorporados en el programa de mejora genética de la raza (esto es, el pico productivo y la persistencia), por ende, toda esta información se pone a consideración de la asociación MURCIGRAN. Por consiguiente, el objetivo del primer capítulo fue caracterizar el pico productivo, día al pico, rendimiento lechero y persistencias mediante la biomodelación respecto a la influencia de factores de variación (esto es, región, tipo de parto, número de lactación y estación) usando para ello el modelo *Spline* por su mejor bondad de ajuste para la raza. En el capítulo 2 se prestó especial atención para estimar los parámetros genéticos para los caracteres previamente estudiados utilizando modelos multivariados testeando la precisión del cálculo de los valores genéticos y los posibles problemas de convergencia. El capítulo 3 presenta un estudio para evaluar tanto las tendencias genéticas como fenotípicas para todos los caracteres analizados en la raza. Los resultados de estas investigaciones muestran que el pico productivo y persistencias fueron localizadas adecuadamente en las curvas de lactación mediante parámetros y nodos de *Spline*, caracteres que al igual que el rendimiento lechero se vieron afectados por los factores de variación y que afectaron la escala y/o forma de las curvas, confirmándonos también que las altas producciones van en decremento del carácter de persistencia. Posteriormente a la estimación de parámetros genéticos de estos caracteres analizados se determinó que estos fueron bajos y algo próximos

a valores intermedios, indicándonos que la mayor parte de su variación fueron debidos a factores ambientales sugiriéndonos que son caracteres muy complejos y se mantienen bastante estables durante varias generaciones. Las correlaciones genéticas observadas para los rasgos de pico productivo-rendimiento fueron altamente correlacionadas y positivas, lo que indica que es posible seleccionar por ambos, mientras que los rasgos de pico productivo-persistencia y rendimiento-persistencia mostraron valores bajos a despreciables y negativos. Estos resultados indican que no hay antagonismo entre los rasgos en estudio y que se pueden combinar en las primeras etapas de la evaluación del programa de selección, con una interpretación cuidadosa del análisis del carácter de persistencia. Nuestra contribución a la ciencia es que puede proporcionar información para una mejor comprensión sobre el comportamiento de los caracteres de la curva de lactación de cabras Murciano-Granadina, y su respectivo impacto en las características de reproducción, salud y más importante aún, puede proporcionar la base para integrar la información disponible con los estudios relacionados con otros rasgos funcionales y bienestar animal en producción lechera.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.- Introducción y antecedentes.

La cabra doméstica proviene de la forma salvaje *Capra aegragus cretica* (*Capra aegragus hircus*), y al igual que las ovejas constituyen una tribu dentro de la familia *Bovidae* del suborden Rumiantes, llamado *Caprini*, el cual se clasifica dentro del orden *Artiodactyla* al poseer la pezuña hendida (Linnaeus 1758); presentando 60 cromosomas y una gran diversidad de fenotipos. Las especies de cabras salvajes presentan un marcado dimorfismo sexual entre machos y hembras, con grandes diferencias de talla, color y cuernos. Aun así, las distintas razas domésticas suavizan estas diferencias, por ejemplo, existen cinco especies de cabras agrupadas por la conformación de sus cuernos y lugar de origen. Entre ellas se encuentran la *aegragus* (Este Asiático), *ibex* (Alpes Siberianos), *falconeri* (Asia Central), *pirenaica* (España), y *cilindricone* (Cáucaso) (ACPA 2004). Otra característica general de las cabras es que son poco exigentes en su alimentación, y al ser herbívoros pueden comer cualquier materia vegetal como: hierba, hojas, brotes, etc. Además, se pueden levantar sobre las patas traseras para llegar a las hojas o frutos de los árboles (acción de ramoneo), confiriéndoles una diferenciación establecida relacionada con su uso para el consumo humano.

El origen de la civilización y su desarrollo ulterior, ha estado indisolublemente ligado a la domesticación y mejora de los animales. La domesticación, que es difícil de definir de manera integral y objetiva, puede entenderse como una relación mutualista a largo plazo entre humanos y especies de plantas o animales que implica una ventaja selectiva para ambas partes pudiendo interpretarse como un proceso continuo. Específicamente en la cabra la domesticación ha sido

interpretada como eventos independientes en el “*Fertile crescent*” (Próximo Oriente - montañas de Zagros - Irán) y en Asia (Luikart *et al.* 2001; Chen *et al.* 2005). Sin embargo, Naderi *et al.* (2008) y Naderi *et al.* (2007) en sus análisis arqueozoológicos y genéticos basados en la caracterización y comparación de fragmentos cortos de la región del ADN mitocondrial de cabras domésticas y silvestres, mostraron que la domesticación de *Capra hircus* se llevó a cabo en una amplia área geográfica, teniendo un único origen neolítico (Ajmone-Marsan *et al.* 2014). También a partir de la cabra silvestre bezoar (*Capra aegagrus*), progenitor de la cabra doméstica (*Capra hircus*) (Fernandez *et al.* 2005; Luikart *et al.* 2006); que data esta domesticación desde hace 11.000 años (**figura 1**) justo al comienzo de la transición revolucionaria de cazadores-recolectores a sociedades basadas en la agricultura y pastoreo (Molist *et al.* 2004; Pereira & Amorim 2010). Estas evidencias corroboran los estudios realizados por Zeder *et al.* (2006); Zeder (2008) y Porter (1996); quienes propusieron a las cabras como los primeros animales herbívoros salvajes propiamente domesticados.

Entonces la domesticación puede definirse como el control de una población animal a partir del aislamiento de un grupo de individuos, que son sometidos a una selección artificial para: (i) controlar directamente la reproducción de los animales y (ii) obtener unos caracteres específicos de conveniencia para los grupos humanos con el fin de satisfacer sus necesidades; ya sean alimenticias o de materias primas (Sañá 1999; Pérez-Ripoll 2001). En este sentido en una selección inicial aún puede haber una cierta independencia con los humanos, pero en una selección avanzada los animales dependen de ellos, tanto en su alimentación, como en la reproducción

y protección. Por ello, a partir de una presión selectiva controlada aparecen cambios morfológicos en los animales, que podrían producirse de un modo rápido; lo que permite calcular después de unas 30 generaciones, sí las cabras y ovejas, sometidas a presión selectiva, pueden manifestar los cambios deseados en el transcurso de unos 150 años. Sin embargo, Bökönyi (1976) plantea que dichos cambios morfológicos no tenían por qué producirse tan aceleradamente, y que su manifestación se mostrará de manera lenta

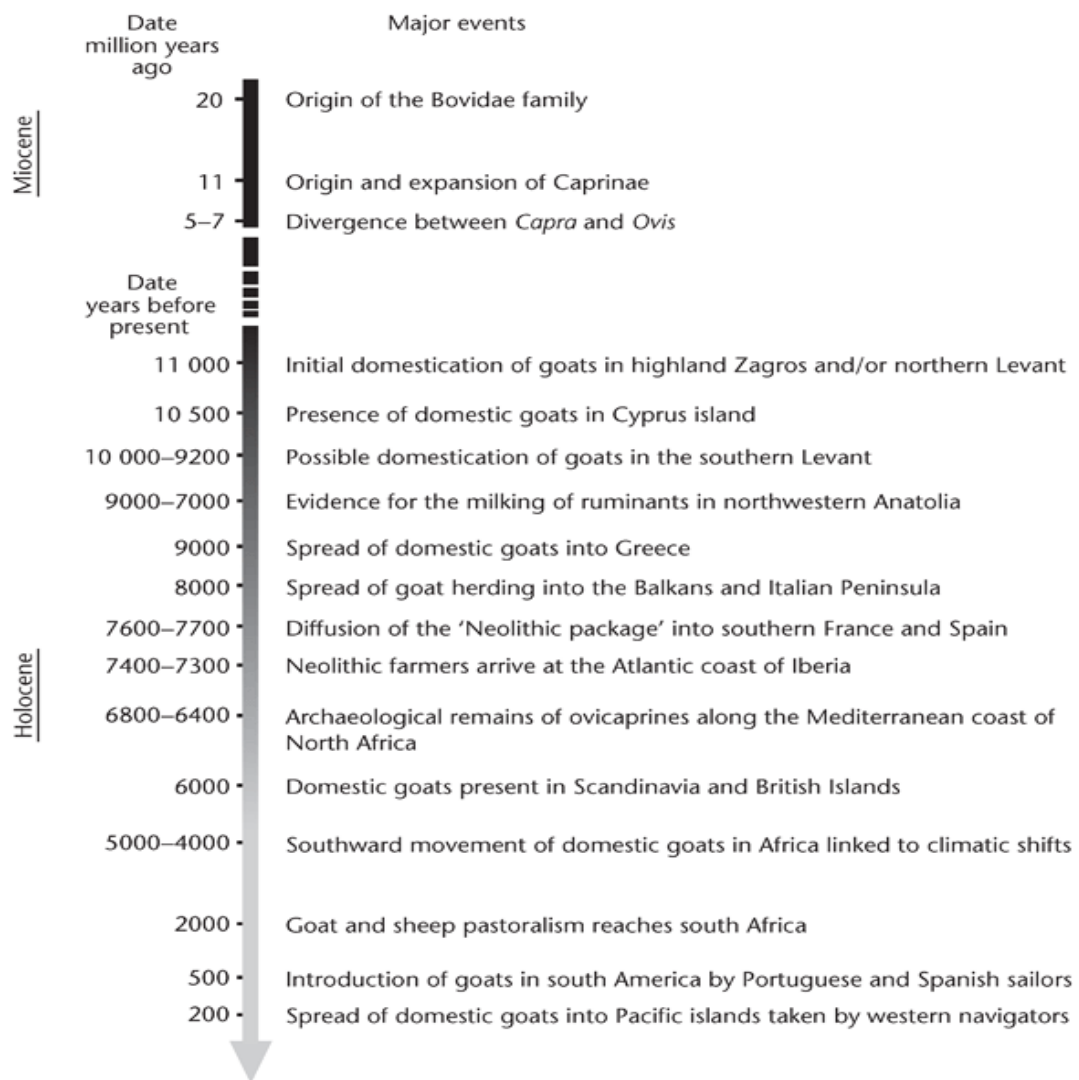


Figura 1.- Fechas y eventos relacionados con el origen y la difusión del pastoreo de cabras en todo el mundo (Pereira, 2010).

La evidencia anterior indica que desde esos tiempos el caprino siempre ha estado presente tanto en las sociedades humanas antiguas como en el presente, cumpliendo roles importantes en la religión, la cultura, la economía, la nutrición y la tradición; ya sea como símbolo citando el caso de la India que es representado por Prakriti como madre del mundo o transformada en hija del sol en leyendas griegas, incluso hasta su participación en holocaustos bíblicos o fábulas famosas como las de Esopo (Cofré *et al.* 2001; Boyazoglu *et al.* 2005).

También jugaron un papel importante en la mitología egipcia (Khnum: guardián de las fuentes del Nilo), hindú (Aya Ekanad: simbolizaba el relámpago, la fuerza y el poder incontrolable), Nórdica europea (Heidrun, Thor: carroza tirada por cabras), griega (Aegis, Amaltea), hebrea, china, mongola, y rusa (Lequias o Ijeschie - espíritu de los bosques). Así como en la india, la palabra “gota” significa la primera sustancia desconocida del mundo vivo (Hatziminaoglou & Boyazoglu 2004; Boyazoglu *et al.* 2005).

Este versátil animal doméstico al ser identificado por el ser humano como un proveedor de carne, leche, estiércol, piel o pelo, sumando a ello la capacidad de la especie para adaptarse a múltiples climas y sistemas, ha generado importantes indicadores de producción. En el caso de la leche resalta la obtención de productos como el queso; mientras que la piel se ha utilizado para botellas de agua y vino, tanto en los viajes como en el transporte de vino para la venta. Además, se ha utilizado para producir pergaminos pues era considerado el material de más uso común para escribir en Europa hasta la invención de la imprenta.

En tanto, el estiércol a modo de combustible, fertilizante y hasta para la cocción en cerámica, mientras que, la fibra conocida como Cachemira ó Cashmere y su variante la pashmina es ampliamente usada por su calidez y suavidad en suéteres, bufandas y mantones. Por consiguiente, hoy en día existen razas domésticas especializadas en la producción de cada uno de los productos.

2. Distribución geográfica mundial.

Un esfuerzo de investigación colaborativa que integra la genética y la arqueología ha ampliado enormemente nuestra capacidad no sólo para detectar el contexto, los lugares y horarios de la domesticación inicial de la cabra (Meadow 1996; Naderi *et al.* 2007), sino también para trazar las trayectorias migratorias utilizadas por los seres humanos para difundir este animal en todo el mundo gracias a su reducido formato corporal, su agilidad, habilidad para el pastoreo, rusticidad, notable capacidad de adaptación a climas extremos y terrenos difíciles (p.ej. baja pluviosidad, escasas disponibilidades forrajeras, topografía accidentada).

Esta especie también se caracteriza por la utilización de rastrojos y subproductos derivados de cultivos agrícolas, logrando productividades aceptables, estableciéndola como especie más idónea que la ovina y la bovina; así como para evaluar el ascenso y la caída de las redes migratorias y comerciales humanas en tiempos históricos (Amstrong 2013; Nomura *et al.* 2013). En alusión a ello en la **figura 2** podemos apreciar el origen y dispersión de las cabras.

Por otra parte, los caprinos fueron importantes durante las etapas Greco-romana, Edad Media y el Renacimiento; alcanzando su punto de inflexión en el siglo

XVIII cuando surgió en Europa distintas poblaciones a través de cría seleccionada de cabras asiáticas y africanas. Subsiguientemente, en el siglo XIX se observó un cambio en la estructura social y en los métodos de producción. A su vez la especialización en la producción agrícola fue reemplazando la agricultura tradicional, destinada a abastecer la creciente población urbana. A la par las importaciones de lana desde el hemisferio sur se forzaban precios que tendían a bajar, donde frustrados criadores de ovejas pasaron a la cría de cabras.

A principios del siglo XX, la población de cabras en Europa (excepto Grecia) se redujo circunstancia atribuible, entre otras cosas, a las leyes estrictas que discriminaban a las cabras, como "*una amenaza para el medio ambiente*", en particular en las zonas boscosas con un olvido técnico impuesto por la marginación que ha provocado la explotación de otras especies y la industrialización del campo.

Sin embargo, la caprinocultura en países desarrollados ha sobrevivido a estos embates gracias a las implicaciones culturales, económicas y de acceso a la información científica a través de la investigación y extensión en beneficio de las industrias de cada región, en especial en los países mediterráneos. Al respecto Mason (1981) proyectó que la formación de asociaciones de criadores, libros de registro y patrones definidos delimitarían a las mejores razas en Europa y Estados Unidos, demostrando que la cría de cabras no es sinónimo de subdesarrollo y de pobreza.

Como otros antecedentes referidos al continente Americano, las cabras fueron introducidas en el siglo XV por colonizadores españoles y portugueses (De Figueiredo & Barbieri 1990), provenientes específicamente de las regiones de

Granada, Murcia, Málaga (Mellado 1997; Revidatti *et al.* 2007), y de las Islas Canarias, las cuales provenían de las variedades carniceras de la India, Medio Oriente y África; llegando a influir en la constitución del mosaico racial americano, además, comienzan a ser demandadas en esas áreas debido a sus características rústicas y productivas, llegando a denominarlas actualmente “Criollas” (ACPA 2004).

Aunque el crecimiento y necesidades poblacionales van en incremento, actualmente, la crianza de cabras tiene una relevancia productiva muy discreta a escala mundial, comparado con otras especies ganaderas de rumiantes. Como recurso genético son importantes por su rol en ecosistemas sostenibles, que contribuyen a la calidad de vida que tenemos, otorgan beneficios económicos y se adaptan bien a las difíciles condiciones ambientales locales (Meydan 2017).

Por esa razón, se vienen realizando esfuerzos para prevenir la pérdida de razas autóctonas, protegerlas, conservarlas y gestionarlas de acuerdo a la importancia dada por los países. Así que la aceptación del consumidor de productos de cabra de alta calidad, junto a las antiguas tradiciones culturales ofrece una perspectiva positiva para el sector caprino en los países desarrollados.

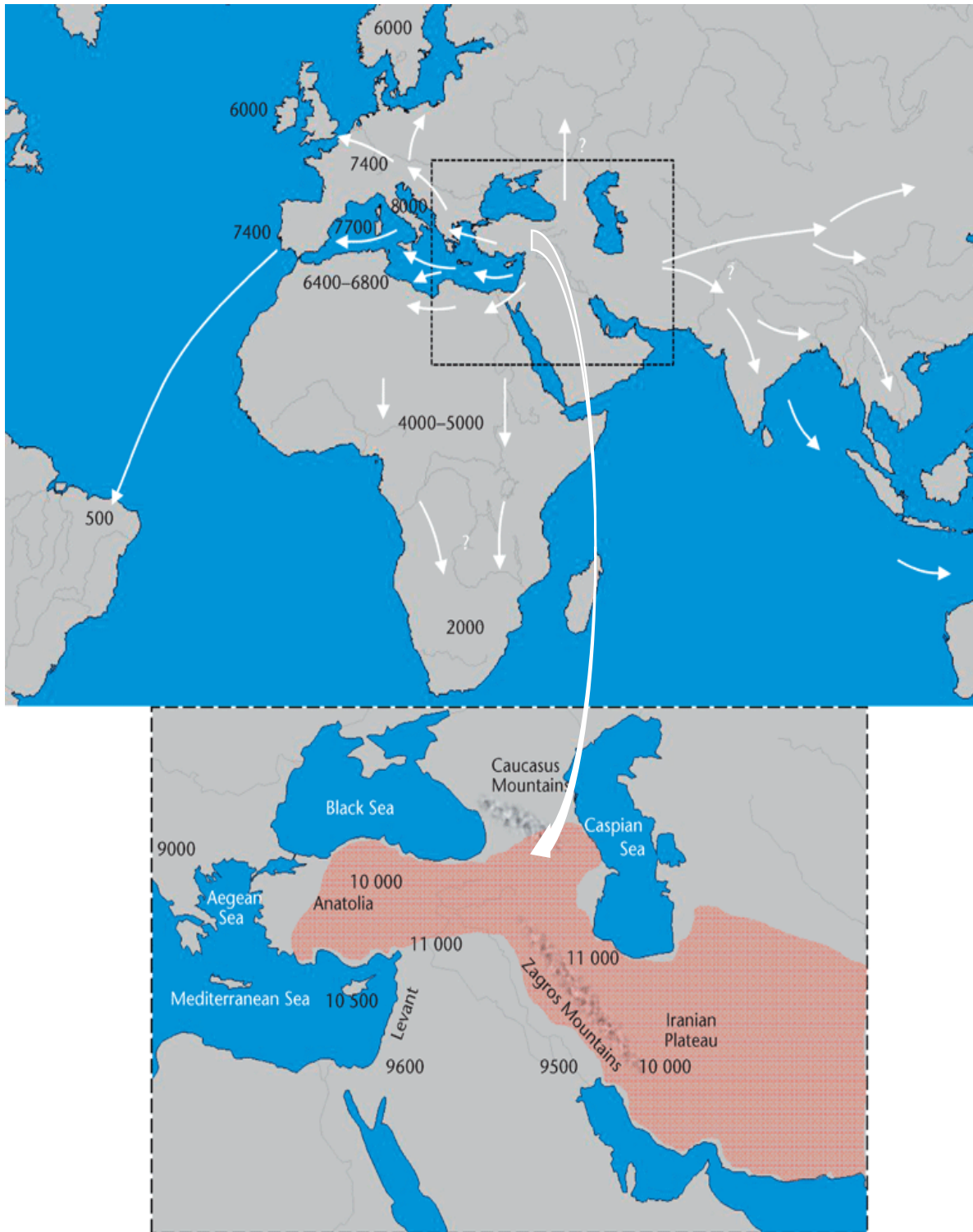


Figura 2.- El origen y la dispersión de las cabras domésticas en todo el mundo. Fechas aproximadas (años antes del presente) para la primera aparición de cabras domésticas en una región específica y las principales rutas de su difusión inicial. El área sombreada en el suroeste de Asia Indica la porción occidental de la actual distribución de cabras bezoar (*Capra aegagrus*). Crédito imagen: Pereira, F., 2010 Adaptado de trabajos de Mason, Smith, Bogucki, Shackleton y Zeder.

3. Censos y producción de leche de cabra.

La evolución tanto de los censos y las producciones caprinas a nivel mundial (**figura 3**), ha tenido una tendencia creciente según datos reportados y publicados por FAOSTAT (FAOSTAT 2019).

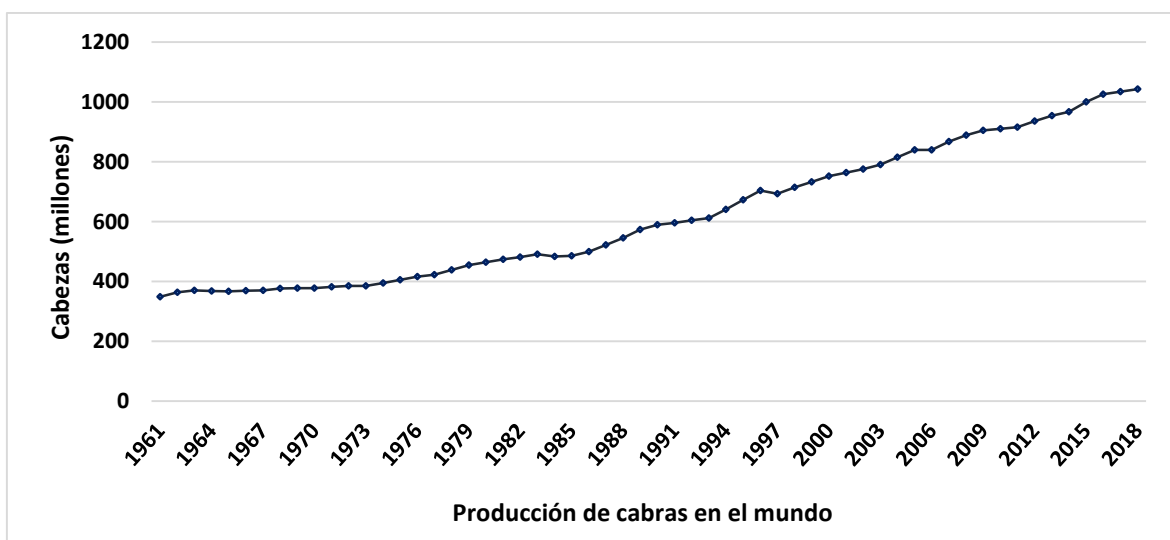


Figura 3.- Evolución del censo caprino mundial (1961-2018).

*Fuente: FAOSTAT 2019.

A nivel mundial se estima que el ganado caprino, en el periodo de 1961 a 2018, se compuso de más de 1000 millones de cabezas, las que produjeron más de 608 millones de toneladas de leche. Sin embargo las producciones lecheras caprinas apenas representan el 2 % (**figura 4**) de la producción mundial de leche (representada por: vacas 86,8%, búfalas 9,5%, ovejas 1,4%, camellas 0,3%, la parte restante procede de especies lecheras como los equinos y yaks) (FAOSTAT 2019).

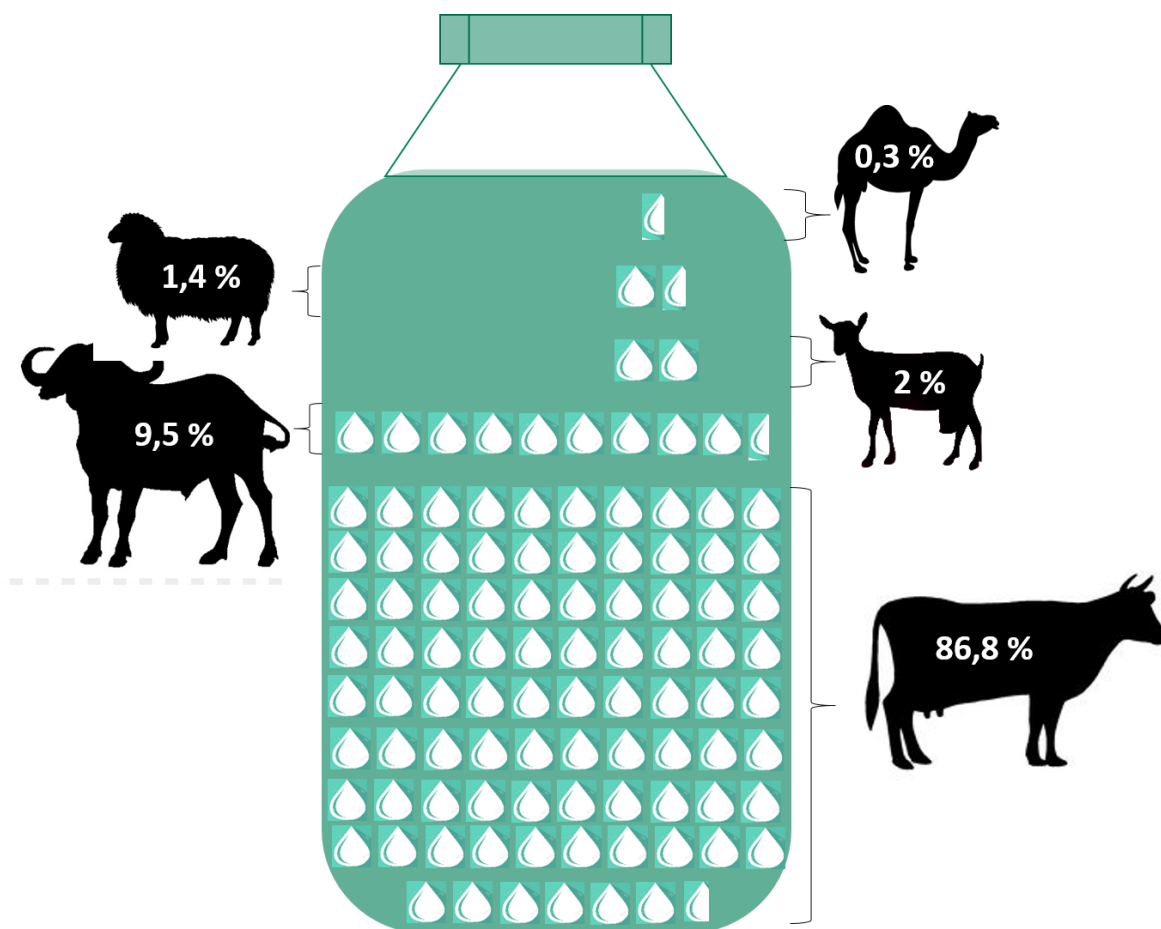


Figura 4.- Producción mundial de leche por especie. FAOSTAT 2019.

* Fuente: FAOSTAT 2019 – Figura de elaboración propia a partir de los resultados e informes del año 2018.

En la última década la media de la población caprina se encuentra mayoritariamente en Asia (55,8%) y África (38%), y el restante del efectivo caprino se encuentran distribuidos entre América (3,9%), Europa (1,9%) y Oceanía (0,4%) (**figura 5**). Los países que agrupan más ganado caprino son: China continental, India, Nigeria, Pakistán, Bangladesh, Chad, Sudán, Etiopía, Mongolia y Kenia (ver **figura 6** donde se aprecia porcentajes para los 10 principales productores de caprino).



Figura 5.- Cabezas de ganado caprino vs producciones lecheras por regiones (porcentajes a 2018).
 * Fuente: FAOSTAT 2019 – Figura de elaboración propia a partir de los resultados e informes del año 2018.

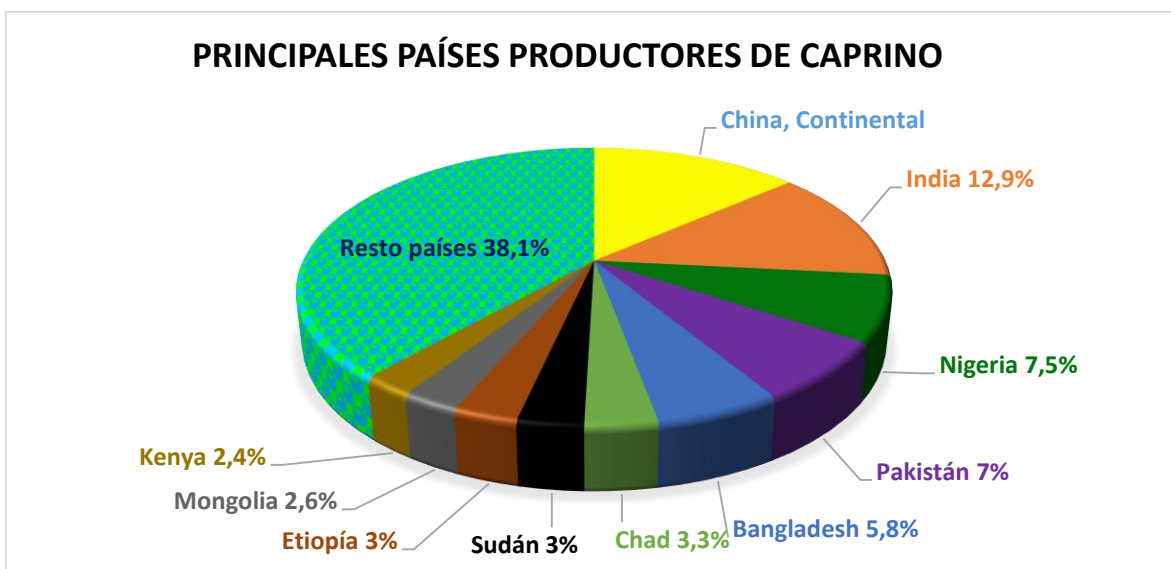


Figura 6.- Principales países productores de ganado caprino en el mundo (porcentajes 2018).
 *Fuente: datos FAOSTAT 2019 - Gráfica de elaboración propia a partir de los resultados e informes del año 2018.

Respecto la proporción de producción de leche por región Asia (56,6%) y África (24,2%) reportan los mayores porcentajes; mientras que las regiones de Europa (15,1%) y América (4,1%) muestran un considerable incremento (**figura 5**). Así que países como: India, Bangladesh, Sudán, Pakistán, Francia, Grecia, Turquía, España, Sudán del Sur y Malí se posicionan como los principales productores de leche fresca de cabra (ver **figura 7** donde se aprecia porcentajes para los 10 principales productores de leche caprina). En cuanto a los rendimientos lecheros medios de las cabras, estos varían considerablemente entre los principales países productores de leche. Por ejemplo, en Bangladesh el rendimiento medio de producción de leche de cabra es de aproximadamente 80 kilogramos por año, mientras que en la India y Pakistán es de más de 140 kilogramos por año.

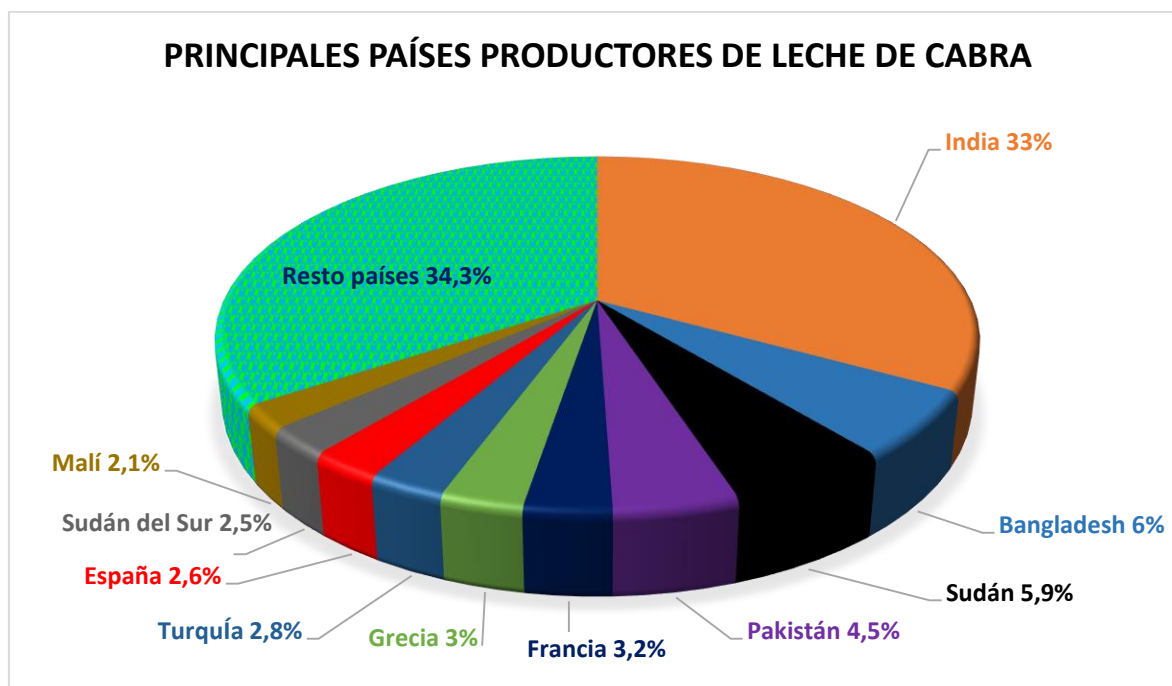


Figura 7.- Principales países productores de leche de cabra (porcentajes 2018).
 *Fuente: FAOSTAT 2019 - Gráfica de elaboración propia a partir de los resultados e informes del año 2018.

Los datos anteriores nos permiten apreciar que, aunque la mayoría de las cabras lecheras se encuentran en los países en vías de desarrollo, los programas de mejoramiento se concentran en Europa y América del Norte obteniendo razas caprinas lecheras especializadas con un mayor potencial genético para la producción de leche en comparación con las razas utilizadas en los países en desarrollo.

La selección genética de las cabras lecheras ha dado lugar a aumentos considerables de los rendimientos y a períodos de lactancia más prolongados (FAO 2019). A nivel continental, Europa a pesar de poseer un menor censo efectivo total con un 1,9 % (ocupando una cuarta posición), alcanza producciones lecheras que representan el 15,1 % del total global producido; donde países como Francia, España y Grecia se sitúan entre los primeros 10 países productores de leche fresca caprina (**figura 7**).

La producción lechera caprina europea destinada en gran medida a la fabricación de quesos de un alto valor gastronómico, sitúa a Francia (20,01%), Grecia (8,56%) y España (8,09%) entre los 10 principales productores de quesos en el mundo. De hecho, estos países agrupan el 49,32% del censo caprino europeo; así como un 55,13% de la producción de leche y el 87,71% de la producción de quesos de cabra de toda la región europea. Concretamente España en la última década (2008-2018) se encuentra en una situación intermedia, posicionándose como el segundo país de la comunidad europea (**UE**) en censo caprino con 21,08%, y su producción lechera caprina representa el 24,11% de la producida en la UE.

Es de destacar el excelente patrimonio genético que tiene España, contando con razas autóctonas muy rústicas y otras bastante seleccionadas y productivas, conservando sistemas todavía muy tradicionales junto a otros modernos y optimizados. Asimismo, los productos de las cabras están dejando de ser productos tradicionales locales y están desarrollando un mercado de alimentos de calidad internacional con alta demanda y precio, aludiendo a los quesos de calidad y el cabrito lechal.

Es así que, a finales de 2018 el grueso del efectivo caprino español (más del 70%) se distribuía según orden en las comunidades autónomas de: Andalucía, Castilla-La Mancha, Extremadura, Canarias, y Murcia (MAPA 2019a); siendo Andalucía la región con mayor producción de leche (46,63%) seguida de producciones importantes de Castilla-La Mancha (17,35%), Murcia (10,76%), Extremadura (7,99%), Castilla y León (5,82%) y Canarias (5,44%); conformando así el 93,98% del total (483706 litros) producido en España (FEGA 2019). En la **figura 8** podemos apreciar el censo total de cabras por comunidades autónomas acorde al periodo 2018.

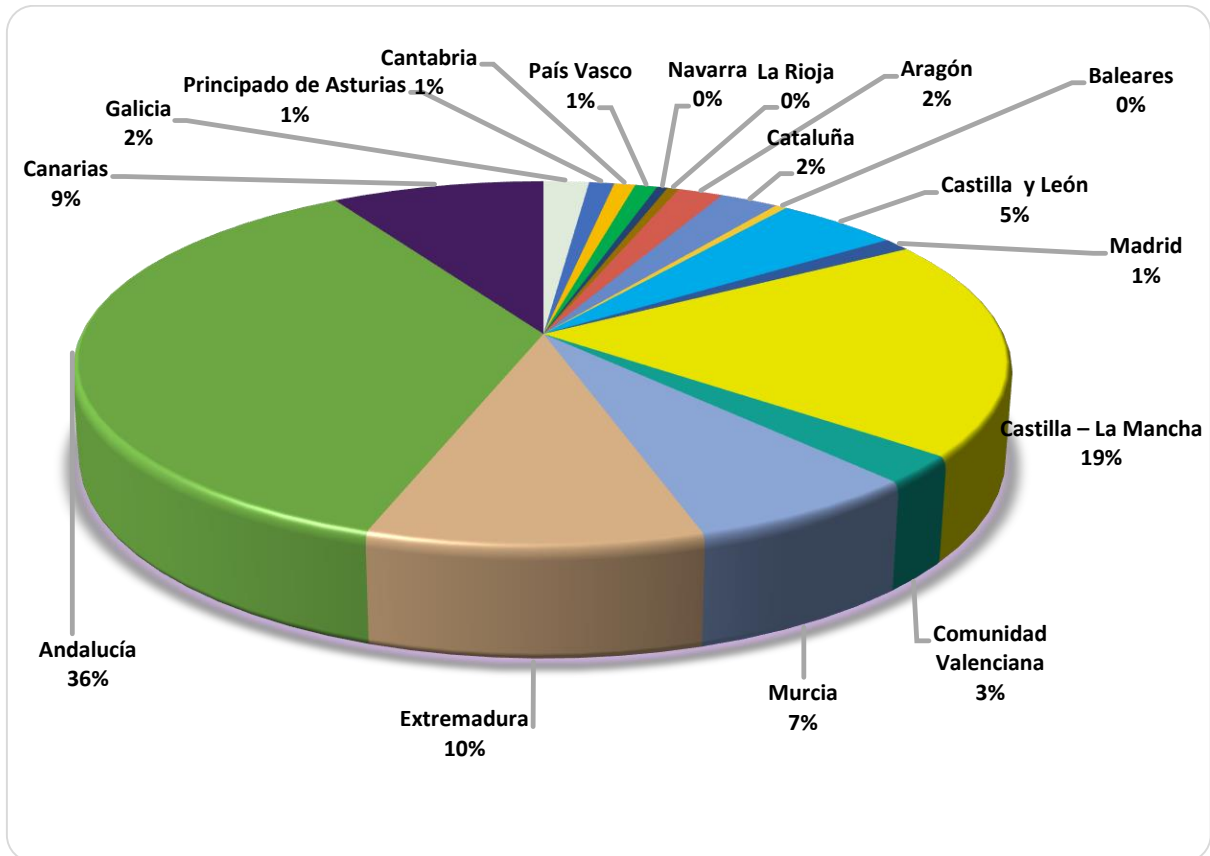


Figura 8.- Distribución del censo caprino por comunidades autónomas de España para el 2018.
 * Fuente: MAPA – Gráfica de elaboración propia a partir de los resultados e informes de ganadería del año 2018.

4. Clasificación de razas españolas.

A través del Real Decreto 45/2019, de 8 de febrero, por el que se establecen normas zootécnicas y genealógicas aplicables a los animales reproductores de raza pura, se actualiza el Programa nacional de conservación, mejora y fomento de las razas ganaderas (establecido inicialmente mediante Real Decreto 2129/2008, de 26 de diciembre), que en su respectivo ANEXO I, muestran el Catálogo oficial de Razas de Ganado de España. En este Catálogo el ganado caprino español es clasificado como raza autóctona (clasificación acorde a los criterios establecidos por el

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - **MAPA**) y son presentadas como sigue en la **tabla 1.1**.

Tabla 1.- Catálogo de clasificación de razas según MAPA.

Catálogo de Razas - ARCA- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
RAZAS AUTÓCTONAS CAPRINAS
<p style="text-align: center;"> AZPI GORRI BERMEYA BLANCA ANDALUZA O SERRANA BLANCA CELTIBÉRICA BLANCA DE RASQUERA CABRA DE LAS MESETAS CABRA GALEGA DEL GUADARRAMA FLORIDA EIVISSENCA MAJORERA MALAGUEÑA MALLORQUINA MONCAÍNA MURCIANA-GRANADINA NEGRA SERRANA PALMERA PAYOYA PIRENAICA RETINTA TINERFEÑA VERATA </p>

En el censo caprino a cierre del 2018 (**figura 9**) y según el Registro Definitivo del MAPA, las razas españolas que presentaron un mayor número de ejemplares fueron: Murciano-Granadina (40%), Malagueña (15,99%), Florida (9,47%), Majorera (5,53%), Tinerfeña (3,76%), Payoya (3,63%), Verata (3,58%), Del Guadarrama (3,52%), Blanca Celtaibérica (3,35%) y Blanca Andaluza (3,01%); conformando así más del 91 % del total distribuidas en las diferentes regiones autonómicas.

Estas razas caprinas españolas están establecidas en condiciones ambientales muy diferentes, se presentan en diversos sistemas de producción,

desde los tradicionales, con rebaños de aptitud cárnica o mixta (carne y leche), hasta los sistemas más especializados en la producción de leche, con tecnología más avanzada (Mena-Guerrero *et al.* 2005).

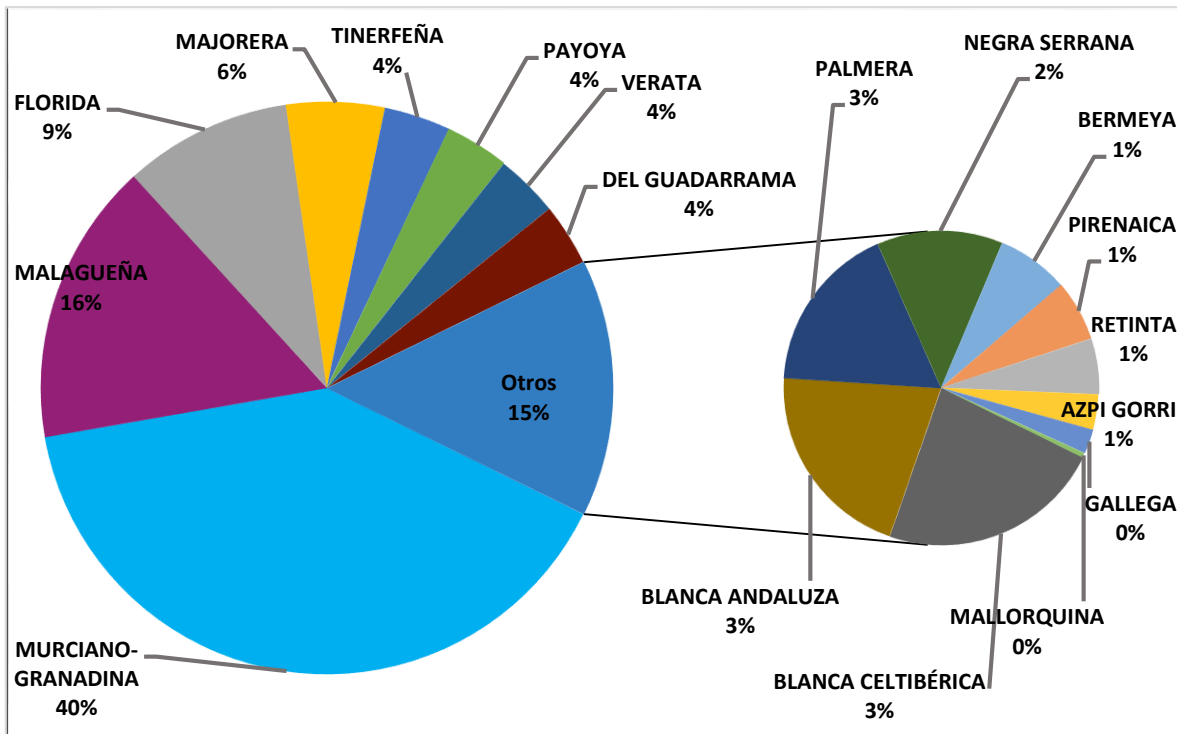


Figura 9.- Distribución porcentual de las razas caprinas españolas.

*Fuente: ARCA - Elaboración propia a partir de los resultados e informes de animales que cuentan con Registro definitivo a cierre del 2018.

En la actualidad estas razas caprinas españolas cuentan con 20 Programas de Mejora (actuaciones sistematizadas, diseñadas y desarrolladas por las asociaciones de cada raza que pasan a ser aprobadas oficialmente por las autoridades competentes y avalados por un centro cualificado de genética animal).

Los mismos son soportados por las asociaciones de criadores que persiguen la conservación para el mantenimiento de la diversidad genética o fomento de una raza autóctona nacional y la selección de los mejores reproductores. Estos aspectos son de vital importancia en la mejora caprina que viabilizan métodos de control de

rendimientos y de evaluación genética de los animales, enmarcados dentro de los respectivos Programas de Mejora y a su vez son indispensables para conseguir el progreso genético de los animales.

Las razas de aptitud lechera predominante son: la Murciano-Granadina, Florida, Malagueña, Majorera y Tinerfeña, estando las tres primeras distribuidas a nivel nacional con elevados censos y producciones lácteas. Como punto importante destacar que Andalucía cuenta con el mejor patrimonio genético en caprino lechero, tanto a nivel nacional como internacional, siendo la cuna de origen de 4 grandes razas lecheras: Florida, Malagueña, Murciano-Granadina y Payoya, con la particularidad de que no han sido mermadas por importaciones de razas foráneas especializadas. Es de señalar que las características de cada una de estas razas ganaderas y su normativa se pueden consultar en la aplicación del Sistema Nacional de Información de razas (**ARCA**) del MAPA.

5. La raza autóctona Murciano-Granadina.

En el tema que nos ocupa la cabra Murciano-Granadina (**MG**) procede de la *Capra Aegagrus* cuya forma secundaria es la cabra Pirenaica, en su distribución, que se asentó por España en los Valles del Segura, del Darro y del Genil.

La MG recibe su nombre por las provincias que ocupó originalmente Murcia y Granada desde las cuales se extendió al Levante Español y Andalucía. Históricamente, tanto la cabra murciana como la cabra granadina poseen una larga data; pero las referencias legales que se tienen de las dos razas originarias, datan del Decreto 2394/1960, de 15 de diciembre, del Ministerio de Agricultura. En efecto,

basado en este decreto se aprueba el Reglamento de Libros Genealógicos y Comprobación de Rendimientos del Ganado, donde en su título IV art. 96 indica que el Libro Genealógico y Comprobación del Rendimiento Lácteo en la Especie Caprina afectará a las razas: Murciana, Granadina y Malagueña (MURCIGRAN 2018).

Si bien la raza Granadina como la Murciana son razas diferentes desde sus orígenes, ya desde el año 1979 es cuando por vez primera se menciona en textos legales a la raza MG según la Resolución de 28 de marzo de 1979, y acorde a la Dirección General de la Producción Agraria, por la que se aprueba el Esquema de Valoración Genético-Funcional de Machos Reproductores de la Raza MG (León 2015).

En la actualidad, se reconocen tres tipos de animales dentro de la raza MG, incluso se han descrito diferentes variedades dentro de estos morfotipos; unos más rústicos de mayor formato y con tendencia a poseer capas negras, estando más adaptados a regiones de mayor altitud y a regímenes extensivos y semi-extensivos (Granadinas). Otros de apariencia más frágil, menor tamaño, tendencia a las capas caoba que presentan una mayor adaptación a los sistemas intensivos (Murcianas). Y un tercer morfotipo (Murciano-Granadino) que actualmente se encuentra en un proceso de gran expansión (Salvador & Martínez 2007; Pérez 2013).

Este morfotipo MG dada su adecuada adaptación al medio, se encuentra en sistemas de explotación semi-intensivos, en la mayor parte de los casos y no trashumantes. Otra característica es su capacidad de aprovechamiento de subproductos agrícolas en el campo, ya sea de la industria agroalimentaria o de los pastos cercanos a la explotación. Así que es considerado un animal clave para el mantenimiento de la población en zonas rurales donde es capaz de aprovechar

recursos que ninguna otra especie ha podido (Pérez 2013). Su actitud curiosa y capacidad de ramoneo las convierten en “desbrozadoras de cuatro patas que siegan a diente” manteniendo controlado el crecimiento y la desecación de la pradera (Poto *et al.* 2000; Varillas 2006). Así mismo, los rebaños aprovechan eficientemente la biomasa del sotobosque, previniendo incendios forestales, fomentando además la presencia permanente de pastores profesionales, a pesar que estos son cada vez menos y más viejos (Ruiz-Mirazo *et al.* 2007).

Es conocido que esta cabra MG goza de una estructura fina y delicada, generalmente sin cuernos, con una capa uniforme de color negro o caoba y una producción lechera de 530 litros de promedio por lactación, que destaca por su elevado contenido en grasa (5,6%) y proteína (superior al 3,6%) (Camacho *et al.* 2010; ARCA 2017), permitiéndole tener un buen rendimiento para la producción de quesos, siendo éste su principal destino, lo que en conjunto hace que la MG sea competitiva frente a otras razas foráneas mejoradas, que son mucho más grandes y con requerimientos alimenticios más complejos (PAIDI-AGR-218 2012).

6. Gestión del libro genealógico.

La gestión de la raza mediante el Libro Genealógico hasta hace unos años atrás, era llevado a cabo por dos asociaciones de productores: CAPRIGRAN (Asociación Nacional de Criadores de Caprinos de Raza Murciano-Granadina) y ACRIMUR (Asociación de Criadores de Cabras Murcianas). Ambas reconocidas oficialmente desde el año 1992 y defensoras de la existencia de dos razas por separado (Martínez *et al.* 2010; PAIDI-AGR-218 2012). Sin embargo, para hacer una buena gestión de la raza, en diciembre del 2011 acorde a la Resolución de la

Dirección General de Recursos Agrícolas y Ganaderos se constituye de forma oficial una sola institución que gestione el Libro Genealógico de la raza: **“MURCIGRAN”** (Federación Española de Criadores de Caprino, Raza Murciano-Granadina), la cual fue conformada para sinergiar los esfuerzos de estas dos asociaciones con un principal objetivo: optimizar el potencial genético mediante un único programa de mejora genética (MAPA 2019b).

Para alcanzar este objetivo son asistidos y asesorados por académicos e investigadores entendidos en las diferentes áreas, contando además con laboratorios de reproducción asistida (Diputación de Granada) y genética molecular aplicada; que conjuntamente con la Diputación de Córdoba y el grupo de investigación AGR-218 de la Universidad de Córdoba, garantizan el control de genealogías y la conexión genética de los rebaños a través de la inseminación artificial (IA) con semen fresco y congelado.

En el año 2013 el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente mediante la Orden AAA/1945/2013 del 11 de octubre (BOE-A-2013-11081 2013), aprueba las reglamentaciones específicas del libro genealógico de la raza MG, mismas que figuran en el anexo XI de la disposición; siendo de aplicación en todo el territorio nacional español.

En tanto al constituirse MURCIGRAN como el organismo responsable de la gestión del libro genealógico de la raza MG, ha realizado importantes avances como la integración de diversos registros en un programa informático. Esta labor es destacable por el grado de compromiso de los ganaderos, pues si bien la sede de MURCIGRAN está en Lorca (Murcia), también cuenta con dos sedes administrativas

en Jumilla (Murcia) y Albolote (Granada), así como varios Centros de Reproducción (Andalucía, Castilla La Mancha, Castilla y León, Murcia, Cataluña, Extremadura, Madrid y Valencia) que exigen una coordinación y actualización constante de los datos del programa de la MG.

Además de centralizar el control de rendimiento lechero, contar con un núcleo de selección, la difusión de la mejora genética y la creación de una app para tener acceso on-line al catálogo de sementales (publicado anualmente); se ha incorporado en su programa la calificación morfológica lineal (valoración global visual del animal) como criterio para realizar comparaciones morfológicas de un animal concreto con el morfotipo lechero ideal. Estas actuaciones demuestran que MURCIGRAN está activa en la búsqueda de información de nuevos métodos que potencien la aptitud lechera de sus animales respetando su bienestar y particularidad por región.

En concreto entre los años 2012 y 2014 se han dado pasos de convergencia entre las dos asociaciones para de esta forma integrarse en una única evaluación genética (León 2015), realizando anualmente un informe del “Progreso Genético y Evaluación Genética” por parte de la Comisión de Seguimiento del Programa de Mejora Genética, así como mostrando los resultados en dos secciones hasta que los datos permitan alcanzar la suficiente compatibilidad.

Con fecha 17 de marzo de 2017, el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación autoriza a MURCIGRAN el uso del logotipo “Raza Autóctona” mediante resolución de la Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios, atendiendo a lo establecido en el Real Decreto 505/2013, de 28 de junio, garantizando de esta manera la comercialización de productos lácteos (leche cruda,

queso puro), canales y carnes procedentes de cabras MG inscritas en el libro genealógico; que a su vez cubre la demanda de consumidores que desean una mayor información sobre el origen de los productos, la calidad, además de fomentar el consumo y protección que se merecen los productos procedentes de razas autóctonas.

7. Programa de mejora de la raza Murciano-Granadina para garantizar su sostenibilidad.

Los Programas de Mejora de razas autóctonas como la MG tienen el objetivo principal de explotar el potencial genético de la raza. Para ello tienen en cuenta los factores que incrementan y mejoran la calidad de sus producciones, con lo cual potencian el núcleo selectivo, incrementando más machos en testaje conduciendo a la difusión de la Mejora mediante Certámenes de Ganado Selecto, y tomando en cuenta el pasado, el presente y el futuro de la raza para garantizar su tradición e idiosincrasia; así como su competitividad actual y la adaptación poblacional a nuevos retos que impone el cambio climático, la globalización y las nuevas tendencias del mercado.

Para afrontar los retos trazados se requiere de una alta implicación de los ganaderos quienes constituyen la piedra angular del Programa de Mejora, pues si bien se realizan controles genealógicos, controles lecheros, IA y testaje de machos, estas tareas se deben realizar de forma óptima y eficiente sin descuidar aspectos tales como la sanidad, manejo y alimentación. Sin olvidar tampoco la mejora de la longevidad productiva basada en la conformación de la ubre, los aplomos y la profundidad del tórax.

En relación a esto, los objetivos y criterios específicos que rigen el trabajo se indican en el esquema siguiente:

❖ Objetivo 1: Mejora de la producción y calidad Láctea.

- Criterio 1. Producción de Leche a 210 y 240 días.
- Criterio 2. Producción de Proteína a 210 y 240 días.
- Criterio 3. Producción de Grasa a 210 y 240 días.
- Criterio 4. Genotipo de Caseínas.

❖ Objetivo 2: Mejora de la conformación lechera.

- Criterio 1. Calificación lineal de la ubre.
- Criterio 2. Calificación lineal de los aplomos.
- Criterio 3. Calificación lineal de profundidad del tórax.

Los criterios 1, 2 y 3 del objetivo 1 (producción de leche, grasa y proteína), se controlan a través de los centros autonómicos de control lechero oficial, siguiendo lo establecido en el R.D. 368/2005 del 8 de abril, por el que se regula el control oficial del rendimiento lechero para la evaluación genética en las especies bovina, ovina y caprina. La selección que se desarrolla sobre las Caseínas (objetivo 1, criterio 4) se lleva a cabo mediante marcadores genéticos del tipo SNPs de las caseínas aplicando por tanto métodos de selección asistida por marcadores.

Mientras que los criterios de calificación lineal de ubre, aplomos y profundidad de tórax (objetivo 2, criterios 1, 2 y 3), se controlan a través de las calificaciones morfológicas lineales anuales que hacen en el campo calificadores.

8. Valoración genética.

La valoración genética de los animales se analiza en base a modelo mixto y mediante la aplicación de la metodología BLUP (Best Linear Unbiased Predictor) vía modelo animal con observaciones repetidas, en el que se consideran todas las relaciones de parentesco conocidas entre los participantes en los distintos controles de rendimientos y sus progenitores y los resultados obtenidos en los mismos.

Los efectos incluidos en el modelo son los siguientes:

- Efectos fijos: interacción ganadería-año; mes de parto y número de crías;
- Co-variable cuadrática y lineal: edad al parto;
- Efectos aleatorios: Valor genético aditivo individual y efecto permanente ambiental.

Los componentes de varianza y los parámetros genéticos de los caracteres de interés: leche, proteína, grasa y extracto seco son realizados anualmente. Las mismas son calculadas a partir de lactancias estandarizadas a 210 días, destacando también que ya se tienen 64,246 animales presentes en la matriz de parentesco (Delgado *et al.* 2017).

Respecto los criterios asociados con la Conformación Morfológica Lineal, si bien se han aplicado más recientemente (los registros se toman desde el año 2012),

ahora tiene carácter obligatorio para realizar las evaluaciones genéticas que están basadas en los siguientes registros lineales (escalas de 1 a 9):

- Relacionado con la estructura y capacidad: Altura, ancho del tórax, ángulo de la grupa;
- Relacionado con la conformación láctea: angularidad y anchura ósea;
- Relacionado con la ubre: inserción anterior de la ubre, ligamento suspensorio medio, ancho de la ubre, profundidad de la ubre, inserción del pezón y diámetro del pezón;
- Relacionado con el aplomo de las piernas: vista posterior de las piernas, vista lateral de las piernas y movilidad.

Los datos se analizan mediante un modelo animal univariado y los efectos incluidos fueron:

- Efectos fijos: ganadería; año de calificación, mes de calificación y número de parto;
- Co-variable cuadrática y lineal: días de lactancia hasta la calificación;
- Efecto aleatorio: valor genético aditivo individual.

Por otra parte los participantes en el Programa de Selección y Mejora están estructurados en tres estratos: el primero de ellos es el núcleo de selección (en él se genera todo el progreso genético y está formado por las ganaderías de elite de la raza), el segundo estrato lo forman las ganaderías que a pesar de formar parte de la Federación, no cumplen todos los requisitos necesarios para formar parte del núcleo selectivo, bien sea por su desconexión genética, su escaso desarrollo tecnológico, o simplemente por la ausencia de actitud participativa por parte de los ganaderos. Señalar que este estrato recibe de forma directa el progreso genético,

pero no participa en él. Y finalmente, un tercer estrato lo conforman las ganaderías no adscritas a la Federación.

En la **figura 10** se puede apreciar la estructura del Programa de Mejora de la cabra MG.

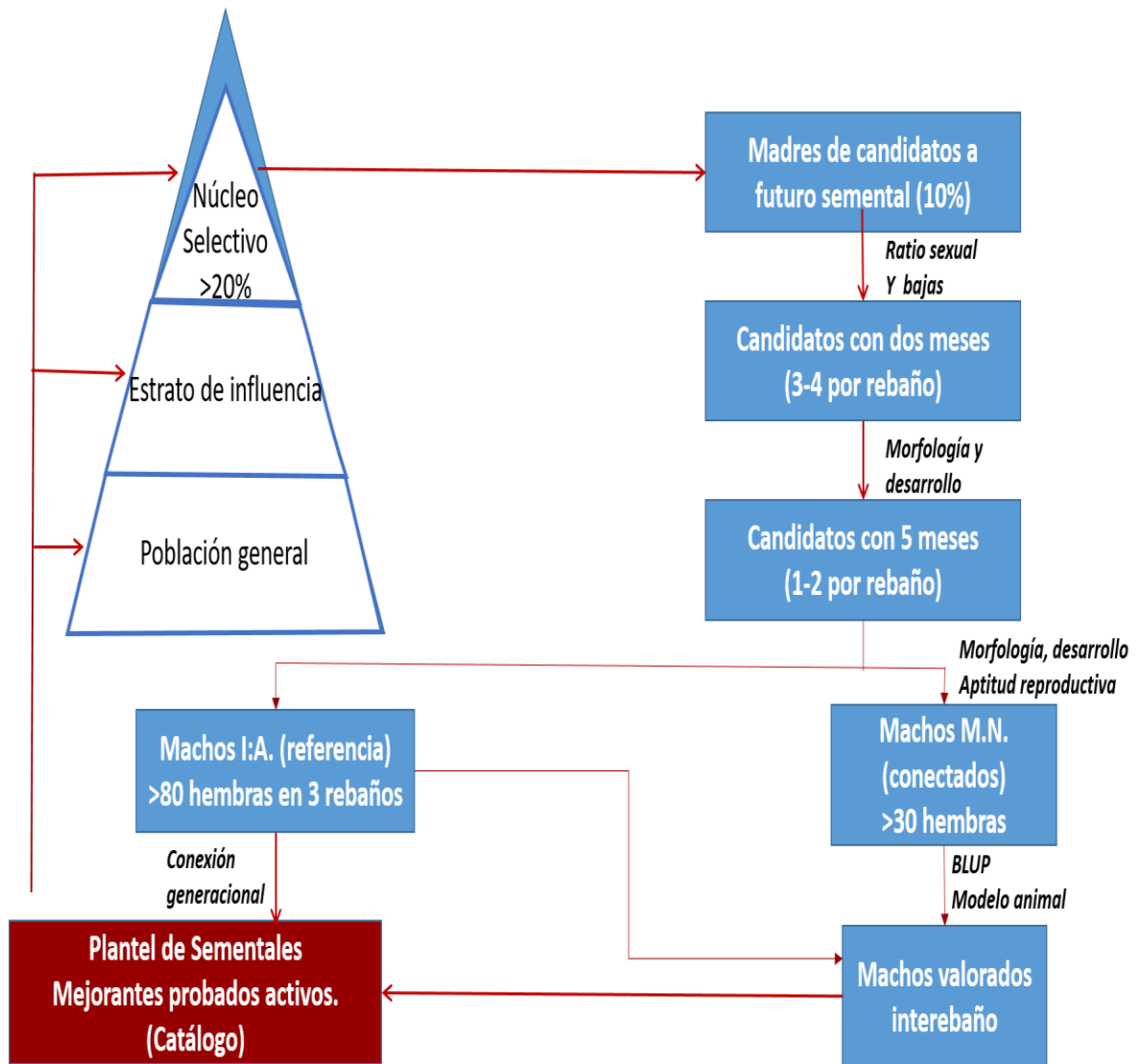


Figura 10.- Estructura del Esquema de Selección de la cabra Murciano-Granadina.

Todo lo mencionado anteriormente ha permitido en estos dos últimos años (2017-2018) que la MG se consolide como la raza autóctona más exportada de

España, siendo sus principales destinos Irán, Marruecos, Grecia, Portugal, Rusia, Chile (este último solo dosis seminales) (CARM 2017).

En resumen, esta introducción general provee la comprensión actual sobre la revisión de varios temas “domesticación de las cabras, su distribución geográfica mundial, censos y producción de leche de cabra y clasificación de razas españolas”. Particularmente, se tuvo la intención de proporcionar el conocimiento existente sobre la raza MG, incluyendo la “gestión del libro genealógico, el planteamiento de la sostenibilidad del programa de mejora la MG, y la valoración genética”. Asimismo, información sobre otros modelos de cabras usados como referencia para la potencial aplicación en producción animal.

9. Objetivos de la tesis.

El objetivo general de esta tesis es esencialmente pragmático, el cual pretende proveer información actualizada a los ganaderos e investigadores de la raza Murciano-Granadina sobre la evolución del Programa de Mejora (próximos a cumplir 30 años) respecto a los primeros datos analizados de nuevos caracteres de interés, como son el pico productivo y la persistencia de la lactación, con el fin de que, a posteriori, se considere su inclusión como nuevos criterios de selección en el Programa de Mejora de la raza.

Por consiguiente, se proponen los siguientes objetivos específicos:

1. Describir fenotípicamente el pico productivo, día al pico, rendimiento y persistencias en curvas de lactación por factores de variación.
2. Obtener estadísticos descriptivos desde los análisis de factores de variación como base de valoración de nuevos caracteres vs caracteres presentes en el Programa de Mejora de la raza.
3. Estimar parámetros genéticos para el pico productivo, rendimiento lechero y persistencia de la raza.
4. Evaluar genéticamente los caracteres de pico productivo y persistencia de la lactación en la raza.
5. Evaluar las tendencias genéticas y fenotípicas para los caracteres de pico productivo, rendimiento y persistencia en la raza.

**CAPÍTULO I: USE OF SPLINE FUNCTION FOR
THE CHARACTERIZATION ON PEAK YIELD,
PEAK DAY AND PERSISTENCY IN LACTATION
CURVES IN MURCIANO-GRANADINA GOATS**

CHAPTER ONE: USE OF *SPLINE* FUNCTION FOR THE CHARACTERIZATION ON PEAK YIELD, PEAK DAY AND PERSISTENCY IN LACTATION CURVES IN MURCIANO-GRANADINA GOATS

J. C. Miranda-Alejo^{1,2}, J.M. León-Jurado², C. Pieramati³, M.M. Gómez², J. Valdés-Hernández⁴, and C. J. Barba-Capote¹

Published online: 15 Apr 2019, Italian Journal of Animal Science, 18, 888-897.
ISSN 1828051X, 15944077. DOI: <https://doi.org/10.1080/1828051X.2019.1593057>.

¹Departamento de Producción Animal, Universidad de Córdoba, Córdoba, España.

²Departamento de Genética, Universidad de Córdoba, Córdoba, España.

³Dipartimento di Medicina Veterinaria, Università Degli Studi di Perugia, Perugia, Italia.

⁴Departamento de Ciencia Animal y de los Alimentos, Universidad Autónoma de Barcelona | Centre for Research in Agricultural Genomics, Barcelona, España.

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue caracterizar fenotípicamente el rendimiento lechero al pico (**RLP**), el día al pico (**DP**) y la persistencia (**P**) de la curva de lactancia (**CL**) de cabras Murciano-Granadinas (**MG**) mediante *Spline* teniendo en cuenta los factores de variación (región, tipo de parto, número de lactación y estación) y sus niveles. Se utilizaron un total de 1 349 347 registros de 180 872 lactaciones, de 85 404 cabras. Los datos analizados con el modelo *Spline* se consideraron por su adecuado ajuste a las CL para las características de estas cabras. Todos los factores afectaron la escala y/o la forma de la CL. En el factor región, se observaron diferencias significativas (DS, $P < 0.05$) en términos de las variables de rendimiento total lechero (**RT**), persistencia final (**PF**) y persistencia total (**PT**) a favor de Almería frente a Córdoba y Granada; las variables DP, RLP y la persistencia inicial (**PI**) no mostraron DS (NDS, $P > 0.05$) entre regiones. El tipo de parto presentó DS entre sus niveles (evidente entre doble versus simple y triple) con la excepción del RLP. El número de lactación para las variables de DP, RLP y RT de la segunda a la quinta lactancia no mostró DS entre sí; pero si lo hizo en el caso de la primera. La P de la primera lactancia fue más larga, con disminución de las lactaciones posteriores. En el factor de variación estación, DP, RLP y P presentaron DS; donde el DP se dividió en dos grupos: grupo tardío (invierno-primavera) y grupo temprano (otoño-invierno). La P, RLP y DP se pueden considerar como un criterio de selección adicional y, por lo tanto, modificar la curva de lactancia.

Palabras clave: biomodelación, criterio de selección, nodo, programa de mejora, rendimiento lechero.

ABSTRACT

The objective of this study was to characterize the peak yield (PY), peak day (PD) and the persistency (P) of the lactation curve of Murciano-Granadina goats by Spline considering the variation factors (region, type of kidding, lactation number and season) and their levels. A total of 1 349 347 test-day records from 180 872 lactations, of 85 404 goats were used. The analysed data with Spline model was considered for adequate fit in lactation curves for others traits in these goats. All factors affected the scale and/or shape of the lactation curve. In the region factor, significant differences (SD, $P < 0.05$) were observed in terms of the total milk yield (TY), final persistency (FP) and total persistency (TP) variables in favor of Almeria versus Cordoba and Granada; the PD variables, PY and initial persistency (IP) did not show SD (NSD, $P > 0.05$) between regions. The type of kidding presented SD among its levels (evident between double versus single and triple) with the exception of the PY. The lactation number for the variables of PD, PY and TY from second to fifth lactation showed NSD among themselves; but it did in the case of the first. The P of first lactation was longer, with decrease in subsequent lactations. In the season factor, PD, TY and P presented SD; where the PD was divided into two groups: late group (winter-spring) and early group (fall-winter). The P, PY and PD can be considered as an additional selection criterion and thus modify the lactation curve.

Keywords: breeding program; dairy yield; livestock improvement; selection criteria.

1.1. INTRODUCTION

The Murciano-Granadina (MG) is the most important dairy goat breed of Spain, both in census and in production (Delgado *et al.* 2017). In addition to being very widespread throughout the Spanish territory, currently herds of the MG are found in several countries in Europe, Africa and the Americas, representing an international repercussion. The breed is generally kept in semi-extensive systems under different climatic conditions (from sea level to 3000 m. of altitude), grazing on natural pastures and shrubs throughout the year, with supplementation in critical periods, based on either by-products or commercial feed supplements (León *et al.* 2012).

The MG is a permanent polyestric breed with high prolificacy (two or more kids/parturition in multiparous females) having an average of 6 lactations, with mean productions of up to 584 liters of milk per lactation, dairy yields of between 3 and 4 liters in 24 hours, also highlighting its high fat content (5.3%) and protein (3.6%) (Delgado *et al.* 2017), and its production is destined almost entirely to the cheese industry.

In goat production systems, the use of mathematical non lineal functions is common in milk (Marín *et al.* 2009) as in meat production (Guevara *et al.* 2018). In dairy goat breeds, the lactation curve (LC) is an important source of information for both farmers and their breeding program. Determining the best fit curve is an essential tool to detect potentially more productive goats in a herd (Shaat 2014) and to make a pre-selection of young animals destined for progeny testing (Fernández *et al.* 2002).

On the other hand, it would allow evaluating the evolution of dairy production and subsequent decision-making for management, such as the possible discarding of animals based on their efficient productive capacity (Adewumi *et al.* 2017).

The prediction of the milk yield in lactating animals allows an early evaluation of the candidates to be selected, and the evaluation of the total milk yield (TY) and the knowledge of the LC traits, including peak production and persistency of lactation (P), are essential to evaluate the correct functioning of the improvement program (León *et al.* 2012).

These LC are obtained from parameters that characterize it, first a phase of ascent (level of initial production until reaching the maximum production), followed by a period of maximum production or peak and finally, the phase of continuous descent called P (level at which the production or length of lactation is maintained) (Rekik *et al.* 2003; Macciotta *et al.* 2011) phases that are affected by genetic and environmental factors.

The path of the LC can be done through the use of empirical mathematical models and predicting the yield on each day of lactation with minimum error; but not all models fit to a typical lactation curve (Fernández *et al.* 2002; González-Peña *et al.* 2012). Therefore, the importance of mathematical models (citing *Spline* model) as useful tools for the description and analysis of LC (Brito *et al.* 2017) and that the MG breed has proven to be the best fit than several other common functions (Wood, Cappio-Borlino, Cobby and Le Du, Wilmink and Legendre) (León *et al.* 2012). Therefore, it is interesting to summarize the phenomenon of lactation in a few descriptive parameters, so that they can be interpreted biologically; referring to the

rate of increase and decline of production before and after peak respectively, as well as the environmental factors that affect these parameters.

In the present work, we seek to generate information on the behavior of the traits of peak yield (PY), peak day (PD) and P in the LC of the MG goats, considering the influence of the variation factors to predict the total dairy production. Therefore, the main objective of this study was to phenotypically characterize the PY, PD and P of lactation in MG goats through the use of the *Spline* model and to evaluate the effect of some non-genetic factors over the variation of these parameters.

1.2. MATERIALS AND METHODS

Data

The data used in this research were taken from the historical data base of the official milk control program (A4 methods – ICAR, 1990) of The National Association of Breeders of the MG Goats (MURCIGRAN) and the mean lactation length was 210 days.

A more detailed description of breed as handling, feeding practices, level drying off goats, body conformation, milk production and quality, seminal doses, etc. is given in Delgado *et al.* (2017), Ministry of Agriculture, Fisheries and Food of Spain and MURCIGRAN, where the last institutions have updated web pages daily providing official data.

The general file contained a total of 1 918 780 records, of which 315 663 corresponded to lactations of a total of 122 883 individuals, the age of the active animals was between 4 and 8 years, belonging to 245 farms (range of goats per herd 1297) located in three large dairy centers (Granada, Almeria and Cordoba).

Regarding the body condition of all the animals from the year 2012, annual morphological qualifications are performed annually (annual average of 4789 animals in 30 herds) that are still under evaluation with a view to joining the improvement program.

The coordinates of the regions of Granada (37° 10' 35 "N - 3° 35' 52" W), Almeria (37° 50'24 "N - 2° 28'4" W) and Cordoba (37° 53' 4 "N - 4° 46'44" W), although they are in the same autonomous community (Andalusia-Southern Spain) have a different climatic classification on the Köppen and Geiger scale as Cold semi-arid climate (BSk) for Almeria and the Hot-summer Mediterranean climate (Csa) for the case of Granada and Cordoba. Presenting variabilities in terms of average temperatures (15.5 to 18 °C), humidity (60 to 65%) and rainfall (228 to 612 mm).

During the exploratory analysis, the database was edited and standardized by applying filters with exclusion criteria, to eliminate the data considered anomalous (repeated records, lactations with less than 6 controls, or those daily yields that exceed 10 kg or are below 0.2 kg of milk). The pre-final file consisted of 1 349 347 records, which corresponded to 180 872 lactations belonging to 85 404 goats of 229 herds, subsequently; these data were grouped and coded by levels (**table 1.1**).

Table 1. 1.- Data coding by levels.

Variation factor	Levels				
	1	2	3	4	5
Region	Granada	Almeria	Cordoba		
Type of kidding	Single	Twin	Triplet and upper		
Lactation number	First	Second	Third	Fourth	Fifth and upper
Season	Winter	Spring	Summer	Fall	
Lactation code	Codification by lactation of the animal				

Statistical analysis

The analysis statistical was divided into 4 steps:

1) Processing of the data consisted in analyzing the LC per animal, considering as variation factors (region, type of kidding, lactation number and season). To estimate these variation factors that affect the traits under study, a mixed model with random effects was applied (details and a summary can be found in the supplementary material **table S1**).

2) We used the mathematical model "*Spline*" quadratic. This model was chosen because it has a better coefficient of determination ($R^2=0.98$ for MG breed), flexibility and goodness of fit (Macciotta *et al.* 2011; León *et al.* 2012). This biomodeling of LC by animal, allowed the adjustment of two or more straight lines that describe the production until and after the peak of lactation. Likewise, the general form of the function is in accordance with that presented by Brito *et al.* (2017) and Meyer (2005), the equation being stated as follows:

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 \quad \text{for } t \leq X \text{ (1) and,}$$

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 (t-X)^2 \quad \text{for } t > X \text{ (2)}$$

Where: y_t represents the average daily milk production recorded on day t , while β_0 , β_1 , β_2 , and β_3 are the parameters specifically designed to adapt to the shape of the LC due to its flexibility. Meanwhile, X is treated as an additional parameter to estimate and represents the day of lactation, where the knot point is produced, that is, where the two polynomial functions are linked.

3) The P measures were identified from the knot in the individual curves by means of *Spline*, allowed us to locate each vertex of the generating polygon of the curve from the rate of ascent (RA) and taking into account the peak day (PD) that facilitated the training later of control points that showed the greatest tangible decline, to calculate and analyze the P or rates of descent (RD) in their different phases, such as: initial persistency (IP), final persistency (FP) and total persistency (TP).

Where IP: defined as the difference between the area under the LC in the middle third (71 to 140 days) and initial from 11 to 70 days. FP: defined as the difference between the area under the LC in the final third (141-210 days) and initial third of 11 to 70 days. TP: defined as the difference between the accumulated production of days 71 to 210 and the average of the initial third of 11 to 70 days. The P obtained is dimensionless.

4) A comparison of means was made with the test of least significant difference (LSD).

For the application of filters with exclusion criteria and all statistical data analysis (realization of the 4 steps described above) we use the libraries (car, RODBC, nlme, Matrix, lme4, agricolae, lmerTest, freeknotsplines, LSD.test) of the statistical software package “R” version 3.2.3 (R Core Team 2014).

1.3. RESULTS

Table 1.2 shows the estimation of milk yields and P in the goat population MG and the variation factors according to the *Spline* model.

Table 1. 2.- *Biomodeling of the lactation curve in Murciano-Granadina goat for knot, productions and persistency fitted by Spline function including full data set and to each level of the factors analysed.*

Factor	Knot		Productions			Persistency	
	X	PD	PY	TY	IP	FP	TP
Full data	75.25± 0.31	50	2.391	435.81	10.70	9.95	10.28
Region							
Granada	79.34 ± 0.21 ^{ab}	49 ^a	2.277 ^a	416.77 ^c	10.72 ^a	9.95 ^b	10.29 ^b
Almeria	83.07 ± 0.29 ^a	47 ^a	2.539 ^a	469.79 ^a	10.77 ^a	10.16 ^a	10.42 ^a
Cordoba	73.68 ± 0.29 ^b	52 ^a	2.462 ^a	442.31 ^b	10.71 ^a	9.95 ^b	10.27 ^b
Type of kidding							
single	76.82 ± 0.25 ^b	54 ^a	2.166 ^a	398.58 ^b	10.80 ^a	10.12 ^a	10.42 ^a
twin	71.22 ± 0.22 ^c	46 ^b	2.559 ^a	462.33 ^a	10.66 ^b	9.89 ^b	10.22 ^b
triplet and upper	85.12 ± 0.35 ^a	53 ^a	2.393 ^a	438.06 ^a	10.76 ^a	10.05 ^a	10.36 ^a
Lactation number							
first	87.64 ± 0.27 ^a	63 ^a	1.984 ^b	369.53 ^b	10.95 ^a	10.35 ^a	10.63 ^a
second	67.66 ± 0.29 ^c	48 ^b	2.470 ^a	451.50 ^a	10.74 ^b	10.03 ^b	10.35 ^b
third	71.85 ± 0.35 ^b	47 ^b	2.624 ^a	473.99 ^a	10.69 ^b	9.88 ^c	10.22 ^c
fourth	75.47 ± 0.43 ^b	43 ^b	2.651 ^a	475.60 ^a	10.57 ^c	9.74 ^d	10.07 ^d
fifth and upper	77.96 ± 0.38 ^b	42 ^b	2.559 ^a	453.17 ^a	10.43 ^d	9.56 ^e	9.92 ^e
Season							
winter	109.39 ± 0.26 ^b	63 ^a	2.293 ^a	422.39 ^c	10.67 ^b	9.89 ^b	10.24 ^b
spring	130.19 ± 0.44 ^a	56 ^a	2.592 ^a	466.85 ^a	10.56 ^c	9.34 ^c	9.91 ^c
summer	57.84 ± 0.34 ^c	40 ^b	2.569 ^a	443.69 ^b	10.58 ^{bc}	9.90 ^b	10.15 ^b
fall	58.35 ± 0.23 ^c	45 ^b	2.303 ^a	432.04 ^c	10.94 ^a	10.43 ^a	10.65 ^a

Knot estimation ± typical errors of the mean (**X**), peak day (**PD**), peak yield (**PY**), total yield (**TY**), initial persistency (**IP**), final persistency (**FP**) and total persistency (**TP**); ^{a, b, c, d, e} for a given factor, parameter estimates not sharing a common superscript are different (P<0,05).

The biomodeling of the LC of this population is presented in **figure 1.1**, where **PY** was reached with 2.4 kg, at 50 days, being its **TY** of 435.81 kg, with global persistency of **IP** = 10.70, **FP** = 9.95 and **TP** = 10.28.

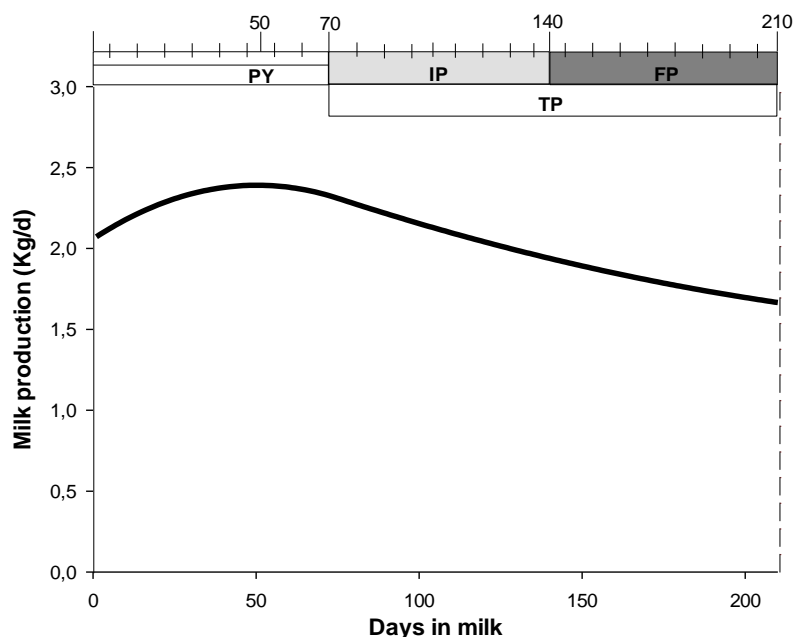


Figure 1. 1.- Biomodeling of the lactation curve in Murciano-Granadina goats and their persistency. **PY**= peak yield, **IP**= initial persistency, **FP**= final persistency and **TP**= total persistency.

In turn, the corresponding biomodeling of the curves as a function of the variation factor are presented in **figure 1.2 (a-d)** respectively. In the variation factor region (**figure 1.2a**), in function of **TY**, **FP** and **TP** variables, significant differences (**SD**) were observed between the three regions, where Almeria presents the **FP** and **TP** at 0.21 and 0.14, respectively and a **TY** (superior to 27.5 kg) superior to Cordoba and Granada. However, the **PD**, **PY** and **IP** variables did not show **SD** according to the regions, with average values of 49 days, 2.4 kg and 10.73, in that order.

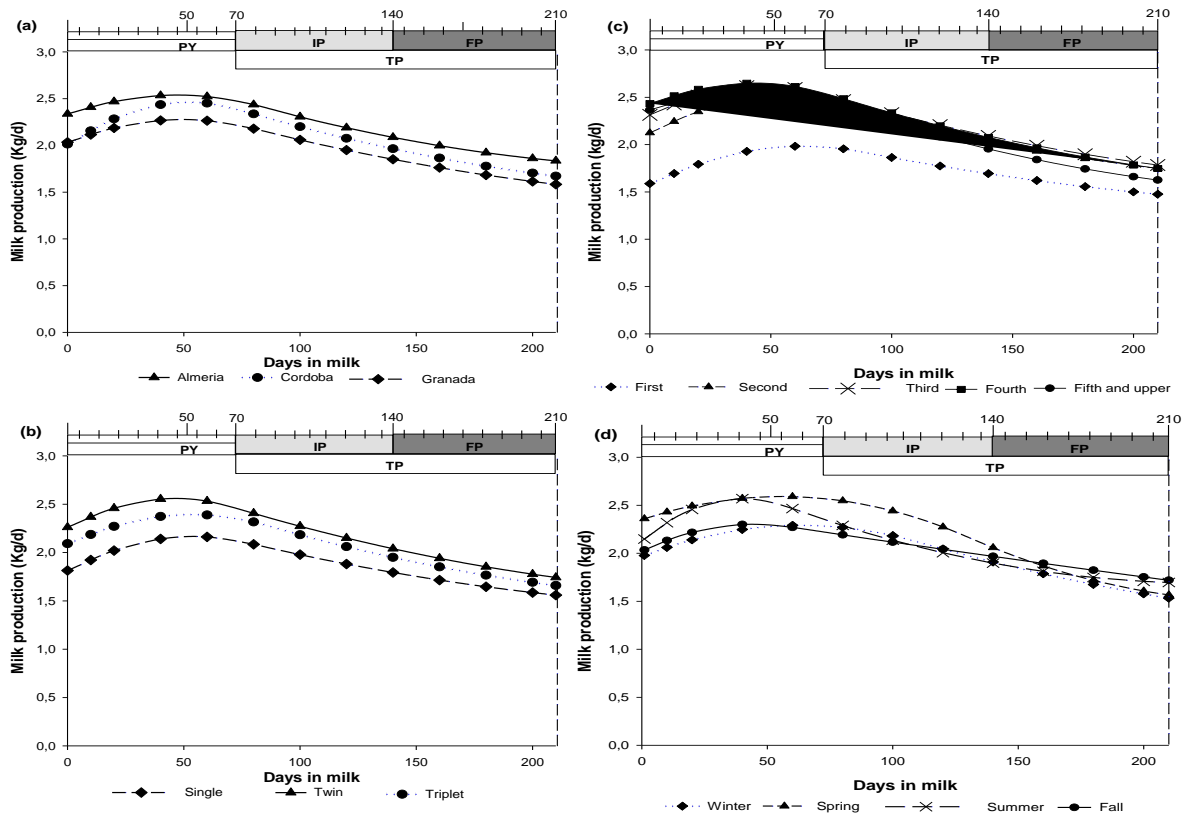


Figure 1. 2.- Biomodeling of the lactation curve in Murciano-Granadina goats: **PY**= peak yield, **IP**= initial persistency, **FP**= final persistency and **TP**= total persistency according to variation factors: **(a)** dairy control nuclei of Almeria, Cordoba and Granada; **(b)** type of kidding (single, twin, triplet and upper), **(c)** lactation number (first, second, third, fifth and upper); and **(d)** season spring, summer, fall and winter; all adjusted by Spline.

Figure 1.2b shows the conduct of the curve as a function of the variation factor of type of kidding; SD is appreciated between the different levels; except for the PY with an average value of 2.37 kg. These differences are more appreciable between the double kidding type versus single and triple kidding type; where the PD of the double kidding type reached around 7-8 days later with respect to the other kidding types (average closer to 53 - 54 days). The same situation presented the persistency (IP, FP and TP) even though presented SD; these are more evident between the double kidding type versus single and triple kidding type (similar P), highlighting that the latter showed better P. These results corroborate the importance of PD-late to have better lactations

P for this factor. With regards to TY, the most appreciable difference is between the double kidding type versus single and triple kidding type, for the difference of 51.62 kg less with respect to the average of the other levels.

The lactation number, that is, first, second, third, fourth, fifth or more lactations (**figure 1.2c**), clearly shows the evolution of milk production both for its increase and decrease; showing that the data obtained from PD, PY and TY; both for the second and fifth lactations did not show SD to each other. While SD are given regarding the first lactation showing that in the PD case it was presented 18 days later than the general average (45 days), the PY reached was lower with a difference of 0.59 kg; which is also reflected in the TY with a difference of 79.7% with respect to the subsequent lactation productions (general average for this factor 463.57 kg), this lactation having the least increase. The P obtained as a function of this variation factor presented SD with alternating values for each type of persistence (IP, FP and TP); data that show us that the longest P was presented by the first lactation to decrease in cascade form. In other words, the more lactations a goat has, the more persistent these detriments are, the more evident these decreases in the FP from the third lactation, while the IP and TP although they present losses, these are gradual in the different lactations.

Figure 1.2d shows the biomodel of the curves according to the function of season; confirming the climatic variations and food disposition between Mediterranean-continental climate zones (Almeria, Cordoba and Granada). The PY obtained for all seasons did not present SD and the PD were grouped into two groups; group 1 (winter, spring) and group 2 (summer, fall) where, group 1 differs from group 2 by having the PD above the global PD of this factor (51 days) with more than 12 and 5 days respectively. As for group 2, they presented early PD below the mean with differences of 11 and 6

days respectively. The TY presented SD between the seasons; the spring season present better yields, producing 25.61 kg more above the average for this factor (441.24 kg), followed by the summer season which, in spite of producing 2.45 kg more above the average, did not present SD. Regarding the seasons of winter (18.85 kg) and fall (9.20 kg) there was no SD present between the two, but its low productions that were below the average for this factor stands out. Regarding the P obtained for this factor, SD are appreciated for both IP, FP and TP with values ranging from 9.91 to 10.94, with the fall season having the longest P, followed by summer and winter P that were similar, and culminating the block, the P of spring.

1.4. DISCUSSION

Once defined the *Spline* model as the function presenting the best fitting for the Murciano-Granadina lactation curve by our own team (León *et al.* 2012), the model showed its versatility and flexibility for obtaining parameters and knots, for the biomodeling of the individual LC and from which it was possible to identify and infer traits such as PD, PY and P, useful in diverse aspects of the goat production. Taking into account the variation factors, they contribute to explain the variability of these traits, showing us a biologically real panorama of the MG goat population and offering new tools to favor the selection and improvement of the breed. The results are in agreement with that described by León *et al.* (2012) and Macciotta *et al.* (2011) who advocates that this model is specifically designed to adapt to the LC due to the good fit of data, likewise Meyer (2005) point out that this model is flexible, number of parameters to be estimated more consistent, plausibility of results, and fit.

The variation factors offer relevant information for the selection criteria for the variations that LC undergoes in the different breeds and periods, which have already been widely studied and described by Oravcová and Margetín (2015); León *et al.* (2012) and Macciotta *et al.* (2011). In this way, the assessment of these production characteristics (PD, PY, TY, IP, FP and TP) and their relationships based on biomodeling, favor the breeding and genetic improvement of the breed corroborating what has been stated by Gonzáles-Peña *et al.* (2012); Jakobsen *et al.* (2002) and Swalve (2000) who point out that in order to favor the selection and shorten the generational interval, early predictions about the genetic potential of an individual must be made.

In our results, PY was reached in the seventh week (50 days), values close to the intervals reported in the MG breed by León *et al.* (2012); Dijkstra *et al.* (2010); Fernández *et al.* (2002); which fix this PD between the 3rd and 8th week. This PY has been reported in other Spanish breeds, between the 2nd and 3rd week in the Majorera breed; in the 4th week in the Tinerfeña and Malagueña breeds cited in León *et al.* (2012). In other breeds of goats, studies published by Rojo-Rubio *et al.* (2016); Montaldo *et al.* (1997); Mourad (1992) and Gall (1981) locate the PD at wide margins ranging from the 1st week (early) to the 20th week of lactation.

The location of the knots allowed us to identify adequately and by factor the RA, PD, RD represented by sections by IP, FP and TP. The P was presented with variations with respect to each factor. In general, there are two types of events, the first is early PD with a high PY providing a high TY but with low P; in the second, the relationship is inversely proportional; where if the late PD with moderately high PY, the TY will be diminished but will have better P. This tetrapartite connection affects the magnitude,

temporality of dairy yields for each variation factor, but also allows us to evaluate the individual capacity of the MG goat to maintain adequate levels of production. In this regard Montaldo *et al.* (1997), for different genetic groups, promotes a negative association between maximum production and P, suggesting differences in the relationship between CL parameters.

The results obtained by geographic region confirm the influence of the climate for high final productions, where Almeria has a milder climate (due to its proximity to the sea) with respect to Cordoba and Granada, corroborating what was described by León *et al.* (2012), which makes it have summers with more comfortable temperatures (below 32° C), less cold winters (9°C) and presence of more hours of sunlight (2994 annual hours, datum AEMET-Spain), conditions that increase the photoperiod and thus a higher total yield. Similar results were found by Russo *et al.* (2013); Flores *et al.*(2011) and Garcia-Hernandez *et al.*(2007) who described a correlation between photoperiod, food intake and milk yield. The regions of Cordoba and Granada, although they have a considerable number of hours of sunshine (2903 and 2899, respectively), often have temperatures of maximum or equal to 40° C and minimum temperatures that range between -3 and -5 °C. Although goats are considered among the most heat-tolerant species, Todaro *et al.* (2015) describes that exposing them to high temperatures has a high negative impact on immune function, udder health, production and reproduction. In this respect, studies conducted by Menéndez-Buxadera *et al.* (2012) describe losses by thermal stress equivalent to 1.9% in the TY production of the herd during 7 days for the MG were quantified.

The double and triple kidding factor presented better TY than the single one; which was consistent with previous findings of Carnicella *et al.* (2008) confirming the biological illustration described by Rojo-Rubio *et al.* (2016) and Pulina *et al.* (2007), who explained that the effect of prolificacy and production differences based on these aspects are determined by hormonal causes since the increase in the number of fetuses corresponds to a larger volume of the placenta that tends to increase the amount of placental lactogen, which intervenes in the development of the glandular tissue of the udder during pregnancy, promoting an increase in production and can be affected by nutritional manipulation and seasonal conditions. As for single kidding, authors such as Ahuya *et al.* (2009); Carnicella *et al.* (2008) and Vecerova and Krizek (1993), have reported the significant effect of this type of kidding and its low milk production; where McGregor (2018) added that the goats with single kids influences the composition of the milk (higher percentage of fat and protein); However, Peris *et al.* (1997) concluded that prolificacy did not affect the dairy milk production or its composition in studies with MG goats.

In our results, the single and triple kidding type presented good P, in this respect Rojo-Rubio *et al.* (2016) reported that P was higher for single kidding type than twins, contrary to what was described by León *et al.* (2012) where P was higher when the number of offspring was smaller. Likewise, our results indicate that the PD along with PY are determinant to detect adequate P, being specific for the type of kidding that the PD be late and that PY is moderately high. Regarding the lactation number factor, it was observed that, starting from the second lactation, the TY values increased considerably, similar results with that described by León *et al.* (2012); Carnicella *et al.* (2008) and

Fernández *et al.* (2002), who reported an increase in milk production as the lactation number in goats increases.

In this study, high TY for this factor was observed in the third and fourth lactation according to what was reported by Goetsch *et al.* (2011) and Carnicella *et al.* (2008) however, studies such as that of Peris *et al.* (1997) reported that these high TY would occur until the third lactation. Note that the third and fourth lactations followed a similar path with their increase and decline, with differences being highlighted regarding the fifth lactation, with a marked decrease in goats with ages over 7 years. Regarding the PD obtained for this factor, which went from day 42 to 63, they are positioned closely to the means described by León *et al.* (2012); Haenlein (2002); Rota *et al.* (1993); Vecerova and Krizek (1993), and higher than reported by Fernández *et al.* (2002) from 14 to 31 days (1st, 2nd and 3rd lactation) in MG.

The first lactation presents peculiar data, where it showed a late PD, a low PY and TY. Where the TY represents 79.7% with respect to the production of subsequent lactations, similar results were described by Goetsch *et al.* (2011) and Carnicella *et al.* (2008) that reported the fall of the production in goats of first lactation, reaching only 70-80% of the production, with respect to later lactations. This low production has been amply explained by Stefanon *et al.* (2002) who indicate that it is due to a physiological effect of the goat, an effect related to mammary development (completed in the fifth week of lactation) because they were lower in the first conception, this showed that the alveoli did not involute and were added to those that developed in the next lactation. The importance of this first lactation consisted of two points: the first confirmed the effect of lactation on the scale and shape of the LC, where Gipson and Grossman (1990)

emphasized that P is usually greater in the first lactation (consistent with our findings). The second constituted a determining factor in the composition of milk (milk richer in fat and protein), which in turn is closely related to the age of the animal (Carnicella *et al.* 2008). In this study it was observed that 47.55% of the dairy goat census is in a range between 4 and 5 years of age.

The variability of the P obtained for these factors (more evident in FP from the third lactation) indicated that they were detrimental as the lactation number and age increased, in addition to being closely related to the presentation of the PD and the PY, suggesting that earlier PD was presented with the PY, and FP being the most affected. These results confirmed the inverse relationship between PY and P traits (modifying the shape of the LC) described by Montaldo *et al.* (1997); Gipson and Grossman (1990). Regarding this, Stefanon *et al.* (2002) suggested that it was preferable to achieve P lactations with less emphasis on PY and longer calving intervals in order to provide adequate animal welfare and to obtain adequate economic benefits. Regarding the season variation factor, SD did not exist in PY; however, these differences were appreciated in the case of TY, positioning the spring season with the best productions compared to the other season; results according to what was reported by León *et al.* (2012) and Goetsch *et al.* (2011).

On the other hand, the productions in the summer, fall and winter seasons were decreasing (in the order mentioned), confirming the fluctuations in dairy production. This coincides with the studies conducted by Montaldo *et al.* (1997) in dairy goats (Alpine, Granadine, Nubien, Saanen and Toggenburg crosses with local goats) indicating that a different scale effect of season on lactation curves in the different genetic groups affects the traits associated with lactation. As for the winter season, León *et al.* (2012) indicated

that goats which calved in this season present a moderate increase in milk yield up to the peak, probably reflecting the scarcity of food resources and the influence of adverse weather conditions in this period. The results found in this study are consistent with the aforementioned, with production in the summer and fall being above the average (441.2 kg). However, León *et al.* (2012) warns that these results should be taken with caution, since the seasonal effects will depend on the climate variability by regions and the degree to which the management systems are able to minimize the exposure of the goats to the impact of the seasonal environmental effects.

Regarding the P obtained, they indicate that the fall season was the one that presented the best results for the IP, FP and TP but lower in the TY. It is worth mentioning that the final production was the one that presented the lowest values in all the seasons, a result that was inconsistent with that presented by León *et al.* (2012) where it was indicated that the kids born in spring had the highest level of initial milk production and that they stayed with a good P after the peak. Also, the fall season was the one that presented a bad P attributing these results to the detrimental effects of low temperatures and food shortages. In our results, the longest P was associated with the presentation of late PD, the PY of each factor and the negative energy balance of the lactating female for each season; Although spring showed the best TY, it showed the least P, contrary to the winter season, which was the one with the lowest TY and longest P. Similar results were described by Montaldo *et al.* (1997) indicating that it had lower PY and higher P in the months of November to February (part of fall and winter) than the months of March to October (spring, summer and part of fall).

In this regard, Macciotta *et al.* (2011) described that models able to give an early estimate of P in lactation in progress may represent useful tools for both breeding and management strategies. In this regard, Capuco *et al.* (2003) suggested that P lactations can also be increased with an increase in photoperiod, incorporating good management practices as breastfeeding progresses at different times of the year. In relation to this, Macciotta *et al.* (2011); Dijkstra *et al.* (2010); Swalve and Gengler (1999) describe that P (recommended as a selection index) that relates to the animal's fitness and survival traits that reduce the classic metabolic stress of the high producers, and therefore animals with higher P are less exposed to health and fertility problems and can exploit efficiently cheaper feeds.

For all the above, it was suggested to find a balance between the duration of P and welfare of the animal, allowing us to obtain more efficient lactations (Capuco *et al.* 2003). Likewise, Pala and Savas (2005) and Jakobsen (2000) concluded that a genetic selection can be made through P without altering the amount of total milk, while at the same time genetically modifying the lactation curve. In line with this argument, these results would allow incorporating these traits in the improvement scheme to later perform genetic evaluations and observe how the interrelation of old traits with new traits occurs.

1.5. CONCLUSION

The model *Spline* proved to be ideal in accurately describing the shape of the individualized lactation curve of the MG breed, suitably locating dairy productions, peaks and persistency in relation to the knots obtained and their variation factors (region, type

of kidding, lactation number and season). Significant differences in the curve parameters conditioned by the region were observed, but it was not a pure effect, rather a conglomerate of microeffects such as climate, photoperiod, agroecological aspects, etc. Also, the studied curve parameters were affected by the prolificacy probably due to a hormonal interaction.

From the second to the fifth or higher lactation there was a "cascade" effect, i.e. as the lactations progress, the persistency and the presentation of the days at the peak (precocious) decreased gradually but antagonistically presented their highest yields. The first lactation was the one that showed long persistency, presenting also the lowest production peak reached late, as well as the lowest Total Yield. The main differences between the seasons were recorded between spring and winter, where the superiority of spring in terms of Total Yield stands out, as well as the greater persistency in winter, reaching later with the lowest peak. As for fall and summer, the lowest persistency was recorded, reaching a production peak of the earliest and a similar total production.

1.6. ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by a research grant from the Ministry of Foreign Affairs and Cooperation (MAEC) and the University of Cordoba of Spain. The authors thank MURCIGRAN. Special thanks to Devon Dublin PhD. for his support in the reviews.

Supplementary material

Table S 1.- *F-values of measured variables of productions and persistency according to the fixed effects considered in the statistical analysis and the SD of random effects.*

Factors		Traits					
Fixed effects (F values)	PY	TY	IP	FP	TP		
Region	0.48	0.84	0.83	0.29	0.56		
Type of kidding	0.85	0.54	0.03 *	0.05 *	0.03 *		
Lactation number	0.24	0.31	0.98	0.80	1.00		
Season	0.01 **	0.03 *	0.18	0.15	0.05 *		
Age (covariate)	0.09 .	0.88	0.16	0.51	0.20		
Random effects (SD)							
Animal	0.14	0.15	0.07	0.09	0.08		
Farm	0.14	0.15	0.04	0.05	0.05		
Year	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01		

Peak yield (**PY**), total yield (**TY**), initial persistency (**IP**), final persistency (**FP**) and total persistency (**TP**); signify

codes: '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1

**CAPÍTULO II: GENETIC PARAMETERS FOR
PEAK YIELD, YIELD AND PERSISTENCY
TRAITS IN MURCIANO-GRANADINA GOATS
USING MULTI-TRAITS MODELS**

CHAPTER TWO: ESTIMATION OF GENETIC PARAMETERS FOR PEAK YIELD, YIELD AND PERSISTENCY TRAITS IN MURCIANO-GRANADINA GOATS USING MULTI-TRAITS MODELS

J. C. Miranda-Alejo^{1,2}, J.M. León-Jurado², C. Pieramati³, M.M. Gómez², J. Valdés-Hernández⁴, and C. J. Barba-Capote¹

Published online: 1 July 2019, *Animals*, 9 (7), 411. ISSN 2076-2615. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani9070411>.

¹Departamento de Producción Animal, Universidad de Córdoba, Córdoba, España.

²Departamento de Genética, Universidad de Córdoba, Córdoba, España.

³Dipartimento di Medicina Veterinaria, Università Degli Studi di Perugia, Perugia, Italia.

⁴Departamento de Ciencia Animal y de los Alimentos, Universidad Autónoma de Barcelona | Centre for Research in Agricultural Genomics, Barcelona, España.

RESUMEN

Este artículo estudia los parámetros de una curva de lactancia como el rendimiento al pico (PY) y la persistencia (P), que no se ajustan a los criterios de selección habituales en la raza Murciano-Granadina (MG), pero que se consideran una alternativa en beneficio del bienestar animal sin reducción de sus producciones. Utilizando 315,663 registros de producción (de 122,883 animales) durante un período de 24 años (1990-2014), los parámetros genéticos se estimaron con análisis uni, bi y multivariados utilizando la máxima verosimilitud restringida a partir del paquete MTDFREML. La heredabilidad (h^2) / repetibilidad (r_e) de PY, rendimiento (Y) y P se estimó en 0.13 / 0.19, 0.16 / 0.25 y 0.08 / 0.09 con uni-caracter y h^2 de análisis bi y multi-caracter que van desde 0.16 a 0.17 de Y, mientras que el PY y Y se mantuvieron constantes. Las correlaciones genéticas fueron altas entre PY – Y (0.94 ± 0.011) pero bajas entre PY – P (-0.16 ± 0.054 a -0.17 ± 0.054) y entre Y – P (-0.06 ± 0.058 a -0.05 ± 0.058). Las estimaciones de h^2 / r_e fueron bajas a intermedias. La selección para Y – PY o ambos se puede implementar dada la correlación genética entre estos rasgos. PY – P y Y – P mostraron valores de correlación bajos a despreciables, lo que indica que, si estos rasgos se implementan en las primeras etapas de la evaluación, no serían en detrimento de PY – Y. La combinación de los valores de cría estimados (EBV) para todos los caracteres sería un buen criterio para la selección.

Palabras clave: heredabilidad, correlaciones, lactación, precisión, valores de cría.

ABSTRACT

This paper studies parameters of a lactation curve such as peak yield (PY) and persistency (P), which do not conform to the usual selection criteria in the Murciano-Granadina (MG) breed, but are considered to be an alternative to benefit animal welfare without reducing production. Using 315,663 production records (of 122,883 animals) over a period of 24 years (1990–2014), genetic parameters were estimated with uni-, bi- and multivariate analysis using multiple trait derivative free restricted maximum likelihood (MTDFREML). The heritability (h^2)/repeatability (r_e) of PY, yield (Y) and P was estimated as 0.13/0.19, 0.16/0.25 and 0.08/0.09 with the uni-trait and h^2 of bi- and multi-traits analysis ranging from 0.16 to 0.17 of Y, while that of PY and Y remained constant. Genetic correlations were high between PY–Y (0.94 ± 0.011) but low between PY–P (-0.16 ± 0.054 to -0.17 ± 0.054) and between Y–P (-0.06 ± 0.058 to -0.05 ± 0.058). Estimates of h^2/r_e were low to intermediate. The selection for Y–PY or both can be implemented given the genetic correlation between these traits. PY–P and Y–P showed low to negligible correlation values indicating that if these traits are implemented in the early stages of evaluation, they would not be to the detriment of PY–Y. The combination of estimated breeding values (EBVs) for all traits would be a good criterion for selection.

Keywords: accuracy; breeding-values; correlations; heritability; lactation.

2.1. INTRODUCTION

Over a period of 30 years the Murciano-Granadina (MG) breed has been consolidated in European and international agriculture as one of the main dairy goat breeds based on its population, geographical distribution, quality and production, where practically all milk obtained is destined for the cheese industry. Currently, this Spanish breed of goat is considered the most exported due to its hardiness (adequate adaptation to a new environment) and its extensive grazing capacity; MG is a permanent polyestric animal with high prolificacy and easy milking (Delgado *et al.* 2017).

The breed has an improvement program that provides genetic parameters to measure milk, fat, protein and dry extract performance criteria that guide selection decisions (Delgado *et al.* 2017). Based on the selection criteria, in the last year, there is a growing interest in adding traits, combining information of several economically important traits into an overall selection index, to focus on the lifetime profitability of dairy breeds (Heringstad *et al.* 2018).

The estimation of parameters for economically important traits makes it possible to predict direct and correlated selection responses (important traits usually show genetic correlations), improving the selection indexes (Cole & VanRaden 2018); being precise and impartial; also avoiding reductions in negatively correlated traits when using a single trait.

In this instance, using multivariate analyses has a great importance in providing reliable and unbiased estimates of genetic parameters (Ayalew *et al.*

2017) in animal populations; but at the same time having uni-trait estimations allows to control the trustworthiness of multi-traits results and helps to identify any problems with the latter (Meyer 2018a).

Previous studies of lactations curves in goats (León *et al.* 2012; Brito *et al.* 2017) have implemented the Spline model, providing a good fit of data taking into account the factors of variation. This model also decreases biased and imprecise estimates; summarizing in a few descriptive parameters the productions before and after the peak yield (PY) and persistency (P) of that lactation. This last mentioned trait has been described as difficult to factor in due to its genetic variability (Arnal *et al.* 2018).

To our knowledge, the modeling of individual lactation curves of P by Spline and subsequent multi-traits combined analyses for PY, yield (Y) and P traits have not yet been reported in the literature. PY and P traits would constitute a point of support for decision making within the genetic breeding improvement scheme, given the possibility of including them as additional criteria in the future.

Given this background, the objective of the current study was to estimate genetic parameters, (co)variance components, their correlations (genetic and phenotypic), prediction of genetic values (estimated breeding values—EBVs) and their accuracy of PY, Y and P traits using a multiple trait model. We tested the hypothesis that PY and P traits can be used as new selection criteria in the breeding program of the MG breed using multi-traits models. This information is also useful in increasing lactation length and will be able to provide decisive results that should be taken into account in the near future for breeding programs.

2.2. MATERIALS AND METHODS

Data description

The genealogical information, the records of the milk control (ICAR-A4 system cited by Delgado *et al.* (2017)) and data analyzed in this study were taken from the historical archives of the official program of dairy control for MG goats, of the period between the years 1990 to 2014. The general data file contained a total of 1,918,780 records (315,663 corresponded to lactations of a total of 122,883 goats, belonging to 245 farms; where reference sires provided by the breeding centers are used to create genetic connections among the farms).

An exploratory data analysis, exhaustive review of all lactations and filters (records with null or repeated values; daily yields that exceed 10 kg of milk or that are below 0.2 kg; lactations with less than six records; and data beyond ± 3 SD) was applied through the debugging of the database. The final file consisted of 1,349,347 records, which corresponded to 180,872 lactations belonging to 85,404 goats of 229 herds.

The age of the active animals was between four and eight years, where the animals between four and five years of age represented 47.55%; and the range of six and seven years of age 33.68%; there being a significant presence of females with more than eight years of age (17.77%).

Pedigree Information

Pedigree files included a total of 38,756 individuals (effective individuals 36,662 representing 94.4% of the total), for the coding Pedigree Viewer 6.5 computer

program developed by Kinghorn & Kinghorn (2011) was used. Descriptive characteristics of the pedigree file to build the kinship matrix can be seen in appendix A (Table A1).

Statistical and Genetic Analyses

A mixed model was applied to analyze the various factors that affect the traits under study. Next, the individual lactation curves were analyzed using the Spline model, which has proved to be the one that provides the best goodness of fit for the MG breed ($R^2 = 0.98$, mean squared error (MSE) = 0.0020 without existence of autocorrelation among residuals) than several other common functions (Wood, Cappio-Borlino, Cobby and Le Du, Wilmink and Legendre) (León *et al.* 2012) and for a better estimation of genetic parameters (González-Peña *et al.* 2012). The Spline function with one knot used:

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 \quad \text{for } t \leq X, \quad (1)$$

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 (t - X)^2 \quad \text{for } t > X, \quad (2)$$

where y_t represents the average daily milk production recorded on day t , while β_0 , β_1 , β_2 and β_3 are the parameters specifically designed to adapt to the shape of the lactation curves due to its flexibility. Meanwhile, X is treated as an additional parameter to estimate and represents the day of lactation, where the knot point is produced, that is, where the two polynomial functions are linked. For the resolution of this model, statistical software "R" version 3.2.3 (R Core Team 2014) was implemented.

This allowed us to obtain and identify the knots of the individual lactation curve of PY, Y and P traits. These traits were defined in a lactation curve (standardized to 210 days) as (i) PY is a period of maximum production until day 70, (ii) Y is the general milk yield of a complete lactation and (iii) the final phase of continuous descent in lactation curves where the level at which the production or length of lactation is maintained called P (occurs after PY and is calculated as the difference between the accumulated production of days 71–210 and the average of the initial third of 11–70 days). In fact, Y is currently the object of selection and PY and P are considered candidate traits to be included in the genetic improvement program.

The components of (co)variance for all the random effects were estimated using the multiple trait derivative free restricted maximum likelihood (MTDFREML) programs (Boldman *et al.* 1995). The lactation curve traits (PY, Y and P) were analyzed with single-trait (uni-trait), two-trait (bi-trait) and three-trait (multi-traits) models. Starting values for each trait of interest were initially obtained with a univariate analyses, and for the next step to obtain the starting values for the multivariate analyses, a series of combined bivariate analyses was realized.

The final model for the analysis of lactation curve traits included fixed effects of the classical Herd–Year–Season of kidding (HYS) effect (herds = 137; year = 24 from 1990–2014 and season = four levels: Winter, spring, summer and fall), lactation number (LN; four levels: First, second, third and fourth and greater), type of kidding

(TK; three levels: Single, twin and triplet and greater) and age of goat (linear and quadratic covariate).

Animal (additive genetic value), permanent environmental and residual effects were included as random effects. The required convergence criterion of Var $[-2\log(L)]$ (where L represents the likelihood function) was $<1 \times 10^{-9}$. The description of the model in matrix notation was:

$$y = Xb + Z_1a + Z_2p + e, \quad (3)$$

where y = is the vector of phenotypic information for the PY, Y and P traits analyzed; b = vector of fixed effects (HYS, LN, TK and age (covariate included)); a = vector of random additive effects of the animal; p = the vector of the permanent environmental effect; e = is the vector of residuals effects for trait analyzed; X , Z_1 and Z_2 = are incidence matrices that are relative to fixed effects, additive genetic effects and permanent environmental effects, respectively.

The calculations of the genetic parameters, the best linear unbiased prediction (BLUP) solutions for the fixed effects (i.e., breeding values) and their accuracies of the animals for PY, Y and P traits, were obtained by solving the mixed model equations same as that used in León (2008). The three traits of interest were analyzed with the effects previously described in model, structured as follows:

Model uni-trait was used for the univariate analysis: Each trait (PY, Y and P) was studied as a separate trait. The variance-covariance matrix of random effects was structured according to León (2008).

Model bi-traits was used for the bivariate analysis: Each pair of traits: (PY–Y, PY–P and Y–P) was independently analyzed.

Model multi-traits was used for the multivariate analysis: In this instance, three traits (PY, Y and P) were analyzed simultaneously.

Matrix notation models of statistical and genetic analyses:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 \\ 0 & X_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{a1} & 0 \\ 0 & Z_{a2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{pe1} & 0 \\ 0 & Z_{pe2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} pe_1 \\ pe_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 & 0 \\ 0 & X_2 & 0 \\ 0 & 0 & X_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{a1} & 0 & 0 \\ 0 & Z_{a2} & 0 \\ 0 & 0 & Z_{a3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{pe1} & 0 & 0 \\ 0 & Z_{pe2} & 0 \\ 0 & 0 & Z_{pe3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} pe_1 \\ pe_2 \\ pe_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

where y_i = vector of observations for the i -th trait; b_i = vector of fixed effects that contains the effect of HYS (herd–year–season), LN and TK to the i -th trait; a_i = vector of direct additive genetic effects for the i -th trait; p_i = vector of permanent environmental effects for the i -th trait; e_i = vector of residual effects for the i -th trait and X_i and Z are design matrices that relate the data using fixed and random effects, respectively.

The (co)variance structure of the random effects (permanent environmental, animal and error effects) for the models were structured and designed according to León *et al.* (2008) and Espinoza-Villavicencio *et al.* (2015), respectively.

The parameters of h^2 and r_e were calculated by the following formulas:

$$h^2 = \frac{\sigma^2_a}{\sigma^2_p} \quad r_e = \frac{\sigma^2_a + \sigma^2_{pe}}{\sigma^2_p}, \quad (6)$$

where h^2 is the heritability; r_e is the repeatability; σ^2_a is the direct additive genetic variance, σ^2_{pe} is the permanent environmental variance related to repeated records and σ^2_p is the total phenotypic variance that includes the sum of the σ^2_a plus σ^2_{pe} and residual variance (σ^2_e). Standard errors were estimated using the procedure cited in León (2008), which is included in the MTDFREML program.

The estimates of genetic (r_g), and phenotypic (r_p) correlations on all pairwise combinations of traits (bi-traits analysis) were obtained from the estimation of covariance components using the following formulas:

$$r_g = \frac{\sigma_{aij}}{\sqrt{\sigma^2_{ai} \sigma^2_{aj}}} \quad r_p = \frac{\sigma_{pij}}{\sqrt{\sigma^2_{pi} \sigma^2_{pj}}}, \quad (7)$$

where σ_{aij} = additive genetic covariance between trait i and j , σ^2_{ai} = additive genetic variance for trait i , σ^2_{aj} = additive genetic variance for trait j ; σ_{pij} = phenotypic covariance between traits i and j , σ^2_{pi} = phenotypic variance for trait i and σ^2_{pj} = phenotypic variance for trait j .

To evaluate how likely it is that the EBVs are correctly predicted; the accuracy level and average reliability of the EBVs for the traits were calculated. On the other hand, in order to test results of quality control, we considered the criterion of invariability of estimate from uni-trait to multi-traits models.

2.3. RESULTS

Basic descriptive statistics obtained for the traits PY, Y and P are shown in the **Table 2.1**. The coefficient of variation exceeded 24 percent for each of the three traits.

Table 2. 1.- Descriptive statistics for PY (kg/day), Y (kg/day) and P (dimensionless) traits in Murciano-Granadina goats.

Traits	N	Mean	SD	CV (%)
PY ^a	34193	1.21	0.35	29.00
Y ^b	36497	1.05	0.32	30.33
P ^c	38206	1.03	0.25	24.47

PY, peak yield; Y, yield; P, persistency; N, number of observations and SD, standard deviation. ^{a,b,c} combinations of superscripts are used for the analyses bi-traits.

In the multi-traits analyses no problems with convergence or with impermissible values were encountered. The estimates of the components of variance and genetic parameters were consistent and are shown in **Table 2.2.**

Table 2. 2.- Estimates of variance components (additive genetic (σ^2a), permanent environmental (σ^2pe), residual (σ^2e) and phenotypic variances (σ^2p), heritability (h^2) and repeatability (re) for PY, Y and P traits estimated by uni-, bi- and multi-traits models in Murciano-Granadina goats.

Model						
Uni-trait						
Traits	σ^2a	σ^2pe	σ^2e	σ^2p	$h^2 + SE$	$re + SE$
PY	0.014	0.007	0.088	0.109	0.13 ± 0.02	0.19 ± 0.04
Y	0.014	0.008	0.065	0.087	0.16 ± 0.02	0.25 ± 0.04
P	0.005	0.001	0.056	0.062	0.08 ± 0.01	0.09 ± 0.01
Bi-traits						
PY ^a	0.015	0.008	0.091	0.115	0.13 ± 0.01	0.20 ± 0.02
Y ^b	0.015	0.008	0.066	0.089	0.17 ± 0.02	0.26 ± 0.03
PY ^a	0.014	0.007	0.088	0.109	0.13 ± 0.01	0.19 ± 0.02
P ^c	0.005	0.001	0.056	0.062	0.08 ± 0.01	0.09 ± 0.01
Y ^b	0.014	0.008	0.065	0.087	0.16 ± 0.02	0.25 ± 0.03
P ^c	0.005	0.001	0.056	0.062	0.08 ± 0.01	0.09 ± 0.01
Multi-traits						
PY	0.015	0.009	0.092	0.116	0.13 ± 0.01	0.21 ± 0.02
Y	0.015	0.008	0.066	0.090	0.17 ± 0.02	0.26 ± 0.02
P	0.005	0.001	0.056	0.062	0.08 ± 0.01	0.10 ± 0.01

PY, peak yield; Y, yield and P, persistency. ^{a,b,c} different superscripts indicate the combinations for bi-traits analyses.

Variance Components

The estimated genetic variance (σ^2_a) according to uni-, bi- and multi-traits analyses were higher for PY and Y (ranged from 0.014 to 0.015) than for P (constant value of 0.005 in all models). The variance of permanent environmental (σ^2_{pe}) effects (**Table 2.2**) was higher for PY and Y (oscillating between 0.007 to 0.009) than for P, which showed a substantially lower value of 0.001. Results for residual (σ^2_e) and phenotypic (σ^2_p) variances also showed oscillations, where PY and Y had increased estimates in bi- and multi-traits analyses compared to the uni-trait estimates for P was constant across all analyses.

For all these traits it is assumed that each control is a repeated measure of lactation and each lactation was analyzed in an individualized manner. In general, it is emphasized that the estimated genetic parameters for the PY, Y and P traits using all three analyses were similar due to the little variation of the components of variance.

Heritability and Repeatability Estimates

In a general way, the estimated h^2 obtained by MTDFREML for the traits in all three analyses were low and similar in values (**Table 2.2**). The average h^2 showed slightly higher values for PY (0.13) and Y (0.17) than for P (0.08).

However, in this table, it can be noted that in the multivariate analysis (bi- and multi-traits) for Y trait the h^2 was slightly increased; whereas the other traits (PY and P) maintained a constant h^2 with respect to uni-trait analysis.

The r_e for the P and PY traits in the three analyses was low (0.09 to 0.10 and 0.19 to 0.21 for P and PY traits, respectively). However, r_e of bi-trait (PY–Y

combination) and multi-traits (PY and Y traits) analysis confirmed a slight increase, due to oscillations shown in their values with respect to uni-trait analysis. In turn, the r_e of the P trait in uni- and bi-traits was maintained, but in multi-traits showed a slight increase (**Table 2.2**).

Genetic and Phenotypic Correlations

The genetic and phenotypic correlations are shown in **Table 2.3**. The combinations of traits as PY–Y, PY–P, Y–P and PY–Y–P show oscillations ranging from –0.05 and 0.94 in the case of genetic correlations and between –0.071 and 0.441 for phenotypic correlations for bi-multi-traits. PY–Y traits were highly correlated (positively), while PY–P and Y–P traits had low to negligible (negative) correlation values. As soon as the phenotypic correlations were observed, the PY and Y traits with P showed significant differences.

Table 2. 3.- Genetic (above diagonal) and phenotypic correlations (below diagonal) for PY, Y and P traits in Murciano-Granadina goats.

Traits	PY	Y	P
PY		0.94 ± 0.011 _b	-0.16 ± 0.054 _b
Y	0.441 ± 0.052		-0.06 ± 0.058 _b
P	-0.071 ± 0.19	0.007 ± 0.17	

PY, peak yield; Y, yield; P, persistency; b, bi-traits and m, multi-traits

The use of multi-traits analysis with respect to uni- and bi-trait analysis changed the maximum of EBVs obtained for all traits (**Table 2.4**), while in the minimum values only the PY trait presented changes. The accuracy levels of the EBVs for all the traits were superior to 0.93 at its maximum levels (the minimum values in all traits were 0). It can be seen that in the PY–Y analysis they were increased and the reliability level for all the traits was shown to be between 36% to 47%.

Table 2. 4.- Range of estimated breeding values (EBVs), accuracy and average reliability of EBVs obtained for PY, Y and P traits estimated by uni-bi-multi-traits models in Murciano-Granadina goats.

Model				
Uni-trait				
Traits	Maximum	Minimum	Accuracy	Average reliability (r_{ap})
PY	0.31	-0.32	0.95	0.41
Y	0.31	-0.33	0.96	0.46
P	0.17	-0.13	0.93	0.36
Bi-traits				
PY ^a	0.33	-0.33	0.96	0.46
Y ^b	0.33	-0.33	0.96	0.47
PY ^a	0.31	-0.32	0.95	0.41
P ^c	0.17	-0.13	0.93	0.36
Y ^b	0.31	-0.33	0.96	0.46
P ^c	0.16	-0.13	0.93	0.36
Multi-traits				
PY	0.33	-0.33	0.96	0.46
Y	0.33	-0.33	0.96	0.47
P	0.17	-0.13	0.93	0.36

PY, peak yield; Y, yield and P, persistency. ^{a,b,c} different superscripts indicate the combinations for bi-traits analyses.

2.4. DISCUSSION

In the present study, PY and P traits were used practicably as a new selection criterion into the breeding program of the MG breed using multi-traits models. This research indicates that the animal model of repeatability allowed the estimation of the components of variance and (co)variance, genetic parameters, genetic and phenotypic correlations, accuracy breeding value for the PY, Y and P traits using uni-, bi- and multi-traits analysis with full convergence and consistent results. In fact, invariability of the estimation from uni- to multi-traits models suggests a good signal as quality control of results.

To the best of our knowledge, this is the first study where the PY and P traits (traits of economic interest) are evaluated together with selection object traits of the program (e.g., Y). The multi-traits analysis is suggested to analyze traits that have not been considered as selection criteria (i.e., PY and P) but that belong to a population that has been subjected to selection by other traits (e.g., Y). According to Baselga (2015), there is the question related to the bias that can be incurred when analyzing these traits that have not been through the selection criteria in a uni-trait. Therefore, in order to avoid such an occurrence, it is necessary that the traits of interest should be analyzed together with those that intervened in the selection decisions.

Variance Components

The results of the variance components estimates (VCE) from the uni-trait model until the simultaneous analyses showed good convergence and were similar.

This is in agreement with Meyer (2018b), who indicated that having uni-trait estimates thus provides a check on multi-traits results, and helps identify any problems with the latter. Nevertheless, the more traits that are analyzed simultaneously, the more computational effort (i.e., the need for random access memory can grow with the square of the number of traits and the computation with the cube).

The variance component denotes that there are traits predominantly influenced by environmental effects, where the σ^2_a contributes little to the total variance. Consistent with this, it should be taken into account that the environment does not directly modify the genetic constitution of the individual, but it does determine the extent to which it is expressed, the genetic potential of the animals expressed and their respective interactions.

The σ^2_a obtained in uni-, bi- and multi-traits analyses, was low, indicating a greater impact of the other variances (e.g., σ^2_{pe}). This evidence was corroborated by Oldenbroek & van der Waaij (2014) and (Espinoza-Villavicencio *et al.* 2015), who discussed that small σ^2_a effects indicate that the traits are predominantly influenced by environmental factors, such as nutrition, climate, exposure to diseases, factors that vary from one farm to another or between individual animals on the same farm, and by the contributions of the dominant or epistatic genes.

Heritability and Repeatability Estimates

The low h^2 estimates for traits using uni-, bi- and multi-traits analyses (ranging from 0.08 to 0.17), suggest that these are complex traits, which remain stable for

several generations. This means a slow and often unstable selective effort and reaffirms the great environmental influence and not only the possible genetic variations existing between animals.

Although these traits have low h^2 values, these can be measured if there is available information on a large number of animals; as this is economically important for farmers, the evaluation of these traits was justified. Oldenbroek & van der Waaij (2014) pointed out that, if a huge number of offspring can be produced, such as in dairy animals, the EBV can be estimated more accurately. In this regard, Ayalew *et al.* (2017) mentioned that the traits will be affected by many pairs of genes and by the environment; to which the latter contributes to the high σ^2_e .

The estimates of h^2 (0.13) obtained for the PY trait in MG goats were low and consistent between the three models. In turn, to the best of our knowledge there are no reports of h^2 in the literature for this trait in MG goats. In this regard, a report of Pollot & Gootwine (2001) on this trait in small ruminants describes a h^2 of 0.12, placing our results close to that report in sheep. Nevertheless, Devendra & Liang (2012) suggest that the biological efficiency of the goat distinguishes it from other ruminants because of its high digestive efficiency due to the good conversion of food from non-competitive sources, resulting in efficient milk production.

In relation to this, Oliveira *et al.* (2016) indicate that this trait is very susceptible to environmental factors, which can lead to greater variations of error in different phases of lactation; and even between groups of some animals of intensive production (animals with higher production and shorter lactations) and of extensive production (animals with high P of lactation).

Regarding the h^2 of the Y trait, Kominakis *et al.* (2000) stresses that this trait has been studied extensively, presenting various estimates in different goat breeds over time (range of estimates in the first descriptions ranged from 0.17 to 0.68).

In the last decade, the reports continue to show variations such as the studies of Thepparat *et al.* (2015) with several breeds of goats and their crosses (Saanen, Anglo-Nubia, Toggenburg, Alpina and goats native to Thailand) establish h^2 ranges from 0.11 to 0.30 with four Spline knots. García-Peniche *et al.* (2012) with several goat breeds (Alpina, La Mancha, Nubian, Oberhasli, Saanen, Toggenburg) also concluded that the estimated h^2 for all of them is 0.35.

In our study, we found that the estimates of h^2 for the Y trait in MG goats were 0.16 (uni- and bi-traits analysis) to 0.17 (multi-traits analysis). These results are within the ranges described in previous studies conducted on the breed that report a lower to intermediate h^2 with complete and standardized milk yields at 210 and 240 days, respectively. León (2008) and Delgado *et al.* (2017) described a 0.14 to 0.21 of h^2 ; while an even lower h^2 was reported by González-Peña (2011) in the breed from 0.06 to 0.11 (with different models).

The h^2 of P trait in MG goats were the lowest (0.08) in the three models analyzed. This value was below the reported Menéndez-Buxadera *et al.* (2010) in the MG breed with an estimated h^2 of 0.20 performed with a random regression analysis for the first and second lactation in milk yield between week 17 and 35 in lactation.

However, our results are closer to the results reported by González-Peña (2011) in MG analyzed by five persistency measures (modifying the formulas respectively); where intervals were described with estimates from 0.06 to 0.13. In

the literature, several estimates are also reported, such as those described by De Oliveira-Menezes *et al.* (2010) in goats of the Saanen breed with values of 0.03 to 0.09 and in Payoya goats with values from 0.26 to 0.40 cited by González-Peña (2011).

The diversity of estimates for measures of P in goats are also present in studies of reference for dairy cattle, where a large range of h^2 estimates with different types of models (values between 0.01 to 0.32) respectively was found by Jamrozik *et al.* (1998); Jakobsen *et al.* (2002) and Weller *et al.* (2006).

All this variability of results is due in part to the different methodologies used, but we believe that an independent analysis of each lactation curve in different lactations by goats will bring us closer to the “real” value of P to have a measure of biological efficiency. Thereafter, the genetic relationship with other important traits such as the somatic cell score, reproductive traits and longevity would be analyzed. In this regard, Arnal *et al.* (2018) highlights that the P plays a key role in the discrimination of lactation curve types.

The importance of this trait is defined by having a flatter lactation curve without a decrease in the total production (desirable). Its economic value in itself, due to its favorable correlation with factors as health (Jakobsen *et al.* 2002) and fertility of the female (Muir 2004) would suggest a flexible scope for modifying lactation curves via genetic selection (Chang *et al.* 2001). Hence this would be helping milk producers in the effective management of feeding and reproduction during early lactation.

In the current study, the r_e estimates for lactation curve traits using uni-, bi- and multi-traits analysis were low for PY and P traits (between 0.09 and 0.20), whereas the Y trait had a medium r_e (about 0.3). For the Y trait using the multi-traits vs. uni-trait analysis, both parameters (h^2 and r_e) increased slightly. Estimates for the Y trait were similar to the previous reports for the MG breed (León 2008), but are not in agreement with González-Peña (2011) who describe that r_e tends to be twice the h^2 . Nevertheless, in the case of PY and P traits, no r_e reports were found in the literature for MG goats.

The parameter of r_e is the maximum limit of h^2 , and their calculation is necessary because although it does not indicate genetic variation, it does allow us to establish a limit to it and will also indicate the relationship of how many records of the same trait must be obtained at different times of the animal's life, before being discarded (Oldenbroek & van der Waaij 2014).

Genetic and Phenotypic Correlations

The genetic correlations observed for PY–Y traits were large (positively with values very close to 1.00 i.e., estimate of 0.94), while PY–P and Y–P traits showed low to negligible (negative) correlation values. Consistent with this, (Falconer & Mackay (2001) suggests that this correlation expresses the degree to which these two measures are genetically reflected; becoming practically the same trait.

Analyzing more dairy traits (such as PY, Y and P) as a whole and their correlations, allows us to adequately weigh the possible negative indirect genetic responses between traits and facilitate its use to rank animals and make breeding decisions (Cole & VanRaden 2018).

This positive genetic correlation between traits also indicates that an improvement of one trait has a positive impact on the other (Ayalew *et al.* 2017), and that they are functionally related traits. In relation to this, the results suggest that it is better to continue selecting the animals by the Y trait. In turn, the analysis of the P trait needs to be interpreted with caution.

A current study with Alpinas and Saanen goats corroborate that estimates of higher genetic correlations will be seen in estimates at shorter intervals (Oliveira *et al.* 2016). Our results are consistent with these studies because PY is adjacent to the Y and the latter will be increased or decreased according to the intensity of PY. Besides, the most notable investigation with Alpine goats indicate that the genetic correlations appear smaller as the Y is increased and the explanation would be by groups of genes, since the expression of those genes are related to milk production and its variations throughout lactation (Brito *et al.* 2017).

As for the evidence for a strong association between traits, Oldenbroek & van der Waaij (2014) points out that strongly associated traits would indicate that the genes that affect them operate in a common physiological way. Even some papers report correlations of 0.98 to 1.00 (Silva *et al.* 2013) or of 0.21 to 0.95 (Brito *et al.* 2017) for the daily yield in different test days with two evaluation models.

Oldenbroek & van der Waaij (2014) describe that since there is a permanent high genetic correlation (because there is no crossing with other breeds), we could be in the presence of a pleiotropic effect. Therefore, this would reaffirm the performance of multi-traits analysis in improvement programs (Ayalew *et al.* 2017). In addition, if there were unreliable estimates or very small correlations close to zero,

they would validate a legitimate justification for not using a multi-traits analysis in the schemes.

The genetic correlations obtained for PY–P and Y–P traits (negative) in goats, to the best of our knowledge were not reported but was described in other ruminants. For instance, a study in buffaloes have provided evidence for the correlations of PY–P, where mean correlations (–0.24) was reported by Pareek & Narang (2014). This reference could suggest that animals with high P can maintain their dairy yields or otherwise indicate that the higher and earlier the PY, the greater is the increase in the Y of lactation and the shortening of its P.

Therefore, given that the correlations obtained in this study are smaller, we advise caution in the selection for these traits, because it may bring antagonistic responses at certain points along the length of lactation. Nevertheless, in sheep, a previous study indicates this type of negligible correlations, suggesting a flexible scope for modifying lactation curves via genetic selection (Chang *et al.* 2001).

Regarding the phenotypic correlations, the PY–Y traits showed good (positive) correlation. Consistent with this, Falconer and Mackay (2001) describe that when there are low h^2 as in our results, these phenotypic correlations will be caused mainly by the environmental correlation. In the case of PY–P traits, they showed a phenotypically low correlation (negative), indicating a low antagonism between these traits.

In dairy cattle, the phenotypic correlations between Y and P were not significant (Yamazaki *et al.* 2011). Therefore, globally this explains that these traits are influenced by more or less the same genetic and environmental factors.

Furthermore, the accuracies calculation for PY, Y and P traits shows stable to slight improvement values from the uni-trait model to multi-traits model. Consequently, the multi-traits analyses will improve accuracies by a better connection between data due to the residual covariance between traits (Baselga 2015)].

This enhanced accuracy is due to the ability of the model to account for the relationship between the traits and better connections in the data due to residual covariance between traits (Ayalew *et al.* 2017). Likewise, multivariate models gave better reliabilities than univariate models in the prediction of genetic merit, which is mainly a result of the model's ability to use extra information from correlated traits.

Finally, this study provides evidence that PY and P (traits of interest), evaluated in conjunction with criteria object of selection (i.e., Y) using a repeatability model, can be used in the future as a point of support in making decisions about the criteria of selection within the scheme of selection of the MG breed. In future investigations, it is also suggested to evaluate the PY and P traits in combination with other measures (e.g., day at peak, % fat, % protein and % dry extract).

Even for lower values of h^2 such as the P trait, the possibility of optimally selecting the lactation curve (Chang *et al.* 2001) is suggested. In fact, if the objective is to genetically modify the characteristics of the lactation curves (PY, day to peak and P), precise parameter estimates with less bias are needed for individual lactation curves.

2.5. CONCLUSION

The lowest levels of additive genetic variability for PY, Y and P, were estimated in the MG goat breed. The h^2 estimates were low and close to intermediate for all traits, indicating that the major part of variation for those traits were due to environmental factors. Therefore, this suggests that these traits are very complex and remain quite stable for several generations. The r_e estimates for PY and P traits were low confirming that these traits are mainly influenced by managerial and temporary environmental effects, whereas the estimates for the Y trait had a medium value.

Even, for the Y trait using the multi-traits vs. uni-trait analysis, both parameters (h^2 and r_e) increased slightly. Genetic correlations between PY and Y were large and positive, indicating that it is possible to select for both traits, whereas PY–P and Y–P traits showed low to negligible and negative correlations. The phenotypic correlations indicated low antagonism and levels of significance.

These results indicate that there is no antagonism between the traits under study and that they can be combined in the early stages of evaluation of the selection program, with careful interpretation of the P trait analysis. The accuracies calculation for the lactation curve traits (PY, Y and P) shows more stable values from the uni-trait model to multi-traits model. Therefore, this suggests that multi-traits analysis will improve accuracies by a better connection between data due to residual covariance between traits.

Appendix A

Table A 1.- Descriptive characteristics of the pedigree file.

Pedigree file statistics	N
No. of individuals with records	38,756
Effective individuals in the pedigree	36,662
Individuals with only a sire	285
Individuals with only a dam	1359
Individuals with sire and dam	17,904
Number of sires	1659
Number of dams	10,000

N, number of observations.

2.6. ACKNOWLEDGEMENTS

We thank the National Association of Breeders of the Murciano-Granadina Goats (MURCIGRAN) for access to the data. The authors acknowledge Dianelys Gonzalez-Pena for assistance in statistical analysis and personal consultations. Thanks are also expressed to Devon Dublin and Bolivar Sosa Madrid for helpful comments of manuscript. The authors are grateful for the English manuscript version revised by Michael Nugent.

CAPÍTULO III: EVALUATION OF GENETIC AND PHENOTYPIC TRENDS FOR PEAK, YIELD AND LACTATION PERSISTENCY TRAITS IN THE MURCIANO-GRANADINA GOAT BREED

**CHAPTER THREE: EVALUATION OF GENETIC AND PHENOTYPIC TRENDS
FOR PEAK, YIELD AND LACTATION PERSISTENCY TRAITS IN THE
MURCIANO-GRANADINA GOAT BREED**

**J. C. Miranda-Alejo^{1,2}, J.M. León-Jurado², C. Pieramati³, M.M. Gómez², J.
Valdés-Hernández⁴, and C. J. Barba-Capote¹**

Accepted: 19 March 2019, Published: pending, Revista Mexicana de Ciencias
Pecuarias. ISSN 2007-1124.

¹Departamento de Producción Animal, Universidad de Córdoba, Córdoba, España.

²Departamento de Genética, Universidad de Córdoba, Córdoba, España.

³Dipartimento di Medicina Veterinaria, Università Degli Studi di Perugia, Perugia,
Italia.

⁴Departamento de Ciencia Animal y de los Alimentos, Universidad Autónoma de
Barcelona | Centre for Research in Agricultural Genomics, Barcelona, España.

RESUMEN

El objetivo del presente capítulo fue evaluar las tendencias genéticas (**TG**) y fenotípicas (**TF**) para los caracteres de pico productivo (**PP**), rendimiento lechero (**RL**) y persistencia de la lactación (**P**) en la curva de lactación de la raza Murciano-Granadina (**MG**). Para ello se utilizaron 180,872 lactaciones, de 85,404 cabras (registros históricos de 1990-2012). Para la obtención de los caracteres de interés (PP, RL y P) se realizó la biomodelación de curvas de lactación mediante el modelo *Spline* usando el software “R”. Los valores genéticos (**VG**) se obtuvieron mediante modelo animal univariado con observaciones repetidas, empleándose el paquete MTDFREML. Las TG y TF se estimaron vía mínimos cuadrados en una regresión del promedio de los VG e información productiva conocida según año de nacimiento. En el cálculo de las TG y TF se obtuvieron coeficientes de regresión lineal (**b**), donde los valores b para PP, RL y P fueron de +0.00071, +0.00698; +0.00114, +0.01117 y +0.00002, -0.00076; respectivamente. El trayecto de TG, TF de PP y RL se comportó de la misma manera siguiendo una línea de tendencia ascendente con presencia de intervalos de crecimiento y decrecimiento. La TG de P mostró un comportamiento estacional y la TF fue descendente con puntos más consistentes en su recorrido; reforzando la idea de que altas producciones van en detrimento de la P. Estos resultados permiten informar a los criadores del comportamiento de estos caracteres y consideran la incorporación de la P como criterio de selección en el programa genético de la raza.

Palabras clave: programa de cría; cabra; leche; valores genéticos.

ABSTRACT

The objective of the present study was to evaluate the genetic (GT) and phenotypic (PT) trends for the peak (PY), yield (Y) and persistency (P) traits in the lactation curve of the Murciano-Granadina breed (MG). For this 180,872 lactations of 85,404 goats were used (historical records of 1990-2012). To obtain the traits of interest (PY, Y and P), the biomodelation of lactation curves was performed using Spline model with the software "R". The genetic values were obtained by univariate animal model with repeated observations, using the MTDFREML package. The calculation of the GT and PT were obtained coefficients of linear regression, of the average of the genetic values and of the known productive information, with respect to the year of birth. The coefficients of linear regression of the genetic and phenotypic values with respect to the year of birth for PY, Y and P were +0.00071, +0.00698; +0.00114, +0.01117 and +0.00002, -0.00076; respectively. The path of GT, PT of PY and Y behave in the same way following an ascending trend line with presence of growth and decrease intervals. The GT of P shows a stationary behavior and the PT was descending with more consistent points in its path; reinforcing the idea that high productions are detrimental to the P. These findings inform the breeders of the behavior of these traits and consider the incorporation of the P in the breeding program of the breed as selection criteria.

Keywords: Breeding program, goats, breeding values.

3.1. INTRODUCCIÓN

La especie caprina tiene una gran relevancia mundial, especialmente en los países en vías de desarrollo, donde son criados con criterios de multifuncionalidad (Adewumi *et al.* 2017). Sin embargo, las razas caprinas lecheras tienen un interés especial para la ganadería meridional europea, y aunque cuentan con censos reducidos respecto al efectivo total mundial, en Francia y España se han conseguido aumentos considerables de los rendimientos y períodos de lactancia más prolongados. Esta eficiencia productiva responde a las necesidades de proveer gran cantidad de leche a la industria de quesos de cabra de alta calidad, vinculada a las tradiciones culturales de gran arraigo en algunos países europeos, que siguen ofreciendo una perspectiva optimista para el sector caprino (FAO 2018).

La raza Murciano-Granadina (**MG**) forma parte de ese selecto grupo de razas caprinas lecheras especializadas, constituyéndose en una de las principales razas autóctonas lecheras de España, tanto en censo (104.000 hembras reproductoras inscritas en el libro genealógico) como en producciones (584,4 kg leche por lactación) (Delgado *et al.* 2017). Esta información posiciona a la MG en primer orden, junto a las razas Florida y Malagueña, por su elevado potencial productivo respecto a otras razas autóctonas españolas como la cabra del Guadarrama, Majorera, Palmera, Payoya y Tinerfeña.

La raza MG fue reconocida oficialmente en los años 70 del pasado siglo y desde entonces, se tiene referencias sobre el Esquema de Valoración Genético-Funcional de Machos Reproductores (Resolución de 28 de marzo de 1979 de la Dirección General de la Producción Agraria (MURCIGRAN 2018)). Hasta la fecha,

se ha logrado obtener una robusta base de datos del registro genealógico y funcional de estos animales, lo que ha permitido desde entonces la evaluación genética de los reproductores.

El actual programa de selección de las cabras MG está consolidado tras 29 años de selección haciendo énfasis en medidas como: producción de leche, grasa, proteína y rendimiento del extracto seco. Para esta instancia, las estimas de las tendencias genéticas (**TG**) son importantes para testear la eficacia de los esquemas de mejoramiento aplicados, y para proporcionar a los mejoradores información para desarrollar programas de selección más eficientes (Khojastehkey & Aslaminejad 2013).

También, las evaluaciones de TG y tendencias fenotípicas (**TF**) ayudan principalmente a entender y transmitir el efecto que tiene la selección respecto a las generaciones anteriores (Filho *et al.* 2000; Kuthu *et al.* 2017), así como contrastar los resultados obtenidos en función del esquema propuesto, de forma tal que nos permita corregir cualquier desviación de lo esperado.

En estudios de referencia en especies lecheras, los investigadores se han centrado, de manera general, en TG y TF para rasgos de rendimientos lecheros (**RL**) y composición, sin embargo, no se ha reportado el comportamiento genético de otros caracteres relacionados con la curva de lactación (Abdallah & McDaniel 2000).

Asimismo, este es el primer estudio en cabras MG sobre TG de parámetros de la curva de lactación, en particular sobre el pico productivo (**PP**) y la persistencia (**P**). Este estudio se realiza con el fin de justificar la consolidación de estos caracteres para ser incluidos como criterios de selección en el programa de cría de

la raza. Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar las TG y TF para los caracteres de PP, RL y P en la raza Murciano-Granadina (MG).

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Datos y procedimientos de edición

La información genealógica y funcional utilizada en el presente estudio pertenece a los archivos históricos del programa oficial de mejora de la raza caprina MG. La base de datos original contenía 180,872 lactaciones estandarizadas a 210 días de duración (método A4 del ICAR (1990)), de 85,404 cabras pertenecientes a 229 ganaderías, cubriendo los años de nacimiento desde 1990 a 2012. Durante el análisis exploratorio, la base de datos fue editada y estandarizada para eliminar los datos considerados anómalos: datos repetidos, lactancias con menos de 6 controles, rendimientos diarios que sobrepasen los 10 kg de leche o que estén por debajo de 0.2 kg y valores nulos; estando acorde a la normalización realizada por el programa de mejora de la raza MG.

Análisis genético y modelos estadísticos

Para la obtención de los caracteres PP, RL y P, se realizó la biomodelización de las curvas de lactación individualizadas por animal, usando el modelo *Spline* por su mejor R^2 , flexibilidad y bondades de ajuste para la raza (León *et al.* 2012). A su vez, para la resolución del modelo se utilizó el software estadístico “R” versión 3.2.3 (R Core Team 2014).

Particularmente, los valores de P de la lactancia son expresados como medidas adimensionales (Macciotta *et al.* 2008).

Los valores individuales de los caracteres de la curva de lactación (PP, RL y P) fueron analizados con un modelo animal con observaciones repetidas y la opción univariante (uni-carácter). El modelo uni-carácter usado se presenta en notación matricial (Mrode 2014).

$$\mathbf{y} = \mathbf{Xb} + \mathbf{Z_a a} + \mathbf{Z_p p} + \mathbf{e}$$

Dónde: \mathbf{y} =, es el vector de información fenotípica de los caracteres analizados PP, RL y P; \mathbf{b} = vector de los efectos fijos (grupo de contemporáneas del rebaño-año-estación (RAE-unificado), número lactación, tipo parto y edad (covariable)); \mathbf{a} = vector del efecto aleatorio aditivo del animal; \mathbf{p} = vector del efecto ambiental permanente; \mathbf{e} = es el vector de efectos residuales para los caracteres analizados; \mathbf{X} , $\mathbf{Z_a}$ y $\mathbf{Z_p}$: son las matrices de incidencia (conocidas) de los efectos fijos (\mathbf{X}) y efectos aleatorios ($\mathbf{Z_a}$ y $\mathbf{Z_p}$), respectivamente.

Los componentes de la varianza para todos los efectos aleatorios fueron estimados utilizando el programa Múltiple Trait Derivate Free Restricted MaximunLikelihood (MTDFREML) (Boldman *et al.* 1995) y ajustando el modelo animal univariado (descrito previamente). Para testar las estimaciones lógicas, se utilizó un criterio de convergencia de $\text{Var} [-2\log(L)] < 1 \times 10^{-9}$ (donde L representa la función de verosimilitud).

Los valores genéticos (\mathbf{VG}) de los animales para los caracteres de interés fueron estimados mediante la metodología del mejor predictor lineal insesgado (BLUP) (Henderson 1976). Para la estimación de TG y TF, los VG estimados se ajustaron en un modelo de efectos fijos con el año de nacimiento como único efecto

fijo. Alternativamente, también se estimaron las tendencias ambientales (**TA**) para los caracteres de interés. Para el cálculo de estas tendencias se realizaron predicciones mediante los coeficientes de regresión lineal (**b**) del promedio de los VG, expresados por año de nacimiento y de la información productiva conocida con respecto al año en cuestión. Estos procedimientos se llevaron a cabo utilizando el paquete estadístico R Core Team (2014).

3.3. RESULTADOS

Los estadísticos descriptivos para los caracteres analizados en este estudio revelaron una media y desviación típica de 1.05 ± 0.32 y 1.21 ± 0.35 kg de leche para RL y PP, respectivamente, así como de 1.03 ± 0.35 para P.

Las TG y TF respecto al año de nacimiento para los caracteres analizados se muestran en las **figuras 3.1 a 3.6** con su respectivo coeficiente de regresión lineal (**b**). Estos resultados sugieren variaciones dinámicas para la población de cabras MG, detectándose un punto de rebote estacionario en 1999 coincidiendo con el inicio del esquema de selección moderno, basado en evaluaciones BLUP. Subsecuentemente, las oscilaciones alrededor del eje x para estos tres caracteres, revelan congruentemente que, en un período de 22 años, los caracteres de PP y RL presentaron un comportamiento de tendencia ascendente y magnitud similar; mientras que el carácter de P se mostró de estacionario a decreciente.

Las TG para PP y RL a lo largo de los años analizados (1990 a 2012) mostraron un comportamiento irregular con presencia de intervalos de crecimiento y decrecimiento (**figuras 3.1 y 3.2**), pero siguiendo una línea de tendencia ascendente con coincidencias en sus picos en los años 1992, 1996, 2004 y 2009.

Para estos mismos caracteres, en las TF (**figuras 3.4 y 3.5**), se muestran líneas de tendencia ascendente, también con fluctuaciones de los intervalos de ascenso/descenso regulares y consistentes (picos prominentes coincidentes en los años 1992 y 1998).

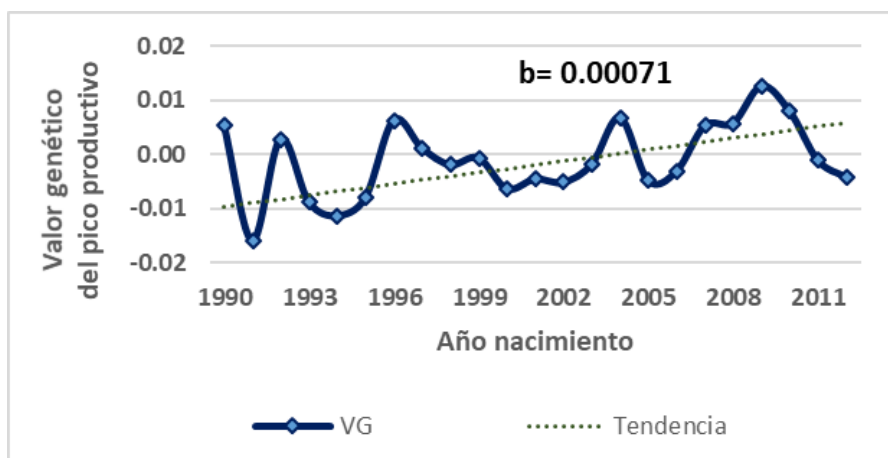


Figura 3. 1.- Tendencia genética para el carácter del pico productivo por año de nacimiento en cabras Murciano-Granadinas. (Genetic trend for peak yield by birth year in Murciano-Granadinas goats). Nota: el b que aparece en el modelo se evalúa con un error estándar de ± 0.0000799 y un p -valor = $<2e-16$ ***.

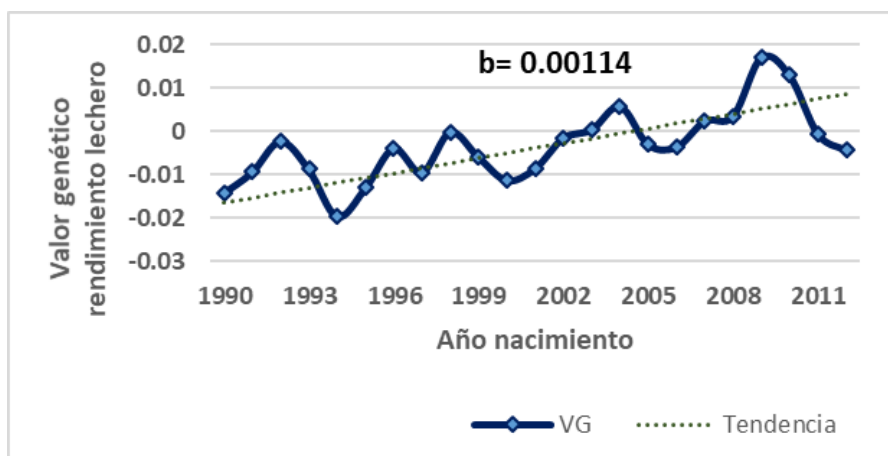


Figura 3. 2.- Tendencia genética para el carácter de rendimiento lechero por año de nacimiento en cabras Murciano-Granadinas. (Genetic trend for yield by birth year in Murciano-Granadinas goats). Nota: el b que aparece en el modelo se evalúa con un error estándar ± 0.0000866 y un p -valor = $<2e-16$ ***.

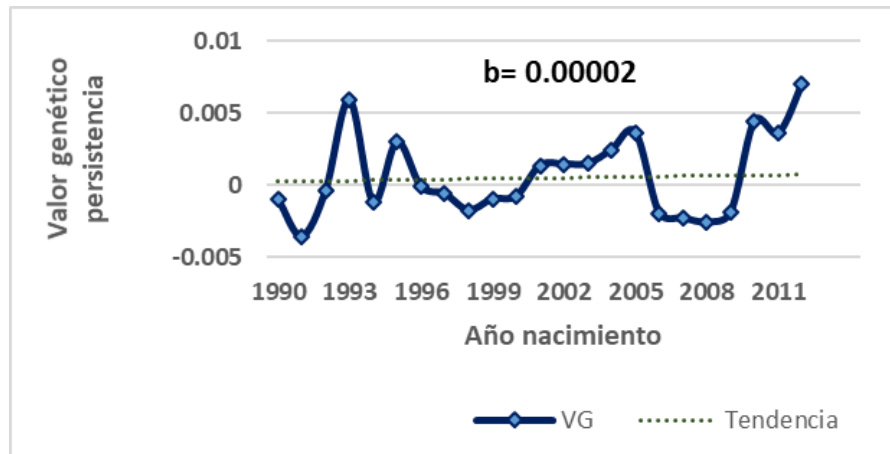


Figura 3. 3.- Tendencia genética para el carácter de persistencia por año de nacimiento en cabras Murciano-Granadinas. (Genetic trend for persistency by birth year in Murciano-Granadinas goats). Nota: el b que aparece en el modelo se evalúa con un error estándar de ± 0.0000396 y un p-valor = 0.58.

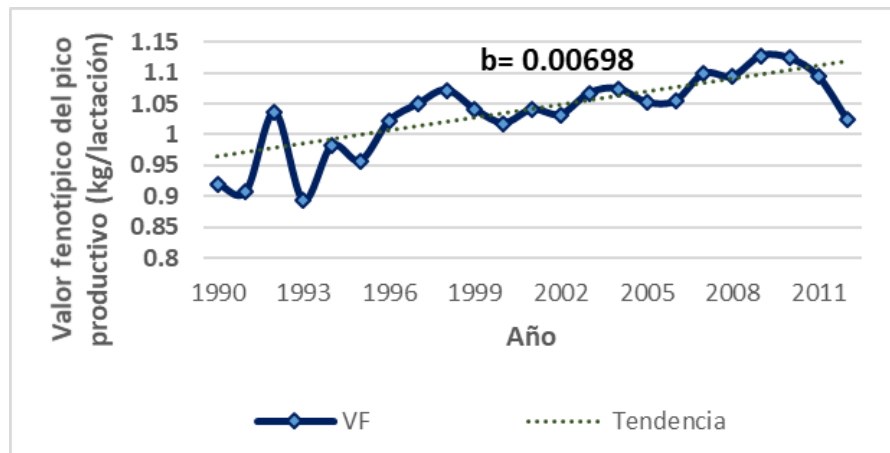


Figura 3. 4.- Tendencia fenotípica para el carácter del pico productivo por año de nacimiento en cabras Murciano-Granadinas. (Phenotypic trend for peak yield by birth year in Murciano-Granadinas goats). Nota: el b que aparece en el modelo se evalúa con un error estándar de ± 0.0006009 y un p-valor = $<2e-16$ ***.

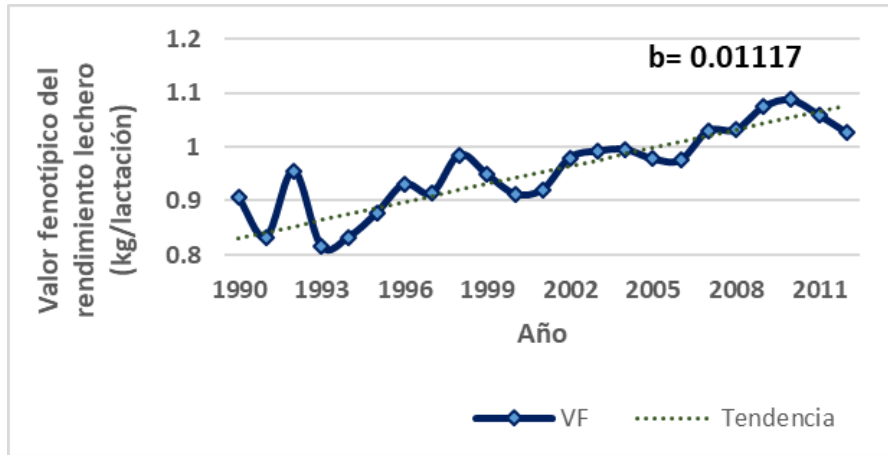


Figura 3. 5.- Tendencia fenotípica para el carácter de rendimiento lechero por año de nacimiento en cabras Murciano-Granadinas. (Phenotypic trend for yield by birth year in Murciano-Granadinas goats). Nota: el b que aparece en el modelo se evalúa con un error estándar de ± 0.0004643 y un p-valor = $<2e-16$ ***.

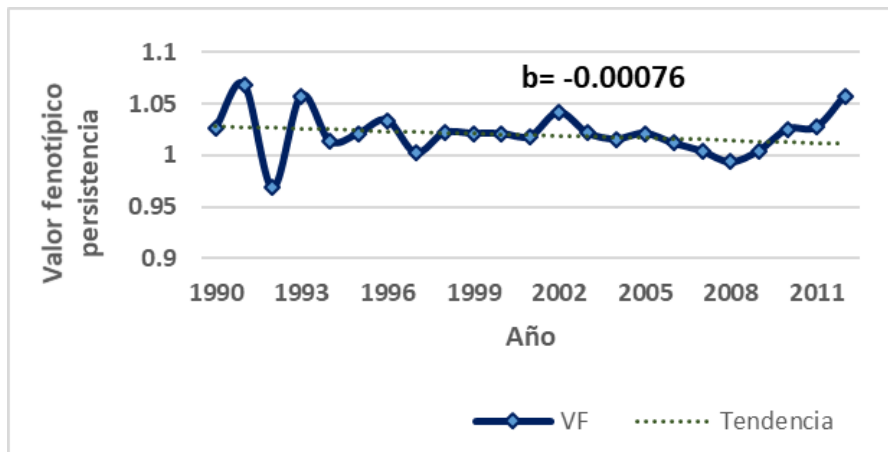


Figura 3. 6.- Tendencia fenotípica para el carácter de persistencia por año de nacimiento en cabras Murciano-Granadinas. (Phenotypic trend for persistency by birth year in Murciano-Granadinas goats). Nota: el b que aparece en el modelo se evalúa con un error estándar de ± 0.000329 y un p-valor = 0.02.

La TG para el carácter P muestra un comportamiento irregular con presencia de intervalos de crecimiento, decrecimiento y picos prominentes en los años 1993, 1995, 2005, 2010 y 2012, a diferencia del comportamiento de los otros caracteres que muestran una línea de tendencia estacionaria (**figura 3.3**).

En particular, se observó una TG positiva PP y RL, así como desviaciones irregulares de la linealidad (**figura 3.1 y 3.2**). El incremento para estos caracteres fue significativo ($P < 0.05$) con un b de 0.00071 kg/año y de 0.00114 kg/año para PP y RL, respectivamente. De forma similar, la estima de TG para la P también fue positiva presentando picos prominentes (1993, 1995, 2005, 2010 y 2012) y declives notorios (1992, 1998, 2006 a 2009), mostrando fluctuaciones irregulares entre sí con un incremento no significativo ($P > 0.05$) y b con valor 0.0000219 unidades/año con una línea de tendencia estacional (**figura 3.3**).

La dirección de TF para PP y RL, si bien muestra una línea de tendencia ascendente, también las fluctuaciones de los intervalos de ascenso/descenso se muestran regulares y consistentes por la proximidad entre puntos (picos prominentes coincidentes se dan en los años 1992 y 1998) y línea de tendencia (**figuras 3.4 y 3.5**). Por otra parte, TF de P (**figura 3.6**) fue descendente donde las fluctuaciones de los intervalos de ascenso y descenso se muestran regulares, consistentes en el tiempo con presencia de picos en los años 1991, 1993, 2002 y 2012.

Consecuentemente, las TF fueron positivas para el PP y RL presentando un incremento significativo ($P < 0.05$) en el promedio de las TF para estos caracteres, donde se estimó b con valor 0.0069821 kg/año y de 0.0111697 kg/año, respectivamente (**figuras 3.4 y 3.5**). No obstante, aunque la estima de TF para P fue negativa observándose fluctuaciones regulares con una disminución significativa ($P < 0.05$) y b con valor de -0.0007629 unidades/año (**figura 3.6**); se aprecia también un ligero incremento en esta tendencia desde el año 2009, mismo

que se estabiliza durante el 2010 mostrando un ascenso desde el año 2011. El análisis de TA para P indica una influencia negativa, aunque no significativa ($P > 0.05$ con b de -0.00000293 unidades/año).

3.4. DISCUSIÓN

Las estimas de las TG sirven para monitorizar y evaluar la eficiencia de los programas de selección (Montaldo *et al.* 1997). La evaluación de la TG de caracteres lácteos da una indicación de la dirección del vector de selección de la raza, así como de la tasa de mejora genética debida a la aplicación del programa de mejoramiento (Bosso *et al.* 2007). A su vez, es importante para proveer a los mejoradores de información para desarrollar programas de selección más eficaces (Mrode 2014).

En este estudio, las estimaciones directas de la TG indicaron que hubo una mejora genética significativa y positiva en todos los rasgos estudiados a excepción del carácter de P, indicando que la selección fue efectiva, tanto en el periodo que se basó en la selección masal (1990-1999), como cuando lo fue con información familiar (1999-2012). Por tanto, esta información pudiera ser útil respecto a la evaluación de esfuerzos previos para mejorar y preservar el potencial genético de esos caracteres, así como para determinar las próximas estrategias y el trabajo futuro en la población de cabras MG.

Una importante consideración es que este es el primer estudio donde son evaluados en conjunto los caracteres de PP, RL y P, siendo el RL un caracter objeto de selección para la raza de forma rutinaria; mientras que el PP y P son caracteres

candidatos para su posible inclusión en el esquema de selección. Nuestros resultados indican que, en los 22 años analizados los caracteres de PP y RL presentaron un comportamiento similar y de tendencia ascendente; mientras que el carácter de P se mostró de estacionario a decreciente, reforzando el planteamiento de que altas producciones van en detrimento de la P.

Los resultados de la presente investigación sugieren globalmente que, tanto las TG como TF, para los tres caracteres (PP, RL y P), indicaron un comportamiento irregular, teniendo intervalos de crecimiento y decrecimiento fluctuantes más notorios en los años previos a 1999, justificado porque la selección que se ejercía hasta ese año se basaba en los fenotipos de los animales (selección masal). Sin embargo, es a partir de 1999 cuando las tendencias de los VG medios anuales para los caracteres PP y RL presenten una evolución más constante-positiva, siendo consistente con el año donde se marcaron las directrices de trabajo para el esquema de selección de sementales caprino de aptitud lechera de raza MG (MURCIGRAN 2018), basados en información familiar y estimaciones BLUP, según las directrices publicadas en la Resolución de 12 de mayo de 1999 del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Además, los puntos de referencias de los VG medios se encuentran más próximos a la línea de tendencia, que presentaron picos prominentes en los años 2004, 2009 y declives notorios en los años 2005, 2006, 2011 y 2012, según MURCIGRAN (2018), podrían estar relacionadas con la incorporación de animales al esquema de selección procedentes de ganaderías externas al núcleo selectivo en los años mencionados.

Las TG tanto para PP y RL tienen un recorrido en simultáneo paralelo, donde los picos prominentes se hacen presentes en años anteriores a 1999; y el declive más notorio se hace presente en el 2012. Al respecto en diciembre del 2011 se llega a un acuerdo para fusionar, en forma oficial las asociaciones de CAPRIGRAN y ACRIMUR en MURCIGRAN (MURCIGRAN 2018), conllevando a gestionar un solo Libro Genealógico y por ende los datos y/o registros de los mismos, lo cual justificaría el declive notorio entre los años 2011 y 2012 tanto en las TG como TF.

La TG para P a pesar de presentar picos prominentes (1993, 1995, 2005, 2010 y 2012) y declives notorios (1992, 1998, 2006 a 2009) además de alternantes e irregulares entre sí; muestra una línea de tendencia estacional positiva. En tanto, la TF se aprecia una línea de tendencia decreciente discreta apreciándose picos menos prominentes en los años 1991, 1993, 2002 y 2012.

Esta información refuerza la idea de prestar atención a este carácter y su comportamiento en conjunto con otros por su impacto directo en las curvas de lactación, alargar la P permitiría aplanar la parte en declive de la curva de lactancia o al menos mitigar los picos críticos que afectan el sistema inmunológico (relación antagónica entre los rasgos de producción lechera y resistencia a las enfermedades) promoviendo una lactancia más eficiente con beneficios considerables como evitar riesgos en la salud del animal y los costos asociados (Jakobsen 2000; Capuco *et al.* 2003).

Al respecto, estudios específicos en caprino lechero concluyen que el realizar selección de animales por P como criterio y unido al valor del pico de

lactancia es posible, sin alterar la cantidad de leche total (Pala & Savas 2005), y con ello llegar incluso a modificar genéticamente la curva de lactación (Jakobsen 2000).

Por ello una estimación temprana de la P en lactaciones en progreso puede representar una herramienta útil tanto para la cría como para las estrategias de manejo (Macciotta *et al.* 2011), especialmente en el caso de implementación de estrategias a favor de la reducción de la producción de gases de efecto invernadero derivadas en la lucha por la mitigación del cambio climático (Adewumi *et al.* 2017).

La estimación de estas TG sirven para evaluar los resultados del programa e informar a los criadores de las decisiones de selección tomadas, permitiendo hacer los ajustes necesarios para optimizar el progreso genético de cada población (Torres-Vázquez *et al.* 2010); por tanto, los resultados obtenidos de esta evaluación nos permitirán proponer la incorporación del carácter P al programa de mejora.

Finalmente, señalar que, de forma general, los fenotipos y los valores de cría para los caracteres de PP y RL se ven claramente incrementadas en el periodo estudiado, sin embargo, en contraste el carácter de P si bien genéticamente se mostró estacionario, fenotípicamente se aprecia un decremento, sugiriendo su justificación a factores ambientales, como una modificación del manejo. Estudios referidos al respecto indican que el ambiente no modifica de forma directa la constitución genética del individuo, pero sí determina la extensión con que se expresa y el potencial genético de los animales, mismo que se expresará en la medida que las condiciones ambientales lo permitan (Cerón-Muñoz *et al.* 2001).

3.5. CONCLUSIONES

El análisis global de las TG y TF para los caracteres analizados demostró variaciones dinámicas irregulares con intervalos de crecimiento, decrecimiento y picos en puntos determinados a lo largo del periodo estudiado.

El comportamiento genético y fenotípico de estos tres caracteres nos indica congruentemente que, en un periodo de 22 años, los caracteres de PP y RL presentaron un comportamiento de tendencia ascendente y magnitud similar, mientras que el carácter de P se mostró estacionario a decreciente, reforzando la idea de que altas producciones van en detrimento de la P.

En todos los casos, eventos importantes en el programa de cría, como la federación de las asociaciones o la implantación de la selección familiar, dejaron su huella en las tendencias. Estos hallazgos permitirán informar a los criadores del comportamiento de estos caracteres y ponerle a consideración incorporar la P en el esquema de selección.

3.6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Federación Española de Criadores de Caprino, Raza Murciano-Granadina (MURCIGRAN). Un agradecimiento especial para MsC. Bolívar Samuel Sosa Madrid por sus valiosos aportes al manuscrito. No existe conflicto de interés.

CONCLUSIONES GENERALES

1. The *Spline* model proved to be ideal to accurately describe the biomodelation of the individualized lactation curve of the Murciano-Granadina breed, suitably locating dairy productions, peaks yield and persistency in relation to the obtained knot and their variation factors (region, type of kidding, number of lactation and season).
2. The variation factors affected the scale and/or shape of the lactation curves, showing significant differences in the parameters of the curve conditioned by the region, but it was not a single effect, but a conglomerate of micro-effects such as climate, photoperiod, agro-ecological aspects, etc. In addition, the parameters of the curve studied were affected by prolificacy, probably due to a hormonal interaction, and from the second to the fifth lactation there was a "cascade" effect, that is, as the lactations progressed, the persistency and the presentation of the peak day (precocious) gradually decreased, but presented their highest yields antagonistically. The longest persistency occurred in autumn and winter, with a productive peak (early and late respectively) and similar total yield.
3. This research indicates that the animal model of repeatability allowed the estimation of the components of variance and (co)variance, genetic parameters, genetic and phenotypic correlations, accuracy breeding value for the peak yield, yield, and persistency traits using uni, bi, and multi-traits analysis with full convergence and consistent results. In fact, invariability of the estimation from uni to multi-traits models suggests a good signal as quality control of results.
4. Estimates of h^2 and r_e were low, the selection for yield and peak yield or both can be implemented given the genetic correlation between these traits. While peak yield-persistency and yield-persistency traits showed low to negligible (negative)

correlation values indicating that if these traits are implemented in the early stages of evaluation, they would not be to the detriment of peak yield and yield. The combination of estimated breeding values for all traits (PY, Y and P) would be a good criterion for selection, but slow genetic progress is expected if it is only based on individual selection.

5. The trajectory of genetic trend, phenotypic trend of peak yield and yield behaved in the same way following an ascending trend line with presence of intervals of growth and decrease. The genetic trend of persistency showed a seasonal behavior and the phenotypic trend was descending with more consistent points in its path; reinforcing the idea that high productions are to the detriment of persistency.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdallah JM, McDaniel BT. 2000. Genetic Parameters and Trends of Milk, Fat, Days Open, and Body Weight After Calving in North Carolina Experimental Herds. *J Dairy Sci.* 83:1364–1370.
- ACPA. 2004. Manual del caprinocultor. segunda. Álvarez JL, editor. La Habana Cuba.
- Adewumi OO, Oluwatosin BO, Tona GO, Williams TJ, Olajide OO. 2017. Milk yield and milk composition of Kalahari Red goat and the performance of their kids in the humid zone. *Arch Zootec.* 66:587–592.
- Ahuya CO, Ojango JMK, Mosi RO, Peacock CP, Okeyo AM. 2009. Performance of Toggenburg dairy goats in smallholder production systems of the eastern highlands of Kenya. *Small Rumin Res.*; 83:7–13.
- Ajmone-Marsan P, Colli L, Han JL, Achilli A, Lancioni H, Joost S, Crepaldi P, Pilla F, Stella A, Taberlet P, *et al.* 2014. The characterization of goat genetic diversity: Towards a genomic approach. *Small Rumin Res.* 121:58–72.
- Armstrong D. 2013. Goat history. *Nature*.:2. Available from: <http://www.earthtimes.org/nature/goat-history/2414/>
- ARCA. 2017. Datos productivos-Raza caprina MURCIANO. Catálogo Of razas. Available from: http://www.mapama.gob.es/es/ganaderia/temas/zootecnia/razas-ganaderas/razas/catalogo/autoctona-fomento/caprino/murciano-granadina/datos_productivos.aspx
- Arnal M, Robert-Granié C, Larroque H. 2018. Diversity of dairy goat lactation curves in France. *J Dairy Sci.*; 101:11040–11051.
- Ayalew W, Aliy M, Negussie E. 2017. Estimation of genetic parameters of the productive and reproductive traits in Ethiopian Holstein using multi-trait models. *Asian-Australasian J Anim Sci.* 30:1550–1556.
- Baselga M. 2015. Modelos animales multicaracter. In: UPV, editor. *Genética Cuantitativa II en Máster en Mejor Genética Anim y Biotecnol la Reprod.* Valencia; p. 104.
- BOE-A-2013-11081. 2013. Orden AAA/1945/2013, de 11 de octubre, por la que se aprueban las reglamentaciones específicas de los libros genealógicos de las razas bovinas Parda de Montaña, Limusina, Berrenda en Colorado, Berrenda en Negro y Lidia; razas ovinas Merina, Segureña y Ras. *Agencia Estatal*.:75. Available from: <https://www.boe.es/boe/dias/2013/10/22/pdfs/BOE-A-2013-11081.pdf>
- Bökönyi S. 1976. Development of early stock rearing in the Near East. *Nature.* 264:19–23.
- Boldman KG, Kriese LA, Van Vleck LD, Van Tassel CP, Kachman SD. 1995. A manual for use of MTDFREML. A set of programs to obtain estimates of variances and covariances (DRAFT).
- Bosso NA, Cissé MF, van der Waaij EH, Fall A, van Arendonk JAM. 2007. Genetic and phenotypic parameters of body weight in West African Dwarf goat and Djallonké

- sheep. *Small Rumin Res.* 67:271–278.
- Boyazoglu J, Hatziminaoglou I, Morand-Fehr P. 2005. The role of the goat in society: Past, present and perspectives for the future. *Small Rumin Res.* 60:13–23.
- Brito LF, Silva FG, Oliveira HR, Souza NO, Caetano GC, Costa EV, Menezes GRO, Melo ALP, Rodrigues MT, Torres RA. 2017. Modelling lactation curves of dairy goats by fitting random regression models using Legendre polynomials or B-splines. *Can J Anim Sci.*; 98:73–83.
- Camacho M, Barba C, León J, Vallecillo A, Pleguezuelos J. 2010. Guía de campo razas autóctonas españolas: especie caprina: Murciano-Granadina. In: Madrid, España: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino; p. 200–222.
- Cappio-Borlino A, Macciotta NPP, Pulina G. 1997. The shape of sarda ewe lactation curve analysed by a compartmental model. *Livest Prod Sci.*; 51:89–96.
- Capuco A V, Ellis SE, Hale SA, Long E, Erdman RA, Zhao X, Paape MJ. 2003. Lactation persistency: insights from mammary cell proliferation studies. *J Anim Sci.* 81 Suppl 3:1831.
- CARM. 2017. Las exportaciones de cabra murciano-granadina a Irán se duplican con respecto a 2016. *Dir Gen Agric Ganad Pesca y Acuic.*2. Available from: [http://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=87705&IDTIPO=160&__PLANT_PERSONALIZADA=archivoMultimedia/plantillaDetalleArchivoMultimedia.jsp&RASTRO=c\\$m22640,133,2080](http://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=87705&IDTIPO=160&__PLANT_PERSONALIZADA=archivoMultimedia/plantillaDetalleArchivoMultimedia.jsp&RASTRO=c$m22640,133,2080)
- Carnicella D, Dario M, Caribe-Ayres MC, Laudadio V, Dario C. 2008. The effect of diet, parity, year and number of kids on milk yield and milk composition in Maltese goat. *Small Rumin Res.*; 77:71–74.
- Cerón-Muñoz MF, Tonhati H, Costa C, Benavides F. 2001. Genotype and environment interaction in Colombian Holstein cattle. *Arch,Latinoam Prod Anim* 2001. 9:72–78.
- Chang YM, Rekaya R, Gianola D, Thomas DL. 2001. Genetic variation of lactation curves in dairy sheep: a Bayesian analysis of Wood's function. *Livest Prod Sci.* 71:241–251.
- Chen S, Su Y, Wu S, Sha T, Zhang Y. 2005. Mitochondrial diversity and phylogeographic structure of Chinese domestic goats. *Mol Phylogenetics.* 37:804–814.
- Cofré P, Bonilla W, Gonzáles J, Jahn E, Larraín G, Ovalle C, Velasco R. 2001. Producción de cabras lecheras. Rodríguez, . Cofré P, editor. Chillán: INIA Chile. Available from: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR28591.pdf>
- Cole JB, VanRaden PM. 2018. Symposium review: Possibilities in an age of genomics: The future of selection indices. *J Dairy Sci.*; 101:3686–3701.
- Delgado JV, Landi V, Barba CJ, Fernández J, Gómez MM, Camacho ME, Martínez MA, Navas FJ, León JM. 2017. Murciano-Granadina Goat: A Spanish Local Breed Ready for the Challenges of the Twenty-First Century. In: Simões J. GC, editor. *Sustain Goat*

- Prod Advers Environ Vol II. Cham: Springer International Publishing; p. 205–219.
- Devendra C, Liang JB. 2012. Conference summary of dairy goats in Asia: Current status, multifunctional contribution to food security and potential improvements. *Small Rumin Res.*; 108:1–11.
- Dijkstra J, Lopez S, Bannik A, Dhanoa MS, Kebreab E, Odongo NE, Fathi-Nasri MH, Behera UK, Hernandez-Ferrer D, France J. 2010. Evaluation of a mechanistic lactation model using cow, goat and sheep data. *J Agric Sci.*; 148:249.
- Elvira A. 2013. Ovejas, vacas y cabras antiincendios. *La Razón.*:56.
- Espinoza-Villavicencio JL, Ceró-Rizo Á, Guerra-Iglesias D, Palacios-Espinosa A, Domínguez-Viveros J, González-Peña D. 2015. Environmental factors and genetic parameters for some reproductive traits in Chacuba cattle. *Rev Mex ciencias Pecu.* ; 6:431–441.
- Falconer DS, Mackay TFC. 2001. *Introducción a la genética cuantitativa*. 4th ed. Limited AWL, editor. Zaragoza, Spain: Acribia S.A.
- FAO. 2018. Producción y productos lácteos: pequeños rumiantes. Available from: http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/produccion-lechera/animales-lecheros/pequenos-rumiantes/es/#.WO4-fYig_IV
- FAO. 2019. Producción y productos lácteos: Pequeños rumiantes. Organ las Nac Unidas para la Aliment y la Agric. Available from: <http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/produccion-lechera/animales-lecheros/pequenos-rumiantes/es/#.V5cfdLiLTIV>
- FAOSTAT. 2019. Production. d Agric Organ United Nations. Available from: http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/produccion-lechera/animales-lecheros/pequenos-rumiantes/es/#.WO4-fYig_IV
- FEGA. 2019. Datos de las declaraciones obligatorias del sector lácteo ovino / caprino 2018. diciembre-2018. Available from: https://www.fega.es/sites/default/files/Fega_Decl_Lact_OviCapr_2018_10.pdf
- Fernández C, Sánchez A, Garcés C. 2002. Modeling the lactation curve for test-day milk yield in Murciano-Granadina goats. *Small Rumin Res.*; 46:29–41.
- Fernandez H, Taberlet P, Mashkour M, Vigne JD, Luikart G. 2005. Assessing the origin and diffusion of domestic goats using ancient DNA. In: first steps Anim Domest new archaeozoological approaches 9th Conf Int Counc Archaeozoology. Vol. 1. Durham; p. 50–54.
- De Figueiredo EA, Barbieri ME. 1990. Goat production in South America. In: *Goat Prod Symp*. Tallahassee FL: RC gray; p. 25–32.
- Filho KE, Silva L, Alves R, Figueiredo GR. 2000. Tendência genética na raça Gir. *Pesqui Agropecu Bras.* 35:787–791.

- Flores MJ, Flores JA, Elizundia JM, Mejia A, Delgadillo JA, Hernandez H. 2011. Artificial long-day photoperiod in the subtropics increases milk production in goats giving birth in late autumn. *J Anim Sci.*; 89:856–862.
- Gall C. 1981. Goat production.. London: Academic Press Inc. Available from: <http://www.cabdirect.org/abstracts/19810472665.html>
- Garcia-Hernandez R, Newton G, Horner S, Nuti LC. 2007. Effect of photoperiod on milk yield and quality, and reproduction in dairy goats. *Livest Sci.*; 110:214–220.
- García-Peniche TB, Montaldo HH, Valencia-Posadas M, Wiggans GR, Hubbard SM, Torres-Vázquez JA, Shepard L. 2012. Breed differences over time and heritability estimates for production and reproduction traits of dairy goats in the United States. *J Dairy Sci.*; 95:2707–2717.
- Gipson TA, Grossman M. 1990. Lactation curves in dairy goats: a review. *Small Rumin Res.*; 3:383–396.
- Goetsch A, Zeng S, Gipson T. 2011. Factors affecting goat milk production and quality. *Small Rumin Res.*; 101:55–63.
- González-Peña D, Acosta J, Guerra D, González N, Acosta M, Sosa D, Torres-Hernández G. 2012. Modeling of individual lactation curves for milk production in a population of Alpine goats in Cuba. *Livest Sci.*; 150:42–50.
- González-Peña D. 2011. Estimación de componentes de varianza en rasgos productivos de cabras Murciano Granadinas. Valencia, España: Universitat Politècnica de València, Valencia, España. Available from: <https://riunet.upv.es/handle/10251/15895>
- Guevara CE, Rodrigues MT, Vieira RAM, da Silva MC, Lima MC, Hernandez-Herrera D. 2018. Modelos não lineares para descrever o consumo, deposição de nutrientes no corpo e crescimento de cabritos Saanen x Alpina. *Arch Zootec.*; 67:41–53.
- Haenlein GFW. 2002. Composition of goat milk and factors affecting it. *Feed Goats Improv Milk Meat Prod.* Available from: <https://scholar.google.es/scholar?hl=es&q=Composition+of+goat+milk+and+factors+affecting+it.+In+Goat+Management&btnG=&lr=#0>
- Hatziminaoglou Y, Boyazoglu J. 2004. The goat in ancient civilisations: from the Fertile Crescent to the Aegean Sea. *Small Rumin Res.* 51:123–129.
- Henderson CR. 1976. A Simple Method for Computing the Inverse of a Numerator Relationship Matrix Used in Prediction of Breeding Values. *Biometrics.*; 32:69–83.
- Heringstad B, Egger-Danner C, Charfeddine N, Pryce JE, Stock KF, Kofler J, Sogstad AM, Holzhauser M, Fiedler A, Müller K, *et al.* 2018. Invited review: Genetics and claw health: Opportunities to enhance claw health by genetic selection. *J Dairy Sci.*; 101:4801–4821.
- ICAR. 1990. ICAR - International Committee for Animal Recording | ICAR. Available from:

<http://www.icar.org/>

- Jakobsen JH. 2000. Genetic correlations between the shape of the lactation curve and disease resistance in dairy cattle. Copenhagen Denmark: The Royal Veterinary and Agricultural University. Available from: <http://www.forskningsdatabasen.dk/en/catalog/2286742053>
- Jakobsen JH, Madsen P, Jensen J, Pedersen J, Christensen LG, Sorensen D. 2002. Genetic parameters for milk production and persistency for Danish Holsteins estimated in random regression models using REML. *J Dairy Sci.*; 85:1607–1616.
- Jamrozik J, Jansen G, Schaeffer LR, Liu Z. 1998. Analysis of Persistency of Lactation Calculated from a Random Regression Test Day Model. *Can Dairy Netw.* 17:64–69.
- Khojastehkey M, Aslaminejad AA. 2013. Study of the environmental, genetic and phenotypic trends for pelt traits and body weight traits in Zandi sheep. *J Appl Anim Res.* 41:356–361.
- Kinghorn B, Kinghorn S. 2011. Pedigree Viewer - a graphical utility for browsing pedigreed data sets. Available from: <https://bkinghor.une.edu.au/pedigree.htm>
- Kominakis A, Rogdakakis E, Vasiloudis C, Liaskos O. 2000. Genetic and environmental sources of variation of milk yield of Skopelos dairy goats. *Small Rumin Res.* 36:1–5.
- Kuthu ZH, Javed K, Babar ME, Sattar A, Abdullah M. 2017. Estimation of genetic parameters for pre-weaning growth traits in Teddy goats. *J Anim Plant Sci.* 27:1408–1414.
- León JM. 2008. Evaluación del esquema de selección de la raza caprina Murciano-Granadina. [place unknown]: Universidad de Córdoba, Córdoba, España.
- León JM. 2015. Mejora genética en ganado caprino: raza Murciano-Granadina. In: OVIGEN, editor. IX Curso Teórico-Práctico Reprod e Inseminación Artif en Ganado Ovino y Caprino. Zamora.
- León JM, Delgado Bermejo JV, Pleguezuelos Hernández FJ, Martínez E, Barba C. 2008. Estudio de los niveles de consanguinidad en núcleo de selección de la raza murciano granadina. *Feagas*, ISSN 1887-4177, N° 33, 2008, págs 118-121.:118–121.
- León JM, Macciotta NPP, Gama LT, Barba C, Delgado JV. 2012. Characterization of the lactation curve in Murciano-Granadina dairy goats. *Small Rumin Res.*; 107:76–84.
- Linnaeus C. 1758. *Systema naturæ per regna tria naturæ, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis.* decima. Garden MB, editor. Stockholm. Available from: <http://www.animalbase.uni-goettingen.de/zooweb/servlet/AnimalBase/home/reference?id=4>
- Luikart G, Fernández H, Mashkour M. 2006. Origins and diffusion of domestic goats inferred from DNA markers. In: Zeder M, Bradley D, Emshwiller E, Smith B, editors. *Doc Domest New Genet Archaeol Paradig.* London; p. 1–361.
- Luikart G, Gielly L, Excoffier L, Vigne JD, Bouvet J, Taberlet P. 2001. Multiple maternal

- origins and weak phylogeographic structure in domestic goats. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 98:5927–32.
- Macciotta NPP, Dimauro C, Rassu SPG, Steri R, Pulina G. 2011. The mathematical description of lactation curves in dairy cattle. *Ital J Anim Sci*. 10:e51.
- Macciotta NPP, Dimauro C, Steri R, Cappio-Borlino A. 2008. Mathematical modelling of goat lactation curves. In: Antonello Cannas G, Pulina A, editors. *Dairy goats Feed Nutr*. Sassari: CAB International; p. 31–46. Available from: https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=qdg2fGaveTMC&oi=fnd&pg=PA31&dq=Mathematical+modelling+of+goat+lactation+curves+&ots=KtJFVR-RxE&sig=j_dYbnGW_tuGP665e6UVD8zaUyw
- MAPA. 2019a. Encuestas ganaderas, análisis del número de animales por tipos. Available from: <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/ganaderia/encuestas-ganaderas/>
- MAPA. 2019b. Programa de difusión de la mejora y certámenes de ganado selecto. Available from: http://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/zootecnia/PROGRAMA_DE_DIFUSION_tcm7-293028.pdf
- Marín PA, Agudelo DA, Restrepo LF, Cañas JJ, Cerón-Muñoz M. 2009. Lactation curves in hybrid goats by the use of nonlinear mathematical models. *Rev Lasallista Investig*; 6:43–49.
- Martínez AM, Vega-Pla JL, León JM, Camacho ME, Delgado-Bermejo J V, Ribeiro MN. 2010. Is the Murciano-Granadina a single goat breed? A molecular genetics approach. *Arq Bras Med Veterinária e Zootec*. 62:1191–1198.
- Mason IL. 1981. Breeds. In: C.Gall., editor. *Goat Prod*. London, New York, Toronto, Sydney, San Francisco: Academic Press Inc.; p. 57–110.
- McGregor BA. 2018. The effects of nutrition and parity on the development and productivity of Angora goats: 3. Effects of six combinations of mid pregnancy and postnatal nutrition on udder development, lactation, milk composition and net energy of milk production. *Small Rumin Res*; 161:13–23.
- Meadow RH. 1996. The Origins and Spread of Agriculture and Pastoralism in northwestern South Asia. In: Harris D, editor. *Orig Spread Agric Pastor Eurasia Crop Fields, Flocks Herds*. Routledge; London: University College London; p. 1–608.
- Mellado M. 1997. La cabra criolla en América Latina. *Vet México*. 28:333–343.
- Mena-Guerrero Y, Castel JM, Caravaca FP, Guzmán-Guerrero JL, González P. 2005. Situación actual, evolución y diagnóstico de los sistemas semiextensivos de producción caprina en Andalucía Centro-Occidental. Sevilla: Consejería de Agricultura y Pesca. Available from: <http://hdl.handle.net/11441/36802>
- Menéndez-Buxadera A, Molina A, Arrebola F, Clemente I, Serradilla JM. 2012. Genetic

- variation of adaptation to heat stress in two Spanish dairy goat breeds. *J Anim Breed Genet.*; 129:306–315.
- Menéndez-Buxadera A, Molina A, Arrebola F, Gil M, Serradilla J. 2010. Random regression analysis of milk yield and milk composition in the first and second lactations of Murciano-Granadina goats. *J Dairy Sci.* 93:2718–2726.
- Meydan H. 2017. Importance of native animal genetic resources. *J Genet Mol Biol.* 1:18–19.
- Meyer K. 2005. Random regression analyses using B-splines to model growth of Australian Angus cattle. *Genet Sel Evol.*; 37:473–500.
- Meyer K. 2018a. Wombat- A program for mixed model analyses by restricted maximum likelihood. *The Manual.* :133. Available from: <http://didgeridoo.une.edu.au/km/pool.php>
- Meyer K. 2018b. Wombat: starting values for covariance components. *WickedWOMBAT.*; 78:217–220. Available from: <http://didgeridoo.une.edu.au/womwiki/doku.php?id=wombat:startingvalues&rev=1429053985&vecdo=cite>
- Molist M, Anfruns J, Cruells W, Clop X, Saña M, Anfruns J, Cruells W. 2004. Estudio del asentamiento de Tell Halula (valle de Éufrates, Siria): aportaciones para el estudio de la emergencia de las sociedades agrícolas en el Próximo Oriente. In: "Bienes Cult del Inst del Patrim Hist Español. Vol. 3. [place unknown]; p. 47–56.
- Montaldo H, Almanza A, Juárez A. 1997. Genetic group, age and season effects on lactation curve shape in goats. *Small Rumin Res.* 24:195–202.
- Mourad M. 1992. Effects of month of kidding, parity and litter size on milk yield of Alpine goats in Egypt. *Small Rumin Res.*; 8:41–46.
- Mrode RA. 2014. Linear models for the prediction of animal breeding values. 3th ed. Hulbert S, Povey L, editors. Tarxien, Malta: CABI.
- Muir B. 2004. Genetics of lactation persistency and relationships with reproductive performance in Holsteins.. Available from: <http://cgil.uoguelph.ca/pub/Theses/Muir/MuirAbstract.pdf>
- MURCIGRAN. 2018. La raza Murciano-Granadina - Historia. Fed Española Criadores Caprino Raza Murc Granadina. Available from: <http://www.murcigran.es/la-raza-murciano-granadina/3-historia>
- Naderi S, Rezaei HR, Pompanon F, Blum MGB, Negrini R, Naghash H-R, Balkiz O, Mashkour M, Gaggiotti OE, Ajmone-Marsan P, *et al.* 2008. The goat domestication process inferred from large-scale mitochondrial DNA analysis of wild and domestic individuals. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 105:17659–17664.
- Naderi S, Rezaei HR, Taberlet P, Zundel S, Rafat SA. 2007. Large-scale mitochondrial DNA

- analysis of the domestic goat reveals six haplogroups with high diversity. *PLoS*. 2:e1012.
- Nomura K, Yonezawa T, Mano S, Kawakami S, Shedlock AM, Hasegawa M, Amano T, Zeder M, Hesse B, Naderi S, *et al.* 2013. Domestication Process of the Goat Revealed by an Analysis of the Nearly Complete Mitochondrial Protein-Encoding Genes. *Maga G*, editor. *PLoS One*. 8:e67775.
- Oldenbroek K, van der Waaij L. 2014. Textbook Animal Breeding and Genetics for BSc students. Wageningen, Netherlands: Centre for Genetic Resources The Netherlands and Animal Breeding and Genomics Centre. Available from: <https://wiki.groenkennisnet.nl/display/TAB/Textbook+Animal+Breeding+Genetics>
- De Oliveira-Menezes GR, de Almeida-Torres R, Rocha-Sarmiento JL, Teixeira-Rodrigues M., Puerro-de Melo AL, Gomes-Da Silva F, Brito LF. 2010. Avaliação de medidas da persistência da lactação de cabras da raça Saanen sob modelo de regressão aleatória. *Rev Bras Zootec.*; 39:1691–1698.
- Oliveira HR, Silva FF, Siqueira OHGBD, Souza NO, Junqueira VS, Resende MDV, Borquis RRA, Rodrigues MT. 2016. Combining different functions to describe milk, fat, and protein yield in goats using Bayesian multiple-trait random regression models. *J Anim Sci.*; 94:1865–1874.
- Oravcová M, Margetín M. 2015. First estimates of lactation curves in white shorthaired goats in Slovakia. *Slovak J Anim Sci.*; 48:1–7.
- PAIDI-AGR-218. 2012. Programa de mejora de la raza caprina Murciano Granadina. Catálogo Of razas.:1191–1198. Available from: http://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/zootecnia/razas-ganaderas/razas/catalogo/autoctona-fomento/caprino/murciano-granadina/datos_reglamentacion.aspx
- Pal UK, Saxena VK, Agnihotri MK, Roy RK. 1996. Effect of season, parity and stage of lactation on the composition of Jamunapuri goats' milk. *Int J Anim Sci.*; 11:245–248.
- Pala A, Savas T. 2005. Persistency within and between lactations in morning, evening and daily test day milk in dairy goats. *Arch Anim Breed*. 48:396–403.
- Pareek NK, Narang R. 2014. Genetic analysis of first lactation persistency and milk production traits in graded murrah buffaloes. *The Center*, editor. *Buffalo Bull.*; 33:432–436.
- Pereira F, Amorim A. 2010. Origin and Spread of Goat Pastoralism. *Encycl life Sci.*:10. Available from: www.els.net
- Pérez-Ripoll M. 2001. El proceso de domesticación animal en el Próximo Oriente: planteamiento y evolución. *Arch Prehist levantina*. 24:65–96.
- Pérez C. 2013. Análisis comparativo de parámetros productivos entre la sección CAPRIGRAN y ACRIMUR de la Federación española de criadores de caprinos

- “MURCIANO-GRANADINA.” Córdoba: Universidad de Córdoba.
- Peris S, Caja G, Such X, Casals R, Ferret A, Torre C. 1997. Influence of kid rearing systems on milk composition and yield of Murciano-Granadina dairy goats. *J Dairy Sci.*; 80:3249–3255.
- Pollot GE, Gootwine E. 2001. A genetic analysis of complete lactation milk production in Improved Awassi sheep. *Livest Prod Sci.* 71:37–47.
- Porter V. 1996. *Goats of the world*. ilustrada. Wisconsin: Farming Press.
- Poto A, Lobera JB, Peinado B. 2000. Razas autóctonas de Murcia: Estimación del censo y aptitudes. *Arch Zootec.* 49:107–114.
- Pulina G, Nudda A, Macciotta N. 2007. Non-nutritional factors affecting lactation persistency in dairy ewes: a review. *Ital J Anim Sci.*; 6:115–141.
- R Core Team. 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Found Stat Comput Vienna, Austria. Available from: <https://www.r-project.org/>
- Real Decreto 2129/2008. 2008. Programa nacional de conservación, mejora y fomento de las razas ganaderas. Madrid. Available from: <https://www.boe.es/boe/dias/2009/01/27/pdfs/BOE-A-2009-1312.pdf>
- Real Decreto 505/2013. 2013. Uso del logotipo “raza autóctona” en los productos de origen animal. Madrid. Available from: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2013-8048
- Rekik B, Gara AB, Hamouda MB, Hammami H. 2003. Fitting lactation curves of dairy cattle in different types of herds in Tunisia. *Livest Prod Sci.*; 83:309–315.
- Revidatti MA, Prieto PN, De La Rosa S, Ribeiro MN, Capellari A. 2007. Cabras criollas de la region norte Argentina. Estudio de variables e indices zoometricos. *Arch Zootec.* 56:479–482.
- Rojo-Rubio R, Kholif AE, Salem AZM, Mendoza GD, Elghandour MMY, Vazquez-Armijo JF, Lee-Rangel H. 2016. Lactation curves and body weight changes of Alpine, Saanen and Anglo-Nubian goats as well as pre-weaning growth of their kids. *J Appl Anim Res.*; 44:331–337.
- Rota AM, Gonzalo C, Rodriguez PL, Rojas AI, Martin L, Tovar JJ. 1993. Effects of stage of lactation and parity on somatic cell counts in milk of Verata goats and algebraic models of their lactation curves. *Small Rumin Res.*; 12:211–219.
- Ruiz-Mirazo J, Robles A, Jiménez R, Martínez J. 2007. La prevención de incendios forestales mediante pastoreo controlado: el estado del arte en Andalucía. In: *Int Wildl Fire Conf*. Sevilla: CSIC; p. 1–10.
- Russo VM, Cameron AW., Dunshea FR, Tilbrook AJ, Leury BJ. 2013. Artificially extending photoperiod improves milk yield in dairy goats and is most effective in late lactation. *Small Rumin Res.* 113:179–186.

- Salvador A, Martínez G. 2007. Factores que afectan la producción y composición de la leche de cabra: Revisión bibliográfica. *Rev la Fac Ciencias Vet.* 48:61–76.
- Sañá M. 1999. *Arqueología de la domesticación animal : la gestión de los recursos animales en Tell Halula (Valle del Éufrates, Siria) : del 8800 al 7000 BP.* Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Shaht I. 2014. Application of the Wood lactation curve in analysing the variation of daily milk yield in the Zaraibi goats in Egypt. *Small Rumin Res.*; 117:25–33.
- Silva FG, Torres RA, Brito LF, Euclides RF, Melo ALP, Souza NO, Ribeiro-Jr JI, Rodrigues MT. 2013. Random regression models using Legendre orthogonal polynomials to evaluate the milk production of Alpine goats. *Genet Mol Res.*; 12:6502–6511.
- Stefanon B, Colitti M, Gabai G, Knight CH, Wilde CJ. 2002. Mammary apoptosis and lactation persistency in dairy animals. *J Dairy Res.*; 69:37–52.
- Swalve HH. 2000. Theoretical basis and computational methods for different test-day genetic evaluation methods. *J Dairy Sci.*; 83:1115–1124.
- Swalve HH, Gengler N. 1999. Genetics of lactation persistency. *Br Soc Anim Sci.*; 24:75–82.
- Thepparat M, Boonkum W, Duangjinda M, Tumwasorn S, Nakavisut S, Thongchumroon T. 2015. Genetic evaluation using random regression models with different covariance functions for test-day milk yield in an admixture population of Thailand goats. *Anim Sci J.* 86:655–660.
- Todaro M, Dattena M, Acciaioli A, Bonanno A, Bruni G, Caroprese M, Mele M, Sevi A, Marinucci MT. 2015. Aseasonal sheep and goat milk production in the Mediterranean area: Physiological and technical insights. *Small Rumin Res.* 126:59–66.
- Torres-Vázquez JA, Valencia M, Castillo H, Montaldo HH. 2010. Tendencias genéticas y fenotípicas para características de producción y composición de la leche en cabras saanen de México. *Rev Mex Ciencias Pecu.* 1:337–348.
- Varillas B. 2006. Herbívoros contra incendios forestales. *Ars Medica Rev Humanidades.* 1:22–32.
- Vecerova D, Krizek J. 1993. Analysis of variance of milk performance in goats of white short-woolen breed. *Zivocisna Vyroba-UZPI (Czech Republic).*; 38:1–7.
- Weller J, Ezra E, Leitner G. 2006. Genetic Analysis of Persistency in the Israeli Holstein Population by the Multitrait Animal Model. *J Dairy Sci.* 89:2738–2746.
- Yamazaki T, Takeda H, Nishiura A, Sasai Y, Sugawara N, Togashi K. 2011. Phenotypic Relationship between Lactation Persistency and Change in Body Condition Score in First-lactation Holstein Cows. *Asian-Australasian J Anim Sci.*; 24:610–615.
- Zeder MA. 2008. Domestication and early agriculture in the Mediterranean Basin: Origins, diffusion, and impact. In: *Proc Natl Acad Sci U S A.* Vol. 105. Gibraltar: National

Academy of Sciences; p. 11597–11604.

Zeder MA, Emshwiller E, Smith BD, Bradley DG. 2006. Documenting domestication: the intersection of genetics and archaeology. *Trends Genet.* 22:139–155.

Zeng SS, Escobar EN. 1995. Effect of parity and milk production on somatic cell count, standard plate count and composition of goat milk. *Small Rumin Res.*; 17:269–274.