



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

**ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS PARA VIDA
PRODUCTIVA, VIDA PRODUCTIVA FUNCIONAL,
CARACTERÍSTICAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE,
CARACTERÍSTICAS REPRODUCTIVAS Y CARACTERÍSTICAS
DE CONFORMACIÓN EN CAPRINOS PRODUCTORES DE LECHE**

VIELKA JEANETHE CASTAÑEDA BUSTOS

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE:**

DOCTORA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. MÉXICO.

2013

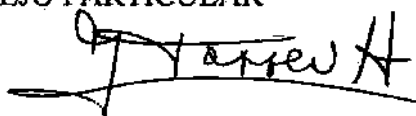
La presente tesis, titulada: **Estimación de parámetros genéticos para vida productiva, vida productiva funcional, características de producción de leche, características reproductivas y características de conformación en caprinos productores de leche**, realizada por la alumna: **Vielka Jeanethe Castañeda Bustos**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS

**RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. GLAFIRO TORRES HERNÁNDEZ

DIRECTOR DE TESIS:



DR. HUGO HORACIO MONTALDO VALDENEGRO

ASESOR:



DR. SERGIO PÉREZ ELIZALDE

ASESOR:



DR. MAURICIO VALENCIA POSADAS

ASESOR:



DR. OMAR HERNÁNDEZ MENDO

Montecillo, Texcoco, Estado de México, noviembre de 2013

**ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS PARA VIDA PRODUCTIVA,
VIDA PRODUCTIVA FUNCIONAL, CARACTERÍSTICAS DE PRODUCCIÓN
DE LECHE, CARACTERÍSTICAS REPRODUCTIVAS Y CARACTERÍSTICAS
DE CONFORMACIÓN EN CAPRINOS PRODUCTORES DE LECHE**

Vielka Jeanethe Castañeda Bustos, D. C.

Colegio de Postgraduados, 2013

Se obtuvieron los estimados de heredabilidad y las correlaciones genéticas y fenotípicas de producción de leche, reproducción y conformación con la vida productiva, real y funcional, a los 72 meses de edad en cabras lecheras utilizando el modelo animal. La vida productiva se definió como el total de días registrados en producción hasta los 72 meses de edad (VP72). La vida productiva funcional (VPF72), se obtuvo corrigiendo la VP72 para las producciones de leche (PL), grasa (PG) y proteína (PP), y calificación final de tipo (CF). Se usaron índices de selección incluyendo o excluyendo VP72 para estimar las respuestas a la selección considerando PL, PG, PP y VP72 como criterios de selección. Los principales criterios que determinaron el desecho de una cabra del hato fueron bajas PL, PG y CF. Los estimados de heredabilidad fueron 0.22 y 0.17 para VP72 y VPF72, respectivamente; de 0.37 a 0.64 para las características de producción de leche, de 0.09 a 0.16 para las características de reproducción, y de 0.08 a 0.33 para las características de conformación. Las correlaciones genéticas más altas fueron entre VP72 ó VPF72 y CF (0.54 y 0.51, respectivamente), ligamento anterior de la ubre (LAU) (0.34 y 0.34, respectivamente), ancho de la grupa (AG2) (0.33 y 0.29, respectivamente) y PL (0.33 y 0.39, respectivamente). La selección directa para VP72, incrementó 102.28 días la VP72 por generación. El uso de PL, PG, PP ó edad al primer

parto (EP) como criterios de selección, logra incrementar de 2.77 a 39.21 días la VP72 por generación. Las características CF, LAU, AG2 y PL pueden ser utilizadas como criterios de selección para mejorar indirectamente la vida productiva en cabras lecheras, ya que fueron las características más correlacionadas con PL72 y FPL72.

Palabras clave: Vida productiva, características de conformación, heredabilidad, correlación genética, índice de selección.

**ESTIMATION OF GENETIC PARAMETERS FOR PRODUCTIVE LIFE,
FUNCTIONAL PRODUCTIVE LIFE, MILK PRODUCTION, REPRODUCTION
AND TYPE TRAITS IN DAIRY GOATS**

Vielka Jeanethe Castañeda Bustos, D. C.

Colegio de Postgraduados, 2013

Heritabilities and genotypic and phenotypic correlations of milk yield, reproduction and type traits with real and functional productive life at 72 months of age in dairy goats were estimated using an animal model. Productive life (PL72) was defined as the total days in production until 72 months of age for goats having the opportunity to express the trait. Functional productive life (FPL72) was obtained by correcting PL72 for milk (MY), fat (FY) and protein (PY) yields, and final type score (FS). Selection indexes were used, including or excluding PL72, to estimate the responses to selection considering MY, FY, PY and PL72 as selection criteria. The main criteria that determined the culling of a goat from the herd were low MY, FY and FS. Heritability estimates were 0.22 and 0.17 for PL72 and FPL72, respectively; 0.37 to 0.64 for milk production traits, 0.09 to 0.16 for reproduction traits, and 0.08 to 0.33 for type traits. The highest genetic correlations were between PL72 or FPL72 and FS (0.54 and 0.51, respectively), fore udder attachment (FUA) (0.34 and 0.34, respectively), rump width (RUW) (0.33 and 0.29, respectively) and MY (0.33 and 0.39, respectively). Direct selection for PL72 increased 102.28 days per generation the PL72. The use of MY, FY, PY, or age at first kidding (AFK) as selection criteria increased PL72 by 2.77 to 39.21 days per generation. Since FS, FUA, RUW and MY were the most related traits with PL72 and FPL72, they can be used as selection criteria for indirect improvement of productive life in dairy goats

Key words: Productive life, type traits, heritability, genetic correlation, selection index.

Dedico esta tesis a:

Mi mamá

Mi abuelita

Omar

Lucero y Claudia Bustos

Dra. Marta O. Díaz G.

Por ser los pilares de mi vida, un claro ejemplo de lucha, amor incondicional y perseverancia; parte esencial de mi formación personal y profesional y por ser las personas más maravillosas que me ha otorgado la vida.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología; por ser una institución con un gran sentido de desarrollo para México y por su apoyo en el financiamiento de mi preparación académica.

Al Colegio de Postgraduados; por proporcionarme el ambiente académico óptimo para mi formación profesional.

A la American Dairy Goat Association; por el apoyo brindado para la realización de la investigación.

A la Dra. Marta Olivia Díaz G.; por su incondicional apoyo y grandes enseñanzas personales y profesionales.

A mi consejo particular; por estar siempre dispuestos a brindarme la atención necesaria para cumplir con mi formación profesional.

Al Dr. Sergio Pérez Elizalde; por su apoyo invaluable para la obtención de mi grado.

A mis compañeros y amigos Ernesto Dorantes, Esperanza Nicolás, Haidie Hervert, Dalila López, María Guzmán, Alex Aguirre, Esperanza Blanco, Dulce Ávila, Josefa Jiménez, Marisol Galicia; por sus consejos, compañía, los maravillosos momentos compartidos y por brindarme su apoyo en los momentos que más lo necesitaba.

Al personal del laboratorio de cómputo y secretarias del departamento de Estadística; por las facilidades otorgadas para la ejecución de mis análisis estadísticos.

Al personal de la biblioteca; por su gran disposición y apoyo en la búsqueda de la literatura necesaria para mi investigación.

A las secretarias del área de Ganadería; por su apoyo en todas las cuestiones administrativas durante mi estancia en el Colegio de Postgraduados.

Al Dr. Jaime Gallegos Sánchez; por tener la facultad de decirme las palabras justas cuando más las necesitaba para impulsarme a seguir adelante.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	xii
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1. LITERATURA CITADA.....	3
2. OBJETIVOS GENERALES.....	7
2.1. Objetivos Específicos.....	7
3. HIPÓTESIS GENERALES.....	8
3.1. Hipótesis Específicas.....	8
4. ESTIMATION OF GENETIC PARAMETERS FOR PRODUCTIVE LIFE, REPRODUCTION AND MILK PRODUCTION TRAITS IN US DAIRY GOATS.....	9
4.1. ABSTRACT.....	9
4.2. INTRODUCTION.....	10
4.3. MATERIAL AND METHODS.....	12
4.3.1. Data.....	12
4.3.2. Model.....	14
4.3.3. Genetic Parameters.....	16
4.3.3.1. Heritability.....	16
4.3.3.2. Genetic and Phenotypic Correlations.....	17
4.3.4. Response to Selection.....	17
4.4. RESULTS.....	18
4.4.1. Genetic Parameters.....	19
4.4.2. Genetic and Phenotypic Correlations.....	19
4.4.3. Response to Selection.....	25

4.5. DISCUSSION.....	28
4.5.1. Genetic Parameters.....	29
4.5.2. Genetic Correlations.....	32
4.5.3. Phenotypic Correlations.....	35
4.5.4. Response to Selection.....	36
4.6. CONCLUSIONS.....	37
4.7. REFERENCES.....	37
5. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS PARA VIDA PRODUCTIVA, VIDA PRODUCTIVA FUNCIONAL Y CARACTERÍSTICAS DE CONFORMACIÓN EN CABRAS LECHERAS.....	46
5.1. RESUMEN.....	46
5.2. INTRODUCCIÓN.....	47
5.3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	49
5.3.1. Datos.....	49
5.3.2. Modelo.....	51
5.3.3. Parámetros genéticos.....	53
5.3.3.1. Heredabilidad.....	53
5.3.3.2. Correlaciones genéticas y fenotípicas.....	55
5.4. RESULTADOS.....	56
5.4.1. Parámetros genéticos.....	59
5.4.2. Correlaciones genéticas y fenotípicas.....	63
5.5. DISCUSIÓN.....	67
5.5.1. Parámetros genéticos.....	68
5.5.2. Correlaciones genéticas.....	73

5.5.3. Correlaciones fenotípicas.....	78
5.6. CONCLUSIONES.....	81
5.7. LITERATURA CITADA.....	82
6. DISCUSIÓN GENERAL.....	90
6.1. LITERATURA CITADA.....	94
7. CONCLUSIONES GENERALES.....	97

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Table 4.1. Descriptive statistics for the traits analyzed in US goats.....	20
Table 4.2. Total, phenotypic and additive genetic variances and heritabilities for the studied traits in US goats.....	21
Table 4.3. Genetic and phenotypic correlations (\pm standard error) between production and reproductive traits with productive life and functional productive life at 72 months in US goats.....	24
Table 4.4. Responses to selection for productive life at 72 months in US goats.....	25
Table 4.5. Expected economic selection response for some of the traits evaluated using different economic weights for real productive life in US goats.....	26
Cuadro 5.1. Estadísticas descriptivas de las variables analizadas.....	57
Cuadro 5.2. Varianzas (\pm desviación estándar) total, fenotípica y genética aditiva, y heredabilidad (\pm error estándar) de las variables estudiadas.....	60
Cuadro 5.3. Correlaciones genéticas y fenotípicas y sus intervalos de confianza entre las características de conformación con vida productiva y vida productiva funcional a los 72 meses.....	64

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

En cabras lecheras, algunas de las características consideradas como posibles criterios de selección son la producción de leche, grasa y proteína, características de tipo (Montaldo y Manfredi, 2002), características reproductivas (Torres-Vázquez et al., 2009; Montaldo et al., 2010) y longevidad (Pérez-Razo et al., 2004).

La longevidad o vida productiva de un animal es una característica importante, ya que puede incrementar la proporción de vacas maduras, altas productoras en el hato, reduciendo los costos de reemplazo (Fuerst y Solkner, 1994; Vollema et al., 2000). Adicionalmente, permite una reducción en los costos de salud, principalmente aquellos ocasionados por mastitis (Rogers et al., 1998; Jensen et al., 1999). Sin embargo, la longevidad ha sido poco estudiada y hasta el momento no es utilizada en la evaluación genética de caprinos.

La longevidad puede ser real o funcional (Dekkers, 1993). La vida productiva real, es definida principalmente como el tiempo desde el primer parto hasta el desecho o la muerte (Sewalem et al., 2004; VanRaden et al., 2006; Sewalem et al., 2007). Sin embargo, otros autores la han definido como: días totales en producción (VanRaden y Klaaskate, 1993), habilidad de permanencia a diferentes edades (Jakobsen et al., 2010), ó a determinado número de parto (Martinez et al., 2004), meses totales en producción hasta determinada edad (VanRaden et al., 2006) y número de lactancias registradas (Pérez-Cabal et al., 2006).

La vida productiva funcional se define como la capacidad de evitar el desecho involuntario ocasionado por problemas de salud o reproductivos, y se obtiene incluyendo algunas covariables potencialmente usadas como criterios de desecho voluntario (por ejemplo: producción de leche, grasa y proteína de la primera lactancia, y

características de tipo) en los modelos estadísticos usados para analizar la vida productiva (Dekkers, 1993; Mark, 2004).

Una ventaja de la selección para vida productiva es que se incluyen todas las razones para el desecho (VanRaden, 2004; Tsuruta et al., 2005), que dependen de las evaluaciones comparativas de todas las vacas en el hato (VanDoormal et al., 1986), sin embargo, debido a la naturaleza de esta característica, su medición se obtiene a una edad muy avanzada, además de esto, en estudios realizados en vacas (i.e. VanRaden et al., 2006), ovejas (i.e. El-Saied et al., 2005), cerdas (i.e. Serenius y Stalder, 2004) y conejas (i.e. Piles et al., 2006), se han obtenido estimados de heredabilidad para longevidad muy bajos, por lo que el progreso genético mediante la selección directa es generalmente más lento que en otras características (Fuerst y Solkner, 1994). Ante esta situación, se ha recurrido a utilizar características correlacionadas con ella, tales como características de tipo (Martinez et al., 2004; Berry et al., 2005; Sewalem et al., 2004), características funcionales y características de producción de leche (Cruickshank et al., 2002; Tsuruta et al., 2005; Samoré et al., 2010), con las que se puede incrementar la precisión de los valores genéticos predichos de las características con baja heredabilidad (Lassen et al., 2007), como lo es la longevidad.

Existe abundante información referente a parámetros genéticos de longevidad en vacas, mientras que en cabras, los estudios relacionados con la estimación de heredabilidad de la longevidad, así como su relación con características de producción de leche, reproductivas o de conformación, son escasos, limitándose a estimaciones de habilidad de permanencia a determinada edad o a determinado número de parto como medida de vida productiva (Vicencio, 2009; Valencia-Posadas et al., 2010; Pérez-Razo et al., 2004). La habilidad de permanencia únicamente indica la presencia o ausencia de la cabra a una edad fija, por lo tanto no proporciona información cuantitativa detallada

del tiempo que una cabra fue productiva. Por tal motivo, es necesaria la investigación acerca de la longevidad en cabras, la estimación de sus parámetros genéticos, así como conocer las relaciones que puede tener con las características que son comúnmente evaluadas en caprinos, tales como las características de producción de leche, reproducción y conformación, las cuales pueden medirse a una edad temprana.

1.1. LITERATURA CITADA

- Berry D. P., Harris B. L., Winkelman A. M., and Montgomerie W. 2005. Phenotypic associations between traits other than production and longevity in New Zealand dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 88:2962–2974.
- Cruickshank J., Weigel K. A., Dentine M. R., and Kirkpatrick B. W. 2002. Indirect prediction of herd life in Guernsey dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 85: 1307 – 1313.
- Dekkers J. C. M. 1993. Theoretical basis for genetic parameters of herd life and effects on response to selection. *J. Dairy Sci.* 76: 1433 – 1443.
- El-Saied U. M., De La Fuente L. F., Carriedo J. A., and San Primitivo F. 2005. Genetic and phenotypic parameter estimates of total and partial lifetime traits for dairy ewes. *J. Dairy Sci.* 88: 3265 – 3272.
- Fuerst C. and Solkner J. 1994. Additive and nonadditive genetic variances for milk yield, fertility, and lifetime performance traits of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 77: 1114 – 1125.
- Jakobsen J. H., Dürr J. W., Jorjani H., Forabosco F., Loberg A. and Philipsson J. 2010. Genotype by environment interactions in international genetic evaluation of dairy bulls. *Proc. Assoc. Advmt. Anim. Breed. Genet.* 18: 133 – 142.

- Jensen J., Korsgaard I. R., Neerhof H. J., Vollema A., Madsen P., and Ducrocq V. 1999. Genetic variation in functional longevity and its relation to mastitis resistance in Danish Holstein. *Interbull, Bulletin* 21: 161 – 165.
- Lassen J., Sørensen M. K., Madsen P., Ducrocq V. 2007. An approximate multitrait model for genetic evaluation in dairy cattle with a robust estimation of genetic trends (Open access publication). *Genet. Sel. Evol.* 39: 353-367.
- Martinez G. E., Koch R. M., Cundiff L. V., Gregory K. E., and Van Vleck L. D. 2004. Genetic parameters for six measures of length of productive life and three measures of lifetime production by 6 yr after first calving for Hereford cows. *J. Anim. Sci.* 82: 1912 – 1918.
- Mark F. 2004. Applied genetic evaluations for production and functional traits in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 87: 2641 – 2652.
- Montaldo H. H. and Manfredi E. 2002. Organisation of selection programmes for dairy goats. Communication N° 01 – 35 in *Proc. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, Montpellier, France. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Paris, France.
- Montaldo H. H., Valencia-Posadas M., Wiggans G. R., Shepard L., and Torres-Vázquez J. A. 2010. Genetic and environmental relationships between milk yield and kidding interval in dairy goats. *J. Dairy Sci.* 93: 370 – 372.
- Pérez-Cabal M. A., García C., González-Recio O., and Alenda R. 2006. Genetic and Phenotypic Relationships Among Locomotion Type Traits, Profit, Production, Longevity, and Fertility in Spanish Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 89: 1776 – 1783.
- Pérez-Razo M., Sánchez F., Torres-Hernández G., Becerril-Pérez C., Gallegos-Sánchez J., González-Cosío F., and Meza-Herrera C. 2004. Risk factors associated with dairy goats stayability. *Livest. Prod. Sci.* 89: 139 – 146.

- Piles M., Garreau H., Rafel O., Larzul C., Ramon J., and Ducrocq V. 2006. Survival analysis in two lines of rabbits selected for reproductive traits. *J. Anim. Sci.* 84: 1658 – 1665.
- Rogers G. W., Banos G., Sander Nielsen U., and Philipsson J. 1998. Genetic correlations among somatic cell scores, productive life, and type traits from the United States and udder health measures from Denmark and Sweden. *J Dairy Sci* 81: 1445 – 1453.
- Samoré A. B., Rizzi R., Rossoni A., and Bagnato A. 2010. Genetic parameters for functional longevity, type traits, somatic cell scores, milk flow and production in the Italian Brown Swiss. *Ital. J. Anim. Sci.* 9 (e28): 145 – 152.
- Serenius T. and Stalder K. J. 2004. Genetics of length of productive life and lifetime prolificacy in the Finnish Landrace and Large White pig populations. *J. Anim. Sci.* 82: 3111 – 3117.
- Sewalem A., Kistemaker G. J., Miglior F., and Van Doormaal B. J. 2004. Analysis of the relationship between type traits and functional survival in Canadian Holsteins using a Weibull proportional hazards model. *J. Dairy Sci.* 87: 3938 – 3946.
- Sewalem A., Miglior F., Kistemaker G. J., Sullivan P., Huapaya G., and Van Doormaal B. J. 2007. Modification of genetic evaluation of herd life from a three-trait to a five-trait model in Canadian dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 90: 2025 – 2028.
- Torres-Vázquez J. A., Valencia-Posadas M., Castillo-Juárez H., and Montaldo H. H. 2009. Genetic and phenotypic parameters of milk yield, milk composition and age at first kidding in Saanen goats from Mexico. *Livest. Sci.* 126: 147 – 153.
- Tsuruta S., Misztal I., and Lawlor T. J. 2005. Changing definition of productive life in US Holsteins: Effect on genetic correlations. *J. Dairy Sci.* 88: 1156 – 1165.

- Valencia-Posadas M., Torrero-Garza Y., Vicencio-Reyes C. V., Shepard, L., y Montaldo H. H. 2010. Relaciones fenotípicas entre características de conformación con la habilidad de permanencia a los 36 meses en cabras Alpinas. *Acta Universitaria* 20 (3): 40 – 44.
- Van Doormal B. J., Burnside E. B., and Schaeffer L. R. 1986. An analysis of the relationships among stayability, production, and type in Canadian milk-recording programs. *J. Dairy Sci.* 69:510-517.
- VanRaden P. M. 2004. Selection on net merit to improve lifetime profit. *J. Dairy Sci.* 87:3125–3131.
- VanRaden P. M. and Klaaskate E. J. H. 1993. Genetic evaluation of length of productive life including predicted longevity of live cows. *J. Dairy Sci.* 76: 2758 – 2764.
- VanRaden P.M, Dematawewa C. M. B., Pearson R. E., and Tooker M. E. 2006. Productive life including all lactations and longer lactations with diminishing credits. *J. Dairy Sci.* 89: 3213 – 3220.
- Vicencio R. C. V. 2009. Correlaciones genéticas entre características de conformación y habilidades de permanencia en cabras lecheras. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, Ags. México.
- Vollema A. R., Van Der Beek S., Harbers A.G.F., and De Jong G. 2000. Genetic evaluation for longevity of Dutch dairy bulls. *J Dairy Sci* 83: 2629 – 2639.

2. OBJETIVOS GENERALES

Estimar los parámetros genéticos de la vida productiva y estimar su relación con características evaluadas comúnmente a una edad temprana en una población de cabras lecheras de Estados Unidos.

2.1. Objetivos Específicos

- 2.1.1. Estimar las heredabilidades y las correlaciones genéticas y fenotípicas entre vida productiva, real y funcional, a los 72 meses y características de producción de leche y de reproducción.
- 2.1.2. Estimar las heredabilidades y las correlaciones genéticas y fenotípicas entre vida productiva, real y funcional, a los 72 meses y 13 características lineales más la calificación final de conformación.

3. HIPÓTESIS GENERALES

La vida productiva tiene alta relación genética y fenotípica con las características evaluadas comúnmente a una edad temprana.

3.1. Hipótesis Específicas

3.1.1. La heredabilidad de la vida productiva y sus correlaciones genéticas y fenotípicas con las características de producción de leche y de reproducción permiten la mejora genética directa e indirecta de vida productiva real y funcional.

3.1.2. La heredabilidad de la vida productiva y sus correlaciones genéticas y fenotípicas con las características de conformación permiten la mejora genética directa e indirecta de vida productiva real y funcional.

4. ESTIMATION OF GENETIC PARAMETERS FOR PRODUCTIVE LIFE, REPRODUCTION AND MILK PRODUCTION TRAITS IN US DAIRY GOATS ¹

¹ This article was submitted to Journal of Dairy Science and is used by permission of the Journal of Dairy Science. The original article can be found as: V. J. Castañeda-Bustos, H. H. Montaldo, G. Torres-Hernández, S. Pérez-Elizalde, M. Valencia-Posadas, O. Hernández-Mendo, L. Shepard. Estimation of genetic parameters for productive life, reproduction and milk production traits in US dairy goats. J. Dairy Sci. doi: 10.3168/jds.2013-7503

4.1. ABSTRACT

Heritabilities and correlations for milk yield (MY), fat yield (FY), protein yield (PY), combined fat and protein yield (FPY), fat percentage (F%), protein percentage (P%), age at first kidding (AFK), interval between the first and second kidding (KI) as well as real and functional productive life at 72 months, of 33,725 US dairy goats, were estimated using animal models. Productive life was defined as the total days in production until 72 months of age (PL72) for goats having the opportunity to express the trait. Functional productive life (FPL72) was obtained by correcting PL72 for MY, FY, PY and final type score (FS). Six selection indexes were used, including or excluding PL72, with six groups of different economic weights, to estimate the responses to selection considering MY, FY, PY and PL72 as selection criteria. The main criteria that determined the culling of a goat from the herd were, besides a low FS, low MY and FY per lactation. Heritability estimates were 0.22, 0.17, 0.37, 0.37, 0.38, 0.39, 0.54, 0.64, 0.09 and 0.16 for PL72, FPL72, MY, FY, PY, FPY, F%, P%, KI and AFK, respectively. Most genetic correlations between the evaluated traits and PL72 or FPL72 were positive, except for F% (-0.04 and -0.06, respectively), P% (-0.002 and -0.03, respectively) and AFK (-0.03 and -0.01, respectively). The highest genetic correlations were between FPL72 and MY (0.39) and between PL72 and MY (0.33). Most phenotypic correlations between the traits evaluated and FPL72 and PL72 were

positive (>0.23 and >0.26 , respectively), except for F% (-0.004 and -0.02 , respectively), P% (-0.05 and -0.02), KI (-0.01 and -0.07) and AFK (-0.08 and -0.08). The direct selection for PL72 increased it 102.28 days per generation. The use of MY, FY, PY, KI or AFK as selection criteria increased PL72 by 39.21 days, 27.33 days, 35.90 days, -8.28 days or 2.77 days per generation, respectively. The inclusion of PL72 as selection criterion increased the expected response per generation from 0.15% to 17.35% in all selection indexes studied.

(Key words: Productive life, heritability, genetic correlation, selection index)

4.2. INTRODUCTION

Genetic evaluations for milk, fat and protein yields in US goats have been calculated since 1983 in bucks and since 1984 in does. Actually, genetic evaluations for these traits of US dairy goats are calculated annually by USDA from records that are available through Dairy Herd Improvement (DHI) programs and the American Dairy Goat Association (ADGA) (Wiggans and Hubbard, 2001).

For developing efficient selection programs it is necessary to estimate genetic parameters (Weppert and Hayes, 2004). Some of the traits considered as potential selection criteria in dairy goats are milk, fat and protein yield, type traits (Montaldo and Manfredi, 2002), reproductive traits (Torres-Vázquez et al., 2009; Montaldo et al., 2010) and longevity (Pérez-Razo et al., 2004). Longevity, despite being a little studied trait not used so far in the genetic evaluation of goats, is of great economic importance, as it combines many traits associated with the permanence of an animal in the herd (Tsuruta et al., 2005). The increase in longevity allows reducing the number of replacement animals (Sewalem et al., 2007). It also allows a reduction in health care costs, especially those caused by mastitis (Rogers et al., 1998; Jensen et al., 1999), and

an increase of the total milk production of the herd by increasing the proportion of mature animals with a greater production per lactation (Vollema et al., 2000).

There are several definitions of longevity or productive life. Real productive life is described in various ways, such as: number of days from first calving until death or culling (VanRaden et al., 2006; Sewalem et al., 2007), total days in production (VanRaden and Klaaskate, 1993), stayability at different ages (Jakobsen et al., 2010) or at a specific number of calvings (Martinez et al., 2004), total months in production until a certain age (VanRaden et al., 2006), and number of lactations recorded (Pérez-Cabal et al., 2006). Functional productive life is defined as the ability to avoid involuntary culling caused by health or reproductive problems, and is obtained by including some covariates potentially used as voluntary culling criteria (e.g. milk, fat and protein first lactation production, and type traits) in the statistical models used to analyze productive life (Dekkers, 1993; Mark, 2004).

Direct selection for longevity in the species used for milk production is not feasible, mainly because to get the information, the animal should be able to reach an advanced age or die, which would mean waiting too long and not being able to keep a herd with an age structure suitable for production or for selecting replacements. Trying to address this situation, several studies on cattle have been carried out in order to obtain early measures related to longevity, such as type traits (Martinez et al., 2004), functional traits and milk production traits (Tsuruta et al., 2005). Some of the countries that have used early measures as indirect predictors of longevity are US (Short and Lawlor, 1992, Cruickshank et al., 2002), Canada (Sewalem et al., 2004; 2007), Japan (Koichi et al., 2005) and Spain (Pérez et al., 1999).

Information about genetic parameters for longevity in goats and its relationship with milk production, reproductive or conformation traits, are scarce and limited to

stayability estimates at a certain age or number of calvings as a measure of productive life (Vicencio, 2009; Valencia-Posadas et al., 2010; Pérez-Razo et al., 2004). Stayability merely indicates the presence or absence of the goat at a fixed age; therefore, it does not provide detailed quantitative information of the time during which a goat was productive. Thus, the aim of this study was to estimate the heritabilities and the genetic and phenotypic correlations between real and functional productive life at 72 months, and milk production and reproductive traits, using a quantitative definition of productive life.

4.3. MATERIAL AND METHODS

4.3.1. Data

This study used data from the American Dairy Goat Association (ADGA), processed by the Animal Improvement Programs Laboratory (AIPL-USDA) which contained information about milk (**MY**), fat (**FY**) and protein (**PY**) yields of Alpine, La Mancha, Nubia, Saanen and Toggenburg breeds, yields were corrected to 305 days and mature equivalent. The records also included fat (**F%**), protein (**P%**) percentages, information on the sire, herd, birth and kidding dates, and days in milk production (15 to 305 days).

In order to estimate the parameters more precisely, we only used records of goats with consecutive information for ≥ 1 lactation, with a maximum of 10 lactations, and which remained in the same herd in all lactations. Records with information errors about date of birth and date of kidding were eliminated; herds with < 5 observations or < 2 breeds were also eliminated. The records containing information on FY but not on PY, or vice versa, were considered as missing observations. The final data file contained information of MY, FY and PY of the first lactation for 33,725 goats born from 9,716

sires and 24,474 dams. Data of individuals without breed or identification information were eliminated from the original pedigree data set. The pedigree was subsequently ordered generationally and recoded using the software Pedigree Viewer 6.3 (Kinghorn and Kinghorn, 2009); the final file contained the complete information of 209,530 individuals of the breeds analyzed.

We calculated the age of the animals as the difference between the last date of kidding and the date of birth plus the last days in production recorded; we also calculated the age at first kidding (**AFK**), the interval between the first and second kidding (**KI**) and the productive life (**PL**) at 48, 60 and 72 months (**PL48**, **PL60** and **PL72**, respectively) using the same criteria used for the genetic evaluation of longevity in dairy cows in the U.S. (VanRaden and Klaaskate, 1993), if the goat still alive after each one of the three ages specified, the data is considered as censored, the amount of censored data were 25.55 %, 22.65 % and 14.62 % for PL48, PL60 and PL72, respectively, all censored data were included in the analysis of PL without compromising accurate results in evaluations (Vukasinovic et al., 1997). PL was obtained using information from the first to the tenth lactation. Records with $KI < 168$ days or > 885 days (236 animals), and $AFK < 271$ days or > 1140 days (479 animals) were considered missing.

PL was defined as the total number of days in production recorded (VanRaden and Klaaskate, 1993) until the goats is 48, 60, and 72 months of age. To obtain PL, we first determined if the animal had the opportunity to stay in the herd at three different ages (48, 60 and 72 months) depending on the date of registration of the herd to which it belonged, calculated as: Last registration of the herd - Date of birth \geq 48, 60 or 72 months

If the goat did not have the opportunity to stay in the herd at 48, 60 or 72 months, the PL was defined as a missing value and was not included in the file for analysis. If the goat had the opportunity to stay in the herd, its PL was the sum of the days in milk production recorded (with a maximum of 305 days per lactation) until the corresponding age (48, 60 or 72 months). Functional productive life (**FPL**) at 48, 60 and 72 months (**FPL48**, **FPL60** and **FPL72**, respectively) was PL corrected for milk production traits (MY, FY and PY) and final type score (**FS**).

In this study, we analyzed ten traits: MY, FY, PY, combined fat and protein yield (**FPY**), F%, P%, KI, AFK, PL72 and functional productive life at 72 months (FPL72).

4.3.2. Model

Four kidding seasons were defined (**KS**): January-February (n= 10403), March (n= 9,308), April (n= 9,569), and May-December (n= 11,273); and four birth seasons (**BS**): March (n= 11,272), April (n= 12,090), May-July (n= 8,096), and August-February (n= 9,095), in order to find a balance in the number of observations, given that, due to the reproductive seasonality of this species, kiddings and births were concentrated in certain months of the year. 20 levels of birth season-breed (**BSB**) and kidding season-breed (**KSB**) were obtained by combining KS or BS with breed (Alpine, La Mancha, Nubia, Saanen and Toggenburg).

The traits were initially analyzed with single trait animal models to estimate the phenotypic, additive genetic and residual variances, using the ASReml 3.0 software (Gilmour et al., 2009). The matrix representation of the model (i.e. Mrode, 2005) is:

$$\mathbf{y} = \mathbf{Xb} + \mathbf{Zu} + \mathbf{e}$$

where \mathbf{y} , is the vector of observations of the traits studied; \mathbf{X} , is the incidence matrix of fixed effects for KSB or BSB; \mathbf{b} , is the vector of fixed effects of KSB or

BSB; Z , is the incidence matrix of the random effects of additive genetic effects of the animal, herd-year of kidding-breed (**HYKB**) or herd-year of birth-breed (**HYBB**) effects, and herd-sire effect (**HS**), respectively; u , is the vector of random effects of the additive genetic effects of the animal, HYKB or HYBB and HS; e , is the vector of random error.

Convergence of the analyzes was assumed when the change in the restricted likelihood function was less than 0.002 and the change in the parameter estimates was less than 1% (Gilmour et al., 2009).

Considering that when the group subclass sizes are small, as in this case, can be lost a lot of information and, as a result, the compromise between accounting for bias and reducing prediction error variances should be found (Van Bebber et al., 1997), HYKB and HYBB effects were considered as random in order to avoid these losses (Chauhan, 1987). In the model used to obtain the genetic parameters for production traits (MY, FY, PY, FPY, F% and P%) and KI, the effects considered were HYKB as random and KSB as fixed, while for the AFK and PL, the random effect of HYBB and the fixed effect of BSB were considered. The effect of KSB were considered for production traits and KI because kidding season and breed modifies these traits, while birth season and breed modifies AFK and PL. In the final data file ($n= 33725$) only the levels with > 5 observations for HYBB and HYKB were included, leaving, at the end of the edition, 3,255 and 1,809 levels, respectively. The random effect of HS was included in the models for all the traits analyzed.

Milk production traits (MY, FY and PY) and FS were included as covariates in the analysis models (Sewalem et al., 2004) to obtain estimates of genetic parameters of FPL at 48, 60 or 72 months, and were excluded in the analysis models for PL48, PL60 and PL72.

Regression coefficients for MY, PY, PY and FS were obtained in order to know which factors were important at culling decision in goats.

4.3.3. Genetic Parameters

Variance components and heritability were obtained using single trait animal model, while genetic (r_g) and phenotypic (r_p) correlations were obtained using bivariate analyzes.

4.3.3.1. Heritability. For calculating the heritability within herd-breed, the total variance and the phenotypic variance were estimated as follows:

Total variance:

$$\hat{\sigma}_t^2 = \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_{HYB}^2 + \hat{\sigma}_{HS}^2 + \hat{\sigma}_e^2$$

where $\hat{\sigma}_t^2$: estimated total variance; $\hat{\sigma}_a^2$: estimated additive genetic variance of the animal; $\hat{\sigma}_{HYB}^2$: estimated HYKB or HYBB variance, according to the trait; $\hat{\sigma}_{HS}^2$: estimated variance of the HS effect; $\hat{\sigma}_e^2$: estimated error variance.

Phenotypic variance:

$$\hat{\sigma}_p^2 = \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_{HS}^2 + \hat{\sigma}_e^2$$

where $\hat{\sigma}_p^2$: Estimated phenotypic variance.

Having determined the variances, total and phenotypic, the heritability \hat{h}^2

was estimated as: $\hat{h}^2 = \frac{\hat{\sigma}_a^2}{\hat{\sigma}_p^2}$

Herd-year-breed ratio (**HYBR**). The ratio of $\hat{\sigma}_{\text{HYB}}^2$ with respect to $\hat{\sigma}_t^2$ was calculated as $\text{HYBR} = \frac{\hat{\sigma}_{\text{HYB}}^2}{\hat{\sigma}_t^2}$ using variances obtained with a single trait animal

model in order to estimate the contribution of this effect.

Herd-sire ratio (**HSR**). To estimate the contribution of the HS effect, we calculated the ratio of $\hat{\sigma}_{\text{HS}}^2$ with respect to $\hat{\sigma}_t^2$, variances obtained using a single trait animal model:

$$\text{HSR} = \frac{\hat{\sigma}_{\text{HS}}^2}{\hat{\sigma}_t^2}$$

4.3.3.2. Genetic and Phenotypic Correlations. The bivariate analyzes used to obtain r_g and r_p (i.e. Mrode, 2005) included the same effects included in the univariate models mentioned above. The analysis was performed using the software ASReml 3.0 (Gilmour et al., 2009).

To test whether r_g and r_p were different from zero, we estimated their confidence intervals with a significance level of 95% using the software package for R Psychometrics (Fletcher, 2010).

4.3.4. Response to Selection

In order to estimate the responses to selection considering MY, FY, PY and PL72 as selection criteria, we used six selection indexes that included or excluded PL72. For the selection, we evaluated six groups with different relative economic weight. The economic weights for MY, FY and PY were 0.01, 1.15 and 2.55, respectively (Wiggans and Hubbard, 2001), and remained the same in the 6 indexes, while PL was assigned a different economic weight in each index (0.01, 0.03, 0.05, 0.07, 0.09 and 0.1), derived from the ratio of PL with respect to PY (0.02) used in cattle

(Cole and VanRaden, 2010), in order to explore a range of values that could probably cover a relative value appropriate for goats. The responses to selection per generation were obtained from the average of the results of the expected responses per generation in the selection indexes for females and males, and assuming a selection intensity of 1.

In the case of the selection of females, it was assumed that there was a record for each one and 20 records of half-sisters. For males, 20 records of half-sisters and 10 records of daughters. Besides these, it was assumed that there was one record of the dam for both sexes. The expected response to selection for each index was estimated using MTINDEX software (Van der Werf, 2007).

4.4. RESULTS

Preliminary analyzes showed that PL72 had high r_g (\pm standard error) with PL48 (0.96 ± 0.007) and PL60 (0.99 ± 0.001), indicating that similar results would be obtained with any of them from the viewpoint of selection. Considering that, by definition, PL72 is calculated at a higher age, it might better reflect the longevity of the goats, plus PL72 had higher heritability than PL48 and PL60 (around 0.17 for PL48 and PL60), which is why in this study we decided to use only PL72.

Regression coefficients for MY, FY, PY and FS were 66.12 ± 3.48 , 3.41 ± 6.62 , 20.44 ± 6.49 and 3.06 ± 0.07 , respectively. Only regression coefficient for PY was not significant ($P = 0.60$).

The descriptive statistics for the traits evaluated (PL72, MY, FY, PY, FPY, F%, P%, KI and AFK) are shown in Table 4.1. PL72 ranged from 32 to 1560 days, with an average of 579.4 days. The averages (standard deviations within parentheses) for milk production traits were 1043.1 kg (336.36 kg), 37.1 kg (10.84 kg), 30.5 kg (7.59 kg) and

67.6 kg (17.70 kg). The averages for F% and P% were 3.8% (0.87%) and 3.1% (0.47%), respectively.

With respect to the reproductive traits evaluated, the average KI was 387.3 days (101.52 days) and the average AFK was 507.97 days (153.50 days). In the analysis model for FPL72, all regression coefficients (\pm standard error) for MY, PY, FY and FS were positive (66.12 ± 3.48 , 3.40 ± 6.61 , 20.44 ± 6.49 and 3.06 ± 0.07 , respectively), and most of the covariates included (MY, FY and FS) were significant ($P < 0.01$), showing that the probability that a goat is voluntarily culled from a herd increases when its MY, FY or FS are low.

4.4.1. Genetic Parameters

The variances (total, phenotypic and additive genetic), the HYBR, the HSR and the estimates of heritability for the evaluated traits are shown in Table 4.2. The estimates of heritability (\pm standard error) for PL72 and FPL72 were 0.22 ± 0.01 and 0.17 ± 0.01 , respectively. Milk production and composition traits had estimates of heritability of 0.37, 0.37, 0.38, 0.39, 0.54 and 0.64 for MY, FY, PY, FPY, F% and P%, respectively. The estimates of heritability for KI and AFK were 0.09 ± 0.02 and 0.16 ± 0.01 , respectively. The highest variances of HSR with respect to total variance was for AFK (0.10). The variances of HSR were 0.04 for PL72, MY, PY, FPY and F%, 0.05 for FPL72 and FY, 0.01 for P% and KI, and 0.10 for AFK. The highest variances of HYBR was for PY and FPY (0.44) and represented ratios, with respect to the total variance, of 0.07, 0.14, 0.40, 0.37, 0.44, 0.44, 0.29, 0.19, 0.15 and 0.35 for PL72, FPL72, MY, FY, PY, FPY, F%, P%, KI and AFK, respectively.

4.3.2. Genetic and Phenotypic Correlations

The r_g and r_p estimated between productive life (PL72 and FPL72) and the reproductive and milk production traits are shown in Table 4.3.

Table 4.1. Descriptive statistics for the traits analyzed in US goats

Trait	Abbreviation	N	Mean	Standard deviation	Minimum	Maximum	CV (%)
Productive life at 72 months, days	PL72	21811	579.45	364.78	32.03	1560.99	62.95
Milk yield, kg ¹	MY	33725	1043.11	336.36	88.90	2948.34	32.25
Fat yield, kg ¹	FY	23770	37.10	10.84	4.99	107.95	29.22
Protein yield, kg ¹	PY	23770	30.54	7.59	6.35	44.91	24.85
Combined fat and protein yield, kg ¹	FPY	23770	67.63	17.70	13.61	151.50	26.17
Fat percentage	%F	23770	3.87	0.87	0.72	8.85	22.48
Protein percentage	%P	23770	3.18	0.47	0.76	6.31	14.93
Kidding interval, days	KI	19528	387.36	101.52	168.00	885.00	26.21
Age at first Kidding, days	AFK	31451	507.97	153.50	271.00	1140.00	30.22

¹ Yields corrected to 305 d and mature equivalent.

Table 4.2. Total, phenotypic and additive genetic variances, and heritabilities for the studied traits in US goats

Trait	Total variance ¹ $\hat{\sigma}_t^2$	Phenotypic variance ² $\hat{\sigma}_f^2$	Additive genetic variance $\hat{\sigma}_a^2$	HYB ³ Ratio ⁴ (HYBR)	Heritability ⁵ \hat{h}^2	HS ⁶ Ratio ⁷ (HSR)
Productive life at 72 months, days	130710 ± 1405.90	121030 ± 1305.80	27505 ± 2077.70	0.07 ± 0.007	0.22 ± 0.01	0.04 ± 0.008
Functional productive life at 72 months, days	122,770 ± 1,460.00	104980 ± 1138.60	18536 ± 1803.90	0.14 ± 0.008	0.17 ± 0.01	0.05 ± 0.009
Milk yield, kg	98,654 ± 1241.7	58847 ± 557.55	22108 ± 1,038.3	0.40 ± 0.007	0.37 ± 0.02	0.04 ± 0.007
Fat yield, kg	123.75 ± 1.55	77.43 ± 0.78	28.54 ± 1.52	0.37 ± 0.008	0.37 ± 0.02	0.05 ± 0.008

¹Total variance = Variance HYB⁴ + Additive genetic variance + Variance HS⁶ + Residual variance.

²Phenotypic variance = Additive genetic variance + Variance HS⁶ + Residual variance.

³Herd-year of kidding-breed for milk yield, fat yield, protein yield, combined fat and protein yield, fat percentage, protein percentage and kidding interval; herd- year of birth-breed for productive life at 72 months, functional productive life at 72 months and age at first kidding.

⁴Ratio of the variance of this effect with respect to total variance (HYBR = Variance HYB³ / Total variance).

⁵ $\hat{h}^2 = \hat{\sigma}_a^2 / \hat{\sigma}_f^2$. ⁶Herd – sire effect. ⁷Herd – sire effect ratio = Variance HS / Total variance.

Table 4.2. (continued)

Trait	Total variance ¹ $\hat{\sigma}_t^2$	Phenotypic variance ² $\hat{\sigma}_f^2$	Additive genetic variance $\hat{\sigma}_a^2$	HYB ³ Ratio ⁴ (HYBR)	Heritability ⁵ \hat{h}^2	HS ⁶ Ratio ⁷ (HSR)
Protein yield, kg	86.55 ± 1.18	48.29 ± 0.48	18.52 ± 0.90	0.44 ± 0.008	0.38 ± 0.02	0.04 ± 0.008
Combined fat and protein yield, kg	456.01 ± 6.28	256.30 ± 2.63	100.76 ± 4.87	0.44 ± 0.008	0.39 ± 0.02	0.04 ± 0.008
Fat percentage	0.38 ± 0.004	0.26 ± 0.002	0.14 ± 0.005	0.29 ± 0.008	0.54 ± 0.02	0.04 ± 0.008
Protein percentage	0.11 ± 0.001	0.08 ± 0.001	0.05 ± 0.001	0.19 ± 0.008	0.64 ± 0.02	0.01 ± 0.008
Kidding interval, days	9600.8 ± 105.99	8179.7 ± 93.37	790.06 ± 147.60	0.15 ± 0.007	0.09 ± 0.02	0.01 ± 0.008
Age at first Kidding, days	22764 ± 276.74	14851 ± 148.00	2447.9 ± 250.30	0.35 ± 0.008	0.16 ± 0.01	0.10 ± 0.009

¹Total variance = Variance HYB⁴ + Additive genetic variance + Variance HS⁶ + Residual variance.

²Phenotypic variance = Additive genetic variance + Variance HS⁶ + Residual variance.

³Herd-year of kidding-breed for milk yield, fat yield, protein yield, combined fat and protein yield, fat percentage, protein percentage and kidding interval; herd- year of birth-breed for productive life at 72 months, functional productive life at 72 months and age at first kidding.

⁴Ratio of the variance of this effect with respect to total variance (HYBR = Variance HYB³ / Total variance).

⁵ $\hat{h}^2 = \hat{\sigma}_a^2 / \hat{\sigma}_f^2$. ⁶Herd – sire effect. ⁷Herd – sire effect ratio = Variance HS / Total variance.

The r_g between PL72 and the milk production and composition traits were 0.33, 0.23, 0.30, 0.27, -0.04 and -0.002 for MY, FY, PY, FPY, F% and P%, respectively. The r_g between KI and PL72 was 0.11, and -0.03 between PL72 and AFK. The r_g between PL72 and production traits (MY, FY, PY and FPY) and between PL72 and KI were significant ($P < 0.05$); similarly, the r_g between PL72 and F% and AFK were significant ($P < 0.05$), although, like the r_g between PL72 and P%, they were close to zero.

The r_p between milk production traits and PL72 were 0.25, 0.23, 0.25 and 0.25 for MY, FY, PY and FPY, respectively, and, like the r_g , all these r_p were significant ($P < 0.05$). The r_p between PL72 and F% and P% were -0.004 and -0.05, respectively, while the r_p between PL72, KI and AFK were -0.01 and -0.08, respectively. Of these, only the r_p between PL72 and P% and AFK were significant ($P < 0.05$).

The r_g between FPL72 and MY, FY, PY and FPY were 0.39, 0.26, 0.29 and 0.28, respectively. The r_g of the milk production traits with FPL72, like the r_g between KI and FPL72 (0.05), were all positive and significant ($P < 0.05$). On the other hand, the r_g between FPL72 and F%, P% and AFK were negative and close to zero (-0.06, -0.03 and -0.01, respectively), but significant ($P < 0.05$), except for the r_g between FPL72 and AFK.

As in the case of PL72, both the r_g and the r_p between the milk production traits and FPL72 were all positive and significant ($P < 0.05$), with slightly higher values than those found in the r_p between the same traits and PL72. The r_p obtained were 0.29, 0.26, 0.29 and 0.29 for FPL72 with MY, FY, PY and FPY, respectively. The r_p between FPL72 and F% (-0.02), like between FPL72 and P% (-0.02), was not significant ($P > 0.05$). The r_p between KI and FPL72 (-0.07) and between AFK and FPL72 (-0.08) were significant ($P < 0.05$) in both cases (Table 4.3).

Table 4.3. Genetic and phenotypic correlations (\pm standard error) between production and reproductive traits with productive life and functional productive life at 72 months in US goats

	Genetic correlations		Phenotypic correlations	
	PL72	FPL72	PL72	FPL72
MY	0.33 \pm 0.04	0.39 \pm 0.04	0.25 \pm 0.008	0.29 \pm 0.009
FY	0.23 \pm 0.05	0.26 \pm 0.05	0.23 \pm 0.009	0.26 \pm 0.01
PY	0.30 \pm 0.05	0.29 \pm 0.06	0.25 \pm 0.009	0.29 \pm 0.01
FPY	0.27 \pm 0.05	0.28 \pm 0.05	0.25 \pm 0.009	0.29 \pm 0.01
%F	-0.04 \pm 0.04	-0.06 \pm 0.05	-0.004 \pm 0.01	-0.02 \pm 0.01
%P	-0.002 \pm 0.04	-0.03 \pm 0.04	-0.05 \pm 0.01	-0.02 \pm 0.01
KI	0.11 \pm 0.08	0.05 \pm 0.09	-0.01 \pm 0.01	-0.07 \pm 0.01
AFK	-0.03 \pm 0.06	-0.01 \pm 0.07	-0.08 \pm 0.008	-0.08 \pm 0.009

MY = Milk yield, FY = Fat yield, PY = Protein yield, FPY = Combined fat and protein yield, %F = Fat percentage, %P = Protein percentage, KI = Kidding interval, AFK = Age at first kidding, PL72 = Productive life at 72 months, FPL72 = Functional productive life at 72 months.

4.4.3. Response to Selection

The increase in PL72 per generation, selecting directly for this trait, was of 102.28 days (Table 4.4), considering this value as 100% of the increase in PL72 by selection; the selection for the increase of MY, FY, PY, KI or AFK achieved an increase in PL72 per generation of 39.21 days (38.33%), 27.33 days (26.72%), 35.90 days (35.10%), -8.28 days (-8.10%), or 2.77 days (2.70%), respectively. The inclusion of PL72 as a selection criterion increased from 0.15% to 17.35% the expected response per generation in all selection indexes studied (Table 4.5).

Table 4.4. Responses to selection for productive life at 72 months in US goats

Selection type	Response to selection (days) ¹			Increase in productive life (%) ³
	Females	Males	Total ²	
Direct	95.19	109.37	102.28	100
Indirect ⁴				
Milk yield	37.47	40.95	39.21	38.33
Fat yield	26.12	28.54	27.33	26.72
Protein yield	34.37	37.44	35.90	35.10
Kidding interval	-7.50	-9.07	-8.28	-8.10
Age at first kidding	2.55	2.99	2.77	2.70

¹ Assuming there is one record for each goat, 1 record of the dam and 20 records of half-sisters for selection of females; and 1 record of the dam, records of 20 half sisters and 10 records of daughters for the selection of males.

² Average response to selection of both sexes.

³ Considering direct selection as 100% of the response to selection

⁴ Selecting to increase milk yield (MY), fat yield (FY), or protein yield (PY), or to decrease age at first kidding (AFK), or kidding interval (KI).

Table 4. 5. Expected economic selection response¹ for some of the traits evaluated using different economic weights for real productive life in US goats

W_{PL}^2	Selection criterion ³	Selection response (\$)			Increase in selection response ⁷ (%)
		Females ⁴	Males ⁵	Total ⁶	
0.01	With PL	12.62	13.79	13.20	0.15
	Without PL	12.60	13.76	13.18	
0.03	With PL	13.49	14.78	14.13	1.80
	Without PL	13.27	14.49	13.88	
0.05 ⁸	With PL	14.57	16.02	15.29	4.80
	Without PL	13.95	15.24	14.59	

¹ Response to selection for relative economic weights of milk yield, fat yield, protein yield and productive life at 72 months of 0.01, 1.15, 2.55 and W_{PL} , respectively.

² Relative economic weights assigned to PL in the selection index.

³ Using or without using records for PL in the selection of females and males.

⁴ Assuming 1 record of each animal, 1 record of the dam and 20 records of half-sisters.

⁵ Assuming 1 record of the dam, 20 records of half sisters and 10 records of daughters.

⁶ Average genetic gain of both sexes (monetary units), assuming selection intensity = 1.

⁷ Percentage increase in the response due to PL information in the selection index.

⁸ Basal economic weight (Cole and VanRaden, 2010).

Table 4. 5. (continued)

W_{PL}^2	Selection criterion ³	Selection response (\$)			Increase in selection response ⁷ (%)
		Females ⁴	Males ⁵	Total ⁶	
0.07	With PL	15.81	17.45	16.63	8.62
	Without PL	14.63	15.99	15.31	
0.09	With PL	17.18	19.02	18.10	12.84
	Without PL	15.33	16.75	16.04	
0.11	With PL	18.65	20.71	19.68	17.35
	Without PL	16.03	17.52	16.77	

¹ Response to selection for relative economic weights of milk yield, fat yield, protein yield and productive life at 72 months of 0.01, 1.15, 2.55 and W_{PL} , respectively.

² Relative economic weights assigned to PL in the selection index.

³ Using or without using records for PL in the selection of females and males.

⁴ Assuming 1 record of each animal, 1 record of the dam and 20 records of half-sisters.

⁵ Assuming 1 record of the dam, 20 records of half sisters and 10 records of daughters.

⁶ Average genetic gain of both sexes (monetary units), assuming selection intensity = 1.

⁷ Percentage increase in the response due to PL information in the selection index.

⁸ Basal economic weight (Cole and VanRaden, 2010).

4.5. DISCUSSION

During the life of a goat and other species (i.e. dairy cows), there is always the risk that the animal is rejected for not complying with the requirements of the herd to which it belongs. According to the regression coefficients obtained from the model for the analysis of FPL72 (66.12 ± 3.48 , 20.44 ± 6.49 and 3.06 ± 0.07 , MY, FY and FS, respectively), if a goat has higher MY, FY and FS, it will be less risk of being culled from the herd. The importance of PY as culling criterion in cows (i.e. Sewalem et al., 2004) was not evident in this study, probably because, having a high correlation with MY (>0.90 ; Torres-Vázquez et al., 2009), it provides similar information in the model.

The averages of MY, FY, PY and FPY, and their components (F% and P%) were within the range of values obtained in the same population (García-Peniche et al., 2012) and in Saanen goats in Mexico (Torres-Vázquez et al., 2009) for MY (1026 to 1095 kg), FY (33.5 to 38 kg), PY (28.05 to 32 kg), FPY (62.5 to 70 kg), F% (3.24% to 3.70%) and P% (2.72% to 3.10%). However, they were higher than those found by other authors for MY (683 to 1008 kg), FY (24.05 to 30 kg), PY (25.3 to 30.75 kg), F% (3.16 to 3.52) and P% (2.65 to 3.07) in Alpine, Saanen and Toggenburg goats in Mexico (Valencia et al., 2007b) and France (Rupp et al., 2011).

The KI average (387 days) was similar to that obtained in Alpine (384 days; García-Peniche et al., 2012), La Mancha, Nubia, Saanen, Toggenburg (379 days; Montaldo et al. 2010), and Oberhasli (369 days; García-Peniche et al., 2012) goats from the same population, but higher than the one obtained in Toggenburg goats reared in small production systems (287.91 days; Ahuya et al. 2009), and in Taggar (242.60 to 288.94 days; Bushara et al., 2010), Beetal, Beetal x Alpine, Beetal x Saanen (300-323 days; Shrestha and Fahmy, 2007), and Norwegian (367.4 days; Bagnicka et al., 2007) goats in countries such as Kenya, Sudan, Norway and India.

The average AFK (507.97 days) coincided with that obtained in similar breeds (505.99 to 507 days; Torres-Vázquez et al., 2009, García-Peniche et al., 2012) or in Alpine x Beetal goats (495 days; Shrestha and Fahmy, 2007). Moreover, the average AFK found in this study was higher than the one mentioned for Norwegian goats (412.9 days; Bagnicka et al., 2007), and lower than that for Toggenburg goats (759.37 days; Ahuya et al. 2009).

The differences between the means obtained in the present study with respect to higher or lower means obtained by other authors for KI and AFK, are mainly attributed to differences in reproductive seasonality between the breeds and regions of the world (Montaldo et al., 2010), as well as to differences in management.

4.5.1. Genetic Parameters

There is great variability in the literature with respect to the estimates of heritability of milk production traits in goats (MY, FY, PY and FPY), their components (F% and P%) and their reproductive traits (KI and AFK) due to estimation errors associated with the sample size, the structure of the data, the breed used, the management conditions and the estimation methodology used (Moioli et al., 2007). Besides this, it was observed in the present study that the HSR contributes significantly to the total variance of AFK, while HYBR makes a large contribution in the total variance of most of the traits evaluated; the largest contributions of HYBR were observed in the total variance of MY, FY, PY, FPY and AFK, which is why both HYBR and HSR must be considered in the statistical models for estimating heritability.

Estimates of heritability for MY, FY, PY and FPY (0.37 ± 0.02 , 0.37 ± 0.02 , 0.38 ± 0.02 and 0.39 ± 0.02 , respectively) were within the range of the estimated values in other populations of dairy goats for MY (0.13 to 0.41; Montaldo et al., 2010; Torres-Vázquez et al., 2007; Valencia et al., 2007a) and FY (0.10 to 0.40; Torres-Vázquez et

al., 2007; Barillet, 2007; Leboeuf et al., 2008), as well as for PY (0.04 to 0.37) and FPY (0.16 to 0.36) in other populations (Valencia et al., 2007c) or in the same population (Torrero, 2010; García-Peniche et al., 2012) of dairy goats. Similarly, estimates of heritability for F% (0.54 ± 0.02) and P% (0.64 ± 0.02) were within the estimates for F% (0.26 to 0.62; Valencia et al., 2007c; Rupp et al., 2011) and P% (0.14 to 0.67; Moiola et al., 2007; Rupp et al., 2011) in other populations of dairy goats. The estimates of heritability obtained in this study confirm the feasibility of improving the MY, FY, PY, FPY, F% and P% of dairy goats by selection (Montaldo et al., 2010; García -Peniche et al., 2012).

The estimated heritability for KI (0.09 ± 0.02) was within the range of estimates of heritability for the same population of dairy goats (0 to 0.15 ± 0.006 to 0.09; Montaldo et al., 2010; García-Peniche et al., 2012). The estimated heritability of AFK (0.16 ± 0.01) was below the estimates in the same population (0.23 ± 0.015 ; García-Peniche et al., 2012) or in other dairy goat population (0.31 ± 0.09 ; Torres-Vázquez et al. 2009). Probably, the difference is due to the inclusion of the HS effect in the analysis models. Despite this, the heritability estimate obtained for AFK confirms that selection is a viable option for modifying this trait in dairy goats.

In comparison with other species, the longevity of goats is a trait that is not commonly evaluated, which limits the information about productive life to a single study by Torrero (2010) in goats of the same population, which obtained a lower heritability estimate for stayability until the second lactation (0.13 ± 0.01) than the one obtained in the present study for PL72 (0.22 ± 0.01), and although the measurements used to describe the productive life in both studies are different, both estimates of heritability can be used as future references in the development of new selection indexes for increasing the longevity of goats.

The estimated heritability for PL72 was also higher than the estimates for dairy cows, using the same definition of PL as the present study (0.08; VanRaden and Klaaskate, 1993; USDA, 2007), or using other definitions of PL such as: time from first calving to culling (0.10 to 0.18; Caraviello et al., 2004; Tsuruta et al., 2005), stayability at different ages (0.001 to 0.15 \pm 0.01 to 0.03; Martinez et al., 2004; Valencia et al., 2008), months in production until a certain age (0.01 to 0.07; VanRaden et al., 2006) and number of recorded lactations (0.10 \pm 0.007; Pérez-Cabal et al., 2006). Similarly, the estimates of heritability for longevity found in other species were lower, as in the case of the estimates for longevity in sows (0.05 to 0.10; Serenius and Stalder, 2004; Fernández et al., 2008) and rabbits (0.15; Piles et al., 2006), or the estimates for longevity (0.02 to 0.06 \pm 0.01 to 0.02; El-Saied et al., 2005) or stayability at different ages (0 to 0.13 \pm 0.05; Hatcher et al., 2010) in sheep.

The estimated heritability of FPL72 obtained in this study (0.17 \pm 0.01) was higher than what was estimated in sheep, for which functional productive life was defined as the months elapsed from one lactation to the next or to culling, corrected for milk production (0.11 \pm 0.025; Riggio et al., 2009); it was slightly higher than the upper limit of the range obtained in dairy cows (0.06 to 0.14), for which functional productive life was defined as the days after the first calving to culling (0.06 to 0.14 \pm 0.01; Samoré et al., 2010; Sewalem et al., 2005), or the number of lactations (0.10; Pérez-Cabal et al., 2006) corrected for milk production.

Although in most productive life definitions used throughout time, some authors (i.e. VanRaden and Klaaskate, 1993; Serenius and Stalder, 2004; El-Saied et al., 2005) have obtained low estimates of heritability of productive life (real and functional) in sheep, rabbits, sows, and in some studies of dairy cows of different countries (i.e. Denmark, Canada, USA), the estimates of heritability obtained in this study indicate

that the response to selection for productive life can be relatively higher in dairy goats than in the other species mentioned above, and that it is convenient to include productive life as an additional criterion in selection indexes to improve the genetic progress for longevity in goats.

4.5.2. Genetic Correlations

In goats, the r_g estimated by Torrero (2010) between stayability until the second lactation and MY (0.12 ± 0.05), FY (0.44 ± 0.05), PY (0.53 ± 0.05) and FPY (0.52 ± 0.05) are the only reference with respect to the estimation of r_g between productive life and milk production traits (MY, FY, PY and FPY) in goats, and although the definition of the variable used as a measure of productive life is not the same as the one used in this study, so it would be risky to say that one or the other is more valuable for the development of this subject, both the r_g found by Torrero (2010) and the ones obtained in this study were positive and significant, indicating that it is possible to select indirectly for an increase of productive life by selecting for milk production traits in dairy goats.

The r_g estimated between PL72 and MY (0.33 ± 0.04) was higher than the r_g estimated in dairy cows (0.14 to 0.26; Cruickshank et al. 2002; Tsuruta et al., 2004). The r_g estimated between PL72 and FY (0.23 ± 0.05), and between PL72 and PY (0.30 ± 0.05), were within the ranges of the r_g estimated in dairy cows between PL and FY (0.08 to 0.32; Cruickshank et al. 2002; Tsuruta et al., 2005), and between PL and PY (0.22 to 0.35; Cruickshank et al. 2002; Tsuruta et al., 2004). With respect to the milk components, the r_g estimated between PL72 and F% (-0.04 ± 0.04), and between PL72 and P% (-0.002 ± 0.04), were similar to the r_g estimated in dairy cows between PL and F% (-0.08; Kaupe et al., 2007) and between PL and P% (0.01; Kaupe et al., 2007).

The r_g estimated between FPL72 and MY (0.39 ± 0.04) was higher than that obtained in cattle (0.22; Cruickshank et al., 2002), while the r_g estimated between FPL72 and FY (0.26 ± 0.05), or between FPL72 and PY (0.29 ± 0.06) were similar to those obtained in cattle between FPL and FY (0.25; Cruickshank et al., 2002) and between FPL and PY (0.25; Cruickshank et al., 2002). The r_g found between FPL72 and F% (-0.06 ± 0.05), and between FPL72 and P% (-0.03 ± 0.04), proved to be lower than the r_g obtained between FPL and F% (0.10 ± 0.11 ; Samoré et al., 2010) and between FPL and P% (0.09 ± 0.11 ; Samoré et al., 2010) in dairy cows.

The r_g between KI and PL72 (0.11 ± 0.08) estimated in this study was significantly different from the values obtained in sows (-0.34 to -0.36; Serenius and Stalder, 2004), but similar to the r_g estimated in Holstein cattle (0.09; Pérez-Cabal and Allenda, 2003). The r_g between PL72 and the AFK obtained in this study (-0.03 ± 0.06), taking into account that it had a large standard error, was similar to that estimated in cattle (-0.11; VanRaden and Klaaskate, 1993) using the same definition of PL as in the present study; however, it was lower than the r_g obtained in sheep (-0.35 ± 0.41 ; El-Saied et al., 2005) and sows (-0.28 ± 0.11 ; Serenius and Stalder, 2004), for which PL was defined as the days from first calving to culling.

The r_g obtained between the milk production traits (MY, FY, PY and FPY) and PL72 (0.23-0.33), as with FPL72 (0.26 to 0.39), were higher than the r_g obtained between the milk components (F% and P%) and PL72 (-0.002 to -0.04) or FPL72 (-0.03 to -0.06), indicating that the indirect genetic improvement of FPL72 and PL72 will be more efficient using the milk production traits (MY, FY, PY and FPY) than using the information of the milk components (F% and P%). As with F% and P%, it is not advisable to use KI or AFK as selection criteria to achieve an increase in PL72 and FPL72 because, in addition to the r_g estimated with PL72 and FPL72 in the KI and the

AFK having had high standard errors, the use of KI as indirect selection criterion would result in a 8.1% decrease in PL72 per generation, whereas if we decided that the only criterion for selection was AFK, the days of PL72 would increase by only 2.70% per generation; thus, genetic progress would be slow. However, the optimal strategies for the use of both AFK and KI as indirect selection criteria of PL72 will depend on the economic values to be estimated for these traits.

It is necessary to carry out further research on the adverse relationships, observed in this study, between longevity and AFK, KI, F%, and P% in dairy goats, as well as research on the relationship that may exist with other reproductive and disease resistance traits, in order to obtain correct foundations to know whether these traits may be used in indirect selection for PL in dairy goats

While waiting for the research on the longevity of goats to advance, the implementation of strategies such as introducing independent culling levels for MY and fat content (Kominakis et al., 2000), including reproductive traits in selection indexes (Valencia et al., 2008) and improving the management of the animals (Montaldo et al., 2010), will lead to improvements in MY, which, in turn, could lead to an indirect increase of PL in goats, due to the genetic relationship between MY and PL, reflected in the values obtained in the present study. In addition to these strategies, the selection of cows with the lowest fat:protein ratio (Buttchereit et al., 2010), and the selection of female sheep with multiple lambing (Abdelqader et al., 2012), have shown that they can increase PL directly in these species; however, these traits have not been evaluated in goats, so more research on this subject is needed to reach a conclusion about the role they play in selection, in order to design useful strategies for increasing PL in goats.

4.5.3. Phenotypic Correlations

The r_p estimated in this study between PL72 and MY (0.25), FY (0.23), PY (0.25) and FPY (0.25) were positive and significant ($P < 0.05$), like the r_p estimated in goats of the same population by Torrero (2010) between stayability to the second lactation and MY (0.15 ± 0.01), FY (0.64 ± 0.00), PY (0.56 ± 0.00) and FPY (0.66 ± 0.00), and they were within the r_p estimated in dairy cows between PL, FY (0.11 to 0.28; Cruickshank et al., 2002; Ajili et al., 2007) and PY (0.17 to 0.29; Cruickshank et al., 2002; VanRaden et al., 2006). The r_p between PL72 and MY was similar to the r_p estimated in dairy cows between PL and MY (0.26; Cruickshank et al., 2002).

The estimated r_p between FPL72 and MY (0.29 ± 0.009), FY (0.26 ± 0.01), and PY (0.29 ± 0.01) were similar to those obtained in dairy cows between FPL and MY (0.23), FY (0.26) and PY (0.30), defining FPL as the days from birth to culling (Cruickshank et al., 2002), but when FPL was defined as the total days in production (Pérez-Cabal and Allenda, 2003), the r_p calculated in this study were lower than the r_p estimated in that population of dairy cows between FPL and MY (0.49), FY (0.47) and PY (0.44).

The estimated r_p between KI and PL72 (-0.01 ± 0.01) was similar to that found in sows (-0.01 ; Serenius and Stalder, 2004) but lower than that calculated in cows (0.06; Ajili et al., 2007). In the case of FPL72, the r_p estimated between KI and FPL72 (-0.07 ± 0.01) was similar, in terms of its proximity to zero, to that calculated by Pérez-Cabal and Allenda (2003) in Holstein cattle (-0.04). The r_p between PL72 and AFK (-0.08 ± 0.008) was similar to that obtained in sheep (-0.08 ± 0.02 ; El-Saied et al., 2005) and sows (-0.05 ; Serenius and Stalder, 2004), while the r_p between FPL72 and AFK (-0.08 ± 0.009) was lower than that estimated in Landrace sows (-0.02 ; Serenius and Stalder, 2004).

4.5.4. Response to Selection

As has been mentioned throughout this article, knowing the productive life of a herd is an aspect of great importance, as it not only helps reduce replacement (Mark, 2004) or health (Rogers et al., 1998) costs, but also, as suggested by the results shown here, when information on productive life is available and is included in an index, the selection response is maximized, achieving an increase in simultaneous genetic improvement per generation of 0.15% to 17.35% in MY, FY, PY and PL72.

In addition to the inclusion of PL72 in a selection index, the indirect improvement using information of other economically important traits (MY, FY, PY, FPY, F%, P%, KI and AFK) can be also a useful way to increase PL in goats, a goal that, according to heritability and the r_g estimated in this study, is relatively easy to achieve, with an even greater response to selection per generation than in other species specialized in milk production.

In research conducted in dairy cows (i.e. Dürr et al., 1999; Cruickshank et al., 2002), the traits that turned out to be (as in the present study) the most relevant to productive life (real and functional) are milk production traits.

The highest r_g was between MY and PL72 or FPL72, which suggests that MY is the most viable option for indirect improvement of both FPL72 and PL72 being more effective the use of MY than any of the milk production traits evaluated in this study. If we decided only use MY as selection criterion, we would achieve an increase of 38.33% in days of PL72 in dairy goats.

In the present study, we showed some of the advantages gained by using information of PL72 and other traits of economic interest (MY, FY, PY, KI and AFK) for the direct or indirect selection of PL72; however, the genetic improvement observed in the present study could be more efficient using information of FPL72, because, when

removing the effects of voluntary culling (Dekkers, 1993; Mark, 2004), the goat that is able to stay in a herd, in addition to being a good producer, would also be less susceptible to diseases (i.e. mastitis) or reproductive problems (Vukasinovic et al. 1997; Neerhof et al., 2000).

4.6. CONCLUSIONS

The main criteria that determine the culling of a goat from the herd are low milk and fat yields per lactation, and a low final type score. According to the estimates of heritability (0.22 and 0.17 for real and functional productive life, respectively), the genetic improvement of productive life is an achievement that can be made possible by the inclusion of this trait in a selection index, as the improvement is more efficient when the effects of voluntary culling are removed using information of functional productive life or of other traits commonly evaluated in young goats. The indirect selection for real and functional productive life in dairy goats is more efficient when information of milk yield, fat yield and protein yield traits is used, than when information of reproductive traits such as age at first kidding or kidding interval is used. The inclusion of productive life in a selection index involving milk yield, fat yield and protein yield could increase the economic response to selection per generation (0.15% to 17.35%). However, it is necessary to carry out more research on the economic value of the productive life of goats in order to obtain the maximum economic response to selection in this population.

4.7. REFERENCES

Abdelqader A., Yacoub A. A., and Gauly M. 2012. Factors influencing productive longevity of Awassi and Najdi ewes in intensive production systems at arid regions. *Small Rumin. Res.* 104:37–44.

- Ahuya C. O., Ojango J. M. K., Mosi R. O., Peacock C. P., and Okeyo A. M. 2009. Performance of Toggenburg dairy goats in smallholder production systems of the eastern highlands of Kenya. *Small Rumin. Res.* 83:7–13.
- Ajili N., Rekik B., Ben Gara A., and Bouraoui R. 2007. Relationships among milk production, reproductive traits, and herd life for Tunisian Holstein – Friesian cows. *African J. of Agric. Res.* 2(2):047–051.
- Bagnicka E., Wallin E., Łukaszewicz M., and Ådnøy T. 2007. Heritability for reproduction traits in Polish and Norwegian populations of dairy goat. *Small Rumin. Res.* 68:256–262.
- Barillet F. 2007. Genetic improvement for dairy production in sheep and goats. *Small Rumin. Res.* 70:60–75.
- Bushara I., Nikhaila M. A. M. A. A., and Mekki D. M. 2010. Productive and reproductive traits of Taggar goats as affected by type of ration under dry land farming system in western Sudan. *Egyptian J. of Sheep & Goat Sci.* 5(1):209–220.
- Buttchereit N., Stamer E., Junge W., and Thaller G. 2010. Evaluation of five lactation curve models fitted for fat:protein ratio of milk and daily energy balance. *J. Dairy Sci.* 93:1702–1712.
- Caraviello D. Z., Weigel K. A., and Gianola D. 2004. Comparison between a Weibull proportional hazards model and a Linear Model for predicting the genetic merit of US Jersey sires for daughter longevity. *J. Dairy Sci.* 87:1469–1476.
- Chauhan V. P. S. 1987. Dairy sire evaluation fitting some of the herd-year-season effects as random. *Livest. Prod. Sci.* 16: 117-130.

- Cole J. B. and VanRaden P. M. 2010. Net merit as a measure of lifetime profit: 2010 revision. AIPL Research Reports. NM\$4(12 – 09). Accessed February 22, 2013. <http://aipl.arsusda.gov/reference/nmcalc-2010.htm>.
- Cruickshank J., Weigel K. A., Dentine M. R., and Kirkpatrick B. W. 2002. Indirect prediction of herd life in Guernsey dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 85:1307–1313.
- Dekkers J. C. M. 1993. Theoretical basis for genetic parameters of herd life and effects on response to selection. *J. Dairy Sci.* 76:1433–1443.
- Dürr J. W., Monardes H. G., and Cue R. I. 1999. Genetic analysis of herd life in Quebec Holsteins using Weibull models. *J. Dairy Sci.* 82:2503–2513.
- El-Saied U. M., De La Fuente L. F., Carriedo J. A., and San Primitivo F. 2005. Genetic and phenotypic parameter estimates of total and partial lifetime traits for dairy ewes. *J. Dairy Sci.* 88: 3265 – 3272.
- Fernández de S. X., Fàbrega E., Tibau J. and Casellas J. 2008. Effect of leg conformation on survivability of Duroc, Landrace, and Large White sows. *J. Anim. Sci.* 86:2392–2400.
- Fletcher T. D. 2010. Psychometric: Applied Psychometric Theory. R package version 2.2. Online. Available: <http://CRAN.R-project.org/package=psychometric>.
- García-Peniche T., Montaldo H., Valencia-Posadas M., Wiggans G., Hubbard S., Torres-Vázquez J., and Shepard L. 2012. Breed differences over time and estimates of heritability for production and reproduction traits of dairy goats in the United States. *J. Dairy Sci.* 95(5):2707–2717.
- Gilmour A. R., Gogel B. J., Cullis B. R., and Thompson R. 2009. ASReml User Guide Release 3.0. VSN International Ltd., Hemel Hempstead, UK.
- Hatcher S., Atkins K.D. and Thornberry K.J. 2010. Survival of adult sheep is driven by longevity genes. *Proc. Assoc. Advmt. Anim. Breed. Genet.* 18:580–583.

- Jakobsen J. H., Dürr J. W., Jorjani H., Forabosco F., Loberg A. and Philipsson J. 2010. Genotype by environment interactions in international genetic evaluation of dairy bulls. *Proc. Assoc. Advmt. Anim. Breed. Genet.* 18:133–142.
- Jensen J., Korsgaard I. R., Neerhof H. J., Vollema A., Madsen P., and Ducrocq V. 1999. Genetic variation in functional longevity and its relation to mastitis resistance in Danish Holstein. *Interbull, Bulletin* 21:161–165.
- Kaupe B., Brandtv H., Prinzenberg E-M. and Erhardt G. 2007. Joint analysis of the influence of CYP11B1 and DGAT1 genetic variation on milk production, somatic cell score, conformation, reproduction, and productive lifespan in German Holstein cattle. *J. Anim. Sci* 85:11–21.
- Kinghorn B. and Kinghorn S. 2009. Pedigree Viewer 6.3. Online. Available: <http://metz.une.edu.au/~bkinghor/pedigree.htm>.
- Koichi H., Yamato A., Mitsuyoshi S., Takayoshi K. 2005. Prediction of genetic trend for herd life of Holstein cows in Japan. *Nihon Chikusan Gakkaiho* 76 (2): 159-165.
- Kominakis A., Rogdakis E., Vasiloudis Ch., and Liaskos O. 2000. Genetic and environmental sources of variation of milk yield of Skopelos dairy goats. *Small Rumin. Res.* 36:1–5.
- Leboeuf B., Delgadillo J. A., Manfredi E., Piacère A., Clément V., Martin P., Pellicer M., Boué P., and de Cremoux R. 2008. Management of goat reproduction and insemination for genetic improvement in France. *Reprod. Dom. Anim.* 43(2):379–385.
- Mark F. 2004. Applied genetic evaluations for production and functional traits in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 87:2641–2652.

- Martinez G. E., Koch R. M., Cundiff L. V., Gregory K. E., and Van Vleck L. D. 2004. Genetic parameters for six measures of length of productive life and three measures of lifetime production by 6 yr after first calving for Hereford cows. *J. Anim. Sci.* 82:1912–1918.
- Moioli B., D’Andrea M., and Pilla F. 2007. Candidate genes affecting sheep and goat milk quality. *Small Rumin. Res.* 68:179–192.
- Montaldo H. H. and Manfredi E. 2002. Organisation of selection programmes for dairy goats. Communication N° 01 – 35 in Proc. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Montpellier, France. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Paris, France.
- Montaldo H. H., Valencia-Posadas M., Wiggans G. R., Shepard L., and Torres-Vázquez J. A. 2010. Genetic and environmental relationships between milk yield and kidding interval in dairy goats. *J. Dairy Sci.* 93:370–372.
- Mrode, R. A. 2005. Linear models for the prediction of animal breeding values. 2nd edition. CAB International, UK.
- Neerhof H. J., Madsen P., Ducrocq V. P., Vollema A. R., Jensen J., and Korsgaard I. R. 2000. Relationships between mastitis and functional longevity in Danish Black and White dairy cattle estimated using survival analysis. *J. Dairy Sci.* 83:1064–1071.
- Pérez M. A., Hernández D., Alenda R., Carabaño M. J. and Charfeddine N.. Genetic analysis of true profit for Spanish dairy cattle. Online. Available: www.interbull.slu.se/bulletins/bulletin23/perez.pdf
- Pérez-Cabal M. A. and Alenda R. 2003. Lifetime profit as an individual trait and prediction of its breeding values in Spanish Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 86:4115–4122.

- Pérez-Cabal M. A., García C., González-Recio O., and Alenda R. 2006. Genetic and phenotypic relationships among locomotion type traits, profit, production, longevity, and fertility in Spanish dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89:1776–1783.
- Pérez-Razo M., Sánchez F., Torres-Hernández G., Becerril-Pérez C., Gallegos-Sánchez J., González-Cosío F., and Meza-Herrera C. 2004. Risk factors associated with dairy goats stayability. *Livest. Prod. Sci.* 89:139–146.
- Piles M., Garreau H., Rafel O., Larzul C., Ramon J., and Ducrocq V. 2006. Survival analysis in two lines of rabbits selected for reproductive traits. *J. Anim. Sci.* 84:1658–1665.
- Riggio V., Maizon D. O., Portolano B., Bovenhuis H., and van Arendonk J. A. M. 2009. Effect of somatic cell count level on functional longevity in Valle del Belice dairy sheep assessed using survival analysis. *J. Dairy Sci.* 92:6160–6166.
- Rogers G. W., Banos G., Sander Nielsen U., and Philipsson J. 1998. Genetic correlations among somatic cell scores, productive life, and type traits from the United States and udder health measures from Denmark and Sweden. *J Dairy Sci* 81:1445–1453.
- Rupp R., Clément V., Piacere A., Robert-Granié C., and Manfredi E. 2011. Genetic parameters for milk somatic cell score and relationship with production and udder type traits in dairy Alpine and Saanen primiparous goats. *J. Dairy Sci.* 94:3629–3634.
- Samoré A. B., Rizzi R., Rossoni A., and Bagnato A. 2010. Genetic parameters for functional longevity, type traits, somatic cell scores, milk flow and production in the Italian Brown Swiss. *Ital. J. Anim. Sci.* 9(e28):145–152.

- Serenius T. and Stalder K. J. 2004. Genetics of length of productive life and lifetime prolificacy in the Finnish Landrace and Large White pig populations. *J. Anim. Sci.* 82:3111–3117.
- Sewalem A., Kistemaker G. J., Ducrocq V., and Van Doormaal B. J. 2005. Genetic analysis of herd life in Canadian dairy cattle on a lactation basis using a Weibull proportional hazards model. *J. Dairy Sci.* 88:368–375.
- Sewalem A., Kistemaker G. J., Miglior F., and Van Doormaal B. J. 2004. Analysis of the relationship between type traits and functional survival in Canadian Holsteins using a Weibull proportional hazards model. *J. Dairy Sci.* 87:3938–3946.
- Sewalem A., Miglior F., Kistemaker G. J., Sullivan P., Huapaya G., and Van Doormaal B. J. 2007. Modification of genetic evaluation of herd life from a three-trait to a five-trait model in Canadian dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 90:2025–2028.
- Short, T. H., and T. J. Lawlor. 1992. Genetic parameters for conformation traits, milk yield and herd life in Holsteins. *J. Dairy Sci.* 75:1987–1998.
- Shrestha J. N. B. and Fahmy M. H. 2007. Breeding goats for meat production. 2. Crossbreeding and formation of composite population. *Small Rumin. Res.* 67:93–112.
- Torrero G. Y. 2010. Estimación de covarianzas para características de longevidad y producción en cabras. MS Thesis. Universidad de Guanajuato. Irapuato, Gto. México.
- Torres-Vázquez J., Valencia P., Montaldo H. 2007. (Co)varianzas genéticas para producción de leche, grasa y proteína en cabras Saanen. *Commun. PRM014 in Proc. XX Reunión ALPA y XXX Reunión APPA-Cusco-Perú.*

- Torres-Vázquez J. A., Valencia-Posadas M., Castillo-Juárez H., and Montaldo H. H. 2009. Genetic and phenotypic parameters of milk yield, milk composition and age at first kidding in Saanen goats from Mexico. *Livest. Sci.* 126:147–153.
- Tsuruta S., Misztal I., and Lawlor T. J. 2004. Genetic correlations among production, body size, udder, and productive life traits over time in Holsteins. *J. Dairy Sci.* 87:1457–1468.
- Tsuruta S., Misztal I., and Lawlor T. J. 2005. Changing definition of productive life in US Holsteins: Effect on genetic correlations. *J. Dairy Sci.* 88:1156–1165.
- USDA. 2007. Description of national genetic evaluation systems. Accessed February 29, 2012. <http://aipl.arsusda.gov>.
- Valencia P. M., Dobler J., and Montaldo H. H. 2007a. Genetic and phenotypic parameters for lactation traits in a flock of Saanen goats in Mexico. *Small Rumin. Res.* 68:318–322.
- Valencia P. M., Torres V. J. A., y Montaldo V. H. H. 2007b. Evaluación genética para características de producción en cabras del estado de Guanajuato. Pages 155 – 157 in *Proc. XXII Reunión Nacional sobre Caprinocultura*. Zacatecas, Zac. México.
- Valencia P. M., Torres-Vázquez J. A., y Montaldo H. H. 2007c. Heredabilidades y repetibilidades para características de producción en cabras lecheras de México. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 15(1):324.
- Valencia P. M., Montaldo V. H. H., y Ruíz L. F. de J. 2008. Parámetros genéticos para características de conformación, habilidad de permanencia y producción de leche en ganado Holstein en México. *Téc. Pec. Mex.* 46(3):235–248.
- Valencia-Posadas M., Torrero-Garza Y., Vicencio-Reyes C. V., Shepard, L., y Montaldo H. H. 2010. Relaciones fenotípicas entre características de

- conformación con la habilidad de permanencia a los 36 meses en cabras Alpinas. *Acta Universitaria* 20(3):40–44.
- Van Bebber J., Reinsch N., Junge W., Kalm E. 1997. Accounting for herd, year and season effects in genetic evaluations of dairy cattle: a review. *Livest. Prod. Sci.* 51: 191-203.
- Van der Werf J. 2007. MTINDEX program. Available: <http://www.personal.une.edu.au/~jvanderw/software.htm>.
- VanRaden P. M. and Klaaskate E. J. H. 1993. Genetic evaluation of length of productive life including predicted longevity of live cows. *J. Dairy Sci.* 76:2758–2764.
- VanRaden P.M, Dematawewa C. M. B., Pearson R. E., and Tooker M. E. 2006. Productive life including all lactations and longer lactations with diminishing credits. *J. Dairy Sci.* 89:3213–3220.
- Vicencio R. C. V. 2009. Correlaciones genéticas entre características de conformación y habilidades de permanencia en cabras lecheras. MS Thesis. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, Ags. México.
- Vollema A. R., Van Der Beek S., Harbers A.G.F., and De Jong G. 2000. Genetic evaluation for longevity of Dutch dairy bulls. *J Dairy Sci* 83:2629–2639.
- Vukasinovic N., Moll J., and Künzi N. 1997. Analysis of productive life in Swiss Brown cattle. *J. Dairy Sci.* 80:2372–2579.
- Weppert M. and Hayes J. F. 2004. Direct genetic and maternal genetic influences on first lactation production in four breeds of dairy goats. *Small Rumin. Res.* 52:173–178.
- Wiggans G. R. and Hubbard S. M. 2001. Genetic evaluation of yield and type traits of dairy goats in the United States. *J. Dairy Sci.* 84(E. Suppl.):E69–E73.

**5. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS PARA VIDA
PRODUCTIVA, VIDA PRODUCTIVA FUNCIONAL Y CARACTERÍSTICAS
DE CONFORMACIÓN EN CABRAS LECHERAS**

5.1. RESUMEN

Se obtuvieron los estimados de heredabilidad y las relaciones genéticas y fenotípicas para 13 características lineales de conformación más la calificación final con la vida productiva, real y funcional, a los 72 meses de edad en cabras lecheras mediante el empleo del modelo animal. Se utilizó la información de 33,725 cabras hijas de 9,716 sementales y 24,474 madres para vida productiva, real y funcional, a los 72 meses de edad, además de las calificaciones para estatura (EST), fortaleza (FORT), aptitud lechera (AL), diámetro del pezón (DP), vista lateral de patas traseras (VLPT), ángulo de la grupa (AG), ancho de la grupa (AG2), ligamento anterior de la ubre (LAU), altura posterior de la ubre (APU), arco posterior de la ubre (APU2), profundidad de la ubre (PU), ligamento suspensorio (LS), colocación del pezón (CP), y calificación final de tipo (CF). La vida productiva se definió como el total de días registrados en producción hasta los 72 meses de edad (VP72). La vida productiva funcional (VPF72), se obtuvo corrigiendo la VP72 para las producciones de leche, grasa y proteína de la primera lactancia (PLe, PGe, PPe), así como para la calificación final de tipo (CF). Los principales criterios que determinaron el desecho de una cabra del hato, fueron las bajas PLe y PGe por lactancia, además de una baja CF. Los estimados de heredabilidad fueron 0.22, 0.17, 0.23, 0.17, 0.08, 0.28, 0.21, 0.17, 0.16, 0.24, 0.25, 0.23, 0.24, 0.23, 0.33 y 0.23 para VP72, VPF72, CF, EST, FORT, AL, DP, VLPT, AG, AG2, LAU, APU, APU2, PU, LS y CP, respectivamente. Las correlaciones genéticas entre las características de conformación y vida productiva estuvieron en el rango de -0.006 a

0.54 para VP72, y de -0.10 a 0.51 para VPF72. Las correlaciones genéticas más altas fueron entre VP72 y CF (0.54) y entre VPF72 y CF (0.51), seguidas de las correlaciones genéticas para VP72 con LAU (0.34) y AG2 (0.33), y para VPF72 con LAU (0.34) y AG2 (0.29) . Las correlaciones fenotípicas entre las características evaluadas y vida productiva fueron, en su mayoría, positivas y estuvieron en el rango de -0.01 a 0.26 para VP72 y de -0.02 a 0.24 para VPF72. La CF, LAU y AG2 pueden ser utilizadas como criterios de selección para mejorar indirectamente la vida productiva en cabras lecheras, ya que fueron las características más relacionadas con la vida productiva, real y funcional, además de esto, sus estimados de heredabilidad (0.23 a 0.25) permiten tener mejores respuestas a la selección.

Palabras clave: Vida productiva, características de conformación, heredabilidad, correlación genética.

5.2. INTRODUCCIÓN

Las características de producción de leche, conformación (Montaldo y Manfredi, 2002) y longevidad (Pérez-Razo et al., 2004) son algunos de los posibles criterios de selección en las cabras lecheras. El mejoramiento genético de las características de producción de leche y de conformación es más fácil de lograr, en comparación con el incremento en longevidad, que es, en cierta manera, difícil de alcanzar debido a que, además de tener baja heredabilidad (Sewalem et al., 2004), por naturaleza, la longevidad puede ser medida a edad muy avanzada. Sin embargo, mediante el empleo de información de características genéticamente correlacionadas con la longevidad se puede obtener un incremento importante en la longevidad (Lassen et al., 2007).

La longevidad es una característica de gran importancia económica, ya que combina todas las características asociadas a la permanencia de un animal en el hato, y logra incrementar el promedio de vida de un hato, disminuyendo la necesidad de

reemplazos (Tsuruta et al., 2005; Sewalem et al., 2007). Las características más utilizadas como criterio de selección indirecta para longevidad son las características de producción de leche y de conformación, que además de poder medirse a edad más temprana, son más heredables que la longevidad (Sewalem et al., 2004).

La longevidad o vida productiva de un animal puede ser real o funcional. En vacas, la vida productiva real, es definida principalmente como el tiempo desde el primer parto hasta el desecho o la muerte (Sewalem et al., 2004), sin embargo, existen varias definiciones, entre las que están: número de días del primer parto hasta la muerte o el desecho (VanRaden et al., 2006; Sewalem et al., 2007), total de días en producción (VanRaden y Klaaskate, 1993); habilidad de permanencia a diferentes edades (Jakobsen et al., 2010), ó a determinado número de parto (Martinez et al., 2004), meses en producción hasta determinada edad (VanRaden et al., 2006) y número de lactancias registradas (Pérez-Cabal et al., 2006). La vida productiva funcional se define como la capacidad de evitar el desecho involuntario ocasionado por problemas de salud o reproductivos, y para obtenerla, en los modelos estadísticos usados para la evaluación genética de longevidad, se incluyen como covariables las características usadas potencialmente como criterios de desecho voluntario (por ejemplo: producción de leche, grasa y proteína de la primera lactancia, y calificación final de tipo) (Mark, 2004).

A pesar de la gran importancia que tiene incrementar el tiempo de vida promedio de un hato, la longevidad en cabras, es una característica poco estudiada y, hasta ahora, no utilizada en la evaluación genética. Los estudios de longevidad realizados en cabras, utilizan la habilidad de permanencia a determinada edad o a determinado número de parto como medida de vida productiva y, al igual que se ha hecho en bovinos, se ha estudiado la relación de las características de producción de leche, reproducción o de conformación con la habilidad de permanencia (Vicencio, 2009; Valencia-Posadas et

al., 2010; Pérez-Razo et al., 2004) con el fin de encontrar medidas que, además de poder obtenerse a edad temprana, sean indicativas de una larga vida productiva y utilizarlas en la selección indirecta, tal como se hace en bovinos en EEUU (VanRaden y Klaaskate, 1993), evitando así la espera excesiva que implicaría la selección directa (Martinez et al., 2004; Tsuruta et al., 2005).

En cabras, dentro de las características de conformación más relacionadas con habilidad de permanencia están las características de la ubre, de cadera, estatura y el carácter lechero (Vicencio, 2009; Valencia-Posadas et al., 2010). Sin embargo, el uso de habilidad de permanencia como medida de longevidad en cabras, únicamente indica la presencia o ausencia de la cabra, por lo tanto no proporcionan información cuantitativa del tiempo que una cabra fue productiva (vida productiva). Y por consiguiente, la relación genética y fenotípica mostrada en vacas entre las características de conformación y vida productiva, no se ha probado en cabras lecheras. El objetivo de este estudio fue estimar las heredabilidades y las correlaciones genéticas y fenotípicas entre vida productiva, real y funcional, a los 72 meses y 13 características lineales de conformación comúnmente evaluadas en cabras lecheras, más la calificación final de conformación.

5.3. MATERIALES Y MÉTODOS

5.3.1. Datos

Se utilizaron registros proporcionados por la American Dairy Goat Association (ADGA). Se consideraron calificaciones para características de conformación, del periodo de 1988 a 2005, así como registros de producción de leche (**PLe**), producción de grasa (**PGe**) y producción de proteína (**PPe**) de la primera lactancia corregidas a 305 d y equivalente maduro, y estandarizadas del periodo de 1973 a 2004. la información correspondió a las razas Alpina, La Mancha, Nubia, Saanen y Toggenburg. El archivo

contenía información para la fecha de apreciación, calificación final (**CF**), que permite evaluar en forma general la conformación del animal, y 13 características lineales ajustadas para la edad al momento de la evaluación. Las características lineales fueron: estatura (**EST**), fortaleza (**FORT**), aptitud lechera (**AL**), diámetro del pezón (**DP**), vista lateral de patas traseras (**VLPT**), ángulo de la grupa (**AG**), ancho de la grupa (**AG2**), ligamento anterior de la ubre (**LAU**), altura posterior de la ubre (**APU**), arco posterior de la ubre (**APU2**), profundidad de la ubre (**PU**), ligamento suspensorio (**LS**), y colocación del pezón (**CP**).

Las 13 características lineales fueron calificadas en una escala del 1 al 50, mientras que la escala para CF fue de 50 a 99 puntos (Wiggans, 2006), por lo que las calificaciones fuera de estos rangos, se consideraron como perdidas. Si una cabra tenía más de una evaluación para conformación, se tomó únicamente la primera de éstas.

La base de datos final contenía información de 14 calificaciones de conformación, PLe, PGe y PPe para 11,739 cabras hijas de 3,856 sementales y 8,556 madres. Del archivo original del pedigrí se eliminaron los individuos que no tenían información de raza, identificación o fecha de nacimiento. Posteriormente, el pedigrí se ordenó generacionalmente y se recodificó utilizando el programa Pedigree Viewer 6.3 (Kinghorn y Kinghorn, 2009) quedando 209,530 individuos con información completa en el archivo final.

Se calculó la edad del animal como la diferencia entre la última fecha de parto y la fecha de nacimiento más los días en producción (los últimos registrados). Posteriormente se calculó la vida productiva (**VP**) a los 48, 60 y 72 meses (**VP48**, **VP60** y **VP72**, respectivamente), utilizada como medida de longitud de la vida útil de la cabra. La VP se definió como el total de días registrados en producción (VanRaden y Klaaskate, 1993) hasta el punto en que la cabra tuviera 48, 60, y 72 meses de edad.

Para obtener la VP, se determinó si, en función de las fechas de registro del hato al que pertenecía, la cabra tuvo la oportunidad de permanecer en el hato a las tres diferentes edades y se calculó de la siguiente forma:

Último registro del hato – Fecha de nacimiento \geq 48, 60 ó 72 meses

Si la cabra no tuvo la oportunidad de permanecer en el hato a los 48, 60 ó 72 meses, la VP se definió como valor perdido y no se incluyó en el archivo de análisis. Mientras que, si la cabra tuvo la oportunidad de permanecer en el hato, su VP fue la suma de los días en producción de leche registrados (con un máximo de 305 días) hasta la edad correspondiente (48, 60 ó 72 meses).

La vida productiva funcional (**VPF**) se obtuvo corrigiendo la VP para PLe, PGe, PPe y CF (Sewalem et al., 2004) para obtener estimados de parámetros genéticos de VPF a los 48, 60 o 72 meses (**VPF48**, **VPF60** y **VPF72**, respectivamente).

Se analizaron dieciséis características: CF, EST, FORT, AL, DP, VLPT, AG, AG2, LAU, APU, APU2, PU, LS, CP, VP72 y VPF72.

5.3.2. Modelo

Debido a que, por la estacionalidad reproductiva de esta especie, los nacimientos se concentraron en algunos meses del año, se establecieron cuatro épocas de nacimiento (**EN**): Marzo, Abril, Mayo–Julio, y Agosto–Febrero con el fin de buscar un equilibrio en el número de observaciones. Al combinar la EN y la raza (Alpina, La Mancha, Nubia, Saanen y Toggenburg), se obtuvieron 20 clases de época de nacimiento-raza (**ENRA**) para posteriormente ser utilizado como efecto fijo en el modelo de análisis de VP y VPF.

El modelo utilizado para la estimación de los parámetros genéticos para las variables de conformación (CF, EST, FORT, AL, DP, VLPT, AG, AG2, LAU, APU, APU2, PU, LS y CP) incluyó el efecto hato-mes de calificación-raza (**HAMCRA**)

como efecto aleatorio, mientras que para las características de longevidad (VP y VPF), el efecto aleatorio considerado fue hato-año de nacimiento-raza (**HANRA**). Sólo se incluyeron los niveles que tenían ≥ 5 observaciones, quedando al final de la edición 1,030 y 859 niveles para HAMCRA y HANRA, respectivamente. En todas las variables se incluyó el efecto aleatorio de hato-semental (**HASE**).

Las variables se analizaron utilizando el modelo animal univariado para estimar las varianzas fenotípicas, genéticas aditivas y residuales, empleando el programa ASReml 3.0 (Gilmour et al., 2009). El modelo utilizado, representado en notación matricial (i.e. Mrode, 2005), fue el siguiente:

$$\mathbf{y} = \mathbf{Xb} + \mathbf{Zu} + \mathbf{e}$$

donde:

\mathbf{y} , es el vector de observaciones de las características estudiadas.

\mathbf{X} , es la matriz de incidencia de efectos fijos (sólo VP y VPF).

\mathbf{b} , es el vector de efectos fijos.

$\mathbf{Z} = [\mathbf{Z}_1 | \mathbf{Z}_2 | \mathbf{Z}_3]$, es la matriz de incidencia de los efectos

aleatorios, donde \mathbf{Z}_1 , \mathbf{Z}_2 y \mathbf{Z}_3 , representan las matrices de los efectos genéticos aditivos del animal, HAMCRA ó HANRA y HASE, respectivamente.

$\mathbf{u} = \mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2, \mathbf{u}_3$, es el vector de efectos aleatorios de los efectos genéticos aditivos del animal (\mathbf{u}_1), HAMCRA ó HANRA (\mathbf{u}_2), y HASE (\mathbf{u}_3), respectivamente.

\mathbf{e} , es el vector del error aleatorio.

Se asumió la convergencia de los análisis cuando el cambio en la función de verosimilitud restringida fue menor a 0.002 y el cambio en los estimados de los parámetros fue menor a 1% (Gilmour et al., 2009).

El modelo para VPF incluyó en el modelo PLe, PGe, PPe y CF como covariables (Sewalem et al., 2004), mientras que para VP no se incluyeron covariables.

5.3.3. Parámetros genéticos

5.3.3.1. Heredabilidad. Para el cálculo de la heredabilidad dentro de hato-raza, se estimaron la varianza total y la varianza fenotípica de la siguiente manera:

Varianza total:

$$\hat{\sigma}_t^2 = \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_{HR}^2 + \hat{\sigma}_{HS}^2 + \hat{\sigma}_e^2$$

donde:

$\hat{\sigma}_t^2$: Varianza total estimada.

$\hat{\sigma}_a^2$: Varianza genética aditiva estimada del animal.

$\hat{\sigma}_{HR}^2$: Varianza HAMCRA ó HANRA estimada, según la variable estudiada.

$\hat{\sigma}_{HS}^2$: Varianza del efecto HASE estimada.

$\hat{\sigma}_e^2$: Varianza del error estimada.

Varianza fenotípica:

$$\hat{\sigma}_f^2 = \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_{HS}^2 + \hat{\sigma}_e^2$$

donde:

$\hat{\sigma}_f^2$: Varianza fenotípica estimada.

$\hat{\sigma}_a^2, \hat{\sigma}_{HS}^2, \hat{\sigma}_e^2$: Términos descritos anteriormente.

Proporción hato-año-raza (**PHAR**). Se calculó la proporción que tiene $\hat{\sigma}_{HR}^2$ con respecto de la $\hat{\sigma}_t^2$ con el fin de estimar la contribución de dicho efecto:

$$PHAR = \frac{\hat{\sigma}_{HR}^2}{\hat{\sigma}_t^2}$$

donde:

PHAR : Proporción de la varianza hato-año-raza.

$\hat{\sigma}_{HR}^2$: Varianza HAMCRA ó HANRA estimada, según la variable estudiada.

$\hat{\sigma}_t^2$: Varianza total estimada.

Proporción hato-semental (**PHS**). Para estimar la contribución del efecto HASE, se calculó la proporción que tiene $\hat{\sigma}_{HS}^2$ con respecto de la $\hat{\sigma}_t^2$:

$$PHS = \frac{\hat{\sigma}_{HS}^2}{\hat{\sigma}_t^2}$$

donde:

PHS : Proporción de la varianza hato-año-raza.

$\hat{\sigma}_{HS}^2$: Varianza del efecto HASE estimada.

$\hat{\sigma}_t^2$: Varianza total estimada.

Habiendo determinado las varianzas, total y fenotípica, la heredabilidad fue estimada mediante la siguiente fórmula:

$$\hat{h}^2 = \frac{\hat{\sigma}_a^2}{\hat{\sigma}_f^2}$$

donde:

\hat{h}^2 : Heredabilidad estimada.

$\hat{\sigma}_a^2$: Varianza genética aditiva estimada.

$\hat{\sigma}_f^2$: Varianza fenotípica estimada.

5.3.3.2. Correlaciones genéticas y fenotípicas. Las correlaciones genéticas (r_g) y fenotípicas (r_f) entre las características evaluadas se obtuvieron utilizando análisis bivariados (i.e. Mrode, 2005) que incluían los mismos efectos incluidos en los modelos univariados mencionados anteriormente. El análisis se realizó utilizando el programa ASReml 3.0 (Gilmour et al., 2009). La r_g se estimó utilizando la siguiente fórmula:

$$r_{g_{12}} = \frac{\sigma_{a_{12}}}{\sigma_{a_{11}} \sigma_{a_{22}}}$$

donde:

$r_{g_{12}}$: Correlación genética entre la característica 1 y 2.

$\hat{\sigma}_{a_{12}}$: Covarianza genética aditiva de las características 1 y 2.

$\hat{\sigma}_{a_{11}}$: Desviación estándar genética aditiva de la característica 1.

$\hat{\sigma}_{a_{22}}$: Desviación estándar genética aditiva de la característica 2.

La r_f fue estimada mediante la siguiente fórmula:

$$r_{f_{12}} = \frac{\sigma_{f_{12}}}{\sigma_{f_{11}} \sigma_{f_{22}}}$$

donde:

$r_{f_{12}}$: Correlación fenotípica entre la característica 1 y 2.

$\hat{\sigma}_{f_{12}}$: Covarianza fenotípica de las características 1 y 2.

$\hat{\sigma}_{f_{11}}$: Desviación estándar fenotípica de la característica 1.

$\hat{\sigma}_{f_{22}}$: Desviación estándar fenotípica de la característica 2.

Para probar si r_g y r_f fueron diferentes de cero, se estimaron sus intervalos de confianza con un nivel de significancia del 95% utilizando el paquete para R Psychometrics (Fletcher, 2010).

5.4. RESULTADOS

El promedio de VP48 y VP60 fue de 451.49 días y 527.67 días, respectivamente, mientras que para VP72 fue de 579.45 días, con valores que variaron de 32.03 días a 1560.99 días (Cuadro 5.1). Debido a que, en análisis preeliminares, VP72 tuvo las más altas r_g y r_f con VP48 (0.96 ± 0.007 y 0.89 ± 0.001 , respectivamente) y VP60 (0.99 ± 0.001 y 0.97 ± 0.0004 , respectivamente), indicando que con cualquiera de ellas se obtendrán resultados similares, en este estudio se decidió utilizar únicamente VP72 porque al ser calculada a una edad más avanzada, puede reflejar mejor la longevidad de una cabra.

La longevidad de una cabra, depende de la cantidad de leche y grasa producida, así como de la apariencia general de la cabra, ya que en el modelo de análisis para VPF72 fueron estas covariables (PL, PG y CF) las que resultaron significativas ($P < 0.01$), demostrando así que la probabilidad de que una cabra sea desechada de un ható voluntariamente, incrementa cuando su PL, PG ó CF son bajas.

Cuadro 5.1. Estadísticas descriptivas de las variables analizadas.

Variable	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	CV (%)
Vida productiva a los 72 meses (días)	21811	579.45	364.78	32.03	1560.99	62.95
Calificación final (puntos)	11739	83.81	4.13	58.18	95.11	4.92
Estatura (puntos)	11739	27.64	9.00	1.04	49.68	32.56
Fortaleza (puntos)	11739	28.80	4.54	7.51	49.38	15.77
Aptitud lechera (puntos)	11739	32.83	4.18	4.98	48.77	12.72
Diámetro del pezón (puntos)	11739	23.07	6.92	2.65	49.11	30.02
Vista lateral de patas traseras (puntos)	11739	26.71	3.52	5.10	43.29	13.18
Ángulo de la grupa (puntos)	11739	31.49	6.33	4.60	49.96	20.11
Ancho de la grupa (puntos)	11739	27.00	4.54	2.10	49.51	16.83
Ligamento anterior de la ubre (puntos)	11739	31.58	4.87	4.07	49.69	15.42
Altura posterior de la ubre (puntos)	11739	34.80	6.16	3.01	49.95	17.70
Arco posterior de la ubre (puntos)	11739	22.45	6.34	1.93	47.41	28.23

Cuadro 5.1. (continuación)

Variable	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	CV (%)
Profundidad de la ubre (puntos)	11739	31.41	5.90	2.29	49.89	18.79
Ligamento suspensorio (puntos)	11739	27.09	5.37	2.02	49.49	19.83
Colocación del pezón (puntos)	11739	18.10	8.22	1.00	49.79	45.45

Los promedios para las calificaciones de conformación fueron 83.81 puntos, 27.64 puntos, 28.80 puntos, 32.83 puntos, 23.07 puntos, 26.71 puntos, 31.49 puntos, 27.00 puntos, 31.58 puntos, 34.80 puntos, 22.45 puntos, 31.41 puntos, 27.09 puntos y 18.10 puntos para CF, EST, FORT, AL, DP, VLPT, AG, AG2, LAU, APU, APU2, PU, LS y CP, respectivamente (Cuadro 5.1).

5.4.1. Parámetros genéticos

Las varianzas (totales, fenotípicas y genéticas aditivas), PHAR, heredabilidades y PHS, con respecto de la varianza total, para las características evaluadas se muestran en el Cuadro 5.2. Los estimados de heredabilidad para VP fueron 0.22 ± 0.01 y 0.17 ± 0.01 para VP72 y VPF72, respectivamente.

Los estimados de heredabilidad para CF, EST, FORT, AL, DP, VLPT, AG, AG2, LAU, APU, APU2, PU, LS y CP fueron 0.23 ± 0.02 , 0.17 ± 0.02 , 0.08 ± 0.02 , 0.28 ± 0.02 , 0.21 ± 0.02 , 0.17 ± 0.02 , 0.16 ± 0.02 , 0.24 ± 0.02 , 0.25 ± 0.02 , 0.23 ± 0.03 , 0.24 ± 0.03 , 0.23 ± 0.03 , 0.33 ± 0.02 y 0.23 ± 0.02 , respectivamente.

La PHAR estuvo entre 0.19 y 0.34 para las características de conformación, siendo de 0.34, 0.31, 0.30, 0.25, 0.21, 0.29, 0.29, 0.26, 0.27, 0.34, 0.24, 0.21, 0.19 y 0.34 para CF, EST, FORT, AL, DP, VLPT, AG, AG2, LAU, APU, APU2, PU, LS y CP, respectivamente, y fue de 0.07 y 0.14 para VP72 y VPF72, respectivamente.

La proporción, con respecto a la varianza total, del efecto HASE fue de 0.04 y 0.05 para VP72 y VPF72, respectivamente. La proporción del efecto HASE estuvo entre 0.05 y 0.17, y fue mayor en la mayoría de las características de conformación, en comparación con las características de VP. La proporción del efecto HASE fue de 0.09, 0.13, 0.14, 0.08, 0.11, 0.17, 0.13, 0.06, 0.07, 0.05, 0.09, 0.06, 0.07 y 0.09 para CF, EST, FORT, AL, DP, VLPT, AG, AG2, LAU, APU, APU2, PU, LS y CP, respectivamente.

Cuadro 5.2. Varianzas (\pm desviación estándar) total, fenotípica y genética aditiva, y heredabilidad (\pm error estándar) de las variables estudiadas.

Característica	Varianza total ¹ $\hat{\sigma}_t^2$	Varianza fenotípica ² $\hat{\sigma}_f^2$	Varianza genética aditiva $\hat{\sigma}_a^2$	Proporción ³ HAR ⁴ (PHAR)	Heredabilidad ⁵ h^2	Proporción ⁶ HS ⁷ (PHS)
Vida productiva a los 72 meses (días)	130710 \pm 1405.90	121030 \pm 1305.80	27505 \pm 2077.70	0.07 \pm 0.007	0.22 \pm 0.01	0.04 \pm 0.008
Vida productiva funcional a los 72 meses (días)	122770 \pm 1460.00	104980 \pm 1138.60	18536 \pm 1803.90	0.14 \pm 0.008	0.17 \pm 0.01	0.05 \pm 0.009
Calificación final (puntos)	80.24 \pm 1.69	52.72 \pm 0.79	11.95 \pm 1.44	0.34 \pm 0.01	0.23 \pm 0.02	0.09 \pm 0.01
Estatura (puntos)	21.01 \pm 0.42	14.34 \pm 0.21	2.46 \pm 0.38	0.31 \pm 0.01	0.17 \pm 0.02	0.13 \pm 0.01
Fortaleza (puntos)	18.06 \pm 0.36	12.55 \pm 0.19	1.07 \pm 0.31	0.30 \pm 0.01	0.08 \pm 0.02	0.14 \pm 0.01
Aptitud lechera (puntos)	48.20 \pm 0.89	36.30 \pm 0.55	10.29 \pm 1.02	0.25 \pm 0.01	0.28 \pm 0.02	0.08 \pm 0.01

¹ Varianza total = Varianza HR⁴ + Varianza genética aditiva + Varianza HS⁶ + Varianza residual.

² Varianza fenotípica = Varianza genética aditiva + Varianza HS⁶ + Varianza residual.

³ Proporción de la varianza de este efecto con respecto a la varianza total (PHAR = Varianza HR⁴ / Varianza total).

⁴ Hato – mes de calificación – raza para calificaciones de conformación; hato – año de nacimiento – raza para VP72 y VPF72.

⁵ $h^2 = \sigma_a^2 / \sigma_f^2$.

⁶ Proporción del efecto hato – semental = Varianza HS / Varianza fenotípica.

⁷ Efecto hato – semental.

Cuadro 5.2. (continuación)

Característica	Varianza total ¹ $\hat{\sigma}_t^2$	Varianza fenotípica ² $\hat{\sigma}_f^2$	Varianza genética aditiva $\hat{\sigma}_a^2$	Proporción ³ HAR ⁴ (PHAR)	Heredabilidad ⁵ h^2	Proporción ⁶ HS ⁷ (PHS)
Diámetro del pezón (puntos)	12.80 ± 0.22	10.12 ± 0.15	2.10 ± 0.27	0.21 ± 0.01	0.21 ± 0.02	0.11 ± 0.01
Vista lateral de patas traseras (puntos)	40.62 ± 0.80	28.73 ± 0.44	4.90 ± 0.76	0.29 ± 0.01	0.17 ± 0.02	0.17 ± 0.01
Ángulo de la grupa (puntos)	20.30 ± 0.39	14.32 ± 0.21	2.36 ± 0.38	0.29 ± 0.01	0.16 ± 0.02	0.13 ± 0.01
Ancho de la grupa (puntos)	23.07 ± 0.43	16.99 ± 0.25	4.15 ± 0.48	0.26 ± 0.01	0.24 ± 0.02	0.06 ± 0.01
Ligamento anterior de la ubre (puntos)	37.31 ± 0.71	27.29 ± 0.41	6.76 ± 0.77	0.27 ± 0.01	0.25 ± 0.02	0.07 ± 0.01
Altura posterior de la ubre (puntos)	39.76 ± 0.83	26.26 ± 0.39	6.05 ± 0.73	0.34 ± 0.01	0.23 ± 0.03	0.05 ± 0.01
Arco posterior de la ubre (puntos)	34.82 ± 0.63	26.48 ± 0.40	6.26 ± 0.74	0.24 ± 0.01	0.24 ± 0.03	0.09 ± 0.01

¹ Varianza total = Varianza HR⁴ + Varianza genética aditiva + Varianza HS⁶ + Varianza residual.

² Varianza fenotípica = Varianza genética aditiva + Varianza HS⁶ + Varianza residual.

³ Proporción de la varianza de este efecto con respecto a la varianza total (PHAR = Varianza HR⁴ / Varianza total).

⁴ Hato – mes de calificación – raza para calificaciones de conformación; hato – año de nacimiento – raza para VP72 y VPF72.

⁵ $h^2 = \sigma_a^2 / \sigma_f^2$.

⁶ Proporción del efecto hato – semental = Varianza HS / Varianza fenotípica

⁷ Efecto hato – semental.

Cuadro 5.2. (continuación)

Característica	Varianza total ¹ $\hat{\sigma}_t^2$	Varianza fenotípica ² $\hat{\sigma}_f^2$	Varianza genética aditiva $\hat{\sigma}_a^2$	Proporción ³ HAR ⁴ (PHAR)	Heredabilidad ⁵ h^2	Proporción ⁶ HS ⁷ (PHS)
Profundidad de la ubre (puntos)	29.04 ± 0.50	22.93 ± 0.34	5.32 ± 0.62	0.21 ± 0.01	0.23 ± 0.03	0.06 ± 0.01
Ligamento suspensorio (puntos)	67.36 ± 1.14	54.73 ± 0.84	18.28 ± 1.54	0.19 ± 0.01	0.33 ± 0.02	0.07 ± 0.01
Colocación del pezón (puntos)	80.24 ± 1.69	52.72 ± 0.79	11.95 ± 1.44	0.34 ± 0.01	0.23 ± 0.02	0.09 ± 0.01

¹ Varianza total = Varianza HR⁴ + Varianza genética aditiva + Varianza HS⁶ + Varianza residual.

² Varianza fenotípica = Varianza genética aditiva + Varianza HS⁶ + Varianza residual.

³ Proporción de la varianza de este efecto con respecto a la varianza total (PHAR = Varianza HR⁴ / Varianza total).

⁴ Hato – mes de calificación – raza para calificaciones de conformación; hato – año de nacimiento – raza para VP72 y VPF72.

⁵ $h^2 = \sigma_a^2 / \sigma_f^2$.

⁶ Proporción del efecto hato – semental = Varianza HS / Varianza fenotípica

⁷ Efecto hato – semental.

5.4.2. Correlaciones genéticas y fenotípicas

La mayoría de las r_g y r_f (Cuadro 5.3) entre las características de conformación y VP72 resultaron significativas ($P < 0.05$), excepto las r_g entre VP72 y FORT (-0.003), VLPT (0.01) y AG (0.02), y las r_f entre VP72 y EST (-0.02), FORT (-0.03), DP (-0.01), VLPT (0.01), LS (-0.02) y CP (0.001), las cuales estuvieron dentro de las r_g y r_f más bajas.

Para VPF72, únicamente la r_g entre VPF72 y AG (0.02) y las r_f entre VPF72 y FORT (-0.02), AL (0.02), VLPT (0.02), AG (-0.04), PU (-0.02) y CP (0.005) no fueron diferentes de cero ($P > 0.05$).

La CF tuvo las mayores r_g y r_f con VP72 (0.54 y 0.26, respectivamente) y VPF72 (0.51 y 0.24, respectivamente), convirtiéndose en la característica más relacionada genética y fenotípicamente con la VP de las cabras.

Después de la CF, también el LAU y el AG2 mostraron altas r_g con VP72 (0.34 y 0.33, respectivamente) y VPF72 (0.34 y 0.29, respectivamente); además de éstas, la PU, también tuvo alta r_g con VPF72 (0.23). Las r_g más bajas fueron entre VP72 y FORT (-0.003), VLPT (0.01), AG (0.02), DP (0.03) y LS (0.06), y entre VPF72 y DP (-0.03) y AG (0.02).

Las r_f más altas, además de la r_f entre VP72 ó VPF72 y CF, fueron las r_f estimadas entre VP72 ó VPF72 y AG2 (0.14 y 0.10, respectivamente), LAU (0.13 y 0.13, respectivamente) y APU2 (0.13 y 0.11, respectivamente), mientras que las r_f más bajas obtenidas fueron entre DP y VP72 (0.001) ó VPF72 (0.005).

Cuadro 5.3. Correlaciones genéticas y fenotípicas y sus intervalos de confianza¹ entre las características de conformación con vida productiva y vida productiva funcional a los 72 meses.

	Correlaciones genéticas		Correlaciones fenotípicas	
	Vida productiva a los 72 meses	Vida productiva funcional a los 72 meses	Vida productiva a los 72 meses	Vida productiva funcional a los 72 meses
Calificación final	0.54 ± 0.08 (0.52 – 0.55)	0.51 ± 0.09 (0.49 – 0.52)	0.26 ± 0.01 (0.24 – 0.28)	0.24 ± 0.01 (0.22 – 0.26)
Estatura	0.19 ± 0.08 (0.16 – 0.21)	0.13 ± 0.09 (0.10 – 0.15)	-0.02 ± 0.01 (-0.04 – 0.003)	-0.03 ± 0.01 (-0.05 – (-0.007))
Fortaleza	-0.003 ± 0.08 (-0.03 – 0.02)	-0.10 ± 0.10 (-0.12 – (-0.08))	-0.01 ± 0.01 (-0.03 – 0.01)	-0.02 ± 0.01 (-0.04 – 0.003)
Aptitud lechera	0.13 ± 0.12 (0.11 – 0.15)	0.08 ± 0.14 (0.05 – 0.10)	0.03 ± 0.01 (0.007 – 0.05)	0.02 ± 0.01 (-0.003 – 0.04)
Diámetro del pezón	0.03 ± 0.07 (0.007 – 0.05)	-0.03 ± 0.08 (-0.05 – (-0.007))	-0.01 ± 0.01 (-0.03 – 0.01)	-0.03 ± 0.01 (-0.05 – (-0.007))

¹Intervalos de confianza al 95% entre paréntesis.

Cuadro 5.3. (continuación)

	Correlaciones genéticas		Correlaciones fenotípicas	
	Vida productiva a los 72	Vida productiva	Vida productiva a los 72	Vida productiva funcional
	meses	funcional a los 72 meses	meses	a los 72 meses
Vista lateral de patas traseras	0.01 ± 0.08 (-0.01 – 0.03)	0.09 ± 0.09 (0.07 – 0.11)	0.01 ± 0.01 (-0.01 – 0.03)	0.02 ± 0.01 (-0.003 – 0.04)
Ángulo de la grupa	0.02 ± 0.09 (-0.003 – 0.04)	0.02 ± 0.10 (-0.003 – 0.04)	-0.06 ± 0.01 (-0.08 – (-0.04))	-0.04 ± 0.01 (-0.06 – (-0.01))
Ancho de la grupa	0.33 ± 0.08 (0.31 – 0.35)	0.29 ± 0.10 (0.27 – 0.31)	0.14 ± 0.01 (0.12 – 0.16)	0.10 ± 0.01 (0.08 – 0.12)
Ligamento anterior de la ubre	0.34 ± 0.07 (0.32 – 0.36)	0.34 ± 0.08 (0.32 – 0.36)	0.13 ± 0.01 (0.11 – 0.15)	0.13 ± 0.01 (0.11 – 0.15)
Altura posterior de la ubre	0.14 ± 0.07 (0.12 – 0.16)	0.09 ± 0.08 (0.07 – 0.11)	0.08 ± 0.01 (0.06 – 0.10)	0.08 ± 0.01 (0.06 – 0.10)

¹Intervalos de confianza al 95% entre paréntesis.

Cuadro 5.3. (continuación)

	Correlaciones genéticas		Correlaciones fenotípicas	
	Vida productiva a los 72 meses	Vida productiva funcional a los 72 meses	Vida productiva a los 72 meses	Vida productiva funcional a los 72 meses
Arco posterior de la ubre	0.19 ± 0.07 (0.17 – 0.21)	0.11 ± 0.01 (0.09 – 0.13)	0.13 ± 0.01 (0.11 – 0.15)	0.11 ± 0.01 (0.09 – 0.13)
Profundidad de la ubre	0.11 ± 0.07 (0.09 – 0.13)	0.23 ± 0.09 (0.21 – 0.25)	-0.06 ± 0.01 (-0.08 – (-0.04))	-0.02 ± 0.01 (-0.04 – 0.003)
Ligamento suspensorio	0.06 ± 0.07 (0.04 – 0.08)	0.06 ± 0.07 (0.01 – 0.06)	-0.02 ± 0.01 (-0.04 – 0.003)	-0.02 ± 0.01 (-0.06 – (-0.02))
Colocación del pezón	0.10 ± 0.06 (0.08 – 0.12)	0.10 ± 0.07 (0.08 – 0.12)	0.001 ± 0.01 (-0.02 – 0.02)	0.005 ± 0.01 (-0.02 – 0.03)

¹Intervalos de confianza al 95% entre paréntesis.

5.5. DISCUSIÓN

Las características de conformación parecen ser indicadoras de varias funciones fisiológicas, es por eso que su evaluación es relevante para la salud y longitud de vida productiva (Montaldo y Manfredi, 2002).

En este estudio, los promedios de los puntajes para las características de conformación fueron, en general, similares a los obtenidos por otros autores para la CF (81.5 a 86.02), la EST (23.05 a 26.2), la FORT (26.98 a 28.47), la AL (32.74 a 33.82), el DP (20.98 a 23.8), la VLPT (26.5 a 28.18), el AG (28.48 a 31.52), el AG2 (26.82 a 28.71), el LAU (29.54 a 34.90), la APU (34.72 a 37.3), el APU2 (19.9 a 27.86), la PU (29.8 a 35.46), el LS (25.74 a 27.09) y la CP (17.63 a 18.3) en cabras de las mismas razas evaluadas en el presente estudio (Luo et al., 1997; ADGA, 2012), así como en cabras de raza Alpina en México (Mellado et al., 2008) o en Estados Unidos (Valencia-Posadas et al., 2010) y en cabras de raza Saanen en México (Mellado et al., 2008).

Los promedios de los puntajes obtenidos en este estudio fueron superiores a los encontrados por Mellado et al. (2008) para el DP (17.7), el LAU (26.6) y la CP (15) en cabras de las razas Alpina y Saanen en México.

La evaluación de la longevidad o vida productiva de un animal es de gran importancia, ya que es una característica que incluye todas las razones por las cuales un animal es desechado (VanRaden, 2004), por lo que la selección para esta característica mejorará el desempeño del hato (Sewalem et al., 2008). En vacas, las causas de desecho más comúnmente mencionadas (i.e. Sewalem et al., 2008) son por enfermedad, por bajo desempeño productivo (PL, PG y PP) o por su apariencia en general. Sin embargo, en este estudio, de acuerdo con los coeficientes de regresión obtenidos del modelo de análisis para VPF72 (66.12 ± 3.48 , 20.44 ± 6.49 y 3.06 ± 0.07 , para la PL, la PG y la CF, respectivamente), las principales causas para desechar a una cabra fueron la PL, la

PG, y la CF, de esta manera, si una cabra tiene mayor PL, PG y CF, tendrá menor probabilidad de ser desechada del hato. A diferencia de lo encontrado en vacas, en cabras la PP parece no tener influencia en el desecho, esto probablemente porque la alta correlación de la PP con la PL (>0.90 ; Torres-Vázquez et al., 2009) hizo que la PP y la PL aportaran información similar en el modelo, por lo que el efecto de la PP al momento de desechar una cabra no es muy claro.

5.5.1. Parámetros genéticos

En las cabras, al igual que en otras especies (i.e. vacas, ovejas), el conocimiento de los parámetros genéticos para longevidad es de suma importancia, sin embargo, esta característica no es comúnmente evaluada en cabras, limitando la información de vida productiva a un único estudio realizado por Torrero (2010). En este estudio, Torrero (2010) utilizó la habilidad de permanencia a la segunda lactancia como medida de vida productiva en cabras y obtuvo un estimado de heredabilidad de 0.13, el cual fue menor al estimado de heredabilidad obtenido para VP72 en el presente estudio (0.22). A pesar de que las definiciones de vida productiva fueron diferentes, ambos estimados de heredabilidad sirven como referencia para el desarrollo de programas de mejoramiento genético para longevidad en cabras.

El estimado de heredabilidad para VP72 fue superior a los obtenidos para vida productiva en vacas (0.01 a 0.18; Tsuruta et al., 2005; Terawaki y Ducrocq, 2009) utilizando la misma definición de VP del presente estudio (0.08; VanRaden y Klaaskate, 1993; USDA, 2007) ó utilizando otras definiciones.

Algunas de las definiciones de vida productiva utilizadas en vacas para los estimados de heredabilidad fueron: días del nacimiento (0.04 a 0.07; Harris et al., 1992) ó del parto (0.04 a 0.18; Caraviello et al., 2004; Forabosco, 2005; Terawaki y Ducrocq, 2009) al desecho, días en producción hasta determinada edad (0.01 a 0.10; Tsuruta et

al., 2005; VanRaden et al., 2006), habilidad de permanencia a diferentes edades (0.01 a 0.15; Martínez et al., 2004; Valencia et al., 2004) y número de lactancias registradas (0.10; Pérez-Cabal et al., 2006).

Los estimados de heredabilidad para longevidad en otras especies (0 a 0.16), como cerdas, conejas y ovejas, también fueron menores a los estimados de heredabilidad obtenidos para VP72 (0.22). En estas especies, al igual que en los estudios realizados en vacas, la longevidad se ha definido de diversas formas, por ejemplo, en ovejas se han estudiado diferentes medidas de longevidad, tales como: días del nacimiento al desecho ($h^2 = 0.02$; El-Saied et al., 2005), días del primer parto al desecho ($h^2 = 0.05$; El-Saied et al., 2005), total de días en producción ($h^2 = 0.05$; El-Saied et al., 2005), ó habilidad de permanencia a diferentes edades ($h^2 = 0$ a 0.13; Hatcher et al., 2010); en cerdas, la longevidad se ha definido como los días del primer parto al desecho ($h^2 = 0.05$ a 0.07; Serenius y Stalder, 2004; Fernández et al., 2008) y el total de crías vivas durante su vida ($h^2 = 0.09$; Serenius y Stalder, 2004); y en conejas la longevidad se definió como el tiempo desde el primer diagnóstico positivo de preñez al desecho ($h^2 = 0.16$; Piles et al., 2006).

El estimado de heredabilidad de VPF72 (0.17), debido a la corrección realizada para PL, PG, PP y CF, fue menor al estimado para VP72. En comparación con otras especies, el estimado de heredabilidad para VPF72 fue ligeramente mayor que el límite superior del rango de los estimados en vacas lecheras (0.06 a 0.14), definiendo la vida productiva funcional como días del nacimiento hasta determinada edad (0.02 a 0.08; Harris et al., 1992; Pérez-Cabal y Alenda, 2003), días transcurridos del primer parto al desecho (0.06 a 0.14; Samoré et al., 2010; Sewalem et al., 2005), días en producción hasta la tercera lactancia (0.04; Valencia et al., 2004), número de lactancias (0.10; Pérez-Cabal et al., 2006), ó como habilidad de permanencia a los 48 meses (0.03;

Valencia et al., 2004) corregidas para producción de leche. Asimismo, el estimado de heredabilidad para VPF72 fue mayor que el estimado en ovejas, utilizando los meses transcurridos de una lactancia a la siguiente o al desecho corregidos para producción de leche (0.11; Riggio et al., 2009) como medida de vida productiva funcional final, pero fue similar al estimado de heredabilidad para los días del primer parto al desecho corregidos para producción de leche obtenido en cerdas (0.17; Serenius y Stalder, 2004).

Los estimados de heredabilidad obtenidos para VP72 y VPF72 (0.22 y 0.17, respectivamente) en el presente estudio reflejan el potencial para hacer progreso genético por selección (Mekkawy et al., 2009) para longevidad en cabras lecheras. Además de esto, el hecho de que el estimado de heredabilidad de longevidad haya sido mayor que en ovejas, conejas, cerdas y en vacas lecheras de diversos países (i.e. Dinamarca, Canadá, EEUU), indican que la respuesta a la selección para vida productiva, puede ser relativamente mayor en caprinos productores de leche, y la inclusión de vida productiva como criterio adicional en los índices de selección es conveniente para mejorar el progreso genético para longevidad en cabras.

Los estimados de heredabilidad para las características de conformación fueron de 0.08 a 0.33, obteniéndose el menor estimado de heredabilidad para FORT y el mayor estimado para LS, estos estimados están dentro de los estimados de heredabilidad para características de conformación en varias razas de vacas lecheras (0.04 a 0.64; Mark, 2004). La mayoría de las características de conformación tuvieron estimados de heredabilidad moderados, lo que permite obtener avances genéticos por selección (Luo et al., 1997).

La heredabilidad estimada para CF (0.23) fue inferior al obtenido en las mismas razas de cabras (0.27; Luo et al., 1997; Wiggans y Hubbard, 2001) y en vacas de razas

Italian Chianina (0.34; Forabosco, 2005), Ayshire y Pardo Suiza (0.27 y 0.29, respectivamente; Wiggans et al., 2004), pero superior al obtenido en vacas Holstein (0.15 a 0.18; Moro y Ruiz, 1999; Valencia et al., 2008), Jersey, Guernsey y Shorthorn lechera (0.19 a 0.20; Wiggans et al., 2004).

El estimado de heredabilidad para EST (0.17) fue inferior al obtenido en las mismas razas de cabras (0.52; Luo et al., 1997; Wiggans y Hubbard, 2001) y en vacas de razas Italian Chianina (0.32; Forabosco, 2005), Holstein (0.27; Moro y Ruiz, 1999; Valencia et al., 2008), Carora (0.47; Rizzi et al., 2007), Jersey, Guernsey, Shorthorn, Ayshire y Pardo Suiza (0.37 a 0.54; Wiggans et al., 2004).

El estimado de heredabilidad para FORT (0.08) fue inferior al obtenido en las mismas razas de cabras (0.29; Luo et al., 1997; Wiggans y Hubbard, 2001) y en vacas de razas Carora (0.15; Rizzi et al., 2007), Jersey, Guernsey, Shorthorn, Ayshire y Pardo Suiza (0.20 a 0.31; Wiggans et al., 2004).

El estimado de heredabilidad para AL (0.28) fue similar al obtenido en las mismas razas de cabras (0.24; Luo et al., 1997; Wiggans y Hubbard, 2001).

El estimado de heredabilidad para DP (0.21) fue inferior al obtenido en las mismas razas de cabras (0.36 a 0.38; Luo et al., 1997; Wiggans y Hubbard, 2001).

El estimado de heredabilidad para VLPT (0.17) fue similar al obtenido en las mismas razas de cabras (0.21; Luo et al., 1997; Wiggans y Hubbard, 2001), en vacas de razas Ayshire, Pardo Suiza y Guernsey (0.15 a 0.18; Wiggans et al., 2004) y en ovejas Texel (0.14; Janssens y Vandepitte, 2004); fue inferior al estimado de heredabilidad obtenido por Janssens y Vandepitte (2004) en ovejas Belgian Bleu du Maine, y superior al estimado de heredabilidad obtenido en vacas de razas Holstein (0.11; Moro y Ruiz, 1999), Jersey y Shorthorn lechera (0.07 y 0.11, respectivamente; Wiggans et al., 2004), y en ovejas Suffolk (Janssens y Vandepitte, 2004).

El estimado de heredabilidad para AG (0.16) fue inferior al obtenido en las mismas razas de cabras (0.34; Luo et al., 1997; Wiggans y Hubbard, 2001) y en vacas de las razas Jersey, Guernsey, Shorthorn, Ayshire y Pardo Suiza (0.22 a 0.41; Wiggans et al., 2004).

El estimado de heredabilidad para AG2 (0.24) fue similar al obtenido en las mismas razas de cabras (0.27; Luo et al., 1997; Wiggans y Hubbard, 2001), superior a los estimados en vacas de las razas Holstein (0.14; Moro y Ruiz, 1999; Valencia et al., 2004), Carora (0.15; Rizzi et al., 2007), Jersey, Pardo Suiza y Shorthorn lechera (0.18 a 0.20; Wiggans et al., 2004), e inferior al estimado de heredabilidad obtenido en vacas de razas Ayshire y Guernsey (0.35 y 0.29, respectivamente; Wiggans et al., 2004).

El estimado de heredabilidad para LAU (0.25) fue similar al obtenido en las mismas razas de cabras (0.25; Luo et al., 1997; Wiggans y Hubbard, 2001), en cabras Saanen (0.25; Rupp et al., 2011), en vacas Holstein (0.22; Valencia et al., 2004) y en ovejas Laxta (0.26; Legarra y Ugarte, 2005), fue superior a los estimados en vacas de las razas Carora (0.12; Rizzi et al., 2007), Ayshire, Pardo Suiza, Jersey y Shorthorn lechera (0.16 a 0.22; Wiggans et al., 2004), e inferior al estimado de heredabilidad obtenido en vacas de raza Guernsey (0.29; Wiggans et al., 2004).

El estimado de heredabilidad para APU (0.23) fue similar al obtenido en las mismas razas de cabras (0.25; Luo et al., 1997; Wiggans y Hubbard, 2001), en vacas de las razas Ayshire, Pardo Suiza y Jersey (0.22 a 0.26; Wiggans et al., 2004), fue superior a los estimados en vacas de las razas Holstein (0.13; Moro y Ruiz, 1999), Carora (0.08; Rizzi et al., 2007), Shorthorn lechera (0.16; Wiggans et al., 2004), e inferior al estimado de heredabilidad obtenido en vacas de raza Guernsey (0.28; Wiggans et al., 2004).

El estimado de heredabilidad para APU2 (0.24) fue superior al obtenido en las mismas razas de cabras (0.19; Luo et al., 1997; Wiggans y Hubbard, 2001).

El estimado de heredabilidad para PU (0.23) fue similar al obtenido en las mismas razas de cabras (0.25; Luo et al., 1997; Wiggans y Hubbard, 2001), en vacas Shorthorn lechera (0.26; Wiggans et al., 2004) y en ovejas de la raza Laxta (0.26; Legarra y Ugarte, 2005), fue superior a los estimados en vacas de las razas Holstein (0.04 a 0.05; Moro y Ruiz, 1999; Valencia et al., 2008) y Carora (0.09; Rizzi et al., 2007), y en ovejas Lacaune (0.19; Marie-Etancelin et al., 2005), e inferior al estimado de heredabilidad obtenido en vacas de las razas Holstein (0.30; Lassen et al., 2007), Ayshire, Pardo Suiza, Guernsey y Jersey (0.27 a 0.40; Wiggans et al., 2004).

El estimado de heredabilidad para LS (0.33) fue similar al obtenido en las mismas razas de cabras (0.33; Luo et al., 1997; Wiggans y Hubbard, 2001) y superior al estimado de heredabilidad obtenido en vacas de las razas Holstein (0.06 a 0.09; Moro y Ruiz, 1999; Valencia et al., 2008) y Carora (0.09; Rizzi et al., 2007).

El estimado de heredabilidad para CP (0.23) fue inferior al obtenido en cabras de raza Saanen (0.30; Rupp et al., 2011), en cabras de las mismas razas evaluadas en este estudio (0.36; Luo et al., 1997; Wiggans y Hubbard, 2001), y en ovejas Laxta (0.40; Legarra y Ugarte, 2005) y superior al estimado de heredabilidad obtenido en vacas de la raza Carora (0.16; Rizzi et al., 2007).

5.5.2. Correlaciones genéticas

La r_g entre VP72 y CF (0.54) fue similar a la r_g estimada en vacas Holstein entre habilidad de permanencia a los 48 meses y CF (0.51; Valencia et al., 2008) y superior a la r_g obtenida por Vicencio (2009) para cabras de las mismas razas evaluadas en el presente estudio entre CF y la habilidad de permanencia a los 36 meses (0.13), o a los 48 meses (-0.11), así mismo, fue superior a la r_g estimada entre longevidad y CF en vacas Holstein (0.13 a 0.21; Tsuruta et al., 2005) e Italian Chianina (0.06; Forabosco, 2005).

La r_g entre VP72 y EST (0.19) fue superior a la r_g obtenida por Vicencio (2009) para cabras de las mismas razas evaluadas en el presente estudio entre EST y la habilidad de permanencia a los 24 meses (-0.04), o a los 36 meses (-0.01), al igual que la r_g estimada entre EST y habilidad de permanencia a los 48 meses (0.02; Valencia et al., 2008) o longevidad (-0.12 a -0.13; Tsuruta et al., 2005) en vacas de las razas Holstein e Italian Chianina (0.03; Forabosco, 2005).

La r_g entre VP72 y FORT (-0.003) fue inferior a la r_g obtenida por Vicencio (2009) para cabras de las mismas razas evaluadas en el presente estudio entre FORT y la habilidad de permanencia a los 24 meses (-0.04), o a los 36 meses (-0.06), al igual que la r_g estimada entre FORT y longevidad (-0.20 a -0.21; Tsuruta et al., 2005) en vacas de las razas Holstein.

La r_g entre VP72 y AL (0.13) fue superior a la r_g obtenida por Vicencio (2009) para cabras de las mismas razas evaluadas en el presente estudio entre AL y habilidad de permanencia a los 24 meses (-0.03), o a los 36 meses (-0.08), e inferior a la r_g entre AL y longevidad (-0.14 a -0.25; Tsuruta et al., 2005) en vacas Holstein.

La r_g entre VP72 y DP (0.03) fue superior a la r_g obtenida por Vicencio (2009) para cabras de las mismas razas evaluadas en el presente estudio entre DP y habilidad de permanencia a los 24 meses (-0.06), o a los 36 meses (0.06).

La r_g entre VP72 y VLPT (0.03), considerando que tuvo un error estándar muy grande (0.08), fue similar a la r_g obtenida por Vicencio (2009) para cabras de las mismas razas evaluadas en el presente estudio entre VLPT y habilidad de permanencia a los 24 meses (0.02), o a los 36 meses (0.10), al igual que la r_g estimada entre longevidad y VLPT en vacas Holstein (-0.01; Vollema y Groen, 1997). Por otro lado,

fue inferior a la r_g estimada entre longevidad y VLPT en vacas Guernsey (0.12; Harris et al., 1992) y Holstein (-0.09 a -0.10; Tsuruta et al., 2005).

La r_g entre VP72 y AG (0.02) fue similar a la r_g obtenida por Vicencio (2009) para cabras de las mismas razas evaluadas en el presente estudio entre AG y habilidad de permanencia a los 24 meses (0.05), al igual que la r_g estimada entre longevidad y AG en vacas Holstein (0.03; Tsuruta et al., 2005). Por otro lado, fue inferior a la r_g estimada en cabras de las mismas razas por Vicencio (2009) entre AG y habilidad de permanencia a los 36 meses (-0.15), al igual que la r_g estimada entre longevidad a los 48 meses y AG en vacas Guernsey (-0.35; Harris et al., 1992).

La r_g entre VP72 y AG2 (0.33) fue superior a la r_g obtenida por Vicencio (2009) para cabras de las mismas razas evaluadas en el presente estudio entre AG2 y habilidad de permanencia a los 24 meses (0.03) o a los 36 meses (0.007), al igual que la r_g estimada entre habilidad de permanencia a los 48 meses y AG2 en vacas Holstein (0.09; Valencia et al., 2008).

La r_g entre VP72 y LAU (0.34) fue similar a la r_g obtenida en vacas Guernsey (0.30; Harris et al., 1992) y superior a la r_g obtenida por Vicencio (2009) para cabras de las mismas razas evaluadas en el presente estudio entre LAU y habilidad de permanencia a los 24 meses (0.10) o a los 36 meses (-0.21), al igual que la r_g estimada entre LAU y habilidad de permanencia a los 48 meses (0.09; Valencia et al., 2008), o longevidad (0.27 a 0.31; Tsuruta et al., 2005) en vacas Holstein.

La r_g entre VP72 y APU (0.14) fue similar a la r_g obtenida en vacas Holstein (0.12 a 0.19; Tsuruta et al., 2005) y superior a la r_g obtenida por Vicencio (2009) para cabras de las mismas razas evaluadas en el presente estudio entre APU y habilidad de

permanencia a los 24 meses (-0.09) o a los 36 meses (-0.05), al igual que la r_g estimada entre APU y longevidad a los 48 meses (0.08; Harris et al., 1992) en vacas Guernsey.

La r_g entre VP72 y APU2 (0.19) fue superior a la r_g obtenida en vacas Holstein (0.03 a 0.10; Tsuruta et al., 2005) y a la obtenida por Vicencio (2009) para cabras de las mismas razas evaluadas en el presente estudio entre APU2 y habilidad de permanencia a los 24 meses (0.03) o a los 36 meses (0.10).

La r_g entre VP72 y PU (0.11) fue superior a la r_g obtenida por Vicencio (2009) para cabras de las mismas razas evaluadas en el presente estudio entre PU y habilidad de permanencia a los 24 meses (0.006) o a los 36 meses (0.001), al igual que entre longevidad y PU en vacas Holstein (0.02; Vollema y Groen, 1997) y Guernsey (0.07; Harris et al., 1992); pero fue inferior a la r_g obtenida en vacas Holstein entre PU y longevidad (0.38; Tsuruta et al., 2005) o habilidad de permanencia a los 48 meses (0.52; Valencia et al., 2008).

La r_g entre VP72 y LS (0.06) fue superior a la r_g obtenida por Vicencio (2009) para cabras de las mismas razas evaluadas en el presente estudio entre LS y habilidad de permanencia a los 24 meses (-0.11) o a los 36 meses (-0.01); pero fue inferior a la r_g obtenida en vacas Holstein entre LS y longevidad (0.13; Vollema y Groen, 1997) o habilidad de permanencia a los 48 meses (0.33; Valencia et al., 2008).

La r_g entre VP72 y CP (0.10) fue superior a la r_g obtenida por Vicencio (2009) para cabras de las mismas razas evaluadas en el presente estudio entre LS y habilidad de permanencia a los 24 meses (0.01) o a los 36 meses (0.04), al igual que la r_g obtenida en vacas Holstein (0.03 a 0.06; Tsuruta et al., 2005) entre longevidad y CP; pero fue

similar a la r_g obtenida entre CP y longevidad en vacas Holstein (0.07; Vollema y Groen, 1997) o Guernsey (0.15; Harris et al., 1992).

La r_g entre VPF72 y EST, FORT, VLPT y AG (0.13, -0.10, 0.09 y 0.02, respectivamente) fue inferior a la r_g estimada en vacas Guernsey (-0.69, -0.73, 0.16 y -0.40, respectivamente; Harris et al., 1992). Mientras que la r_g entre VPF72 y VLPT fue superior a la estimada en vacas Holstein (-0.01; Vollema y Groen, 1997). La r_g entre VPF72 y LAU (0.34) fue similar a la r_g estimada en vacas Guernsey (0.35; Harris et al., 1992). La r_g entre VPF72 y APU (0.09) fue superior a la estimada en vacas Guernsey (0.01; Harris et al., 1992). La r_g entre VPF72 y PU (0.23) fue superior a la estimada en vacas Holstein (0.07; Vollema y Groen, 1997) y Guernsey (0.04; Harris et al., 1992). La r_g entre VPF72 y LS (0.06) fue inferior a la estimada en vacas Holstein (0.12; Vollema y Groen, 1997). La r_g entre VPF72 y CP (0.10) fue similar a la estimada en vacas Holstein (0.09; Vollema y Groen, 1997) y Guernsey (0.11; Harris et al., 1992).

Las correlaciones genéticas entre las características de la ubre (DP, LAU, APU, APU2, PU, LS y CP) y VP72 (0.03 a 0.34), con excepción del caso de LAU ($r_g = 0.34$), fueron inferiores al rango de valores obtenidos por Tsuruta et al. (2004) para las r_g entre estas características y vida productiva (0.26 a 0.38).

A diferencia de lo encontrado por Forabosco (2005), quien menciona que el mejor indicador para la longevidad en vacas es la EST, en este estudio, los mejores indicadores de VP72 y VPF72 fueron la CF, el AG2 y el LAU, concordando con Valencia et al. (2008) que también encontró que la CF fue de las características más

importantes para predecir la habilidad de permanencia a los 48 meses, además de la CP y PU.

La mayoría de las r_g estimadas entre las características de conformación y VP72 o VPF72 fueron diferentes de cero, por lo que, a diferencia de lo encontrado en ovejas por Mekkawy et al. (2009), las características de conformación sí tienen influencia sobre la longevidad en cabras, indicando que la selección para mejorar estas características puede incrementar la longevidad en cabras.

5.5.3. Correlaciones fenotípicas

Las relaciones fenotípicas entre las características de conformación y vida productiva han sido más estudiadas en vacas (i.e. Holstein, Guernsey), utilizando diferentes definiciones para vida productiva, dentro de estas definiciones, las más comunes son: días del nacimiento, o del parto, al desecho (Vacek et al., 2006), días del nacimiento hasta determinada edad (Harris et al., 1992), y habilidad de permanencia en el hato hasta determinada edad (Valencia et al., 2008).

Las r_f obtenidas en el presente estudio entre VP72 y APU (0.08 ± 0.01), AG (-0.06 ± 0.01), VLPT (0.01 ± 0.01), PU (-0.06 ± 0.01), FORT (-0.01 ± 0.01) y EST (-0.02 ± 0.01) fueron similares a las obtenidas en vacas Guernsey (Harris et al., 1992) ó Holstein (Vacek et al., 2006) para APU (0.06 a 0.08; Harris et al., 1992; Vacek et al., 2006), AG (-0.04 a -0.06; Harris et al., 1992; Vacek et al., 2006), VLPT (0.01; Vacek et al., 2006), PU (-0.05; Vacek et al., 2006), FORT (-0.03; Harris et al., 1992), y EST (-0.05; Harris et al., 1992).

Las r_f entre VP72 y EST (-0.02 ± 0.01), LS (-0.02 ± 0.01), AG (-0.06 ± 0.01), y CT (0.001 ± 0.01) fueron inferiores a las obtenidas entre longevidad y EST (0.08; Vacek et al., 2006; Valencia et al., 2008), LS (0.06; Valencia et al., 2008), AG (-0.03; Vacek et al., 2006), y CT (0.04; Vacek et al., 2006) en vacas Holstein. Mientras que las

r_f entre VP72 y AG2 (0.14 ± 0.01), LAU (0.13 ± 0.01), PU (-0.06 ± 0.01), CF (0.26 ± 0.01), VLPT (0.01 ± 0.01), y CT (0.001 ± 0.01) fueron superiores a las r_f estimadas en vacas Holstein para AG2 (0.07 a 0.10; Vacek et al., 2006; Valencia et al., 2008), LAU (0.02 a 0.08; Vacek et al., 2006; Valencia et al., 2008), PU (-0.02 a -0.03; Vacek et al., 2006; Valencia et al., 2008), CF (0.10; Valencia et al., 2008), VLPT (-0.07; Vacek et al., 2006), y CT (-0.02; Vacek et al., 2006).

Las r_f estimadas en el presente estudio para VPF72 fueron similares a las obtenidas en vacas Holstein entre longevidad funcional y CT (0.01; Harris et al., 1992), AG (-0.04; Harris et al., 1992), VLPT (-0.01; Harris et al., 1992), y FORT (-0.03; Harris et al., 1992); fueron inferiores a las estimadas entre VPF y PU (0.03; Harris et al., 1992) y CP (0.02); y superiores en el caso de las r_f entre VPF y APU (0.04; Harris et al., 1992), LAU (0.03; Harris et al., 1992), y EST (-0.06; Harris et al., 1992).

Las r_f más altas con VP72 y VPF72 fueron las obtenidas para CF (0.26 ± 0.01 y 0.24 ± 0.01 , respectivamente), AG2 (0.14 ± 0.01 y 0.10 ± 0.01 , respectivamente), LAU (0.13 ± 0.01 y 0.13 ± 0.01 , respectivamente) y APU (0.13 ± 0.01 y 0.11 ± 0.01 , respectivamente), concordando con lo observado en vacas Holstein (Berry et al., 2005, Vacek et al., 2006) y Jersey (Berry et al., 2005), en donde las vacas con menor puntaje en la calificación final, ligamento anterior de la ubre y altura posterior de la ubre, además de puntajes altos en las patas, tienen mayor probabilidad de ser desechadas, teniendo gran influencia en la longevidad real y funcional.

Las r_g más altas con VP72 y VPF72 fueron las obtenidas con CF (0.54 ± 0.08 y 0.51 ± 0.09 , respectivamente), LAU (0.34 ± 0.07 y 0.34 ± 0.08 , respectivamente) y AG2 (0.33 ± 0.08 y 0.29 ± 0.10 , respectivamente), por lo que la selección de animales con mejor desempeño en estas características puede ser eficiente en la mejora indirecta de la vida productiva en cabras (Valencia-Posadas et al., 2010), por lo que estos

resultados pueden ser utilizados como herramienta de esquemas de mejoramiento (Vacek et al., 2006) en hatos de cabras lecheras.

A diferencia de lo observado por Vicencio (2009), quien menciona que el empleo de las características de conformación como medio de selección indirecta para longevidad en cabras puede ser solo moderado debido a las bajas r_g obtenidas entre las características de conformación con la habilidad de permanencia a dos edades diferentes (-0.27 a 0.15), en este estudio, algunas de las características de conformación, particularmente CF, LAU y AG2, tuvieron altas r_g con la VP72 y VPF72. Similarmente, Valencia-Posadas et al. (2010) también encontraron una fuerte relación entre la habilidad de permanencia a los 36 meses y las características de AG2, LAU y AL en cabras Alpinas de México.

En muchos de los estudios realizados en vacas (i. e. Sewalem et al., 2004), existieron similitudes con lo obtenido en este estudio, coincidiendo que la CF es, por mucho, la característica más asociada con la longevidad (VanDoormal et al., 1986; Sewalem et al., 2004; Tsuruta et al., 2005), convirtiéndola en eficiente predictora de la longevidad, seguida por las características de la ubre (Caraviello et al., 2003; Samoré et al., 2010; Sewalem et al., 2004) que tienen una influencia importante en las decisiones de desecho, probablemente debido a la menor susceptibilidad a mastitis y otras enfermedades infecciosas (Sewalem et al., 2004).

Por otra parte, en estudios realizados en cerdas (Tarrés et al., 2006), las características de conformación más asociadas con la longevidad son las patas y piernas, al igual que el número de pezones, presentando mayores posibilidades de sobrevivir las cerdas con menos de 13 pezones y calificaciones de patas y piernas intermedias.

Las diferencias encontradas entre las correlaciones genéticas encontradas en este estudio entre las características de conformación y la longevidad en cabras, en

comparación con las observadas en otras especies (vacas, cerdas, ovejas), probablemente refleje las diferencias genéticas entre especies, las diferencias en los programas de apreciación de conformación (Luo et al., 1997) y las diferencias en razones de desecho (Nielsen et al., 2003).

Como pudo observarse en este estudio, el empleo de las características de conformación es una opción viable para la mejora indirecta de la vida productiva en cabras, por lo que los parámetros aquí encontrados pueden ser utilizados como referencia para el desarrollo de nuevos y eficientes programas de mejoramiento genético en cabras. Además de esto, se necesita estimar los pesos económicos adecuados para la inclusión de las características de conformación en un índice de selección adecuado para el mejoramiento genético de vida productiva en cabras.

5.6. CONCLUSIONES

Los principales criterios que determinan el desecho de una cabra del hato son las bajas producciones de leche y grasa por lactancia, además de un bajo puntaje final de tipo.

De acuerdo con las heredabilidades estimadas (0.22 y 0.17 para vida productiva real y funcional, respectivamente), la mejora genética de la vida productiva es un logro factible mediante la inclusión de dicha característica en un índice de selección, siendo más eficiente la mejora si se remueven los efectos del desecho voluntario empleando la información de vida productiva funcional, o empleando información de otras características comúnmente evaluadas en cabras a edad temprana.

La selección para mejorar las características de conformación es una opción viable debido a que, en general, sus estimados de heredabilidad (0.16 a 0.33) permiten tener buenas respuestas a la selección.

Las características de calificación final, ancho de la grupa y ligamento anterior de la ubre fueron las características más relacionadas con la vida productiva, real y funcional, por lo que pueden ser utilizadas como criterios de selección para mejorar indirectamente la vida productiva en cabras lecheras.

Es necesario que se desarrollen nuevos programas de mejoramiento genético en cabras que incluyan a las características de conformación y la vida productiva. Además de esto, se necesita que se estimen los pesos económicos adecuados para vida productiva e incluirla en un índice de selección.

5.7. LITERATURA CITADA

- ADGA. 2012. Linear appraisal trait means. American Dairy Goat Association. Spindale, NC. Available in <http://www.adga.org>
- Berry D. P., Harris B. L., Winkelman A. M., and Montgomerie W. 2005. Phenotypic associations between traits other than production and longevity in New Zealand dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 88:2962–2974.
- Caraviello D. Z., Weigel K. A., and Gianola D. 2003. Analysis of the relationship between type traits, inbreeding, and functional survival in Jersey cattle using a Weibull Proportional Hazards Model. *J. Dairy Sci.* 86:2984–2989.
- Caraviello D. Z., Weigel K. A., and Gianola D. 2004. Analysis of the relationship between type traits and functional survival in US Holstein cattle using a Weibull proportional hazards model. *J. Dairy Sci.* 87: 2677 – 2686.
- El-Saied U. M., De La Fuente L. F., Carriedo J. A., and San Primitivo F. 2005. Genetic and phenotypic parameter estimates of total and partial lifetime traits for dairy ewes. *J. Dairy Sci.* 88:3265–3272.

- Fernández de S. X., Fàbrega E., Tibau J. and Casellas J. 2008. Effect of leg conformation on survivability of Duroc, Landrace, and Large White sows. *J. Anim. Sci.* 86: 2392 – 2400.
- Fletcher T. D. 2010. Psychometric: Applied Psychometric Theory. R package version 2.2. <http://CRAN.R-project.org/package=psychometric>.
- Forabosco F. 2005. Breeding for longevity in Italian Chianina cattle. Doctoral thesis. Wageningen University. Wageningen, The Netherlands.
- Gilmour A. R., Gogel B. J., Cullis B. R., and Thompson R. 2009. ASReml User Guide Release 3.0. VSN International Ltd., Hemel Hempstead, UK.
- Harris, B. L., A. E. Freeman, and E. Metzger. 1992. Analysis of herd life in Guernsey dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 75:2008–2016.
- Hatcher S., Atkins K.D. and Thornberry K.J. 2010. Survival of adult sheep is driven by longevity genes. *Proc. Assoc. Advmt. Anim. Breed. Genet.* 18: 580 – 583.
- Jakobsen J. H., Dürr J. W., Jorjani H., Forabosco F., Loberg A. and Philipsson J. 2010. Genotype by environment interactions in international genetic evaluation of dairy bulls. *Proc. Assoc. Advmt. Anim. Breed. Genet.* 18: 133-142.
- Janssens S. and Vandepitte W. 2004. Genetic parameters for body measurements and linear type traits in Belgian Bleu du Maine, Suffolk and Texel sheep. *Small Ruminant Research* 54: 13–24.
- Kinghorn B. and Kinghorn S. 2009. Pedigree Viewer 6.3. <http://metz.une.edu.au/~bkinghor/pedigree.htm>.
- Lassen J., Sørensen M. K., Madsen P., Ducrocq V. 2007. An approximate multitrait model for genetic evaluation in dairy cattle with a robust estimation of genetic trends (Open access publication). *Genet. Sel. Evol.* 39: 353-367.

- Legarra A. and Ugarte E. 2005. Genetic parameters of udder traits, somatic cell score, and milk yield in Latxa sheep. *J. Dairy Sci.* 88:2238–2245.
- Luo M. F., Wiggans G. R., and Hubbard S. M. 1997. Variance component estimation and multitrait genetic evaluation for type traits of dairy goats. *J. Dairy Sci* 80:594–600.
- Marie-Etancelin C., Astrucb J.M., Portec D., Larroqued H., Robert-Granie C. 2005. Multiple-trait genetic parameters and genetic evaluation of udder-type traits in Lacaune dairy ewes. *Livestock Production Science* 97: 211– 218.
- Mark F. 2004. Applied genetic evaluations for production and functional traits in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 87:2641–2652.
- Martinez G. E., Koch R. M., Cundiff L. V., Gregory K. E., and Van Vleck L. D. 2004. Genetic parameters for six measures of length of productive life and three measures of lifetime production by 6 yr after first calving for Hereford cows. *J. Anim. Sci.* 82: 1912–1918.
- Mekkawy W., Roehe R., Lewis R. M., Davies M. H., Bunger L., Simm G., and Haresign W. 2009. Genetic relationship between longevity and objectively or subjectively assessed performance traits in sheep using linear censored models. *J. Anim. Sci.* 87:3482–3489.
- Mellado M., Mellado J., Valencia M., Pittroff W., 2008. The relationship between linear type traits and fertility traits in high-yielding dairy goats. *Reprod. Domest. Anim.* 43, 599–605.
- Montaldo H. H. and Manfredi E. 2002. Organisation of selection programmes for dairy goats. *Proc. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. Session 01. Breeding ruminants for milk production. Communication N° 01-35.*

- Moro M. J. y Ruiz L. F. de J. 1999. Estimación de parámetros genéticos para características de conformación en bovinos Holstein en México. *Tec. Pecu. Mex.* 37: 41-53.
- Mrode, R. A. 2005. *Linear models for the prediction of animal breeding values*. 2nd edition. CAB International, UK. pp 344.
- Nielsen, U. S., O. M. Pedersen, and M. Toivonen. 2003. Time dependent effects as source of bias in estimating breeding values for longevity and fertility traits. *Interbull Bull.* 30:29–34.
- Pérez-Cabal M. A. and Alenda R. 2003. Lifetime profit as an individual trait and prediction of its breeding values in Spanish Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 86:4115–4122.
- Pérez-Cabal M. A., García C., González-Recio O., and Alenda R. 2006. Genetic and phenotypic relationships among locomotion type traits, profit, production, longevity, and fertility in Spanish dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89:1776–1783.
- Pérez-Razo M., Sánchez F., Torres-Hernández G., Becerril-Pérez C., Gallegos-Sánchez J., González-Cosío F., and Meza-Herrera C. 2004. Risk factors associated with dairy goats stayability. *Livest. Prod. Sci.* 89: 139–146.
- Piles M., Garreau H., Rafel O., Larzul C., Ramon J., and Ducrocq V. 2006. Survival analysis in two lines of rabbits selected for reproductive traits. *J. Anim. Sci.* 84: 1658 – 1665.
- Riggio V., Maizon D. O., Portolano B., Bovenhuis H., and van Arendonk J. A. M. 2009. Effect of somatic cell count level on functional longevity in Valle del Belice dairy sheep assessed using survival analysis. *J. Dairy Sci.* 92: 6160 – 6166.

- Rizzi R., Pedron O., Samoré A., Hahn M., Riera M. y Vila V. 2007. Parámetros genéticos de las características morfológicas de ganado Carora. *Revista Científica, FCV-LUZ XVII*. 1: 58 – 65.
- Rupp R., Clément V., Piacere A., Robert-Granié C., and Manfredi E. 2011. Genetic parameters for milk somatic cell score and relationship with production and udder type traits in dairy Alpine and Saanen primiparous goats. *J. Dairy Sci.* 94: 3629 – 3634.
- Samoré A. B., Rizzi R., Rossoni A., and Bagnato A. 2010. Genetic parameters for functional longevity, type traits, somatic cell scores, milk flow and production in the Italian Brown Swiss. *Ital. J. Anim. Sci.* 9 (e28): 145 – 152.
- Serenius T. and Stalder K. J. 2004. Genetics of length of productive life and lifetime prolificacy in the Finnish Landrace and Large White pig populations. *J. Anim. Sci.* 82: 3111 – 3117.
- Sewalem A., Kistemaker G. J., Miglior F., and Van Doormal. 2004. Analysis of the relationship between type traits and functional survival in Canadian Holstein using a Weibull proportional hazard model. *J. Dairy Sci.* 87:3938-3946.
- Sewalem A., Kistemaker G. J., Ducrocq V., and Van Doormaal B. J. 2005. Genetic analysis of herd life in Canadian dairy cattle on a lactation basis using a Weibull proportional hazards model. *J. Dairy Sci.* 88:368–375.
- Sewalem A., Miglior F., Kistemaker G. J., Sullivan P., and Van Doormaal B. J. 2008. Relationship between reproduction traits and functional longevity in Canadian dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 91:1660–1668.
- Sewalem A., Miglior F., Kistemaker G. J., Sullivan P., Huapaya G., and Van Doormaal B. J. 2007. Short communication: Modification of genetic evaluation of herd life

- from a three-trait to a five-trait model in Canadian dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 90: 2025–2028.
- Tarrés J., Bidanel J. P., Hofer A., and Ducrocq V. 2006. Analysis of longevity and exterior traits on Large White sows in Switzerland. *J. Anim. Sci.* 84:2914–2924.
- Terawaki Y. and Ducrocq V. 2009. Nongenetic effects and genetic parameters for length of productive life of Holstein cows in Hokkaido, Japan. *J. Dairy Sci.* 92:2144–2150.
- Torrero G. Y. 2010. Estimación de covarianzas para características de longevidad y producción en cabras. Tesis de Maestría. Universidad de Guanajuato. Irapuato, Gto. México.
- Torres–Vázquez J. A., Valencia–Posadas M., Castillo–Juárez H., and Montaldo H. H. 2009. Genetic and phenotypic parameters of milk yield, milk composition and age at first kidding in Saanen goats from Mexico. *Livest. Sci.* 126: 147 – 153.
- Tsuruta S., Misztal I., and Lawlor T. J. 2004. Genetic correlations among production, body size, udder, and productive life traits over time in Holsteins. *J. Dairy Sci.* 87:1457–1468.
- Tsuruta S., Misztal I., and Lawlor T. J. 2005. Changing definition of productive life in US Holsteins: Effect on genetic correlations. *J. Dairy Sci.* 88: 1156–1165.
- USDA. 2007. Description of national genetic evaluation systems. <http://aipl.arsusda.gov>.
- Vacek M., Štipkova M., Němcova E., Bouška J. 2006. Relationships between conformation traits and longevity of Holstein cows in the Czech Republic. *Czech J. Anim. Sci.*, 51 (8): 327–333.

- Valencia P. M., Montaldo V. H. H., Ruíz L. F. de J. 2008. Parámetros genéticos para características de conformación, habilidad de permanencia y producción de leche en ganado Holstein en México. *Téc Pecu Méx* 46 (3): 235 – 248.
- Valencia P. M., Ruíz L. F. de J., Montaldo V. H. H. 2004. Estimación de parámetros genéticos para características de longevidad y producción de leche en ganado Holstein en México. *Interciencia* 29 (1): 52 – 56.
- Valencia-Posadas M., Torrero-Garza Y., Vicencio-Reyes C. V., Shepard, L., y Montaldo H. H. 2010. Relaciones fenotípicas entre características de conformación con la habilidad de permanencia a los 36 meses en cabras Alpinas. *Acta Universitaria* 20(3): 40–44.
- Van Doormal B. J., Burnside E. B., and Schaeffer L. R. 1986. An analysis of the relationships among stayability, production, and type in Canadian milk-recording programs. *J. Dairy Sci.* 69:510-517.
- VanRaden P. M. 2004. Selection on net merit to improve lifetime profit. *J. Dairy Sci.* 87:3125–3131.
- VanRaden P. M. and Klaaskate E. J. H. 1993. Genetic evaluation of length of productive life including predicted longevity of live cows. *J. Dairy Sci.* 76: 2758-2764.
- VanRaden P.M, Dematawewa C. M. B., Pearson R. E., and Tooker M. E. 2006. Productive life including all lactations and longer lactations with diminishing credits. *J. Dairy Sci.* 89: 3213–3220.
- Vicencio R. C. V. 2009. Correlaciones genéticas entre características de conformación y habilidades de permanencia en cabras lecheras. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, Ags. México. pp 59.

- Vollema A. R. y Groen AB. F. 1997. Genetic correlations between longevity and conformation traits in an upgrading dairy cattle population. *J. Dairy Sci* 80:3006–3014.
- Wiggans G. R. 2006. USDA Genetic evaluation program for dairy goats. <http://aipl.arsusda.gov>.
- Wiggans G. R. and Hubbard S. M. 2001. Genetic evaluation of yield and type traits of dairy goats in the United States. *J. Dairy Sci.* 84 (E. Suppl.): E69 – E73.
- Wiggans G. R., Gengler N., and Wright J. R. 2004. Type trait (co)variance components for five dairy breeds. *J. Dairy Sci.* 87:2324–2330.

6. DISCUSIÓN GENERAL

La vida productiva de una cabra y de otras especies (i.e. vacas lecheras), dependerá de qué tan hábil sea para evitar ser desechada por no cumplir con las exigencias del hato al que pertenece. En este estudio, y de acuerdo con los coeficientes de regresión obtenidos del modelo de análisis para VPF72 (66.12 ± 3.48 , 20.44 ± 6.49 y 3.06 ± 0.07 , PL, PG y CF, respectivamente), una cabra tendrá menor probabilidad de ser desechada del hato si tiene mayor PL, PG y CF. A diferencia de lo observado en vacas (i.e. Sewalem et al., 2004), la importancia de la PP como criterio de desecho no fue evidente en el presente estudio, probablemente debido a que, al tener alta correlación con la PL (>0.90 ; Torres-Vázquez et al., 2009), aporta información similar en el modelo.

Los estimados de heredabilidad obtenidos en el presente estudio para las características de producción de leche e IP estuvieron dentro del rango de los estimados en la misma población (Torrero, 2010; García-Peniche et al., 2012) y otras poblaciones de cabras lecheras (Barillet, 2007; Leboeuf et al., 2008; Montaldo et al., 2010) y confirman la factibilidad de mejorar la PL, la PG, la PP, la PGP, el %G y el %P (0.37, 0.37, 0.38, 0.39, 0.54 y 0.64, respectivamente) por selección (Montaldo et al., 2010; García-Peniche et al., 2012). Mientras que la mayoría de los estimados de heredabilidad para las características de conformación estuvieron dentro del rango de los estimados en cabras lecheras (0.21 a 0.52; Luo et al., 1997; Rupp et al., 2011), al igual que en varias razas de vacas lecheras (0.04 a 0.64; Mark, 2004). La mayoría de las características de conformación tuvieron estimados de heredabilidad moderados, lo que permite obtener avances genéticos por selección (Luo et al., 1997). A pesar de que el estimado de heredabilidad obtenido para la EP (0.16) estuvo por debajo de los estimados en la misma población (0.23; García-Peniche et al., 2012) ó en otra población de cabras

lecheras (0.31; Torres-Vázquez et al., 2009), la selección para modificar esta característica en cabras lecheras es una opción viable.

Algunas de las diferencias observadas en los estimados de la heredabilidad pudieron haberse debido a que en el presente estudio se incluyeron los efectos de hatosemmental y hato-año-raza en los modelos utilizados para la estimación, ya que como se observó en este estudio, dichos efectos contribuyen de manera importante a la varianza total, por lo que deben tomarse en consideración en los modelos estadísticos para estimar la heredabilidad.

La longevidad en cabras, en comparación con otras especies, es una característica que no se evalúa comúnmente, limitando la información de vida productiva a un único estudio realizado por Torrero (2010) en cabras de la misma población, en el que obtuvo un estimado de heredabilidad para la habilidad de permanencia a la segunda lactancia menor (0.13) al que se obtuvo en el presente estudio para VP72 (0.22), y aunque las medidas para describir la vida productiva empleadas en ambos estudios son diferentes, ambos estimados de heredabilidad pueden ser usados como referencias futuras para ser utilizados en el desarrollo de nuevos índices de selección para el incremento de la longevidad en cabras.

A pesar de que en la mayoría de las definiciones de vida productiva empleadas a lo largo del tiempo, algunos autores (i.e. VanRaden y Klaaskate, 1993; Martinez et al., 2004; Tsuruta et al., 2005) han obtenido estimados de heredabilidad bajos de vida productiva (real y funcional) en ovejas (0 a 0.13; El-Saied et al., 2005; Hatcher et al., 2010), conejas (0.15; Piles et al., 2006), cerdas (0.05 a 10; Serenius y Stalder, 2004; Fernández et al., 2008); y en algunos de los estudios realizados en vacas lecheras (0.001 a 0.18; Caraviello et al., 2004; Pérez-Cabal et al., 2006; Valencia et al., 2008) de diversos países (i.e. Dinamarca, Canadá, EEUU), los estimados de heredabilidad

obtenidos en este estudio, indican que la respuesta a la selección para vida productiva puede ser relativamente mayor en caprinos productores de leche que en estas otras especies, y la inclusión de vida productiva como criterio adicional en los índices de selección es conveniente para mejorar el progreso genético para longevidad en cabras.

Además de esta opción de seleccionar directamente para VP72, existe la posibilidad de seleccionar indirectamente para VP72 mediante el empleo de características de producción de leche, reproducción ó conformación, debido a que la mayoría de las correlaciones genéticas fueron positivas y significativas, indicando que la selección indirecta para incrementar vida productiva en cabras lecheras, seleccionando para dichas características es posible.

Las características relacionadas más fuertemente con VP72 y VPF72 fueron la CF ($r_g = 0.54$ y 0.51 , respectivamente), LAU ($r_g = 0.34$ y 0.34 , respectivamente), AG2 ($r_g = 0.33$ y 0.29 , respectivamente), PL ($r_g = 0.33$ y 0.39 , respectivamente) y PP ($r_g = 0.30$ y 0.29 , respectivamente), por lo que la selección para la mejora en estas características conducirá a una mejora más eficiente en VP72 y VPF72.

En los índices de selección evaluados, la inclusión de VP72 como criterio de selección incrementó desde 0.15% hasta 17.35% la respuesta esperada por generación. Además de esto, la selección directa para VP72 incrementó la VP72 de las cabras 102.28 días por generación. Considerando este valor como el 100% de la respuesta y si seleccionamos para el incremento de PL, PG, PP, IP ó EP, se logra un incremento en VP72 por generación de 39.21 días (38.33%), 27.33 días (26.72%), 35.90 días (35.10%), -8.28 días (-8.10%), ó 2.77 días (2.70%), respectivamente. Dicho esto, la selección indirecta para VP72 mediante el incremento de la PL será más eficiente que utilizando otras características de producción de leche ó de reproducción.

Es necesario que se realice mayor investigación acerca de las relaciones que resultaron desfavorables en el presente estudio entre las características evaluadas y longevidad, además de investigaciones acerca de la respuesta a la selección de VP con la inclusión de algunas características de conformación en un índice de selección, así como la investigación acerca de la relación que pudiera existir con otras características reproductivas, y de resistencia a enfermedades, con el fin de tener fundamentos correctos para que dichas características puedan o no ser utilizadas en la selección indirecta para VP en cabras lecheras.

Mientras avanza la investigación acerca de longevidad en cabras, la implementación de estrategias como introducir niveles de desecho independientes para la PL y contenido de grasa (Kominakis et al., 2000), incluir características reproductivas en los índices de selección (Valencia et al., 2008), así como mejorar el manejo (Montaldo et al., 2010), conducirán a mejoras en la PL, con lo que se esperaría el incremento indirecto de VP en cabras, debido a la relación genética de la PL con VP, reflejada en los valores obtenidos en el presente estudio. Además de estas estrategias, en vacas, la selección de animales con menor proporción grasa: proteína (Buttchereit et al., 2010), y la selección de hembras con partos múltiples en ovejas (Abdelqader et al., 2012), han mostrado que pueden incrementar VP de manera directa en estas especies, sin embargo, éstas características no han sido evaluadas en cabras, por lo que se requiere mayor investigación referente al tema para llegar a una conclusión acerca del papel que juegan en la selección para diseñar estrategias útiles para incrementar la VP en cabras.

6.1. LITERATURA CITADA

- Abdelqader A., Yacoub A. A., and Gaulty M. 2012. Factors influencing productive longevity of Awassi and Najdi ewes in intensive production systems at arid regions. *Small Rumin. Res.* 104: 37 – 44.
- Barillet F. 2007. Genetic improvement for dairy production in sheep and goats. *Small Rumin. Res.* 70: 60 – 75.
- Buttchereit N., Stamer E., Junge W., and Thaller G. 2010. Evaluation of five lactation curve models fitted for fat:protein ratio of milk and daily energy balance. *J. Dairy Sci.* 93: 1702 – 1712.
- Caraviello D. Z., Weigel K. A., and Gianola D. 2004. Comparison between a Weibull proportional hazards model and a linear model for predicting the genetic merit of US Jersey sires for daughter longevity. *J. Dairy Sci.* 87: 1469 – 1476.
- El-Saied U. M., De La Fuente L. F., Carriedo J. A., and San Primitivo F. 2005. Genetic and phenotypic parameter estimates of total and partial lifetime traits for dairy ewes. *J. Dairy Sci.* 88: 3265 – 3272.
- Fernández de S. X., Fàbrega E., Tibau J. and Casellas J. 2008. Effect of leg conformation on survivability of Duroc, Landrace, and Large White sows. *J. Anim. Sci.* 86: 2392 – 2400.
- García-Peniche T., Montaldo H., Valencia-Posadas M., Wiggans G., Hubbard S., Torres-Vázquez J., and 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 (5): 2707 – 2717.
- Hatcher S., Atkins K.D. and Thornberry K.J. 2010. Survival of adult sheep is driven by longevity genes. *Proc. Assoc. Advmt. Anim. Breed. Genet.* 18: 580 – 583.

- Kominakis A., Rogdakis E., Vasiloudis Ch., and Liaskos O. 2000. Genetic and environmental sources of variation of milk yield of Skopelos dairy goats. *Small Rumin. Res.* 36: 1 – 5.
- Leboeuf B., Delgadillo J. A., Manfredi E., Piacère A., Clément V., Martin P., Pellicer M., Boué P. and de Cremoux R. 2008. Management of goat reproduction and insemination for genetic improvement in France. *Reprod. Dom. Anim.* 43 (2): 379 – 385.
- Luo M. F., Wiggans G. R., and Hubbard S. M. 1997. Variance component estimation and multitrait genetic evaluation for type traits of dairy goats. *J. Dairy Sci* 80:594–600.
- Mark F. 2004. Applied genetic evaluations for production and functional traits in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 87: 2641 – 2652.
- Martinez G. E., Koch R. M., Cundiff L. V., Gregory K. E., and Van Vleck L. D. 2004. Genetic parameters for six measures of length of productive life and three measures of lifetime production by 6 yr after first calving for Hereford cows. *J. Anim. Sci.* 82: 1912 – 1918.
- Montaldo H. H., Valencia-Posadas M., Wiggans G. R., Shepard L., and Torres-Vázquez J. A. 2010. Genetic and environmental relationships between milk yield and kidding interval in dairy goats. *J. Dairy Sci.* 93: 370 – 372.
- Pérez-Cabal M. A., García C., González-Recio O., and Alenda R. 2006. Genetic and phenotypic relationships among locomotion type traits, profit, production, longevity, and fertility in Spanish dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89: 1776 – 1783.
- Piles M., Garreau H., Rafel O., Larzul C., Ramon J., and Ducrocq V. 2006. Survival analysis in two lines of rabbits selected for reproductive traits. *J. Anim. Sci.* 84: 1658 – 1665.

- Rupp R., Clément V., Piacere A., Robert-Granié C., and Manfredi E. 2011. Genetic parameters for milk somatic cell score and relationship with production and udder type traits in dairy Alpine and Saanen primiparous goats. *J. Dairy Sci.* 94: 3629 – 3634.
- Serenius T. and Stalder K. J. 2004. Genetics of length of productive life and lifetime prolificacy in the Finnish Landrace and Large White pig populations. *J. Anim. Sci.* 82: 3111 – 3117.
- Sewalem A., Kistemaker G. J., Miglior F., and Van Doormaal B. J. 2004. Analysis of the relationship between type traits and functional survival in Canadian Holsteins using a Weibull proportional hazards model. *J. Dairy Sci.* 87: 3938 – 3946.
- Torrero G. Y. 2010. Estimación de covarianzas para características de longevidad y producción en cabras. Tesis de Maestría. Universidad de Guanajuato. Irapuato, Gto. México.
- Torres-Vázquez J. A., Valencia-Posadas M., Castillo-Juárez H., and Montaldo H. H. 2009. Genetic and phenotypic parameters of milk yield, milk composition and age at first kidding in Saanen goats from Mexico. *Livest. Sci.* 126: 147 – 153.
- Tsuruta S., Misztal I., and Lawlor T. J. 2005. Changing definition of productive life in US Holsteins: Effect on genetic correlations. *J. Dairy Sci.* 88: 1156 – 1165.
- Valencia P. M., Montaldo V. H. H., y Ruíz L. F. de J. 2008. Parámetros genéticos para características de conformación, habilidad de permanencia y producción de leche en ganado Holstein en México. *Téc. Pec. Mex.* 46 (3): 235 – 248.
- VanRaden P. M. and Klaaskate E. J. H. 1993. Genetic evaluation of length of productive life including predicted longevity of live cows. *J. Dairy Sci.* 76: 2758 – 2764.

7. CONCLUSIONES GENERALES

La mejora genética de la vida productiva es un logro factible mediante la inclusión de dicha característica en un índice de selección, siendo más eficiente la mejora si se remueven los efectos del desecho voluntario empleando la información de vida productiva funcional, o empleando información de otras características comúnmente evaluadas en cabras a edad temprana.

La inclusión de la vida productiva en un índice de selección que involucre producción de leche, producción de grasa y producción de proteína, podría incrementar la respuesta económica a la selección por generación (de 0.15% a 17.35%). Sin embargo, es necesario que se realice más investigación acerca de los valores económicos para vida productiva en cabras para obtener la máxima respuesta económica a la selección en esta población.

Debido a la alta relación con la vida productiva y vida productiva funcional, las características de calificación final, ancho de la grupa, ligamento anterior de la ubre y producción de leche pueden ser utilizadas como criterios de selección para mejorar indirectamente la vida productiva en cabras lecheras.