

Interacción genotipo x tipo de dosis de inseminación artificial para la fertilidad del macho de conejo

M. Piles*, Ll. Tusell*, M. García-Tomás*, M. López-Bejar***, I. García-Ispuerto***, J. Ramon*, O. Rafel*, M. Baselga**

* Unitat de Cunicultura, Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries, Torre Marimon s/n, 08182, Caldes de Montbú, Barcelona, Spain

** Instituto de Ciencia y Tecnología Animal, Universidad Politécnica de Valencia, 46071, Valencia, Spain

*** Departament de Sanitat i Anatomia Animals, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Barcelona, Spain

E-mail: miriam.piles@irta.es

Resumen

El objetivo de este trabajo fue estimar los parámetros genéticos de la fertilidad tras la IA con 3 tipos de dosis obtenidas de eyaculados de machos de la línea Caldes: 1) tipo **10**: con 10×10^6 espermatozoides/ml y 24h de conservación en un diluyente comercial tipo A. 2) tipo **40**: con 40×10^6 espermatozoides/ml y las mismas condiciones de conservación que las del tipo 10. 3) tipo **X**: dosis preparadas tras diluir los eyaculados con un diluyente comercial tipo B (1:5) siendo desconocida la concentración y sin periodo de conservación. Se realizaron 3,628 IA con dosis del tipo 10 sobre hembras cruzadas, 3,027 con dosis del tipo 40 y la misma población de hembras, y 5,779 con dosis del tipo X sobre hembras puras de la línea Caldes. La fertilidad tras la IA con dosis del tipo 10 (F_{10}), 40 (F_{40}) y X (F_X) fue considerada un carácter distinto en cada caso, de tipo binario. Los datos se analizaron utilizando un modelo umbral tri-carácter. La estima de la media de la distribución marginal posterior (DMP) de F_{10} menos F_{40} fue de -0.13. Este resultado indica un claro efecto de la concentración sobre la fertilidad, que podría no ser lineal. Las medias de la DMP de F_{10} menos F_X y F_{40} menos F_X fueron -0.37 y -0.23, respectivamente, lo que indica que el efecto de las condiciones de conservación sobre la fertilidad podría ser más importante que el de la concentración ya que F_X fue muy próxima a la fertilidad tras la MN y la concentración del tipo de dosis X sería en promedio de unos 50×10^6 espermatozoides/ml. Las heredabilidades parecen ser similares para F_{10} y F_{40} y ambas mayores que las correspondientes a la fertilidad tras la MN y a F_X . La interacción del genotipo x concentración de la dosis de IA es prácticamente despreciable debido a que las varianzas genéticas fueron similares para F_{10} y F_{40} y a que su correlación genética fue próxima a 1. Sin embargo, la interacción podría ser de mayor importancia entre el genotipo y las condiciones de conservación.

Palabras clave: Componentes de varianza, Conejo, Efectos del macho, Interacción genotipo x medio, Fertilidad

Summary

Genotype x dose of artificial insemination interaction for buck fertility

The aim of this research was to estimate genetic parameters of male fertility after AI with three different types of AI doses obtained from ejaculates of bucks belonging to the Caldes line: 1) type **10**: doses with 10×10^6 spermatozoa/ml and a period of 24 h of storage at 18°C in a saline extender A. 2) type **40**: doses with 40×10^6 spermatozoa/ml and the same storage conditions as type 10. 3) type **X**, doses prepared with semen diluted (1:5) with a saline extender B, but with unknown sperm dosage and no storage period. 3,628 AI were performed with the type 10 doses using crossbred females, 3,027 with the type 40 doses and the same population of females, and 5,779 with the type X doses, using purebred

females from the Caldes line in a different farm. Fertility after AI with type 10 doses (F_{10}), type 40 doses (F_{40}) and type X doses (F_X) was considered as three different binary traits. Data were analyzed under a three-trait threshold model. The mean of the marginal posterior distribution (MPD) for F_{10} minus F_{40} was estimated to be -0.13. This result indicates a clear effect of the sperm dosage on fertility, which could be non-linear. The mean of the MPD of F_{10} minus F_X and F_{40} minus F_X were respectively, -0.37 and -0.23 which indicates that the effect of the storage conditions on fertility could be even more important on fertility than sperm dosage, since F_X was very close to fertility after NM and sperm dosage of this type of doses was in average lower than 50×10^6 spermatozoa/ml. Heritabilities seem to be similar for F_{10} and F_{40} and both of them could be higher than heritability of male fertility after NM and F_X . Variance of the genotype x sperm dosage interaction was almost negligible since additive variances were similar for F_{10} and F_{40} and their genetic correlation was close to 1. However, this interaction could be more important between the genotype and the storage conditions.

Key words: Artificial insemination, Fertility, Genotype x sperm dosage interaction, Male effects, Rabbit

Introducción

En diversos estudios se ha podido comprobar que fallos en la fertilización o en el proceso de embriogénesis son en parte de origen seminal (SAACHE y col., 2000). Sin embargo, PILES y col. (2005) estimaron los componentes de varianza de la fertilidad tras la monta natural (MN), definida como éxito o fracaso a la cubrición, y demostraron que existía variación genética y ambiental debida a la hembra, pero que ésta era prácticamente despreciable en el caso del macho de conejo. Cuando se utiliza la inseminación artificial (IA), la fertilidad depende de la calidad y del número de espermatozoides de la dosis (Colebrander et al., 2003) y se distingue entre dos grupos de características seminales: 1) compensables, aquellas que dan lugar a diferencias en fertilidad entre machos que desaparecen cuando se utilizan elevadas concentraciones de espermatozoides en las dosis y que son debidas a deficiencias en el semen que impiden el acceso o la penetración del espermatozoide al óvulo; 2) no compensables, aquellas que dan lugar a diferencias en fertilidad entre machos independientes del número de espermatozoides en la dosis, pues están relacionados con la incapacidad del

espermatozoide para mantener el proceso de fertilización o posterior embriogénesis (Saacke et al., 2000). Es por ello que, la variación individual de la fertilidad del macho podría ser mejor observada en las condiciones de IA que en las de MN, especialmente si ésta se realiza en condiciones limitantes como baja concentración de espermatozoides de la dosis, pequeña o nula preselección de los eyaculados en función de las características de calidad seminal o un prolongado periodo de conservación. Bajo esta hipótesis, el objetivo de este trabajo fue estimar los componentes de varianza de la fertilidad del macho y de la hembra después de la IA practicada en diferentes condiciones de concentración y conservación de las dosis, consideradas como caracteres diferentes, y estimar la varianza de la interacción entre el genotipo y el tipo de dosis de IA para conocer si existe variación genética individual del efecto del tipo de dosis.

Material y métodos

Los machos procedían de la línea Caldes, seleccionada por velocidad de crecimiento durante el periodo de engorde. Éstos se

encontraban alojados en jaulas individuales en la granja experimental situada en Caldes de Montbui (Barcelona), con un régimen de iluminación de 16 hrs luz/día. Los machos de IA comenzaban el periodo de entrenamiento a la vagina artificial a los 4,5 meses de vida. Durante un periodo de dos semanas se recogía 1 eyaculado / macho y semana y posteriormente dos eyaculados / macho y semana. Las hembras pertenecían a dos grupos: 1) hembras procedentes de la línea Caldes alojadas en la misma granja experimental que los machos y 2) hembras cruzadas Prat x V, alojadas en una granja comercial. En ambos casos las hembras seguían un ritmo reproductivo semi-intensivo, es decir, la primera cubrición se realizaba a los 4 meses y medio de vida y, los ciclos reproductivos posteriores eran de 42 días. Las inseminaciones se realizaron utilizando dosis preparadas en el laboratorio situado junto a la granja donde se encontraban los animales de la línea Caldes. Se recogían dos eyaculados por macho mediante vagina artificial, con un intervalo de 30 min entre recogidas. Estos se mantenían en un baño seco a 37 °C antes de ser evaluados, no más tarde de 15 minutos tras su obtención. Los eyaculados que contenían orina o depósitos de carbonato cálcico eran eliminados y en el caso de que hubiese presencia de gel, éste era eliminado del eyaculado. Posteriormente el semen de ambos eyaculados era mezclado junto con un diluyente comercial. Se utilizaron 3 tipos de dosis en función de la concentración, tipo de diluyente y tiempo de conservación antes de su aplicación: 1) Dosis de concentración conocida, con un periodo de conservación de 24 hrs. Tras la obtención de los eyaculados la motilidad individual era medida en una escala subjetiva de 0 a 5 (ROCA y col., 2000) y se eliminaban aquellos cuyo valor era < 2. Después eran diluidos (1:2) en un diluyente comercial sólido (Cunigel, IMV Technologies) y la concentración de espermatozoides medida utilizando Nucleocoun-

ter SP-100 . El pool de cada macho era dividido en dos partes y diluido hasta alcanzar la concentración de 10 x 10⁶ espermatozoides/ml (tipo 10) y 40 x 10⁶ espermatozoides/ml (tipo 40), correspondiendo este último valor a la concentración utilizada a nivel comercial con semen de esta línea, que da lugar a tasas de fertilidad del 75-80 %, en dosis heteroespéricas. Las dosis seminales eran almacenadas en cánulas con 0.5 ml de semen diluido a 18°C , hasta su uso sobre hembras Prat x V en una granja comercial situada en Montmajor (Barcelona). 2) Dosis de concentración desconocida sin ningún periodo de conservación (tipo X). El semen era diluido a razón de 1:5 partes con un diluyente comercial líquido (Galap). No se practicaba ninguna evaluación de las características seminales. Las inseminaciones se realizaron sobre hembras de la línea Caldes con 0.5 ml del semen diluido inmediatamente después de la preparación de las dosis. Las hembras, de ambos tipos, eran tratadas con una aplicación subcutánea de 12-15 IU of eCG (FolligonR, Intervet, Holanda) para la inducción al estro 48h antes de la IA. La ovulación era inmediatamente inducida después de la IA por medio de la inyección intramuscular de 0.02 mg de gonadorelina (Fertagyl, Intervet internacional B.V. Booxmeer, Holanda). El diagnóstico de gestación se realizaba por palpación abdominal 14 días después de la IA. Se dispuso de un total de 12,434 datos de fertilidad: 5,779 como resultado de la IA con dosis del tipo X (F_X), 3,628 como resultado de la IA con dosis del tipo 10 (F₁₀) y 3,027 datos como resultado de la IA con dosis del tipo 40 (F₄₀). Los datos correspondían a 496 machos (246 produjeron dosis del tipo X y 250 produjeron dosis de los tipos 10 y 40), 2,194 hembras de la línea Caldes, y 2,527 hembras cruzadas. Los machos estaban genéticamente relacionados. El pedigrí, referido a los machos, incluía 1,125 individuos.

Los resultados de la IA tras la palpación (gestante = 1; no gestante = 0) utilizando los tres tipos de dosis seminales fueron considerados caracteres diferentes, de tipo binario. Éstos se analizaron mediante un modelo umbral tri-carácter, utilizando un modelo mixto para la variable subyacente (I). En notación matricial, el modelo empleado fue: $I = X\beta + Z_1u_m + Z_2p_m + Z_3p_f + Z_4p_{md} + e$

Donde β es el vector de efectos sistemáticos, u_m es el vector de efectos genéticos aditivos de macho, p_m y p_f son los vectores de efectos ambientales permanentes de macho y de hembra, p_{md} es el vector de efectos ambientales permanentes resultantes de la combinación de macho y día de inseminación, e es el vector de residuos aleatorios y X, Z_1, Z_2, Z_3 y Z_4 son matrices de incidencia que relacionan la variable subyacente con los efectos sistemáticos, genéticos y ambientales de tipo permanente. Los efectos sistemáticos incluidos en el modelo fueron: i) el estado fisiológico de la hembra (phs), con 3 niveles: 1 para hembras nulíparas, 2 para hembras múltiparas lactantes en el momento de la cubrición, y 3 para hembras múltiparas no lactantes el día de cubrición; ii) el año-estación (ae), definido en intervalos de 3 meses desde junio de 2003 hasta diciembre de 2,007 en el caso de F_X (19 niveles) y de 14 días desde noviembre de 2,006 hasta julio de 2,007 en el caso de F₁₀ y F₄₀ (19 niveles).

Dados β, u_m, u_f, p_m y p_f , los elementos del vector I son condicionalmente independientes y se distribuyen como:

$$I | \beta, u_m, u_f, p_m, p_f, R \sim N(X\beta + Z_1u_m + Z_2p_m + Z_3p_f + Z_4p_{md}, I \otimes R)$$

siendo $R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ la matriz de varianzas-covarianzas. El umbral y las varianzas residuales fueron fijados a 0 y 1 respectivamente. Las observaciones (éxito o fracaso a la

cubrición) son condicionalmente independientes dados los parámetros del modelo, de manera que la distribución condicional de los datos dados los parámetros se puede escribir, siguiendo a Sorensen et al. (1995), como:

$$p(y | \beta, u_m, u_f, p_m, p_f, p_{md}, I, G) = \prod_{i=1}^n \{p(i, > 0)I(y_i = 1) + p(i, \leq 0)I(y_i = 0)\}$$

donde $y = \{y_i\}$ ($i=1,2,\dots,n$) denota el vector de observaciones y $I(y_i = j)$ es una función indicadora que toma el valor de 1 si la respuesta pertenece a la categoría j y 0 en caso contrario. Se adoptó la metodología bayesiana para la inferencia. La distribución posterior conjunta de todos los parámetros fue:

$$p(\beta, u_m, p_m, p_f, p_{md}, I, G, P_m, P_f, P_{md} | y) \propto p(I | \beta, u_m, p_m, p_f, p_{md}) \times p(u_m | G) \times p(G) \times p(p_m | P_m) \times p(p_f | P_f) \times p(p_{md} | P_{md}) \times \prod_{i=1}^n \{p(i, > 0)I(y_i = 1) + p(i, \leq 0)I(y_i = 0)\}$$

Siendo G la matriz simétrica de componentes de (co)varianza genéticos aditivos y P_m y P_f son las matrices de (co)varianzas de efectos ambientales permanentes de macho y de hembra, respectivamente:

$$G = \begin{bmatrix} \sigma_{u_m,10}^2 & \sigma_{u_m,10,u_m,40} & \sigma_{u_m,10,u_m,X} \\ \sigma_{u_m,40,u_m,10} & \sigma_{u_m,40}^2 & \sigma_{u_m,40,u_m,X} \\ \sigma_{u_m,X,u_m,10} & \sigma_{u_m,X,u_m,40} & \sigma_{u_m,X}^2 \end{bmatrix};$$

$$P_m = \begin{bmatrix} \sigma_{p_m,10}^2 & \sigma_{p_m,10,p_m,40} & 0 \\ \sigma_{p_m,40,p_m,10} & \sigma_{p_m,40}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{p_m,X}^2 \end{bmatrix};$$

$$P_f = \begin{bmatrix} \sigma_{p_f,10}^2 & \sigma_{p_f,10,p_f,40} & 0 \\ \sigma_{p_f,40,p_f,10} & \sigma_{p_f,40}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{p_f,X}^2 \end{bmatrix};$$

$$P_{md} = \begin{bmatrix} \sigma_{p_{md},10}^2 & \sigma_{p_{md},10,p_{md},40} & 0 \\ \sigma_{p_{md},40,p_{md},10} & \sigma_{p_{md},40}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{p_{md},X}^2 \end{bmatrix}$$

Se consideraron las siguientes distribuciones a priori de los parámetros:

$$p(\beta) \sim U(-5,5); p(u_m | G) \sim N(0, A \otimes G); p(p_m | P_m) \sim N(0, I \otimes P_m); p(p_f | P_f) \sim N(0, I \otimes P_f); p(p_{md} | P_{md}) \sim N(0, I \otimes P_{md})$$

donde A es la matriz de relaciones de parentesco. Se asignaron priors uniformes acotados a los elementos de las matrices G , P_m , P_f y P_{md} . Se utilizó el algoritmo de muestreo de Gibbs para aproximar las distribuciones marginales posteriores de las variables de interés. Las distribuciones condicionales de cada uno de los parámetros del modelo necesarias para la implementación del mismo pueden encontrarse en Sorensen et al. (1995). Para el análisis se obtuvo 1 cadena de 1.000.000 de iteraciones. Las primeras 325.000 iteraciones fueron desechadas, y 1 de cada 25 muestras fueron guardadas. La varianza de muestreo de las cadenas fue obtenida calculando el error de Monte Carlo (Geyer, 1992). Los estadísticos de las distribuciones marginales posteriores (DMP) se calcularon directamente de las muestras guardadas. La DMP de la varianza de la interacción genotipo x tipo de dosis fue estimada a partir de las muestras de los componentes de varianza aplicando la expresión (Mathur, 2002):

$$\sigma_{\sigma_{\epsilon}}^2 = \frac{1}{2}(\sigma_{\sigma_1} - \sigma_{\sigma_2})^2 + \sigma_{\sigma_1}\sigma_{\sigma_2}(1 - r_s)$$

Resultados y discusión

La concentración del eyaculado en machos de la línea Caldes, estimada en un trabajo anterior, fue de 245.35x10⁶ espermatozoides/ml (García-Tomas y col., 2006). Dado que el ratio de dilución de los eyaculados utilizados en la IA con dosis tipo X era de 1:5, la concentración de estas dosis sería en promedio 50 x10⁶ espermatozoides/ml. Por otra parte, la fertilidad en esta línea tras la MN era de 80.5% (Piles et al., 2005) mientras que en este trabajo, practicando la IA con los 3 tipos de dosis (10, 40 y X) las medias crudas de F₁₀, F₄₀ y F_X, fueron 46%, 59% y 75%, respectivamente y las medias estimadas de las DMP de F₁₀-F₄₀, F₁₀-F_X y F₄₀-F_X fueron -0.13, -0.37 y -0.23 respectivamente. En

conjunto, estos resultados indican un claro efecto de la concentración sobre la fertilidad y también un importante efecto del tiempo y las condiciones de conservación. Si se asume que no existen diferencias en la fertilidad entre hembras puras y cruzadas, parece que un incremento en 30 x10⁶ espermatozoides/ml no es suficientemente elevado, cuando se usan dosis homospérmicas conservadas 24h a 18°C, para compensar las deficiencias en las características de los espermatozoides que impiden su acceso al óvulo o su capacidad para iniciar el proceso de fecundación. La comparación de la tasa de fertilidad de la misma población de hembras en MN y en IA con dosis de tipo X, sugieren que existe un efecto de la concentración sobre ésta, que podría ser de tipo no lineal, pero que el tiempo y las condiciones de conservación de las dosis seminales podrían tener un efecto mucho mayor. A pesar de la imprecisión en las estimas (tabla 1), las heredabilidades de F₁₀ y F₄₀ parecen ser iguales y estas dos podrían ser superiores a la heredabilidad de F_X pues el valor mínimo en el intervalo que contiene el 95% de la densidad de la distribución marginal posterior de este parámetro para los dos primeros caracteres prácticamente coincide con la media de dicha distribución para F_X. A su vez la heredabilidad de F_X tendría un valor próximo al valor estimado en esta misma población de machos para la fertilidad tras la MN (p.m.: 0.013 p.s.d.: 0.006; Piles et al., 2005). Estos resultados sugieren que la variación genética tras la MN y la IA con dosis de elevada concentración de espermatozoides y no sometidas a un periodo de conservación superior a 30 min, sería debida principalmente a variación genética individual en las características seminales cuyo efecto no puede ser compensado con una elevada concentración de espermatozoides, puesto que se encuentra asociado con la incapacidad del espermatozoide para mantener el proceso de fertilización y posterior

Table 1: Estadísticos descriptivos de las distribuciones marginales posteriores de la varianza fenotípica (σ^2) y de ratios de variación de la variable subyacente de la fertilidad tras la inseminación artificial con dosis conservadas 24 hrs a 18°C con 10 x 10⁶ espermatozoides/ml (F₁₀) y con 40 x 10⁶ espermatozoides/ml (F₄₀) y dosis sin ningún periodo de conservación y concentración desconocida (F_X): heredabilidad debida al macho (h_m^2) y porcentajes de variación ambiental y genética no-aditiva debida al macho (p_m), variación ambiental y genética debida a la hembra (p_f) y variación ambiental de macho y día de inseminación (p_{md})
 Table 1. Summary statistics of marginal posterior distributions of the phenotypic variance (σ^2) and ratios of variance for fertility after artificial insemination with doses stored for 24 hrs at 18°C with a sperm concentration of 10 x 10⁶ spermatozoa/ml (F₁₀) and 40 x 10⁶ spermatozoa/ml (F₄₀), and doses used without any conservation period and unknown sperm concentration (h_m^2): heritability of male fertility (F_X) and ratios of environmental plus genetic non-additive variation due to the male (p_m), environmental plus genetic variation due to the female (p_f) and environmental variation due to the male and day of AI (p_{md})

	F ₁₀			F ₄₀			F _X		
	PM ¹	HPD95% ³	Min95% ⁵ MCse ⁴	PM ¹	HPD95% ³	Min95% MCse ⁴	PM ¹	HPD95% ³	Min95% MCse ⁴
h_m^2	0.090	0.008, 0.178	0.024	0.090	0.012, 0.171	0.027	0.026	0.004, 0.051	0.0084
p_m	0.138	0.036, 0.250	0.050	0.107	0.028, 0.196	0.040	0.050	0.021, 0.080	0.026
p_f	0.088	0.038, 0.137	0.047	0.054	0.017, 0.096	0.023	0.151	0.093, 0.208	0.104
p_{md}	0.297	0.212, 0.388	0.226	0.291	0.207, 0.375	0.223	0.106	0.068, 0.145	0.075
σ^2	2.600	2.19, 3.04	2.27	2.197	1.89, 2.53	1.95	1.507	1.36, 1.66	1.39

¹PM: media posterior. ²PSD: desviación típica posterior. ³HPD95%: intervalo mínimo de máxima densidad a 95%. ⁴MCse: error de Monte Carlo. ⁵Min95%: Valor mínimo en el intervalo hasta 95% de densidad. ⁶Lag: correlación entre muestras consecutivas.

¹PM: posterior mean. ²PSD: posterior standard deviation. ³HPD95%: High posterior density interval at 95%. ⁴MCse: Monte Carlo standard error. ⁵Min95%: The minimum value with an interval to 95%. ⁶Lag: correlation between consecutive samples.

embriogénesis. Sin embargo, la variación genética tras la IA con dosis de baja concentración conservadas un cierto tiempo, estaría determinada por cualquier tipo de característica seminal con efecto sobre la fertilidad (compensable y no compensable) y también por una posible variación genética individual en la estabilidad de dichas características tras la conservación en determinados diluyentes. La interacción genotipo x tipo de dosis (figura 1) fue prácticamente despreciable (<6% de la media de la varian-

za aditiva) para los tipos de dosis 10 y 40. Esto se debe a que las varianzas genéticas del macho parecen ser prácticamente iguales para F_{10} y F_{40} y la correlación genética entre ambos caracteres parece ser alta y positiva. Esto significa que, probablemente, los mismos genes afectan a F_{10} y a F_{40} y, así, las respuestas a la selección para aumentar la fertilidad del macho que podrían ser obtenidas después de la IA -dentro de este rango de concentración de espermatozoides- serían las mismas, y también que la pro-

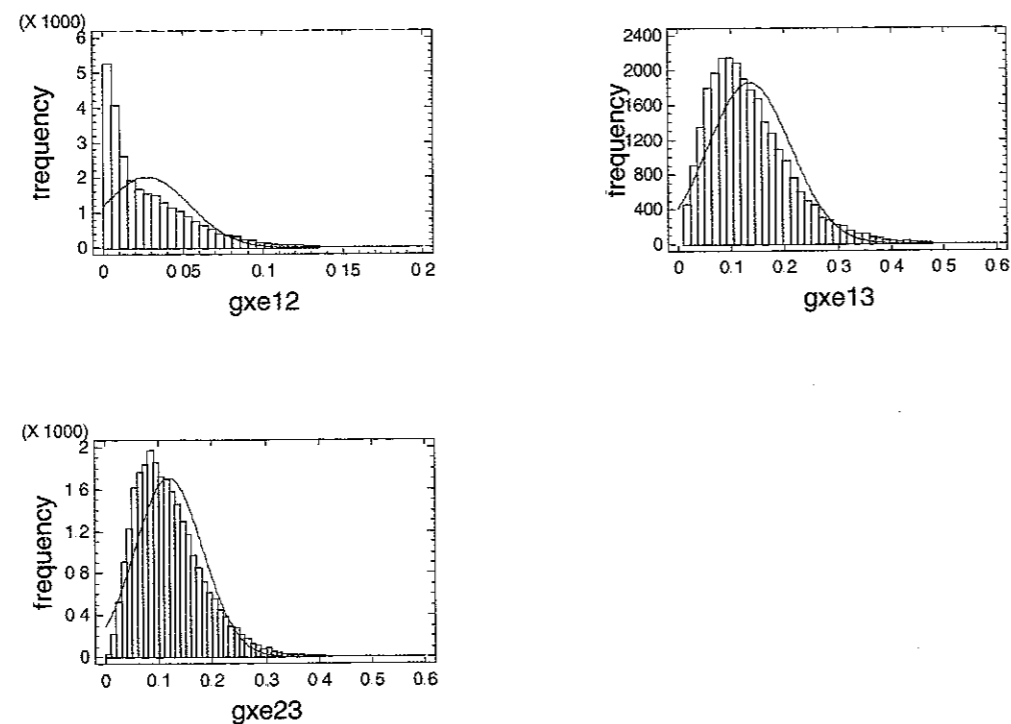


Figura 1. Histograma de frecuencias y estima de la distribución marginal de la varianza de la interacción entre el genotipo del macho y el tipo de dosis: dosis conservadas 24 hrs a 18 °C con 10×10^6 espermatozoides/ml (10) y con 40×10^6 espermatozoides/ml (40), y dosis sin ningún periodo de conservación y concentración desconocida (X).

Figure 1. Histogram of frequencies and estimated marginal posterior distribution of the variance of the interaction among the male genotype and the type of the doses of AI: doses stored for 24 hrs at 18°C with a sperm concentration of 10×10^6 spermatozoa/ml (10) and 40×10^6 spermatozoa/ml (40), and doses used without any conservation period and unknown sperm concentration (X).

porción de respuesta seleccionando por un carácter, que podría ser esperada para el otro carácter -como respuesta correlacionada- sería elevada. Sin embargo, la interacción genotipo x tipo de dosis podría ser algo mayor entre los tipos de dosis 10 y X, y 40 y X. Esto se debe probablemente a que la varianza genética debida al macho fue superior para F_{10} y F_{40} que para F_x , y a que la correlación genética entre estos caracteres podría diferir de 1, aunque no podemos hacer una afirmación al respecto dada la gran imprecisión en las estimas de las correlaciones genéticas debidas al bajo valor de la heredabilidad para estos caracteres, especialmente F_x . Así pues se desconoce si algunos genes que afectan a la fertilidad tras la IA con dosis aplicadas inmediatamente después de su preparación no tienen efecto sobre este mismo carácter tras la IA con dosis conservadas o bien, si algunos genes que tienen un efecto positivo en unas condiciones de IA pudieran tener un efecto negativo en otro. Sin embargo, sí podría haber diferencias en la escala de los efectos de los genes en función del periodo de conservación.

De estos resultados se deduce que, dentro del rango de concentraciones estudiado, la selección para mejorar la fertilidad del macho tras la inseminación artificial con semen conservado a 18°C durante 24h, podría ser realizada a cualquier concentración de las dosis seminales, y podría haber mayor respuesta que con la selección por fertilidad del macho tras la MN o la IA con dosis no conservadas. Por otro lado, aunque existe un marcado efecto de la concentración sobre la fertilidad del macho, la variación genética individual de este efecto es prácticamente despreciable y por tanto, probablemente no existe variación genética individual del efecto de las características seminales compensables como un conjunto sobre la fertilidad tras la IA. Sin embargo, sí podría existir variación genética

individual en la estabilidad de las características seminales tras la conservación del semen por un determinado periodo y en determinadas condiciones. Así, si se quiere mejorar la fertilidad del macho a través de la selección indirecta por las características de calidad seminal, parece recomendable hacerlo evaluando los eyaculados tras un cierto periodo de conservación. Si no importa o no hay limitaciones en la concentración de la dosis, el criterio de selección sería uno o varios de los caracteres de tipo no-compensable, pero si el objetivo es además optimizar el uso de los eyaculados para obtener un elevado número de dosis de IA, el criterio de selección debería ser uno o varios de los caracteres de tipo compensables o de ambos tipos.

Agradecimientos

Proyecto financiado por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA-RTA2005-0008-C02) y una beca predoctoral INIA para Ll. Tusell.

Bibliografía

- Colenbrander B, Gadella BM, Stout TAE, 2003. The predictive value of semen analysis in the evaluation of stallion fertility. *Reprod Dom Anim*, 38, 305-311.
- García-Tomás M, Sánchez J, Rafel O, Ramon J, Piles M, 2006. Variability, repeatability and phenotypic relationships of several semen characteristics of production and semen quality in rabbits. *Anim. Reprod. Sci.*, 93, 88-100.
- Geyer CJ, 1992. Practical Markov Chain Monte Carlo. *Stat. Sci.*, 7, 473-511.
- Mathur PK, 2002. Methods for estimation and use of genotype-environment interaction. 7th *World Congress on Genetics Applied to Live-*

stock Production, Communication, N°18-01, Montpellier, France.

Piles M, Rafel O, Ramon J, Varona L, 2005. Genetic Parameters of fertility in two lines of rabbits of different reproductive potencial. *J. Anim. Sci.*, 83, 340-343.

Saacke RG, Dalton JC, Nadir S, Nebel RL, Bame JH, 2000. Relationship of seminal traits and insemination

time to fertilization rate and embryo quality. *Anim. Reprod. Sci.*, 60-61, 663-677.

Sorensen DS, Andersen S, Gianola D, Korsgaard I, 1995. Bayesian inference in threshold models using Gibbs sampling. *Genet. Sel. Evol.*, 27, 229-249.

(Aceptado para publicación el 28 de abril de 2008)