

Evaluación simultánea de la fertilidad del macho y de la hembra en el vacuno de leche

O. González-Recio, R. Alenda

Departamento de Producción Animal - E.T.S.I. Agrónomos (UPM). Ciudad Universitaria s/n. 28040 Madrid.

Resumen

La fertilidad del macho y de la hembra se evaluó simultáneamente a través del número de inseminaciones, usando un modelo umbral secuencial. La fertilidad del semen de los toros se consideró como un efecto dependiente del tiempo, permitiendo diferentes machos en cada inseminación. Las estimas posteriores para la varianza del toro inseminador y la genética para la fertilidad de la hembra fueron 0,02 y 0,04, respectivamente. La media posterior de la heredabilidad para el número de inseminaciones fue de 0,03. La correlación entre la fertilidad de los machos y de las hembras resultó no significativa.

El modelo umbral secuencial permitió un análisis simultáneo de la fertilidad del macho y la de sus hijas, incluyendo efectos dependientes del tiempo así como datos censurados. De esta manera es posible incluir ambas fertilidades en las evaluaciones genéticas de forma que tanto los centros de inseminación como los ganaderos dispongan de los datos completos de fertilidad de los toros, evaluados con toda la información posible y teniendo en cuenta todos los factores posibles que afectan a la fertilidad de los toros y las vacas.

Palabras clave: fertilidad, semen, factores dependientes del tiempo, modelo umbral secuencial

Summary

Simultaneous evaluation for male and female fertility in dairy cattle

Male and female fertility were evaluated through the number of inseminations to conception, using a sequential threshold model. Male fertility was considered as a time-dependent effect allowing for different service bulls in each insemination. Posterior estimates for service sire variance and female fertility genetic variance were 0.02 and 0.04, respectively. Posterior mean for female fertility heritability, through liability to number of inseminations to conception, was 0.03. The correlation between male and female fertility was not significant.

The sequential threshold model allowed for a simultaneous analysis of male and female fertility, including time-dependent covariates, as well as censored records. Hence, it is possible to consider both male and female fertility in the genetic evaluations. Thus, complete data and fertility estimates are provide to both farmers and artificial insemination studs. These estimates consider all information available and all possible factors affecting to male and female fertility.

Key words: fertility, semen, time-dependency, sequential threshold model

Introducción

El número de inseminaciones es el carácter de fertilidad que probablemente refleja la

fertilidad de la hembra de forma más directa, y además permite cuantificar los aspectos económicos de la fertilidad de manera más precisa (González-Recio *et al.*, 2004).

Sin embargo, son muchos los factores que influyen en la fertilidad de la hembra en el vacuno de leche. Entre ellos se encuentran el tipo de manejo al que se someta al animal, la fertilidad del semen con el que se insemine, o la habilidad del técnico que realiza la inseminación (Buckley *et al.*, 2003). Los caracteres usados habitualmente para medir la fertilidad, como los días abiertos, las tasas de no retorno e incluso el número de inseminaciones, no han tenido en cuenta estos factores debido a la incapacidad de incluir factores dependientes del tiempo con los métodos tradicionales. El modelo umbral secuencial descrito por Albert y Chib (2001) permite analizar caracteres que ocurren de una forma secuencial, como el número de inseminaciones, y permite considerar efectos dependientes del tiempo, como el toro inseminador. De esta forma podemos evaluar simultáneamente la fertilidad del macho y de la hembra a través del número de inseminaciones, ajustando por los posibles efectos dependientes del tiempo y lo ocurrido en las inseminaciones previas. Además podemos tener en cuenta la influencia que tiene la fertilidad de la hembra y su estado de lactación para evaluar correctamente la fertilidad del semen de los machos.

El objetivo de este trabajo fue estimar componentes de varianza para evaluar la fertilidad del macho y de la hembra simultáneamente a través del número de inseminaciones, usando el modelo umbral secuencial en el vacuno de leche y aplicando un modelo animal.

Material y métodos

Se utilizaron los datos del control lechero y los registros de inseminaciones artificiales entre 1994 y 2005 procedentes del País Vasco y Navarra. Tras editar los archivos se

trabajó con un total de 395.979 registros de inseminaciones en 98.888 vacas. La genealogía estuvo constituida por 134.612 animales.

El modelo umbral secuencial descrito por Albert y Chib (2001) se aplicó al caso del número de inseminaciones por concepción, de manera que una vaca debe pasar primero por $j-1$ inseminaciones previas antes de concebir o fallar en la inseminación j . Se consideraron las observaciones de las 5 primeras inseminaciones por lactación. Este modelo puede formularse en términos de una función de riesgos discretos, o bien en términos de variables subyacentes, tal como se describe a continuación.

Para cada observación del número de inseminaciones y_i , definimos j variables subyacentes ω_{ij} (para j desde 1 hasta y_i), tal que:

$$\omega_{ij} - \gamma_j = \mathbf{x}'_i \boldsymbol{\beta} + \mathbf{z}'_{ra,i} \mathbf{ra} + \mathbf{z}'_{tec,i} \mathbf{tec} + \mathbf{z}'_{ti,i} \mathbf{ti} + \mathbf{z}'_{p,i} \mathbf{p} + \mathbf{z}'_{a,i} \mathbf{a} + e_{ij}$$

donde $\boldsymbol{\beta}$ representa los efectos sistemáticos de días a la inseminación (5 niveles), grupo lactación-edad al parto (16 niveles), y año-epoca de parto (33 niveles); \mathbf{x}_i corresponde al vector de incidencias. Otros efectos en el modelo fueron: \mathbf{ra} = rebaño-año de inseminación (3673 niveles) distribuido de forma independiente como $N(0, \mathbf{I}\sigma_{ra}^2)$, donde σ_{ra}^2 es la varianza entre los grupos de comparación de rebaño-año de inseminación, \mathbf{tec} = técnico inseminador (123 niveles) distribuido de forma independiente como $N(0, \mathbf{I}\sigma_{tec}^2)$, donde σ_{tec}^2 es la varianza entre técnicos inseminadores, \mathbf{ti} = toro inseminador (825 niveles) distribuido de forma independiente como $N(0, \mathbf{I}\sigma_{ti}^2)$, donde σ_{ti}^2 es la varianza entre toros, \mathbf{p} = efecto permanente de la vaca (98.888 niveles) distribuido de forma independiente como $N(0, \mathbf{I}\sigma_p^2)$, donde σ_p^2 es la varianza del efecto permanente, y \mathbf{a} = efecto aditivo genético (134.612 niveles) distribuido de forma independiente como $N(0, \mathbf{I}\sigma_a^2)$, donde σ_a^2 es la varianza aditiva y \mathbf{A}

la matriz de parentesco. Además $\mathbf{z}_{ra,i}$, $\mathbf{z}_{tec,i,j}$, $\mathbf{z}_{ti,i,j}$, $\mathbf{z}_{p,i,j}$, $\mathbf{z}_{a,i}$ fueron sus correspondientes vectores de incidencia. Los residuos e_{ij} se distribuyen como NIID (0,1). Estos residuos se consideran independientes entre inseminaciones dentro de una lactación puesto que el modelo secuencial ya tiene en cuenta lo ocurrido en las inseminaciones anteriores. El vector $\gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \gamma_5)$ representa los valores umbrales que separan las variables subyacentes de las inseminaciones positivas de las que no lo fueron, en cada inseminación j .

En general:

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{si } \omega_{2i} \leq \gamma_1 \\ 2 & \text{si } \omega_{2i} > \gamma_1, \omega_{2i} \leq \gamma_2 \\ 3 & \text{si } \omega_{2i} > \gamma_1, \omega_{2i} > \gamma_2, \omega_{2i} \leq \gamma_3 \\ 4 & \text{si } \omega_{2i} > \gamma_1, \omega_{2i} > \gamma_2, \omega_{2i} > \gamma_3, \omega_{2i} \leq \gamma_4 \\ 5 & \text{si } \omega_{2i} > \gamma_1, \omega_{2i} > \gamma_2, \omega_{2i} > \gamma_3, \omega_{2i} > \gamma_4, \omega_{2i} \leq \gamma_5 \end{cases}$$

De esta forma observamos $y_i = j$ (para $1 \leq j \leq 5$) si las primeras $j-1$ inseminaciones fueron fallidas, por tanto su variable subyacente correspondiente ω_{ij} excedió el umbral ' γ_j ' respectivo de cada una de las inseminaciones previas. Esta variable subyacente representa la probabilidad de que el animal reciba una siguiente inseminación, una vez que ha sido inseminada j veces. Obsérvese que los umbrales en el modelo secuencial no tienen por qué seguir un orden creciente, al contrario que ocurre en el modelo umbral estándar. La representación de la variable subyacente puede simplificarse incorporando los umbrales $\{\gamma_j\}$ en la función y fijando uno de ellos, normalmente $\gamma_1=0$. Cada una de estas variables puede quedar explicada por diferentes variables, así podemos incorporar efectos dependientes del tiempo en el modelo, tales como el toro inseminador, el técnico inseminador u otros efectos de interés. Además, podemos incorporar una variable indicadora de si el dato fue censurado o no, de manera que si la observación

en la última inseminación es censurada, sabemos que el animal no quedó gestante en dicha inseminación. De este modo podemos evaluar la fertilidad de las hijas de los toros al mismo tiempo que la fertilidad de su semen.

La verosimilitud en nuestro caso adoptó la siguiente forma:

$$L(\gamma, \beta, \alpha, \text{tec}, \text{ti}, \text{p}, \alpha) y^{\delta} = \prod_{i=1}^n \left[\Phi \left[\gamma_j - (\alpha \beta + \alpha'_{ra,i} \text{ra} + \alpha'_{tec,i} \text{tec} + \alpha'_{ti,i} \text{ti} + \alpha'_{p,i} \text{p} + \alpha'_{a,i} \alpha) \right] \times \prod_{j=1}^{j-1} \left[1 - \Phi \left[\gamma_j - (\alpha \beta + \alpha'_{ra,i} \text{ra} + \alpha'_{tec,i} \text{tec} + \alpha'_{ti,i} \text{ti} + \alpha'_{p,i} \text{p} + \alpha'_{a,i} \alpha) \right] \right] \right]^{\delta} \times \left[\prod_{j=1}^j \left[1 - \Phi \left[\gamma_j - (\alpha \beta + \alpha'_{ra,i} \text{ra} + \alpha'_{tec,i} \text{tec} + \alpha'_{ti,i} \text{ti} + \alpha'_{p,i} \text{p} + \alpha'_{a,i} \alpha) \right] \right] \right]^4$$

donde $\delta_i=1$ si la observación es censurada, y 0 en caso contrario.

Se asumieron a priori no informativos o impropios para los efectos sistemáticos. El análisis se implementó usando un muestreo de Gibbs (Gelfand and Smith, 1990), con una longitud de la cadena de 100.000 muestras, descartando las 10.000 primeras. La habilidad predictiva de este modelo para la fertilidad fue estudiada previamente por González-Recio *et al.* (2005), usando un modelo macho.

Resultados y discusión

La tabla 1 muestra el porcentaje de éxito en las cinco primeras inseminaciones realizadas en las lactaciones incluidas en este estudio. Este porcentaje osciló entre el 39 y el 29 % de éxito, disminuyendo este porcentaje al aumentar el número de inseminación, indicando que las vacas que llegan a la cuarta o quinta inseminación son menos fértiles. El modelo propuesto en este trabajo parece adaptarse de una forma apropiada a las

diferentes probabilidades de quedar gestante en cada inseminación una vez que se ha llegado a dicha inseminación. Estas probabilidades van cambiando en relación al orden de la inseminación practicada. De esta manera la fertilidad del semen de los toros no se confunde con el orden en el que se ha producido la inseminación, puesto que la probabilidad de obtener preñez no es la misma en la primera que en la cuarta o quinta inseminación, puesto que éstas últimas son normalmente sobre vacas con problemas de fertilidad.

La figura 1 muestra los histogramas de las distribuciones posteriores de la heredabilidad y las varianzas de los efectos no sistemáticos, mientras que la tabla 2 contiene las medias y desviaciones típicas para estas distribuciones, así como sus errores de Monte Carlo correspondientes. Se estimó una media posterior de 0,02 y 0,04 para las varianzas del toro inseminador y la genética, respectivamente. Debe tenerse en cuenta que la fertilidad del semen de los toros está influenciada en gran medida por el tratamiento que se aplica en los centros de inseminación para compensar la baja fertilidad de algunos toros, y esto puede reducir el valor de las estimas de la variabilidad para este efecto. Las estimas para la varianza del toro inseminador coinciden con las encontradas por otros autores (A-Ranberg *et al.*, 2003; Averill *et al.*, 2004; Boichard y Manfredi, 1994), aunque estos autores utilizaron otras metodologías (modelos lineales, modelo umbral-longitudinal y modelo umbral, respectivamente) sobre caracteres diferentes (tasa de no retorno, éxito en las tres primeras inseminaciones y tasa de concepción, respectivamente). En este estudio no se han considerado relaciones de parentesco entre los toros inseminadores, y la evaluación muestra la fertilidad individual del semen de cada macho. En la actualidad no existe selección genética en los machos por la fertilidad del semen de sus ancestros, pero podría incluirse una matriz de parentesco en el efecto toro inseminador para distinguir familias de machos con semen de mayor fertilidad.

La estima de la heredabilidad fue baja (0,03), tal como ha sido estudiada para los caracteres de fertilidad, en concreto para el número de inseminaciones (Veerkamp *et al.*, 2001; Kadarmideen *et al.*, 2003; González-Recio y Alenda, 2005). Las estimas posteriores para las varianzas del rebaño-año de inseminación, técnico inseminador y efecto permanente fueron 0,07, 0,04 y 0,04, respectivamente.

La estima de la heredabilidad fue baja (0,03), tal como ha sido estudiada para los caracteres de fertilidad, en concreto para el número de inseminaciones (Veerkamp *et al.*, 2001; Kadarmideen *et al.*, 2003; González-Recio y Alenda, 2005). Las estimas posteriores para las varianzas del rebaño-año de inseminación, técnico inseminador y efecto permanente fueron 0,07, 0,04 y 0,04, respectivamente.

Tabla 1. Número total de primeras, segundas, terceras, cuartas y quintas inseminaciones realizadas, con sus porcentajes de éxito respectivos
 Table 1. Number of first, second, third, fourth and fifth inseminations, with their corresponding success percentages

	Total de IA	Inseminaciones positivas	% éxito
1 ^a	206427	79996	39
2 ^a	103021	39015	38
3 ^a	50126	17931	36
4 ^a	24181	7875	33
5 ^a	12224	3605	29

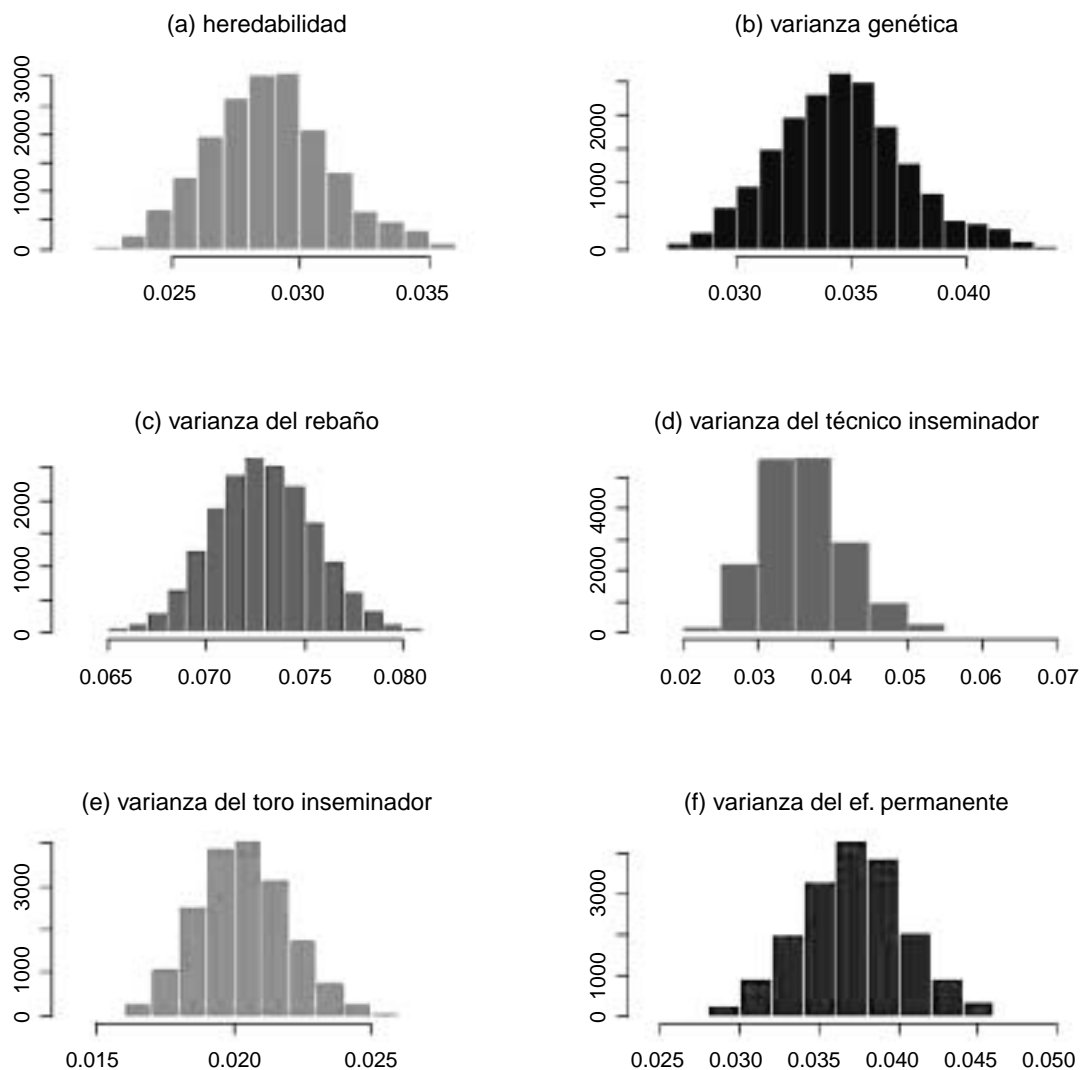


Figura 1. Histogramas de las distribuciones posteriores para la heredabilidad y varianzas genética, del rebaño-año, del técnico inseminador, del toro inseminador y del efecto permanente.
 Figure 1. Histograms of heritability genetic, herd-year technician, service sire and cow permanent effect variances posterior distributions.

Se estimó la correlación entre la fertilidad del semen de los toros y los valores genéticos para el número de inseminaciones (fertilidad de la hembra) que transmiten a sus hijas, para aquellos toros con más de 25 hijas, obteniendo una correlación de 0,05

($P > 0,28$), indicando que la fertilidad del semen del macho no guarda relación con la fertilidad de las hembras.

En este estudio se ha considerado el estado de lactación de la hembra a través del efec-

to días a la inseminación tras el parto, pero no se ha incluido el nivel productivo de la hembra en el momento de la inseminación. Podría ser interesante incluir en el modelo los kg de leche producidos en el control más cercano a cada inseminación, y estudiar su efecto sobre la fertilidad.

El modelo umbral secuencial parece ser un método apropiado para analizar simultáneamente la fertilidad de los toros y la de sus

hijas, puesto que permite evaluar lo ocurrido en cada inseminación, teniendo en cuenta toda la información disponible. Las evaluaciones de fertilidad de la hembra pueden incluirse en los índices de selección, para evitar el deterioro de la fertilidad. En el caso de las evaluaciones de la fertilidad del macho podrían ser de interés para que los centros de inseminación artificial presen más atención al semen de los toros menos fértiles.

Tabla 2. Medias y desviaciones típicas posteriores para las estimas de las varianzas del rebaño-año (σ^2_{ra}), técnico inseminador (σ^2_{tec}), toro inseminador (σ^2_{ti}), efecto permanente (σ^2_p) y genética (σ^2_g), así como para la heredabilidad (h^2).

Table 2. Means and Standard deviations for herd-year (σ^2_{ra}), technician (σ^2_{tec}), service sire (σ^2_{ti}), cow permanent effect (σ^2_p) and genetic (σ^2_g) variances and heritability (h^2) estimates.

	σ^2_{ra}	σ^2_{tec}	σ^2_{ti}	σ^2_p	σ^2_a	h^2
Media posterior	0,07	0,04	0,02	0,04	0,04	0,03
Desviación típica posterior	0,003	0,006	0,002	0,003	0,003	0,002
Error de Monte Carlo	4·10 ⁻⁵	7·10 ⁻⁵	2·10 ⁻⁵	4·10 ⁻⁴	4·10 ⁻⁴	3·10 ⁻⁴

Bibliografía

- A-Ranberg I, Heringstad MB, Klemetsdal G, Svendsen M, Steine T, 2003. Heifer Fertility in Norwegian Dairy Cattle: Variance Components and Genetic Change. *J. Dairy Sci.* 86: 2706-2714.
- Albert JH, Chib S, 2001. Sequential Ordinal Modeling with Applications to Survival Data. *Biometrics* 57 (3): 829-836.
- Averill TA, Rekaya R, Weigel K, 2004. Genetic Analysis of Male and Female Fertility Using Longitudinal Binary Data. *J. Dairy Sci.* 87: 3947-3952.
- Boichard D, Manfredi E, 1994. Genetic Analysis of Conception Rate in French Holstein Cattle. *Acta. Agric. Scand. Sect. A, Animal Sci.* 44: 138-145.
- Buckley F, Mee J, O'Sullivan K, Evans R, Berry D, Dillon P, 2003. Insemination factors affecting the conception rate in seasonal calving Holstein-Friesian cows. *Reprod. Nutr. Dev.*, 43: 543-555.
- Gelfand A, Smith AFM, 1990. Sampling based approaches to calculating marginal densities. *J. Anim. Stat. Assoc.* 85: 398-409.
- Geyer CJ, 1992. Practical Markov chain Monte Carlo. *Stat. Sci.* 7: 473-511.
- González-Recio O, Pérez-Cabal MA, Alenda R, 2004. Economic Value of Female Fertility and its Relationship with Profit in Spanish Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.* 87: 3053-3061.
- González-Recio O, Alenda R, 2005. Genetic Parameters for Female Fertility Traits and a Fertility Index in Spanish Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.* 88: 3282-3289.

- González-Recio O, Chang YM, Gianola D, Weigel K, 2005. Number of Inseminations to Conception in Holstein Cows Using Censored Records and Time-Dependent Covariates. *J. Dairy Sci.* 88: 3655-3662.
- Kadarmideen HN, Thompson R, Coffey MP, Kossabati MA, 2003. Genetic parameters and evaluations from single- and multiple- trait analysis of dairy cow fertility and milk production. *Livest. Prod. Sci.* 81: 183-195.
- Veerkamp RF, Koenen EPC, De Jong G, 2001. Genetic correlations among body condition score, yield, and fertility in first-parity cows estimated by random regression models. *J. Dairy Sci.* 84: 2327-2335.
- (Aceptado para publicación el 2 de mayo de 2006)