

*Artículo corto:*

## ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS DE CARACTERÍSTICAS REPRODUCTIVAS EN LLAMAS DEL CIP QUIMSACHATA DEL INIA-PUNO

### Estimation of genetic parameters of reproductive characteristics in llamas of CIP Quimsachata of INIA-Puno


R.H. Mamani-Cato<sup>1</sup>, T. Huanca<sup>1</sup>, N. Condori-Rojas<sup>1</sup>, J.P. Gutiérrez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Rinconada de Salcedo s/n., Puno, Perú.*

<sup>2</sup>*Departamento de Producción Animal, Universidad Complutense de Madrid, Avda. Puerta de Hierro s/n., Madrid, España.  
E-mail (Rubén Mamani): ruben.consultores@gmail.com*

#### RESUMEN

#### ABSTRACT



Los objetivos fueron estimar la heredabilidad y repetibilidad de características reproductivas de llamas del CIP Quimsachata del INIA-Puno. Se analizaron 20315 datos correspondientes a 1743 y 376 llamas hembras y machos respectivamente. Las hembras nacieron entre 1996 a 2012 y los machos entre 1996 a 2011. Las variables analizadas para las hembras fueron: edad al primer empadre, edad al primer parto, número de servicios por parto, intervalo parto primer servicio, intervalo parto preñez, intervalo entre partos y duración de la gestación; para los machos fueron: edad al primer empadre y tiempo de cópula. Los componentes de varianza se estimaron mediante máxima verosimilitud restringida REML, utilizando el programa VCE versión 5.0. Las heredabilidades fueron nulas 0.0000 (intervalo parto primer servicio) a medias 0.2705 (duración de la gestación). En conclusión, las heredabilidades y repetibilidades de características reproductivas en llamas hembras son bajas y en machos son de media magnitud y similares a los reportados en otras especies.

Palabras clave: *heredabilidad, llamas, repetibilidad, reproducción.*

The objectives were to estimate the heritability and repeatability for reproductive traits of llamas from CIP Quimsachata INIA-Puno. 20315. Data for 1743 and 376 llamas females and males respectively were analyzed; females born between 1996-2012 and males 1996-2011. The variables for females were: Age at first service, age at first calving, number of services per calving, calving first service interval, pregnancy calving interval, calving interval and gestation length; for males were: Age at first service and copulation time. Variance components were estimated by restricted maximum likelihood REML using VCE version 5.0 program. Heritabilities were zero 0.0000 (calving first service interval) to 0.2705 (gestation length). In conclusion, heritability and repeatability for reproductive traits in female llamas are low and males are average size, similar to those reported in other species.

Keywords: *heritability, llamas, repeatability, reproduction*

## INTRODUCCIÓN

Las llamas y alpacas son especies que tienen importancia social y económica en Perú, donde más de 2.9 millones de habitantes están relacionados con estas especies (11% de la población) (Brenes *et al.*, 2001). La heredabilidad de un carácter métrico es una de sus propiedades más importantes y con ella se expresa la proporción de la varianza total debida a las diferencias en valor mejorante que son las que determinan el parecido entre parientes (Falconer y Mackay, 1996). Los caracteres de tipo reproductivo tienen el inconveniente de tener heredabilidades bajas por lo que la metodología de su selección es sensiblemente más compleja; sin embargo, tienen la ventaja de tener un coeficiente de variación elevada (Baselga y Blasco, 1989). Freeman (1984) al hacer una revisión de la heredabilidad de las características reproductivas en diferentes razas de bovinos de leche indica que éstos están entre 0.03 y 0.05. Goyache y Gutiérrez (2001) reportan heredabilidades para intervalo entre partos, edad al primer parto y duración de la gestación de vacas de la raza Asturiana de los valles de España de 0.12, 0.27 y 0.15 respectivamente. Cuando puede hacerse más de una medición del carácter en cada individuo, la varianza fenotípica puede partirse en varianza dentro de individuos y varianza entre individuos, esta partición conduce a un cociente de componentes de varianza que se llama repetibilidad, que tiene tres utilidades principales: mostrar lo que se puede ganar con la repetición de la mediciones, establecer los límites superiores de los cocientes varianza genética/varianza fenotípica (Falconer y Mackay, 1996). Los objetivos fueron estimar los parámetros genéticos de características reproductivas de llamas del CIP Quimsachata del INIA-Puno.

## MATERIALES Y MÉTODOS:

### Datos

Se analizaron 12033 y 8504 datos de características reproductivas correspondientes a 1743 y 376 llamas hembras y machos respectivamente, los cuales fueron obtenidos de los registros de reproducción (empadre controlado y parición) del periodo 1996 al 2014 del Centro de Investigación y Producción (CIP) Quimsachata perteneciente al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), ubicado en el distrito de Santa Lucía de la provincia de Lampa del departamento de Puno, Perú, a una altitud de 4200 m sobre el nivel del mar. Este Centro se encuentra en la zona agroecológica de puna seca, cuenta con una extensión de 6100 há. Los registros fueron sistematizados en la hoja de cálculo del programa Microsoft Office Excel®. Las variables analizadas en las hembras fueron: edad al primer empadre (en días, EPEH), edad al primer parto (en días, EPP), número de servicios por parto (NSP), intervalo parto primer servicio (en días, IPPS), intervalo parto preñez (en días, IPP), intervalo entre partos (en días, IEP) y la duración de la gestación (en días; DG). Las variables analizadas para los machos fueron: edad al primer empadre (en días, EPEM) y tiempo de cópula (en minutos, TC). Una vez sistematizados los registros reproductivos se han editado para excluir a aquellos animales con errores en la identificación o datos inconsistentes.

### Análisis genético

Los efectos fijos y las covariables a ser incluidos en el modelo animal fueron definidos según el grado de significancia utilizando el método de mínimos cuadrados ordinarios por

medio del procedimiento GLM del programa estadístico SAS® versión 8.2 (SAS Institute. Inc., Cary, NC, USA). Fue creada una matriz de parentesco considerando hasta máximo cinco generaciones, incluyendo todos los animales disponibles, quedando un archivo de genealogía conteniendo 4698 llamas con un coeficiente de consanguinidad promedio de 0.11%.

Para estimar los componentes de varianza de la edad al primer empadre de la llama hembra y macho, y edad al primer parto, cada variable se ha analizado en un modelo animal unicaracter:

$$y = X\beta + Z_{aa} + e$$

Para estimar los componentes de varianza del número de servicios por parto, intervalo parto primer servicio, intervalo parto preñez, intervalo entre partos y tiempo de cópula del macho, se ha analizado en un modelo animal unicaracter con medidas repetidas:

$$y = X\beta + Z_{aa} + Z_{cc} + e$$

Para estimar los componentes de varianza de la variable duración de la gestación se han utilizado tres modelos con diferentes combinaciones de efectos aleatorios, los cuales son:

$$\cdot \text{Modelo 1: } y = X\beta + Z_{aa} + e$$

$$\cdot \text{Modelo 2: } y = X\beta + Z_{aa} + Z_{mm} + e$$

$$\cdot \text{Modelo 3: } y = X\beta + Z_{aa} + Z_{mm} + Z_{cc} + e$$

donde:  $y$  es el vector del carácter observado (para las hembras: EPEH, EPP, NSP, IPPS, IPP, IEP y DG; para los machos: EPEM y TC);  $\beta$  es el vector de efectos fijos los cuales fueron: para las hembras: el año de nacimiento para las variables EPEH y EPP; estado reproductivo de la hembra para las variables NSP, IPPS, IPP e IEP; año y mes de empadre para las variables NSP y DG; año y mes de parto par las variables IPPS, IPP e IEP. Para el caso de los machos se ha considerado como factor fijo año de nacimiento para la variable EPEM; el factor año y mes de empadre se ha considerado como factores fijos para la variable TC; además la edad de la llama macho se ha considerado como covariable lineal para el TC;  $a$  es el vector de efectos genéticos aditivos maternos;  $c$  es el vector de efecto de ambiente permanente;  $e$  es el vector de los efectos aleatorios residuales.  $X$ ,  $Z_a$ ,  $Z_m$ ,  $Z_c$  son las matrices de incidencia relacionando  $a$ ,  $\beta$ ,  $a$ ,  $m$  y  $c$  con  $y$ . En este estudio se asume que

$$\text{Var}(a) = A \otimes \Sigma_a; \text{Var}(m) = A \otimes \Sigma_m; \\ \text{Var}(c) = I \otimes \Sigma_c \text{ y } \text{Var}(e) = A \otimes \Sigma_e$$

en el que  $\Sigma_a$  es la matriz de covarianzas genéticas aditivas;  $\Sigma_m$  es la matriz de covarianzas genéticas maternas;  $\Sigma_c$  es la matriz de covarianzas de ambiente permanente;  $\Sigma_e$  es la matriz de covarianza residual;  $A$ , es la matriz del numerador de relaciones genético-aditivas;  $I$  es la matriz identidad;  $\otimes$  es el producto directo entre matrices. Se asume que los vectores  $a$ ,  $m$ ,  $c$  y  $e$  no están correlacionados entre sí. Las (co) varianzas y heredabilidades para cada característica reproductiva de llamas hembras y machos fueron estimados mediante un modelo animal univariado. La metodología de estimación de parámetros genéticos es del tipo frecuentista basada en el Método de Máxima Verosimilitud Restringida (REML), descrito por Patterson y Thompson (1971), para lo cual se usó el programa VCE versión 5.0 (Variance Component Estimation) (Neumaier y Groeneveld, 1998). Para el caso de la variable DG, para decidir cuál es el mejor modelo se ha utilizado la Prueba de Razón de Verosimilitud (Sorensen y Gianola, 2002). El resultado de la prueba de razón de verosimilitud se ha comparado con el valor de una chi-cuadrado para un grado de libertad con un nivel de significancia del 5%.



**RESULTADOS**

Los estadísticos descriptivos de las características reproductivas en llamas hembras y machos se muestran en la Tabla 1. De modo general las heredabilidades para características reproductivas en llamas hembras exceptuando la duración de la gestación fueron de baja magnitud, cuyos valores van desde 0.0000 (IPPS) hasta 0.0700 (EPP) (Tabla 2.). Para analizar la heredabilidad de la DG se han comparado tres modelos alternativos (Tabla 3.), siendo el modelo 3 el que mejor ajusta a nuestros datos indicando por consiguiente que la DG es una característica heredable tanto por la madre como por la cría y ambos son de baja magnitud. Las características reproductivas de las llamas machos son de heredabilidad media (Tabla 4.). La repetibilidad del IPPS, IPP e IEP es baja (Tabla 2.) en tanto que para NSPP es bajo (Tabla 2.). La repetibilidad de la DG fue de magnitud media (Tabla 3.). La repetibilidad del TC es de magnitud media (Tabla 4.). Los errores estándar de las heredabilidades tuvieron valores que van desde 0.0000 hasta 0.3507 los cuales nos indican el grado de precisión de estos parámetros (Tabla 1, 2, 3 y 4).

Tabla 1. Resumen de estadísticos para características reproductivas en llamas.

Estadístico	EPEH, (días)	EPP, (días)	NSP	IPPS, (días)	IPP, (días)	IEP, (días)	DG, (días)	EPEM, (días)	TC, (min)
n	1207	1004	3082	2698	1128	1331	1583	222	8282
Promedio	802.84	1282.10	1.25	22.15	26.71	380.51	348.53	1428.44	25.88
Coefficiente de variabilidad, %	24.94	23.82	42.40	62.30	67.69	5.58	1.75	27.47	35.39

Tabla 2. Componentes de varianza, heredabilidades, repetibilidades y sus correspondientes errores estándar (entre paréntesis) para características reproductivas en llamas.

Parámetro	EPEH	EPP	NSP	IPPS	IPP	IEP
$\sigma_d^2$	2658.38 (1946.03)	3876.73 (5607.28)	0.0054 (0.0057)	0.0000 (0.0001)	7.4322 (9.0145)	13.0837 (11.2278)
$\sigma_{pm}^2$	---	---	0.0026	0.0000	0.0000	0.0000
$\sigma_p^2$	31029.7	79831.3	0.25153	128.637	214.617	291.866
$h_d^2$	0.0857 (0.0624)	0.0736 (0.0700)	0.0216 (0.0225)	0.0000 (0.0000)	0.0346 (0.0420)	0.0448 (0.0382)
r	---	---	0.0319	0.0000	0.0346	0.0448

$\sigma_d^2$  = varianza genética aditiva directa;  $\sigma_{pm}^2$  = varianza ambiental permanente;  $\sigma_p^2$  = varianza fenotípica;  $h_d^2$  = heredabilidad genética aditiva directa; r = repetibilidad

Tabla 3. Parámetros estimados para DG de los tres modelos y la diferencia en el valor de verosimilitud (nivel de significancia: \* p<0.05, \*\*\*p<0.001). La mejor estimación en términos de valores de verosimilitud está en negrita

Parámetro	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
$\sigma_d^2$	8.3028 (1.8736)	3.89276 (1.8015)	<b>3.8610 (1.6200)</b>
$\sigma_{pm}^2$	---	---	<b>3.0299 (1.7887)</b>
$\sigma_{dm}^2$	---	-1.7346 (1.8190)	-0.8056
$\sigma_{pm}^2$	---	6.7792 (1.9627)	<b>3.4419</b>
$\sigma_p^2$	30.6950	21.7413	<b>29.6031</b>
$h_d^2$	0.2705 (0.0574)	0.1354 (0.0599)	<b>0.1504 (0.0530)</b>
$h_m^2$	---	0.2359 (0.0522)	<b>0.1163 (0.0809)</b>
$r_{dm}$	---	-0.33765	<b>-0.2210 (0.4009)</b>
r	---	---	0.2328
Diferencia	0	4729.353***	<b>5.3112*</b>

$\sigma_d^2$  = varianza genética aditiva directa;  $\sigma_{pm}^2$  = varianza ambiental permanente;  $\sigma_{dm}^2$  =  $\sigma_{pm}^2$  - varianza genética aditiva directa y materna;  $\sigma_p^2$  = varianza genética aditiva materna;  $\sigma_{pm}^2$  = varianza fenotípica;  $h_d^2$  = heredabilidad genética aditiva directa;  $h_m^2$  = heredabilidad genética aditiva materna;  $r_{dm}$  = Covarianza genética aditiva directa y materna; r = repetibilidad

Tabla 4. Componentes de varianza, heredabilidades y repetibilidad y errores estándar (entre paréntesis) para edad al primer empadre (EPEM) y tiempo de cópula (TC) en llamas machos.

Parámetro	EPEM	TC
$\sigma_d^2$	28352.4 (44464.8)	11.984 (1.2840)
$\sigma_{pm}^2$	---	0.2422 (0.0547)
$\sigma_p^2$	124933	77.6915
$h_d^2$	0.2269 (0.3507)	0.1543 (0.0143)
r	---	0.1574

$\sigma_d^2$  = varianza genética aditiva directa;  $\sigma_{pm}^2$  = varianza ambiental permanente;  $\sigma_p^2$  = varianza fenotípica;  $h_d^2$  = heredabilidad genética aditiva directa; r = repetibilidad

**DISCUSIÓN**

Se estimó la heredabilidad y repetibilidad de 9 características reproductivas en llamas (EPEH, EPP, NEP, IPPS, IPP, IEP, DG, EPEM y TC). Son escasas las referencias disponibles en la literatura para comparar los valores medios de los caracteres reproductivos en llamas es así que Condorena *et al.* (1992) reportan que la DG en promedio es de 346 días siendo casi similar al obtenido en nuestro resultado; sin embargo nuestro resultado es mayor a la DG de las alpacas Huacaya y Suri de 341 y 345 días respectivamente reportados por San-Martín *et al.* (1968). No hay referencias disponibles en la literatura sobre estimaciones de heredabilidad y repetibilidad en otros camélidos por lo que se harán comparaciones con valores reportados en otras especies como el bovino. Haile-Mariam y Kassa-Mersha (1994) en vacas Boran criados en condiciones tropicales en Etiopía reportan heredabilidad media de 0.07 para EPP siendo similar a nuestro resultado. Crews (2006) al analizar la DG en vacas Charolais de Canadá reporta que la heredabilidad directa es alta de 0.64 siendo este valor mayor al obtenido en nuestro estudio además reporta que la heredabilidad materna es baja de 0.07 y es similar a nuestro resultado. La heredabilidad para IPPS obtenido en nuestro estudio es nula, también se han reportado heredabilidades bajas cercanos a cero para IPPS (0.03) reportados por (Hayes *et al.*, 1992) en vacas Holstein en Canadá. (Goyache y Gutiérrez, 2001; Gutiérrez, 2007; Haile-Mariam y Kassa-Mersha, 1994) reportan heredabilidades bajas para IEP en vacas de la raza Asturiana de los valles de España y vacas Boran de Etiopía de 0.12, 0.121 y 0.04 respectivamente, los cuales son bajas y similares a nuestro resultado; sin embargo Braga-Lobo (1998) reporta heredabilidades medias de 0.14 y 0.29 para IEP y EPP respectivamente en vacas cebú de Brasil los cuales son mayores a nuestros resultados. La heredabilidad para NSP de nuestro estudio es similar a la heredabilidad de número de servicios por concepción reportados por (Raheja *et al.*, 1989; Hayes *et al.*, 1992; Haile-Mariam *et al.*, 2003;) de 0.04, 0.028 y 0.03 en vacas Holstein en Canadá y Holstein-Friesian en Australia, respectivamente. En general, los caracteres con menores heredabilidades son los que están más estrechamente ligados a la eficacia biológica (Falconer y Mackay, 1996; Baselga y Blasco, 1989). En un estudio realizado en vacas de las razas Jersey, Guernsey y Holstein en Florida, Estados Unidos (Silva *et al.*, 1992) reportan repetibilidades que van desde 0.05 a 0.12 para IPPS el cual es bajo y similar al obtenido en nuestro estudio. Las repetibilidades para NSP, IPPS, IPP, IEP y TC fueron bajas y similares al valor de su respectiva heredabilidad, esto indica que hay otros factores además de la genética y el ambiente permanente que influyen sobre la eficiencia reproductiva, y para mejorar la eficiencia reproductiva se debe dar atención a estos otros factores (Hayes *et al.* 1992). Una baja repetibilidad

significa que un registro cualquiera del individuo no nos dice nada prácticamente sobre cuál va a ser el valor de su próximo registro, para esa misma característica (Cardellino y Rovira, 1983; Hayes *et al.*, 1992). La repetibilidad de la DG de nuestro estudio fue media y es similar a lo reportado por Bourdon and Brinks (1982) de 0.20 en bovinos de carne de Estados Unidos. En conclusión, las heredabilidades y repetibilidades de características reproductivas en llamas hembras son bajas y en machos son de media magnitud y similares a los reportados en otras especies.

## CONCLUSIÓN

Las heredabilidades y repetibilidades de características reproductivas en llamas hembras son bajas y en machos son de media magnitud y similares a los reportados en otras especies.

## REFERENCIAS

- Baselga M, Blasco A. Mejora genética del conejo de producción de carne. España: *Ediciones Mundi-Prensa*; 1989. p. 38.
- Bourdon RM, Brinks JS. Genetic, environmental and phenotypic relationships among gestation length, birth weight, growth traits and age at first calving in beef cattle. *J Anim Sci* 1952; 55:543-553.
- Braga-Lôbo RN. Genetic parameters for reproductive traits of zebu cows in the semi-arid region of Brazil. *Livest Prod Sci* 1998; 55:245-248.
- Brenes ER, Madrigal K, Pérez P, Valladares R. El clúster de los camélidos en el Perú: Diagnóstico competitivo y recomendaciones estratégicas. *Proyecto Andino de Competitividad. Documentos de trabajo. Instituto Centroamericano de Administración de Empresas (INCAE)* 2001; 71 p.
- Cardellino R, Rovira J. Mejoramiento genético animal. Uruguay: Editorial Hemisferio Sur; 1983. p. 109-110.
- Crews DH. Age of dam and sex of calf adjustments and genetic parameters for gestation length in Charolais cattle. *J Anim Sci* 2006; 84:25-31.
- Condorena N, Sumar J, Alarcón V. Periodo de gestación en Llama. *Turrialba* 1992; 42:112-113.
- Falconer DS, Mackay TFC. Introducción a la genética cuantitativa. Zaragoza-España: *Editorial Acribia*; 1996. p. 139-163.
- Freeman AE. Secondary traits: Sire valuation and the reproductive complex. *J Dairy Sci* 1984; 67:449-458.
- Goyache F, Gutiérrez JP. Heritability of reproductive traits in Asturiana de los valle beef cattle breed. *Arch Tierz Dummerstorf* 2001; 44:489-496.
- Gutiérrez JP, Goyache F, Fernández I, Alvarez I, Royo LJ. Genetic relationships among calving ease, calving interval, birth weight, and weaning weight in the Asturiana de los Valles beef cattle breed. *J Anim Sci* 2007; 85:69-75.
- Gutiérrez JP. Iniciación a la valoración genética animal. Madrid-España: *Editorial Complutense*; 2010. p. 89.
- Haile-Mariam H, Kassa-Mersha H. Genetic and environmental effects on age at first calving and calving interval of naturally bred Boran (zebu) cows in Ethiopia. *Anim. Prod., Haddington, U.K.* 1994; 58:329-334.
- Haile-Mariam M, Morton JM, Goddard ME. Estimates of genetic parameters for fertility traits of Australian Holstein-Friesian cattle. *Animal Science* 2003; 76:35-42.
- Hayes JF, Cue RI, Monardes HG. Estimates of repeatability of reproductive measures in Canadian Holsteins. *J Dairy Sci* 1992; 75:1701-1706.
- Neumaier A, Groeneveld E. Restricted Maximum Likelihood Estimation of Covariances in Sparse Linear Models. *Genet Sel Evol* 1998; 1:3-26.
- Patterson HD, Thompson R. Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. *Biometrics* 1971; 58:545-554.
- Raheja KL, Burnside EB, Schaeffer LR. Relationships between fertility and production in Holstein dairy cattle in different lactations. *J Dairy Sci* 1989; 72:2670-2678.
- San Martín M, Copaira M, Zuniga J, Rodreguez R, Bustinza G, Acosta L. Aspects of reproduction in the Alpaca. *J Reprod Fert* 1968; 16:395-399.
- SAS, 1999. SAS/STAT v 8.2 User's Guide: Statistics. *SAS Institute*, Cary, NC, USA.
- Sorensen D, Gianola D. Likelihood, Bayesian and MCMC Methods in Quantitative Genetics. New York: *Springer*; 2002. p. 166.

