

REPRODUCCIÓN Y GENÉTICA

- Consecuencias de una restricción de la alimentación durante la gestación de la coneja sobre el crecimiento fetoplacentario

Rodríguez M., Arias-Álvarez M., Formoso-Rafferty N., Velasco B., Sánchez A., Lorenzo P.L., García-García R.M., Rebollar P.G.

- Selección por varianza residual del tamaño de camada: consecuencias en los componentes del tamaño de camada

García M.L., Blasco A., Argente M.J.

- Hacia el tamaño de camada óptimo de las conejas

Savietto D.

- La movilización de grasa entre la segunda inseminación y el destete está positivamente relacionada con el éxito reproductivo en conejas primíparas

Delgado R., Abad-Guamán R., Carabaño R., García J., Nicodemus N.

- Predicción de la producción de leche de la coneja en lactaciones de 25 días a partir del peso de la camada

Fariás C., Delgado R., Abad-Guamán R., Villamide M.J., Menoyo D., Carabaño R., García J., Nicodemus N.

Consecuencias de una restricción de la alimentación durante la gestación de la coneja sobre el crecimiento fetoplacentario

Consequences of a food restriction during pregnancy of rabbit does on feto-placental growth

Rodríguez M.^{1,3*}, Arias-Álvarez M.², Formoso-Rafferty N.², Velasco B.¹, Sánchez A.³, Lorenzo P.L.³, García-García R.M.³, Rebollar P.G.¹

¹ Dept. Producción Agraria, E.T.S.I. Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas, UPM, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid, España

² Dept. Producción Animal, Facultad de Veterinaria, UCM, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid, España

³ Dept. Fisiología (Fisiología Animal), Facultad de Veterinaria, UCM, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid, España

* Dirección de contacto: maria.rodriguez.francisco@alumnos.upm.es

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar las consecuencias de la restricción de alimento en gestación sobre el desarrollo fetoplacentario en conejas multíparas. Se utilizaron 98 conejas y se distribuyeron al azar en 4 grupos experimentales atendiendo a la duración y periodo de la gestación en que se aplicó una restricción de alimento (40% del consumo voluntario en su primera gestación): restringidas la primera semana (R07, n=26), la segunda y tercera semana (R721, n=26), las 3 primeras semanas (R021, n=22) o nunca (control, n=21). En la cuarta (última semana de gestación) todas dispusieron de pienso *ad libitum*. A los 28 días de gestación, 4 conejas de cada grupo se sacrificaron para evaluar el desarrollo fetoplacentario y al final de la misma se analizaron los parámetros productivos. El consumo de pienso tras cesar la restricción de alimento aumentó significativamente en todos los grupos que habían estado restringidos. Los fetos de las conejas controles y de las R07 tendieron a pesar más que los de los otros grupos y sus placentas también fueron, en general, más grandes. Las distintas pautas de restricción no afectaron a la fertilidad, ni a la prolificidad, ni a los pesos de los gazapos al nacimiento. En conclusión, la restricción de alimento al 40% durante la primera semana de gestación mantuvo el desarrollo fetoplacentario igual que el grupo control mediante un incremento de la eficiencia placentaria para salvaguardar la supervivencia de los fetos. El incremento del tiempo de restricción a 2 y/o 3 semanas afectó negativamente al desarrollo fetoplacentario, aunque al nacimiento no se observaron diferencias significativas.

Palabras clave: coneja, restricción alimentaria, desarrollo fetoplacentario, productividad.

Abstract

The aim of the current study was to evaluate the consequences of food restriction during gestation on feto-placental development in multiparous rabbit does. Ninety-eight does were randomly distributed in 4 experimental groups according to the duration and period of gestation in which the restriction was applied (40% of voluntary feed intake during first pregnancy): restricted in the first week (R07, n=26), second and third week (R721, n=26) and in the first three weeks (R021, n=22) or never restricted (control, n=21). The last week of gestation all animals were fed *ad libitum*. On day 28 of gestation, four does of each group were sacrificed to evaluate feto-placental development and at the end of gestation productive parameters were analysed. All restricted groups increased significantly the voluntary feed intake when the food restriction period ended. Foetuses from control and R07 groups tended to be heavier than the others groups and their placentas were also larger. However, the different restriction patterns affected neither the fertility, nor the prolificacy nor the weight of kits at parturition. In conclusion, food restriction of 40% during the first week of gestation maintained the feto-placental development as the control group by means an increase in placental efficiency to preserve the survival of the foetuses. The increase in the restriction period to 2 and/or 3 weeks affected negatively to feto-placental development, although there were no significant differences at parturition.

Keywords: rabbit does, restriction, feto-placental development, productivity.

Introducción

La gestación de la coneja se divide en 3 etapas: de 0 a 7 días tiene lugar la fecundación de los ovocitos, el desarrollo embrionario preimplantacional y la implantación, de 8 a 21 días, la placentación y la organogénesis fetal y de 22 a 31 días, el crecimiento exponencial del feto (Anderson y Henck, 1994). Las primeras semanas no implican un gasto energético muy acusado en la madre y se considera un periodo anabólico con respecto a su metabolismo. No obstante, se trata de una fase crítica que puede definir la tasa de implantación embrionaria y el desarrollo de la placenta, factores limitantes para un buen crecimiento fetal. En el último tercio de la gestación la madre consume menos alimento y entra en un periodo catabólico para la obtención de energía destinada al crecimiento del feto. Dado que los costes de alimentación en las explotaciones de conejos pueden llegar a ser del 70%, la restricción del alimento en determinados momentos de la gestación podría ser una estrategia positiva para reducir los costes de producción, aunque se puede perjudicar el desarrollo de los fetos y placentas, así como el bienestar de la coneja. Por tanto, el objetivo del presente trabajo ha sido estudiar cómo afecta una restricción alimentaria en distintos periodos de la gestación de conejas múltiparas, sobre el desarrollo fetoplacentario y sus parámetros productivos.

Material y métodos

Se utilizaron 98 conejas múltiparas no lactantes, alojadas bajo condiciones ambientales controladas (20-25°C, 16HL:8HO). Se les suministró un pienso con 2400 kcal de ED/kg, 35% FND y 16% PB (NANTA, S.A.) controlándose el consumo medio voluntario en primera gestación (175g/d). Todas las conejas se inseminaron artificialmente el mismo día y para inducirles la ovulación se les administró 20 µg de gonadorelina, vía i.m. (Inducel-GnRH, Lab. Ovejero, España). Durante la 4ª gestación se aplicó una restricción de alimento de un 40% del consumo previamente calculado (105 g/d) y se distribuyeron al azar en cuatro grupos experimentales atendiendo a la duración y periodo de la gestación en que se aplicó la restricción: la primera semana (R07, n=26), la segunda y tercera semana (R721, n=26), las 3 primeras semanas (R021, n=22) o nunca (control, n=21). Se controló el consumo durante los periodos que dispusieron de alimentación *ad libitum*.

El día 28 de gestación se sacrificaron 16 conejas preñadas (4 de cada grupo) según RD 53/2013. Tras realizar una laparotomía media ventral, se hizo un recuento de cuerpos lúteos en el ovario para calcular la tasa de ovulación por coneja. Tras la apertura de ambos cuernos uterinos, se extrajeron los fetos y las placentas, calculando el porcentaje de estructuras fetales no viables con respecto al total. En los fetos morfológicamente viables, ya muertos por anoxia, se midió la longitud (LON), el diámetro biparietal (DBP), torácico (DT) y occipito-nasal (DON). Se pesaron los fetos enteros, y tras la decapitación, las cabezas y los troncos por separado. Además, se pesó la placenta completa así como la zona materna (decidua) y la fetal (laberinto) por separado y se midió la longitud, el ancho y el grosor de ambas. La eficiencia placentaria se calculó dividiendo el peso del feto entre el peso de la placenta completa. La gestación de las conejas restantes (n=82) se llevó a término y se calculó la fertilidad [(nº gestantes/nº de inseminadas) × 100] de todos los animales, la prolificidad (nacidos vivos y muertos/ parto) y el peso de los gazapos de las que parieron.

La tasa de ovulación, la prolificidad, el peso de los gazapos al nacimiento y el consumo se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) considerando el tipo de restricción aplicada como efecto principal. El peso, número y medidas de fetos y placentas así como la eficiencia placentaria se analizaron mediante el mismo procedimiento considerando el tamaño de camada como covariable. Para estudiar el efecto de la restricción sobre el porcentaje de fertilidad y de fetos no viables se utilizó una Chi-cuadrado (SAS Inst. Inc., USA).

Resultados y discusión

En la **Figura 1** se puede observar que tras cesar la restricción en cualquiera de los grupos, las conejas incrementaron el consumo significativamente, superando en algunos casos al grupo control, como sucedió en el grupo R07 la 2ª semana de gestación, y en los grupos R721 y R021, en la 4ª.

En la 3ª semana, los grupos R07 y control se igualaron, y en la última el consumo voluntario disminuyó en ambos, especialmente en el grupo R07, entre un 25-30%, debido a la disminución en la capacidad abdominal de la hembra gestante a término por el incremento en el tamaño de sus fetos como se describe más adelante. Manal *et al.* (2010) describieron resultados similares, confirmando que la coneja aumenta y compensa su consumo voluntario al reestablecer el suministro de pienso *ad libitum*, y en el caso de los grupos R721 y R021, ocurrió cuando las necesidades fetales eran mayores (Symeon *et al.*, 2015).

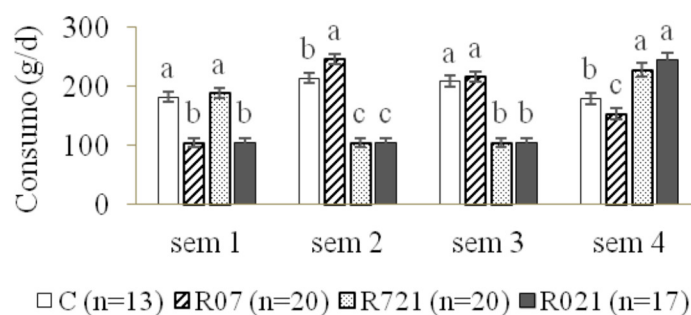


Figura 1. Consumo de alimento (g/d) durante la gestación en conejas alimentadas *ad libitum* (C), restringidas al 40% una semana desde el día 0 al 7 (R07), dos semanas desde el día 7 al 21 (R721) y tres semanas desde el día 0 al 21 (R021) de la gestación. Distintas letras muestran diferencias significativas entre grupos de restricción en cada semana ($P < 0,05$).

Los 4 grupos presentaron tasas de ovulación similares ($13,5 \pm 1,67$ cuerpos lúteos) y la restricción no afectó al porcentaje de estructuras fetales no viables que fueron similares en los 3 grupos ($11,3 \pm 4,40\%$). Tampoco hubo diferencias en el número de fetos totales por coneja (Tabla 1).

Tabla 1. Número y biometría de fetos de 28 días de edad gestacional en conejas alimentadas *ad libitum* (Control), restringidas al 40% una semana desde el día 0 al 7 (R07), dos semanas desde el día 7 al 21 (R721) y tres semanas desde el día 0 al 21 (R021) de gestación.

	Grupos experimentales				RMS	P>f
	Control	R07	R721	R021		
N° de conejas	4	4	4	4		
Fetos totales/coneja	13	14	13	11	3,5	n.s.
Peso feto (g)	39,90 ^a	38,82 ^a	37,68 ^{ab}	35,55 ^b	6,382	*
Peso cabeza (g)	8,78 ^a	8,68 ^a	8,33 ^{ab}	7,88 ^b	1,111	**
Peso cuerpo (g)	29,94 ^a	28,95 ^{ab}	26,96 ^{bc}	25,40 ^c	5,116	**
LON (mm)	101,73	100,08	99,78	98,78	6,136	n.s.
DTC (mm)	20,04 ^{bc}	21,88 ^a	21,00 ^{ab}	19,65 ^c	2,272	**
DBP (mm)	18,82 ^c	20,04 ^a	19,01 ^b	18,92 ^c	1,973	*
DON (mm)	28,73 ^{bc}	30,57 ^a	28,80 ^b	27,81 ^c	2,276	**

LON: longitud del feto; DTC: diámetro torácico; DBP: diámetro biparietal; DON: diámetro occipito-nasal; RMS: cuadrado medio del error. Medias en la misma fila con letras distintas son significativamente diferentes. n.s.: no significativo. *: $P < 0,05$; **: $P < 0,01$.

Sin embargo, tanto el peso total del feto como el de la cabeza y el cuerpo por separado fueron mayores en las controles y en las restringidas la primera semana (R07), comparados con las restringidas hasta el día 21 de gestación y mostrando valores intermedios el grupo R721. Esto puede ser debido a que el desarrollo fetal se inicia y mantiene durante la segunda y tercera semanas de gestación momento en el que estos dos grupos (C y R07) estaban comiendo *ad libitum* (Beaudoin et al., 2003) y los otros dos (R721 y R021) seguían restringidos. La longitud de los fetos fue similar en todos los grupos, sin embargo sus diámetros fueron mayores en las restringidas sólo una semana (R07), mientras que en los otros dos grupos restringidos se redujeron más cuanto mayor fue el tiempo de restricción utilizado. Por lo tanto, los fetos del tratamiento R07 mantuvieron el peso como el grupo control y mejoraron las dimensiones fetales. Estos resultados son similares a los obtenidos previamente con restricciones de alimento del 50% a partir del día 9 o durante toda la gestación (López-Tello et al., 2016 y 2017). En ellos determinamos un deterioro en la funcionalidad placentaria por isquemia o daño en el epitelio placentario, que secundariamente generó reducciones significativas en la biometría fetal.

Tabla 2. Peso y dimensiones de placentas de fetos de 28 días de edad de conejas alimentadas ad libitum (Control), restringidas al 40% una semana desde el día 0 al 7 (R07), dos semanas desde el día 7 al 21 (R721) y tres semanas desde el día 0 al 21 (R021) de la gestación.

	Grupos experimentales				RMS	P>f
	Control	R07	R721	R021		
N° de conejas	4	4	4	4		
N° de Placentas/coneja	13	14	13	11		
Placenta completa (g)	5,07	4,93	4,67	4,66	0,918	n.s.
Laberinto						
Peso (g)	3,35	3,29	3,29	3,06	0,684	n.s.
Longitud (mm)	34,17 ^{bc}	36,78 ^a	36,06 ^{ab}	33,31 ^c	3,952	**
Anchura (mm)	26,99	27,77	26,98	26,81	3,546	n.s.
Grosor (mm)	5,71 ^a	5,27 ^{ab}	4,70 ^{bc}	4,63 ^c	1,061	**
Decidua						
Peso (g)	1,43	1,41	1,20	1,47	0,376	†
Longitud (mm)	36,68	36,94	36,98	37,08	4,940	n.s.
Anchura (mm)	18,38 ^a	18,26 ^a	16,06 ^b	18,33 ^a	2,756	**
Grosor (mm)	3,62	3,25	3,03	3,43	1,001	n.s.
Eficiencia placentaria ¹	7,23 ^{b†}	7,76 ^a	7,79 ^a	7,20 ^b	0,944	**

RMS: cuadrado medio del error. Medias en la misma fila con letras distintas son significativamente diferentes. n.s.: no significativo. †: P<0,1 ** P<0,01. ¹: peso feto/peso placenta. ‡: control vs. R07 (P=0,06) y control vs. R721 (P=0,07).

Aunque la restricción del alimento no afectó al peso de la placenta completa (Tabla 2), las conejas restringidas durante una y dos semanas (R07 y R721, respectivamente) tuvieron laberintos más largos que las restringidas tres semanas (R021). Los de las controles presentaron valores intermedios y la anchura no se vio afectada en ningún grupo. En las conejas restringidas durante dos semanas (R721), la decidua tendió a pesar menos y fue más estrecha que en el resto de los grupos. A pesar de los peores valores fetométricos obtenidos a medida que aumentaba el tiempo de restricción, la eficiencia placentaria fue máxima en los grupos restringidos una y dos semanas (R07 y R721) en los que los fetos consiguieron valores relativos mayores en relación al peso de sus placentas. Este índice puede estar relacionado con el mayor desarrollo del laberinto de estas placentas que podría estar compensando y proporcionando los nutrientes necesarios a los fetos, aun cuando la madre recibía menos nutrientes. Sin embargo, el grupo restringido durante más tiempo (R021) dio lugar a placentas pequeñas y poco eficientes, es decir fetos más pequeños, mientras que en las controles su menor eficiencia se debió al peso proporcionado de sus grandes placentas y fetos. Se podría decir que a pesar de su peso y dimensiones, las placentas de los grupos restringidos en un periodo corto de tiempo se pueden adaptar y mantener o incluso incrementar la transferencia de nutrientes para ayudar al mantenimiento del crecimiento fetal (Coan et al., 2010).

En relación a los resultados productivos, no hubo diferencias en la fertilidad siendo de media 73,3±9,17% (P>0,05), en la prolificidad con 11,0±0,85 nacidos vivos y 0,4±0,17 muertos (P>0,05), ni en el peso de los gazapos al nacimiento (58,1±2,66 g; P>0,05). Nafeaa et al., (2011), tampoco observaron efectos adversos utilizando una restricción similar a la de este estudio en la primera mitad de la gestación.

Tras el análisis de estos resultados preliminares, consideramos que una restricción del 40% de la cantidad de pienso consumida *ad libitum* durante la primera semana de gestación puede mantener el desarrollo fetoplacentario igual que el grupo control mediante un incremento de la eficiencia placentaria para salvaguardar la supervivencia de los fetos y el peso al nacimiento. El incremento del tiempo de restricción parece afectar en distinta medida al desarrollo fetoplacentario aunque al nacimiento no se observaron diferencias significativas. No obstante, queda por confirmar el modo en que se ha realizado el reparto de nutrientes de la madre a los fetos, la gestión de sus reservas en la lactación posterior y, en definitiva, las consecuencias en su vida productiva.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto CICYT AGL-2015 65572 y la Comunidad de Madrid (S2013/ABI-2913). Agradecemos el apoyo en la recogida de muestras a Meza A. y De Diego A.

Bibliografía

Anderson J.A., Henck J.W. 1994. Fetal development. En: Manning P.J., Ringler D.H., Newcomer CE, editors. *The biology of the laboratory rabbit*. Academic Press. 457 pp.

Beaudoin S., Barbet P., Bargo F. 2003. Developmental stages in the rabbit embryo: guidelines to choose an appropriate experimental model. *Fetal Diagn. Ther.*, 18: 422-427.

Coan P.M., Vaughan O.R., Sekita Y., Finn S.L., Burton G.J., Constancia M., Fowden A.L. 2010. Adaptation in placental phenotype support fetal growth during undernutrition of pregnant mice. *J. Physiol.*, 588: 527-538.

López-Tello J., Arias-Alvarez M., Jimenez-Martínez M.A., Barbero-Fernández A., García-García R.M., Rodríguez M., Lorenzo P.L., Torres-Rovira L., Astiz S., González-Bulnes A., Rebollar P.G. 2016. The effects of sildenafil citrate on feto-placental development and haemodynamics in a rabbit model of intrauterine growth restriction. *Reprod. Fert. Develop.*, doi: 10.1071/RD15330.

López-Tello J., Arias-Alvarez M., Jimenez-Martínez M.A., García-García R.M., Rodríguez M., Lorenzo P.L., Bermejo-Poza R., González-Bulnes A., Rebollar P.G. 2017. Competition for materno-fetal resource partitioning in a rabbit model of undernourished pregnancy. *PLoS ONE*12: e0169194.

Manal A.F., Tony M.A., Ezzo O.H. 2010. Feed restriction of pregnant nulliparous rabbit does: consequences on reproductive performance and maternal behaviour. *Anim. Reprod. Sci.*, 120: 179-186.

Nafeaa A., Ahmed S.A.E., Fat Hallah S. 2011. Effect of feed restriction during pregnancy on performance and productivity of New Zealand white rabbit does. *Vet. Med. Int.*, Article ID 839737, 5 pages.

Symeon G.K., Goliomytis M., Bizelis I., Papadomichelakis G., Pagonopoulou O., Abas Z., Chadio S.E. 2015. Effects of gestational maternal undernutrition on growth, carcass composition and meat quality of rabbit offspring. *PLoS ONE*,10: e0118259.

Selección por varianza residual del tamaño de camada: consecuencias en los componentes del tamaño de camada

Selection for residual variance of the litter size: consequences on the components of the litter size

García M.L.^{1*}, Blasco A.², Argente M.J.¹

¹ Dept. Tecnología Agroalimentaria, Universidad Miguel Hernández de Elche, Ctra. Beniel km.3.2, 03312 Orihuela, España

² Instituto de Ciencia y Tecnología Animal. Universitat Politècnica de València, P.O. Box 22012. 46022 Valencia, España

* Dirección de contacto: mariluz.garcia@umh.es

Resumen

Se está llevando a cabo un experimento de selección divergente por varianza residual del tamaño de camada. El objetivo de este trabajo es analizar el efecto de la selección, del estado de lactación y de la estación sobre el tamaño de camada y sus componentes. La tasa de ovulación (TO) y el número de embriones implantados (EI) fueron contabilizados mediante una laparoscopia realizada a los 12 días de la segunda gestación. Al parto, se midió el número de nacidos totales (NT2). La supervivencia embrionaria (SE), fetal (SF) y prenatal (SP) se estimó como EI/TO, NT2/EI y NT2/TO, respectivamente. Después de 11 generaciones de selección, la tasa de ovulación fue similar en ambas líneas. Sin embargo, la línea seleccionada para homogeneizar el tamaño de camada mostró un mayor número de embriones implantados (1.62 embriones), una mayor supervivencia embrionaria (0.11) y un mayor número de gazapos al parto (0.75 gazapos) que la línea heterogénea. Respecto al efecto de la lactación, las hembras lactantes mostraron una mayor TO que las no lactantes (13.4 óvulos vs. 12.0 óvulos, respectivamente), pero similar NT2. El estrés térmico tuvo un efecto negativo sobre NT2, pues el número de gazapos al parto fue menor en verano que en otoño (-0.67 gazapos), debido a una menor SF (-0.07) y SP (-0.07). Como conclusión, la selección por varianza residual del tamaño de camada ha mostrado una respuesta correlacionada negativa en el tamaño de camada, a través de una menor supervivencia embrionaria. Tanto el estado de la lactación como la estación del año afectan a los componentes del tamaño de camada, pero sólo el verano disminuye el tamaño de camada al nacimiento.

Palabras clave: embriones implantados, estación, lactación, tamaño de camada, tasa de ovulación, varianza residual.

Abstract

A divergent selection experiment on residual variance of litter size was carried out in rabbits. The aim of this work is to analyse the effect of selection, lactation status and season in litter size and its components. Ovulation rate (OR) and number of implanted embryos (IE) were measured by laparoscopy at 12 d of the second gestation in females. At the end of the second gestation, litter size was measured as total number of kits born (TB2). Embryonic (ES), foetal (FS) and prenatal (PS) survival were estimated as IE/OR, TB2/IE and TB2/OR, respectively. Ovulation rate was similar in both lines; however, after eleven generations of selection, the line selected for homogeneity in litter size showed 1.62 embryos more at implantation and higher embryonic survival (0.11) than the heterogeneous line, leading to higher litter size at birth. Lactating females showed higher OR (13.4 oocytes) than no lactating females (12.0 oocytes), but similar TB2. Litter size at birth was lower in summer than in autumn (-0.67 kits) due to lower FS (-0.07) and PS (-0.07). In conclusion, selection for residual variance of litter size has shown a negative correlated response in litter size, by means of lower embryonic survival. Both the state of lactation and the season affect the components of litter size, but only summer decreases litter size at birth.

Keywords: implanted embryos, lactation, litter size, ovulation rate, residual variance, season.

Introducción

En los últimos años, se han llevado a cabo varios experimentos de selección divergente por varianza residual para

el peso al nacimiento (Bodin *et al.*, 2010, en conejo; Formoso-Rafferty *et al.*, 2016, en ratón), y el tamaño de camada (Blasco *et al.*, 2017, en conejo). En especies prolíficas, la homogeneidad en el tamaño de camadas ayudaría al manejo en las explotaciones e incrementaría la viabilidad de los gazapos. Además, una disminución de la varianza residual incrementaría la heredabilidad del carácter (Formoso-Rafferty *et al.*, 2017); esto puede ser particularmente importante para incrementar la respuesta a la selección en caracteres con baja heredabilidad, como el tamaño de camada (Argente *et al.*, 2010).

El tamaño de camada es el carácter maternal con más peso económico en una explotación cunícola (Cartuche *et al.*, 2014). El tamaño de camada está limitado por la tasa de ovulación, la fertilidad y las supervivencias embrionaria y fetal. El objetivo de este trabajo es analizar el efecto de la selección por varianza residual del tamaño de camada, del estado de lactación y de la estación en los componentes del tamaño de camada.

Material y métodos

Animales

Un experimento de selección divergente por variabilidad del tamaño de camada se está llevando a cabo en la Universidad Miguel Hernández de Elche (descrito por Blasco *et al.*, 2017). Un total de 67 hembras de la línea seleccionada para disminuir la variabilidad del tamaño de camada (Línea L) y 68 hembras seleccionadas para aumentar la variabilidad del tamaño de camada (Línea H) de la generación 11 de selección fueron utilizadas en este estudio. Los animales se manejan en bandas semanales y montas a 11 días post-parto. El destete se realiza a los 28 días después del parto. Se realizó una laparoscopia a los 12 días de la segunda gestación para estimar la tasa de ovulación (TO), como el número de cuerpos lúteos presentes en el ovario, y el número de embriones implantados (EI). En el segundo parto, el número total de nacidos (vivos y muertos) fue contabilizado (NT2).

Caracteres

Los caracteres analizados fueron la tasa de ovulación, el número de embriones implantados, la supervivencia embrionaria ($SE=EI/TO$), la supervivencia fetal ($SF=NT2/EI$), la supervivencia prenatal ($SP=TO/NT2$) y el tamaño de camada al segundo parto.

Análisis estadísticos

Todos los análisis se realizaron utilizando metodología bayesiana. El modelo utilizado incluyó los efectos de línea (H y L), lactación (lactante y no lactante) y estación (verano y otoño). Se utilizaron priors planos acotados para todos los efectos. Los residuos se distribuyeron normalmente con media 0 y varianza $1\sigma^2$. Las distribuciones marginales posteriores de las diferencias entre las líneas se estimaron usando el muestreo de Gibbs. Se tomaron cadenas de 60.000 iteraciones con un periodo de quemado de 10.000 iteraciones y se guardó una muestra de cada 10 iteraciones.

Resultados y discusión

La **Tabla 1** muestra los parámetros de las distribuciones marginales posteriores de las diferencias entre la línea H y la línea L. La tasa de ovulación fue similar en ambas líneas. La línea H presentó 1.62 embriones menos que la línea L ($P=1$) y una menor supervivencia embrionaria (-0.11 , $P=1$). Desde la implantación hasta el parto las líneas mostraron similar supervivencia fetal (0.03 , $P=0.75$). Las diferencias encontradas en la implantación se mantienen hasta el parto, presentando la línea H una menor supervivencia prenatal (-0.05 , $P=0.92$) y un menor tamaño de camada (-0.75 gazapos, $P=0.94$). Por tanto, los resultados muestran que la diferencia en tamaño de camada entre las líneas se establece en la implantación. Los resultados de la generación 11 de selección están de acuerdo con los obtenidos en las generaciones 6 y 7 (Argente *et al.*, 2017).

Respecto al efecto de la lactación, las hembras lactantes presentaron 1.30 óvulos más que las hembras no lactantes ($P=1$, **Tabla 2**). El número de embriones implantados fue superior en las hembras lactantes (10.3 embriones) que en las hembras no lactantes (9.5 embriones). El estado de lactación no afectó ni a la supervivencia embrionaria ni a la supervivencia fetal. La supervivencia prenatal fue 0.52 en las hembras lactantes y 0.56 en las hembras no lactantes ($P=0.84$). El tamaño de camada al segundo parto fue similar para ambos estados de lactación.

Respecto al efecto de la estación, la tasa de ovulación, el número de embriones implantados, y la supervivencia

prenatal fue similar en verano y en otoño (Tabla 3). En verano las hembras presentaron una menor supervivencia fetal (0.68) y prenatal (0.50) y tamaño de camada (6.4) que en otoño (0.75, 0.57 y 7.1, respectivamente). El estrés térmico afecta negativamente a la supervivencia fetal, desde la implantación hasta el parto, y como consecuencia disminuye el número de gazapos al parto (García et al., 2000).

En conclusión, la selección por varianza residual del tamaño de camada muestra una respuesta correlacionada negativa sobre el tamaño de camada a través de una menor supervivencia embrionaria. Con respecto al estado de lactación, aunque las hembras lactantes presentan mayor tasa de ovulación, el tamaño de camada al parto no

Tabla 1. Parámetros de las distribuciones marginales posteriores de las diferencias entre la línea de alta (H) y de baja (L) variabilidad del tamaño de camada.

	Mediana H	Mediana L	D_{H-L}	HPD _{95%}	P
TO	12.6	12.8	-0.13	-0.91 , 0.59	0.64
EI	9.1	10.7	-1.62	-2.63 , -0.68	1
SE	0.73	0.84	-0.11	-0.18 , -0.05	1
SF	0.73	0.70	0.03	-0.06 , 0.11	0.75
SP	0.51	0.56	-0.05	-0.12 , 0.02	0.92
NT2	6.4	7.2	-0.75	-1.69 , 0.19	0.94

TO: Tasa de ovulación. EI: Embriones implantados. SE: Supervivencia Embrionaria. SF: Supervivencia Fetal. SP: Supervivencia Prenatal. NT2: Número de nacidos totales al segundo parto. D_{H-L} : mediana posterior de la diferencia entre las líneas H y L. HPD_{95%}: región de alta densidad posterior al 95%. P: $P(D_{H-L} > 0)$ cuando $D_{H-L} > 0$ y $P(D_{H-L} < 0)$ cuando $D_{H-L} < 0$.

Tabla 2. Parámetros de las distribuciones marginales posteriores de las diferencias entre las hembras lactantes (Lac) y no lactantes (No Lac).

	Mediana Lac	Mediana No Lac	$D_{Lac-No Lac}$	HPD _{95%}	P
TO	13.4	12.0	1.30	0.54 , 2.15	1
EI	10.3	9.5	0.77	-0.23 , 1.84	0.92
SE	0.78	0.79	-0.02	-0.08 , 0.06	0.66
SF	0.72	0.71	0.02	-0.08 , 0.10	0.61
SP	0.52	0.56	-0.04	-0.12 , 0.04	0.84
NT2	6.7	6.8	-0.08	-0.97 , 0.74	0.57

TO: Tasa de ovulación. EI: Embriones implantados. SE: Supervivencia Embrionaria. SF: Supervivencia Fetal. SP: Supervivencia Prenatal. NT2: Número de nacidos totales al segundo parto. $D_{Lac-No Lac}$: mediana posterior de la diferencia entre lactantes y no lactantes. HPD_{95%}: región de alta densidad posterior al 95%. P: $P(D_{Lac-No Lac} > 0)$ cuando $D_{Lac-No Lac} > 0$ y $P(D_{Lac-No Lac} < 0)$ cuando $D_{Lac-No Lac} < 0$.

Tabla 3. Parámetros de las distribuciones marginales posteriores de las diferencias entre el verano (V) y el otoño (O).

	Mediana V	Mediana O	D_{V-O}	HPD _{95%}	P
TO	12.8	12.6	0.3	-0.54 , 1.04	0.71
EI	9.8	10.0	-0.20	-1.27 , 0.80	0.64
SE	0.77	0.80	-0.03	-0.09 , 0.05	0.78
SF	0.68	0.75	-0.07	-0.16 , 0.02	0.95
SP	0.50	0.57	-0.07	-0.14 , 0.01	0.96
NT2	6.4	7.1	-0.67	-1.64 , 0.31	0.91

TO: Tasa de ovulación. EI: Embriones implantados. EI_{TO} : Embriones Implantados corregido por la covariable TO. SE: Supervivencia Embrionaria. SF: Supervivencia Fetal. SP: Supervivencia Prenatal. NT2: Número de nacidos totales al segundo parto. $NT2_{EI}$: Número de nacidos totales al segundo parto corregido por la covariable EI. D_{V-O} : mediana posterior de la diferencia entre verano y otoño. HPD_{95%}: región de alta densidad posterior al 95%. P: $P(D_{V-O} > 0)$ cuando $D_{V-O} > 0$ y $P(D_{V-O} < 0)$ cuando $D_{V-O} < 0$.

está influido por el estado de lactación. El estrés térmico afecta al tamaño de camada incrementando la mortalidad desde la implantación hasta el parto.

Agradecimientos

Este experimento ha sido financiado con los proyectos AGL2011-29831-C03-02 y AGL2014-55921-C2-2-P.

Bibliografía

Argente M.J., García M.L., Muelas R., Blasco A. 2010. *Effect of selection for residual variance experiment of litter size on components of litter size in rabbits*. En: 9th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. Leipzig, Germany. Comunicación 0526.

Argente M.J., García M.L., Calle E., Blasco A. 2017. *Correlated response in litter size components in rabbits selected for litter size variability*. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, in press.

Blasco A., Martínez-Paredes M., García M.L., Ibáñez-Escriche N., Argente M.J. 2017. *Selection for increased and reduced environmental variance of litter size in rabbits*. *Genetics Selection Evolution*, in press.

Bodin L., Garcia M., Bolet G., Garreau H. 2010. *Results of canalizing selection for rabbit birth weight*. En: 9th World Congress Genetic Applied Livestock Production. Leipzig, Germany.

Cartuche L., Pascual M., Gómez E.A., Blasco A. 2014. *Economic weights in Rabbits*. *World Rabbit Science*, 22: 165-177.

Formoso-Rafferty N., Cervantes I., Ibáñez-Escriche N., Gutiérrez J.P. 2016. *Genetic control of the environmental variance for birth weight in seven generations of a divergent selection experiment in mice*. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 133(3): 227-237.

Formoso-Rafferty N., Cervantes I., Ibáñez-Escriche N., Gutiérrez J.P. 2017. *Modulating birth weight heritability in mice*. *Journal of Animal Science*, 95. doi:10.2527/jas2016.1169.

García M.L., Lavara R., Viudes de Castro M.P., Vicente J.S. 2000. *Litter size components from two selected lines of rabbits*. En: 7th World Rabbit Congress. Valencia, Spain, pp. 133-137.

Hacia el tamaño de camada óptimo de las conejas

Towards an optimal rabbit litter size

Savietto D.

GenPhySE, Université de Toulouse, INRA, INPT, ENVT, Castanet Tolosan, France

Dirección de contacto: davi.savietto@inra.fr

Resumen

A la luz del trabajo del ornitólogo David L. Lack, que describió que la mortalidad en nido aumenta con el aumento del tamaño de la nidada, se han estudiado las relaciones entre el número de nacidos vivos (**nv**) y la supervivencia de los gazapos durante la lactación (**sl**) y entre **nv** y el número de destetados (**nd**) en 5 líneas de conejos de la Universitat Politècnica de València. La relación entre **nv** y **sl** fue no lineal. Para las líneas seleccionadas por tamaño de camada al destete (maternales, $n = 4$), esta relación se aproximó a una parábola convexa, mientras que para la línea seleccionada por velocidad de crecimiento (paternal) esta relación se aproximó a una curva sinusoide. La relación entre **nv** y **nd** fue similar entre las distintas líneas maternales: **nd** aumentó de forma lineal entre 2 y 11 nacidos vivos, estabilizándose a ≈ 11 destetados a partir de 12 nacidos vivos. En el caso de la línea paternal, se observaron dos fases lineales, una primera fase con una pendiente más abrupta entre 2 y 10 nacidos vivos (similar a la de las líneas maternales), seguida de una segunda fase de pendiente menos pronunciada entre 11 y 16 nacidos vivos. Al contrastar estas dos relaciones, los datos sugirieron un tamaño óptimo de camada (i.e. mejor compromiso entre **sl** y **nd**) alrededor de 12 nacidos vivos.

Palabras clave: tamaño de camada, principio de Lack, supervivencia.

Abstract

Based on the concepts developed by David L. Lack, who noted that nestling survival of altricial birds decreased as clutch size increased, the relation between litter size (offspring born alive: **ba**) and the offspring survival during lactation (**sl**) and the relation between **ba** and the number of offspring weaned (**nw**) of 5 rabbit strains developed at Universitat Politècnica de València were studied. The relationship between **ba** and **sl** was not lineal. For lines selected to increase the litter size at weaning (maternal lines; $n = 4$), this relation approximated to a convex upward parabola, while for the line selected for growth rate (paternal line) this relation approximated to a sine curve. The relation between **ba** and **nw** was similar among maternal lines: the **nw** increased linearly between 2 and 11 born alive, reaching a plateau of ≈ 11 weaned offsprings for >12 born alive. For the paternal line, it was observed two linear phases, the first with a steeper slope between 2 and 10 **ba** followed by a second phase with a soft slope from 11 and 16 born alive. After matching the relation between **ba** and **sl** with the relation between **ba** and **nw**, the data suggests an optimal litter size (i.e. the better compromise between **sl** and **nw**) around 12 born alive.

Keywords: litter size, Lack's principle, survival.

Introducción

En 1947, el ornitólogo británico David Lumbert Lack (1910-1973) describió que si la mortalidad en el nido aumenta con el tamaño de la nidada, el tamaño óptimo de la nidada se definiría por el número de nacidos que produce el mayor número de polluelos que llegan a término, sin considerar otros factores. Este concepto es conocido como el principio de Lack. Actualmente, el debate científico sobre el principio de Lack se centra en el análisis de los factores que explican las desviaciones del tamaño óptimo de la nidada. Los principales factores que causan las desviaciones observadas están directamente relacionados con la simplicidad del modelo propuesto por Lack: (1) ausencia de relación entre tamaño de la nidada y la futura carrera reproductiva de los polluelos, (2) ausencia de efecto entre el tamaño de la nidada y la supervivencia de los padres, (3) ausencia de relación entre el esfuerzo reproductivo de dos nidadas consecutivas, (4) considerar que los animales ajustan perfectamente el tamaño de la nidada a la condición local, ... (Stearns, 1990; Capítulo 7). En este sentido, las investigaciones que han seguido el trabajo de Lack (desde 1970 hasta el presente) han concluido que el tamaño de nidada observado es inferior al definido por Lack.

Al trazar la relación entre la biología de las aves nidifugas (objeto de estudio de Lack) y los conejos observamos que, en ambos casos, los recién nacidos son completamente dependientes del cuidado parental hasta el momento del "destete" y, por lo tanto, la supervivencia en esta fase está condicionada a la capacidad de los padres para nutrir sus crías (aves: encontrar y traer alimentos; conejos: lactación). Por lo tanto, un aumento excesivo del número de nacidos vivos implicaría una reducción de la supervivencia de los neonatos.

En España, la selección de las líneas maternas de conejos se ha centrado, sobre todo, en aumentar el tamaño de la camada al destete y los resultados demuestran el éxito de esta estrategia (Baselga, 2003). Sin embargo, aunque la correlación genética entre el tamaño de camada al nacimiento y el tamaño de la camada al destete sea alta y positiva ($+0.83 \pm 0.04$; García y Baselga, 2002), el principio de Lack indica la existencia de una compensación entre el aumento del número de nacidos vivos y la supervivencia de los gazapos. Para testar la hipótesis de que los conejos, de forma similar a lo que ocurre en las aves nidifugas, ajustan el tamaño de camada para equilibrar el compromiso entre la supervivencia en lactación y el número de destetados, el presente trabajo se centra en describir dos relaciones: (1) entre el número de gazapos nacidos vivos y la tasa de supervivencia durante la lactación y (2) entre el número de nacidos vivos y el número de destetados en 5 líneas comerciales de conejos españolas (cuatro maternas y una paternal).

Material y métodos

Se han utilizado los datos de todas las generaciones de selección de las cinco líneas de conejos de la Universitat Politècnica de València desde su fundación (A: generación 43, V: 39, R: 25, H: 10 y LP: 8; Estany *et al.*, 1989; Estany *et al.*, 1992; Cifre *et al.*, 1998; Sánchez *et al.*, 2008) alojadas en las instalaciones de la universidad. La descripción de los criterios de selección, de las instalaciones, del manejo de los animales y del ciclo reproductivo durante todo el proceso de selección fue detallada por Ragab y Baselga (2011).

Para testar la hipótesis planteada, se ha utilizado el número de nacidos vivos (**nv**) y el número de destetados (**nd**) para calcular la tasa de supervivencia durante la lactación (**sl** = **nd/nv**). A continuación se han analizado (con el programa R; R Core Team, 2016) los datos de las líneas según los conceptos del principio de Lack (1947). Se ha trazado la relación entre **nv** y **sl** y entre **nv** y **nd**. A continuación, se ha utilizado el método de regresión polinómica local para dilucidar la relación entre estos dos pares de variables. Se usó una regresión polinómica local con parámetro de suavización igual a 0.75 y grado máximo del polinomio local igual a 2. En el análisis se han incluido solamente los partos entre $2 < \text{nv} < 20$, dado que la tasa de supervivencia de **nv** = 1 fue igual a 1 en todos los casos y fue bajo número de partos con más de 19 nacidos vivos ($n = 17$).

Resultados y discusión

La **Figura 1A** muestra la relación entre la supervivencia de los gazapos durante la lactación en función del número de nacidos para las líneas A, H, V, LP y R, y la **Figura 1B** la relación entre el número de destetados y los nacidos vivos.

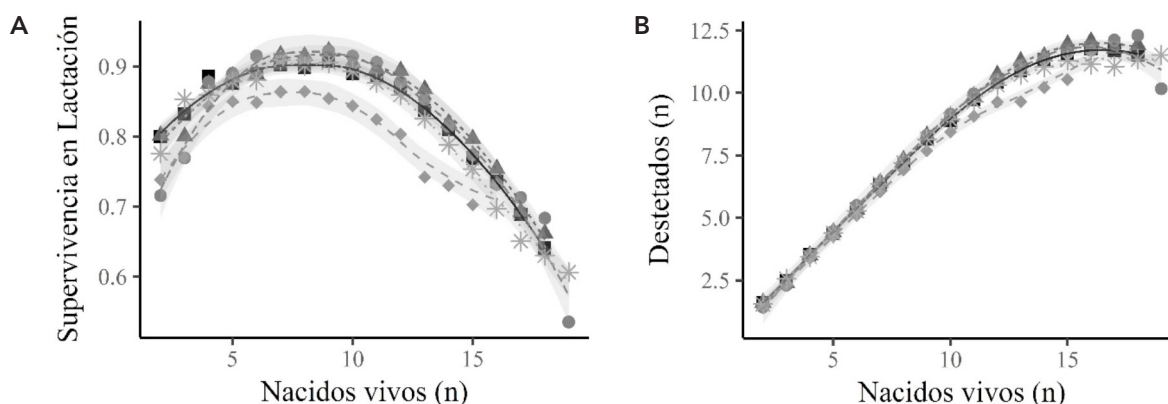


Figura 1. Tasa de supervivencia en lactación (A) y número de destetados (B) en función del número de nacidos vivos para las líneas A (■), H (▲), LP (●), R (◆) y V (*). Los puntos representan el promedio de los partos para cada línea ($n = 60343$), las curvas el ajuste promedio (loess) que describe la relación entre el par de variables en cuestión y la banda gris el intervalo de confianza de la curva promedio.

En el conjunto de las líneas, el promedio de **sl** ha aumentado de 0.77 (intervalo de confianza: [0.75, 0.78]) para 2 gazapos nacidos vivos, hasta alcanzar un valor máximo de 0.90 [0.896, 0.901] para camadas de 9 gazapos, descendiendo a valores inferiores a 0.85 para camadas de ≥ 13 nacidos vivos. Para las distintas líneas, se ha observado una **sl** máxima para camadas de 9 **nv** entre las hembras de las líneas A = 0.91 [0.89, 0.91], H = 0.92 [0.90, 0.94] y LP = 0.92 [0.91, 0.93]. En el caso de la línea V, la **sl** máxima fue de 0.90 [0.89, 0.92] para camadas entre 7 y 9 gazapos, mientras que para la línea paternal R la **sl** máxima fue inferior a la observada en las líneas maternas, siendo de 0.86 [0.85, 0.87] para camadas de 7 y 8 gazapos.

La regresión polinómica local para cada una de las líneas demuestra que la relación entre **sl** y **nv** es no lineal, aproximándose a una parábola convexa para las líneas maternas (A, H, V y LP). Entre estas líneas, la única diferencia perceptible en la forma de la parábola es el rápido aumento de la tasa de supervivencia entre las camadas de 2 y 5 nacidos vivos. De hecho, las líneas A, H y V han presentado un aumento menos importante (de 0.80 hasta 0.87) que el observado para la línea LP (de 0.72 hasta 0.89). Para la línea paternal R, la relación entre **sl** y **nv** fue distinta (véase la ausencia de solape en las regiones de incertidumbre entre 6 y 14 nacidos vivos), aproximándose a una curva sinusoidal; debido a una estabilización de **sl** a partir de 13 nacidos vivos en aproximadamente 0.72.

La relación entre **nd** y **nv** fue similar entre las distintas líneas maternas. Así, **nd** aumentó de forma lineal entre 2 y 11 nacidos vivos, estabilizándose a ≈ 11 destetados a partir de 12 nacidos vivos. Nuevamente, la forma de la curva para la línea paternal R fue distinta a las de las líneas maternas (ausencia de solape en las regiones de incertidumbre entre 10 y 15 nacidos vivos). En este caso hemos observado dos fases lineares, una primera fase con una pendiente más abrupta entre 2 y 10 **nv** (no distinta a la observada en las líneas maternas), seguida de una segunda fase entre 11 y 16 **nv** cuya pendiente fue menos pronunciada.

Si contrastamos la curva de supervivencia con la curva de destetados, el número de nacidos vivos que resulta en el mejor compromiso entre la tasa de supervivencia y el número de destetados fue de ≈ 12 gazapos, con una supervivencia media de 0.86 y 10.4 gazapos destetados, similar en todas las líneas.

Lack (1947) predijo que el tamaño de la nidada óptimo de una población se podría determinar por el promedio del máximo número de polluelos que las aves nidícolas son capaces de criar. En el caso de estas líneas de conejos, **nd** tiende a estabilizarse alrededor de 11 gazapos (**Figura 1B**), valor superior al promedio de destetados (**Tabla 1**).

Tabla 1. Estadística descriptiva (media $\pm$ error típico).

Línea	Nacidos Vivos (n)	Destetados (n)	Supervivencia*
A	9,5 $\pm$ 0,02	8,3 $\pm$ 0,02	0,88 $\pm$ 0,001
H	11,0 $\pm$ 0,05	9,5 $\pm$ 0,04	0,87 $\pm$ 0,003
LP	11,1 $\pm$ 0,04	9,5 $\pm$ 0,03	0,87 $\pm$ 0,002
R	7,9 $\pm$ 0,02	6,6 $\pm$ 0,03	0,83 $\pm$ 0,002
V	10,6 $\pm$ 0,02	9,0 $\pm$ 0,02	0,85 $\pm$ 0,001

*Tasa de supervivencia entre el nacimiento y el destete (rango de valores de 0 hasta 1).

Esta disparidad se debe a las frecuencias de los datos (**Figuras 2**). Por ejemplo, en el caso de la línea V, el 35% del total de partos observados se han situado entre 9 y 11 nacidos vivos.

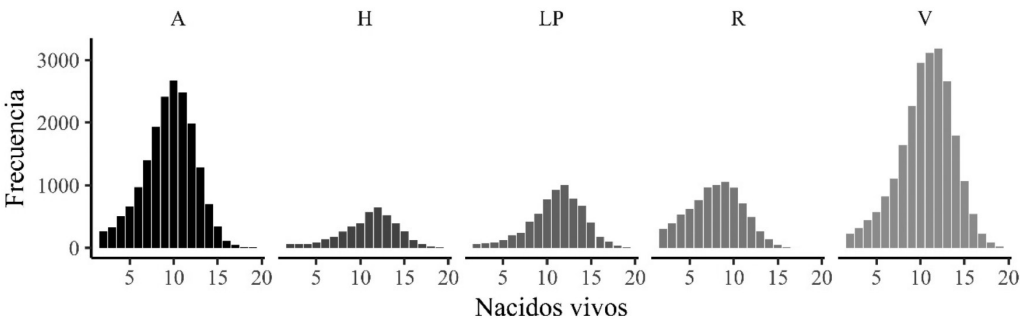


Figura 2. Frecuencia de camadas entre 1 y 19 gazapos nacidos vivos para las distintas líneas.

Como consecuencia, aunque ciertas conejas sean capaces de destetar hasta 18 gazapos (valor máximo observado), el **nd** más frecuente entre las líneas maternas se ha situado entre 10 y 11 gazapos (**Figura 3**), confirmando la relación observada en la **Figura 1B**. Se ha de destacar la gran cantidad de partos con apenas un (1) gazapo destetado ($n = 3964$ partos) como un dato normal.

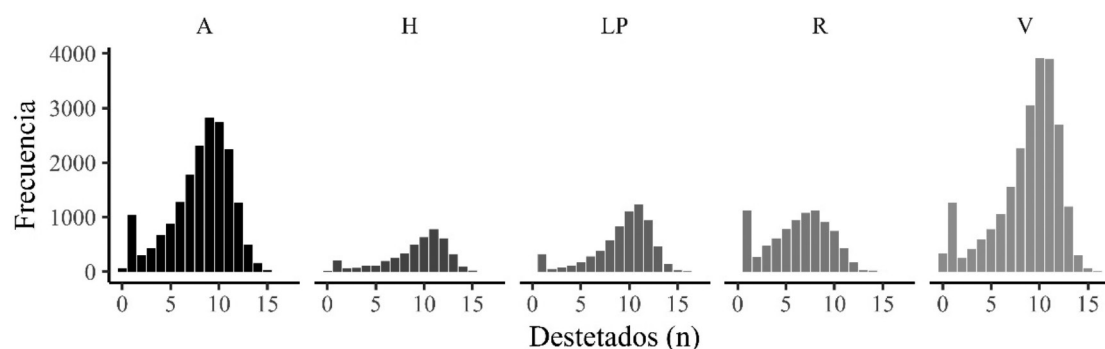


Figura 3. Frecuencia de camadas entre 1 y 19 gazapos destetados para las distintas líneas.

De modo global, la aplicación del principio de Lack a las líneas de conejos demuestra la existencia de un tamaño de camada al nacimiento que optimiza el compromiso entre el aumento del número de nacidos vivos y la supervivencia de los gazapos durante la lactación. La forma de parábola convexa de la curva de supervivencia en función del **nv** indica la existencia de una asíntota para el **nd**, de modo que al seleccionar por tamaño de camada al destete la frecuencia de camadas alrededor de 12 nacidos vivos tiende a aumentar (Figura 2). Sin embargo, cabe resaltar que estas observaciones dependen directamente de que la relación entre **sl** y **nv** sea estable a lo largo de las generaciones (en un análisis preliminar no se ha observado cambios relevantes en la forma de las curvas a lo largo de las generaciones).

En conclusión, la continuidad de los programas de selección por tamaño de camada al destete tiende a aumentar el promedio de destetados por medio de la reducción de la frecuencia de camadas con un **nv** inferior a 9 y el aumento la frecuencia de camadas ≈ 12 gazapos, resultando en un **nv** que conduce al mejor compromiso entre **sl** y el **nd**. De igual forma, la curva de supervivencia podría desplazarse a valores superiores (véase la diferencia entre las líneas maternas y la línea paternal R), aunque un cambio en la forma de la curva nos parezca biológicamente poco probable.

Agradecimientos

A Manuel Baselga ("Manolo"), "padre" de las líneas de conejos de la Universitat Politècnica de València, formador y amigo. A Juan Pablo Sánchez y a Enrique Blas por sus comentarios en las primeras versiones de este trabajo, a todos los investigadores, técnicos y alumnos que han pasado por las granjas del Poli y que han hecho posible este estudio. A los distintos proyectos de investigación financiados por el Estado Español.

Bibliografía

- Baselga M. 2003. Genetic improvement of meat rabbits. Programs and diffusion. In: 8th World Rabbit Congress. Puebla, México, pp. 1-13.
- Cifre J., Baselga M., García-Ximénez F., Vicente J.S. 1998. Performance of a hyperprolific rabbit line I. Litter size traits. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 115(1-6): 131-138.
- Estany J., Baselga M., Blasco A., Camacho J. 1989. Mixed model methodology for the estimation of genetic response to selection in litter size of rabbits. *Livestock Production Science*, 21: 67-75.
- Estany J., Camacho J., Baselga M., Blasco A. 1992. Selection response of growth rate in rabbits for meat production. *Genetics Selection Evolution*, 24: 527-537.
- García M.L., Baselga M. 2002. Estimation of genetic response to selection in litter size of rabbits using a cryopreserved control population. *Livestock Production Science*, 74(1): 45-53.

Lack D. 1947. *The significance of clutch-size*. *Ibis*, 89(2): 302-352.

Ragab M., Baselga M. 2011. *A comparison of reproductive traits of four maternal lines of rabbits selected for litter size at weaning and founded on different criteria*. *Livestock Science*, 136: 201-206.

R Core Team. 2016. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>.

Sánchez J.P., Theilgaard P., Mínguez C., Baselga M. 2008. *Constitution and evaluation of a long-lived productive rabbit line*. *Journal of Animal Science*, 86(3): 515-525.

Stearns S.C. 1990. *The evolution of life histories*. Oxford, United Kingdom. pp. 249.

La movilización de grasa entre la segunda inseminación y el destete está positivamente relacionada con el éxito reproductivo en conejas primíparas

Fat mobilization between second insemination and weaning is positively related to the reproductive success in primiparous does

Delgado R., Abad-Guamán R., Carabaño R., García J., Nicodemus N.*

Departamento de Producción Agraria, ETSIAAB, Universidad Politécnica de Madrid

* Dirección de contacto: nuria.nicodemus@upm.es

Resumen

Se registraron los rendimientos productivos y condición corporal mediante impedancia bioeléctrica de 172 conejas en las 5 primeras inseminaciones (IA). Estas se realizaron 11 días tras el parto, y el destete a los 25 d de lactación. El periodo experimental comenzó el día de la primera IA positiva de las conejas nulíparas y terminó el día del parto correspondiente a la quinta IA. Las conejas se clasificaron a posteriori en dos grupos: Elite (conejas gestantes en todas las IA) y Normal (conejas que completaron al menos una lactación). En la primera IA las conejas del grupo Elite pesaron menos (3930 vs 4087 g; $P = 0,025$) y tuvieron menos proporción de grasa (15,7 vs 17,2%; $P = 0,042$) que el grupo Normal, pero una proporción de proteína similar (17,8 vs 17,9%). Además, las conejas Elite mostraron un mayor contenido en proteína en el primer parto (17,9 vs 17,7%; $P = 0,012$) y en el primer destete (18,1 vs 17,9%; $P = 0,027$). Estos dos grupos no difirieron en la movilización/deposición de grasa o proteína entre la IA1-parto 1 y el parto 1-IA2. Sin embargo, entre la IA2 y el destete 1 se observó que las conejas del grupo Elite movilizaron el doble de grasa que el grupo Normal (27,9 vs 14,1%; $P = 0.004$).

Palabras clave: composición química corporal, movilización de grasa, éxito reproductivo, conejas reproductoras.

Abstract

Body condition using bioelectrical impedance and productive traits were recorded in 172 rabbit does along the first 5 inseminations (AI) (performed 11 d post-partum and weaning at 25 d). The experimental period lasted from the first positive AI to the parturition corresponding to the 5th AI. Rabbit does were classified a posteriori in two groups: Elite (pregnant in all AI) and Normal rabbit does (at least, once lactation period completed). In the first AI, Elite rabbit does were lighter (3930 vs 4087 g; $P = 0.025$) and had lower body fat proportion (15.7 vs 17.2%; $P = 0.042$) than the other rabbit does, but they had a similar body protein content (17.8 vs 17.9%). Besides, the Elite group showed a higher body protein proportion at first parturition (17.9 vs 17.7%; $P = 0.012$) and first weaning (18.1 vs 17.9%; $P = 0.027$). Fat and protein mobilization/deposition between AI1-parturition 1 or parturition 1-AI2 did not differ between the two groups, but Elite rabbit does showed the double fat mobilization between AI 2 and first weaning (27.9 vs 14.1%; $P = 0.004$).

Keywords: body chemical composition, fat mobilization, reproductive success, rabbit does.

Introducción

El mayor riesgo de eliminación de las conejas reproductoras se produce en los tres primeros ciclos (inseminaciones), siendo dos de las causas más importantes la baja productividad (infertilidad) y la mala condición corporal (Rosell y de la Fuente, 2009). La segunda inseminación es la que mayor dificultad presenta muy probablemente debido al balance energético negativo experimentado al final de la primera gestación (Pascual et al., 2013) y/o al inicio de la primera lactación (Fortun-Lamothe et al., 2006). La fertilidad de la segunda inseminación parece que

depende del grado de madurez de la coneja en la primera inseminación, marcado por su contenido en proteína y grasa corporal (Taghouti *et al.*, 2011), y/o por una mejor gestión de las reservas alrededor del primer parto (Saviotto *et al.*, 2016). En estas circunstancias la línea longeva de la UPV obtiene mejores resultados en comparación con la hiperprolífica, muy probablemente debido a su mayor plasticidad en la gestión de sus reservas corporales (Theilgaard *et al.*, 2009). Por otra parte, Theilgaard *et al.* (2006) observaron 10 d después del parto que las conejas con niveles de grasa corporal muy bajos o muy altos, o con mayor movilización de reservas corporales entre los días 10 y 21 de lactación tuvieron mayor riesgo de ser eliminadas. En este contexto, el tipo de pienso (siempre que cumpla con las recomendaciones) no parece que modifique la condición corporal (Theilgaard *et al.*, 2006; Romero *et al.*, 2011; Delgado *et al.*, 2014 y 2017 y datos no publicados). El objetivo de este trabajo ha sido estudiar la evolución de la condición corporal de las conejas durante las primeras cinco inseminaciones con el fin de caracterizar las diferencias existentes entre las conejas con mayor éxito reproductivo y las normales, así como identificar alguna variable que permita predecirlo al comienzo de su vida productiva.

Materiales y métodos

El trabajo se realizó utilizando 172 conejas Neozelandés blanco × California (Línea V, UPV) provenientes de dos experimentos consecutivos (84 y 88 conejas/experimento. Delgado *et al.*, 2014 y 2017). Las conejas se inseminaron a los 130 d de edad con el peso y la composición corporal indicados en la **Tabla 1**. Las inseminaciones (IA) se realizaron 11 días tras el parto, correspondiendo con un intervalo teórico entre partos de 42 d, mientras que el destete se realizó a los 25 d de lactación. El semen utilizado procedió de machos pertenecientes a la línea R (UPV). El periodo experimental comenzó el día de la primera IA positiva de las conejas nulíparas y terminó el día del parto correspondiente a la quinta IA. Las conejas que tuvieron dos IA consecutivas negativas dejaron de ser controladas. La composición corporal de las conejas (humedad, proteína, grasa cenizas y energía) se estimó mediante las ecuaciones de regresión desarrolladas por Nicodemus *et al.* (2009) y Pereda (2010), a partir de los datos de impedancia bioeléctrica (BIA), el peso de la coneja y su estado fisiológico. Las medidas de BIA se realizaron el día de la inseminación IA, inmediatamente tras el parto y al destete. Las conejas se clasificaron a posteriori en dos grupos: Elite (conejas gestantes en todas las IA) y Normal (completaron al menos una lactación). La composición corporal se analizó mediante un modelo mixto de medidas repetidas donde el factor de repetición fueron los eventos reproductivos a lo largo del tiempo (IA, parto, destete) y la coneja se consideró como un efecto aleatorio. El cálculo de la influencia de la movilización de las reservas corporales sobre el éxito reproductivo (n° gestaciones/ n° total inseminaciones) de las conejas se analizó mediante una regresión logística con el procedimiento GENMOD del SAS utilizando una distribución binomial.

Resultados y discusión

La fertilidad en la IA 1 fue del 100%, mientras que la IA 2 disminuyó hasta el 56,4%. En la tercera, cuarta y quinta IA la fertilidad fue del 80,8%, 72,4% y 73,3%, respectivamente. En la **Figura 1A** se representa la evolución temporal en los diferentes momentos productivos/reproductivos (5 ciclos reproductivos) de todas las conejas consideradas en el estudio ($P_{\text{Tiempo}} < 0,001$ para todas las variables), mientras que en la **Figura 1B** se representa solamente la evolución de las conejas que presentaron cinco inseminaciones exitosas consecutivas ($n = 42$). En la primera IA, las conejas del grupo Elite, que supusieron un 24% del total, pesaron menos (157 g de media; $P = 0,025$; **Tabla 1**) y tuvieron 1,5 unidades porcentuales menos de grasa que las conejas del grupo Normal ($P = 0,042$), mostrando una proporción de proteína similar, 17,86%, siendo este un valor adecuado de madurez según Taghouti *et al.* (2011). Estas diferencias se mantuvieron en el primer parto y la segunda IA. Además, las conejas Elite mostraron un mayor contenido en proteína en el primer parto (0,2 unidades porcentuales; $P = 0,012$) y en el primer destete (0,2 unidades porcentuales; $P = 0,027$), y mayor contenido en cenizas en el primer parto y en la segunda IA (0,05 unidades porcentuales; $P \leq 0,024$). Estos dos grupos no difirieron en la movilización/deposición de grasa o proteína entre la IA1-parto 1 y el parto 1-IA2 (**Figura 1**). Se observó una gran movilización de reservas en el primer periodo, probablemente al final del mismo, y de recuperación parcial de las mismas en el segundo, lo que concuerda con lo observado por Saviotto *et al.* (2016). Sin embargo, entre la IA2 y el destete 1 se observó que las conejas del grupo Elite movilizaron el doble de grasa que el grupo Normal (27,9 vs. 14,1%, respecto a su nivel de grasa en la IA2; $P = 0,004$. **Figura 1B**). Esto permitió desarrollar una regresión logística con el fin de predecir el éxito reproductivo en función de esta movilización de grasa (**Figura 2**). Así, tomando como referencia el éxito reproductivo de las conejas Elite, que fue de un 100%, el de las del grupo Normal fue de un 66% ($P < 0,001$). Esta movilización de grasa es independiente del tipo de pienso suministrado a las conejas y muy probablemente tendría un origen genético (Pascual *et al.*, 2013). De acuerdo con estos autores las conejas que gestionan mejor sus

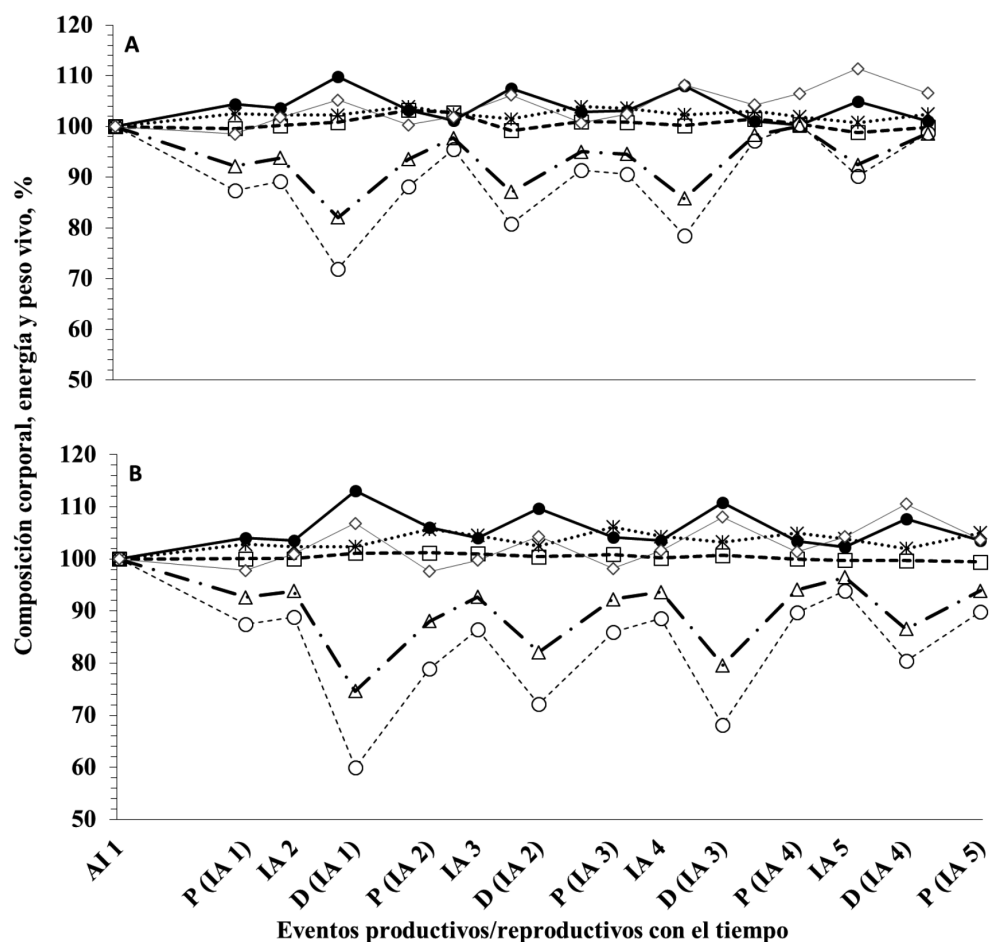


Figura 1. Evolución de la composición corporal, energía y peso vivo (Humedad ●, proteína□, grasa○, cenizas *, energía Δ, y peso vivo ◇) con el tiempo (inseminación artificial –IA–, parto –P– y destete –D–) de todas las conejas de los dos experimentos (n = 172. Figura. 1A) o solo de aquellas que tuvieron 5 partos consecutivos (n = 42. Fig. 1B). Los valores obtenidos en la primera inseminación (IA 1) se consideraron como 100 (ver Tabla 1) y los valores obtenidos después se expresaron como porcentaje del valor obtenido en la IA1. $P_{\text{Tiempo}} < 0,001$ en ambas figuras. IA 1, IA 2, IA 3, IA4 e IA 5: 1ª, 2ª 3ª, 4ª y 5ª inseminación artificial. P (IA 1), P (IA 2), P (IA 3), P (IA 4) y P (IA 5): Parto correspondiente a IA 1, IA 2, IA 3, IA 4 e IA 5, respectivamente. D (IA 1), D (IA 2), D (IA 3), D (IA 4) y D (IA 5): Destete correspondiente a IA 1, IA 2, IA 3, IA 4 e IA 5, respectivamente.

Tabla 1. Composición corporal, energía y peso vivo de las conejas en la inseminación artificial 1.

	Peso vivo*			Humedad*			Proteína		
	Todas	Elite	Normal	Todas	Elite	Normal	Todas	Elite	Normal
Media†	4048	3930	4087	58,3	59,4	58,0	17,83	17,91	17,81
DE	317	282	320	2,57	2,95	2,34	0,47	0,50	0,45
Mín	3364	3364	3463	51,0	54,0	51,0	16,00	16,40	16,00
Máx	5104	4655	5104	66,4	66,4	65,0	18,60	18,60	18,50
P		0,025			0,041			0,34	
	Grasa*			Cenizas			Energía*		
	Todas	Elite	Normal	Todas	Elite	Normal	Todas	Elite	Normal
Media†	16,8	15,7	17,2	3,03	3,07	3,02	1193	1147	1208
DE	2,71	3,01	2,51	0,13	0,13	0,13	110	126	100
Mín	8,70	8,70	10,1	2,60	2,80	2,60	848	848	907
Máx	24,9	21,7	24,9	3,30	3,30	3,20	1507	1377	1507
P		0,042			0,095			0,041	

† N: todas = 172; Elite = 42; Resto = 130. Las variables marcadas con * indican que las conejas Elite difieren del Resto ($P < 0,05$). Unidades: Peso vivo: g; Humedad, proteína, grasa y cenizas: % peso vivo; Energía: kJ/100 g peso vivo. DE: desviación estándar

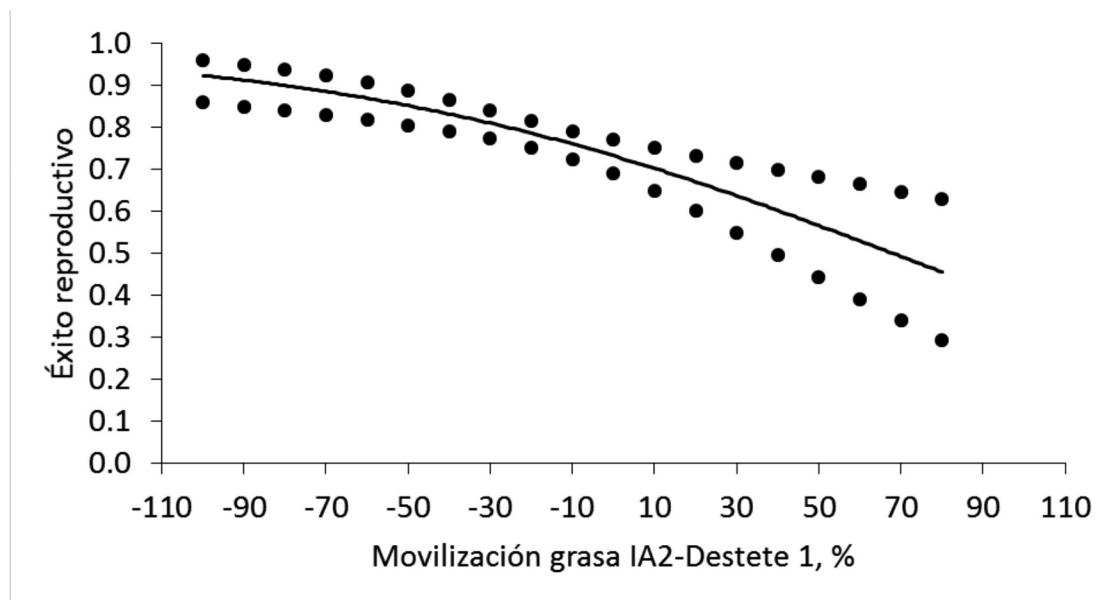


Figura 2. Estimación del éxito reproductivo en las primeras 5 IA a partir de la movilización de grasa entre la IA2 y el destete 1 ($P < 0,01$; Desviación del modelo= 0,95. Max/Min: Éxito reproductivo: 0,33-1, Movilización grasa IA2-destete 1: -96,7 a 78,2). La línea punteada indica el intervalo de confianza del 95%.

reservas tendrían menor riesgo de eliminación, probablemente debido a su mayor éxito reproductivo. Sería interesante identificar de manera temprana estas conejas así como los factores ambientales que pudieran estar condicionando su productividad.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado gracias al proyecto AGL2011-23885 del Ministerio de Ciencia e Innovación y por la beca FPI obtenida por Rebeca Delgado (BES-2012-055392).

Bibliografía

- Delgado R., Abad-Guamán R., Nicodemus N., Villamide M.J., Ruíz N., Menoyo D., Carabaño R., García J. 2014. Efecto del nivel de fibra soluble y del nivel de ácidos grasos w3 sobre el rendimiento de las conejas y sus camadas durante las dos primeras lactaciones. XXXIX Symposium de Cunicultura. pp. 82-85. Tudela.
- Delgado R., Abad-Guamán R., de la Mata D., Menoyo D., Nicodemus N., García J., Carabaño R. 2017. Effect of dietary supplementation with arginine and glutamine on the performance of rabbit does and their litters during the first three lactations. Anim. Feed Sci. Technol. <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.anifeedsci.2017.02.015>
- Fortun-Lamothe L. 2006. Energy balance and reproductive performance in rabbit does. Anim. Reprod. Sci., 93: 1-15.
- Nicodemus N., Pereda N., Romero C., Rebollar P.G. 2009. Évaluatuiou de la technique d'impédance bioélectrique (IBE) pour estimer la composition corporelle de lapines reproductrices. In: Proc. 13émes Journées de la Recherche Cunicole. p. 109-112.
- Pascual J.J., Saviotto D., Cervera C., Baselga M. 2013. Resources allocation in reproductive rabbit does: a review of feeding and genetic strategies for suitable performance. World Rabbit Sci., 21: 123-144.
- Pereda N. 2010. Evaluación de la técnica del Análisis de Impedancia Bioeléctrica (BIA) para predecir la composición corporal: aplicación en conejas sometidas a diferentes sistemas de alimentación durante la recría, PhD Thesis, UPM., Madrid, Spain.
- Romero C., Nicodemus N., Martínez de Morentin C.G., García A.I., De Blas C. 2011. Effect of grinding size of barley and dehydrated alfalfa on performance and body composition of does during their early reproductive cycles. Livest. Sci., 140: 55-61.

Rosell J.M., de la Fuente L.F. 2009. Culling and mortality in breeding rabbits. *Prev. Vet. Med.*, 88: 120-127.

Savietto D., Marono S., Martínez I., Martínez-Paredes E., Ródenas L., Cervera C., Pascual J.J. 2016. Patterns of body condition use and its impact on fertility. *World Rabbit Sci.*, 24: 39-45.

Taghouti M., Macchiavelli R., García J., Demey J., Nicodemus N. 2011. Relación entre la composición química corporal, la fertilidad y la prolificidad en conejas primíparas. XXXVI Symposium de Cunicultura. pp. 85-88. Peñíscola.

Theilgaard P., Sánchez J.P., Pascual J.J., Friggens N.C., Baselga M. 2006. Effect of body fatness and selection for prolificacy on survival rabbit does assessed using a cryopreserved control population. *Livest. Sci.*, 103: 65-73.

Theilgaard P., Baselga M., Blas E., Friggens N.C., Cervera C., Pascual J.J. 2009. Differences in productive robustness in rabbits selected for reproductive longevity or litter size. *Animal*, 3: 637-646.

Predicción de la producción de leche de la coneja en lactaciones de 25 días a partir del peso de la camada

Prediction of milk production of rabbit does in lactations of 25 days from the litter weight

Farias C., Delgado R, Abad-Guamán R., Villamide M.J., Menoyo D., Carabaño R., Garcia J., Nicodemus N.*

Departamento de Producción Agraria, E.T.S.I. Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas, Universidad Politécnica de Madrid
E-mail: nuria.nicodemus@upm.es

Resumen

El objetivo de este trabajo ha sido predecir la producción de leche de conejas en lactaciones de 25 d. Se utilizaron 116 conejas (grupo de calibración). Las inseminaciones se realizaron 11 días post-parto, correspondiendo con intervalo teórico entre partos de 42 días, mientras que el destete se realizó a los 25 días de lactación. El periodo experimental comenzó el día de la primera inseminación artificial de las conejas nulíparas y terminó el día del parto correspondiente a la quinta inseminación. Para obtener la producción de leche estimada se utilizaron las conejas que completaron al menos dos lactaciones. La producción de leche (PL) se estimó a partir de los datos de peso de camada a 20 días y el número de parto. Se utilizaron otras 16 conejas para validar las ecuaciones obtenidas (grupo de validación). Las ecuaciones obtenidas fueron: $PL_{\text{primíparas}} = 983,7 (\pm 141,7) + 1,534 (\pm 0,039) \times \text{Peso camada 20 d}$; y $PL_{\text{multíparas}} = 983,7 (\pm 141,7) + 1,582 (\pm 0,047) \times \text{Peso camada 20 d}$. El error medio de predicción relativa fue menor para la primera lactación que para la segunda y sucesivas lactaciones (4,68 vs. 7,06%).

Palabras clave: producción de leche, peso de la camada, conejas reproductoras.

Abstract

The aim of this work was to predict the milk production of rabbit does with lactations periods of 25 d from litter weight at 20 d of lactation and number of parturition. Experimental period lasted from 1st to 5th insemination (performed 11 d post-partum). Milk production (MP; at least two lactations/rabbit doe) and litter weight at 20 d of lactation were recorded in 116 rabbits (calibration group). Another 16 rabbits were used to validate the model obtained (validation group). The prediction equations obtained for milk production were: $MP_{\text{primiparous}} = 983.7 (\pm 141.7) + 1.534 (\pm 0.039) \times \text{Litter weight at 20 d}$; and $MP_{\text{multiparous}} = 983.7 (\pm 141.7) + 1.582 (\pm 0.047) \times \text{Litter weight at 20 d}$. The mean prediction relative error was lower for the first lactation than for the second and successive lactations (4.68 vs. 7.06%).

Keywords: milk production, litter weight, rabbit does.

Introducción

La producción de leche de la coneja es un dato relevante en los experimentos de nutrición. El control de la producción lechera de la coneja se hace por diferencia de pesada antes y después de amamantar a la camada y tiene un coste importante en términos de mano de obra, por lo que resulta interesante poder estimarla a partir de alguna variable más sencilla de medir. La mejor estima de la producción total de leche durante la lactación se realiza a partir del peso de la camada a los 21 d de edad, si bien cuando la lactación se prolonga 4 semanas o más se puede cometer un error de al menos un 18% (Lebas, 1969). Estos resultados fueron confirmados más recientemente por De Blas et al. (1995) en lactaciones de 30 d y por Fortun-Lamothe y Savater (2003), si bien

en este último trabajo solo controlaron la producción de leche hasta el día 21 de lactación. En cambio, Sabater *et al.* (1993) obtuvieron una correlación ligeramente superior con el peso de la camada el día 14 de lactación. El objetivo de este trabajo ha sido predecir la producción de leche en lactaciones de 25 d para lo que no se disponen de datos.

Material y métodos

El trabajo se realizó utilizando 116 conejas (grupo de calibración) Neozelandés blanco x California (Línea V, UPV) provenientes de dos experimentos consecutivos (66 y 50 conejas/experimento). Las conejas se inseminaron a los 130 días de edad con un peso vivo (PV) de $4,00 \pm 0,27$ kg. Las inseminaciones se realizaron 11 días postparto, correspondiendo con intervalo teórico entre partos de 42 días, mientras que el destete se realizó a los 25 días de lactación, con el fin de manifestar más claramente los efectos del destete e incrementar el tiempo de recuperación de las conejas. El semen utilizado procedió de machos pertenecientes a la línea R (UPV). El periodo experimental comenzó el día de la primera inseminación artificial de las conejas nulíparas y terminó el día del parto correspondiente a la quinta inseminación. Para obtener la producción de leche estimada se utilizaron las conejas que completaron al menos dos lactaciones. Los intervalos de variación de las variables utilizadas se muestran en la **Tabla 1**. La producción de leche se estimó a partir de los datos de peso de camada a 20 días y el número de parto real. Las camadas se pesaron a los 20 d post-parto. La producción de leche se analizó mediante un modelo mixto de medidas repetidas que incluyó como covariable el peso de la camada a los 20 d, y su interacción con el número de parto (efecto fijo), siendo la coneja un efecto aleatorio. Los modelos obtenidos fueron validados con 16 conejas elegidas al azar y no utilizadas anteriormente (grupo de validación).

Resultados y discusión

La interacción entre el peso de la camada a los 20 d y el número de parto fue significativa ($P = 0,001$) debido a la diferencia en la producción de leche entre la primera lactación y lactaciones sucesivas. Sin embargo, no se observaron diferencias importantes a partir de la segunda lactación. Por esta razón, se estableció un modelo de predicción para la producción de leche en la primera lactación y otro para lactaciones sucesivas (independientemente de su número. **Tabla 2**). En la **Tabla 1**, se muestran los valores estimados con estos modelos tanto para el grupo de calibración como para el grupo de validación y en la **Tabla 2** se muestra el error medio de predicción relativo. De este valor se deduce que la predicción de la producción de leche es mucho más precisa en la primera lactación, probablemente debido a que la variabilidad es menor que en lactaciones sucesivas (**Tabla 1**). Además, se puede observar que la predicción de la producción de leche empeora cuando nos acercamos a los valores extremos del intervalo, mientras que cuando se encuentra cerca de la media la predicción es mucho más ajustada, como era de esperar. Este último efecto está acentuado debido al mayor intervalo de las observaciones utilizadas en comparación con otros trabajos (Fortun-Lamothe y Savater, 2003).

Tabla 1. Intervalos de variación del peso de la camada y de la producción de leche en conejas primíparas y múltiparas (grupo de calibración, n=116, y de validación, n = 16).

Grupo de calibración	Primíparas			Múltiparas		
	Peso camada 20 d	P. leche real	P. leche estimada	Peso camada 20 d	P. leche real	P. leche estimada
Media	2631	5024	5019	2988	5719	5704
Mínimo	1002	1457	2521	1048	2211	2641
Máximo	3245	6321	5961	4198	7430	7689
Desviación estándar	313	644	481	488	856	790

Grupo de validación	Primíparas			Múltiparas		
	Peso camada 20 d	P. leche real	P. leche estimada	Peso camada 20 d	P. leche real	P. leche estimada
Media	2641	4997	5034	2867	5371	5518
Mínimo	1815	3286	3767	877	1566	2371
Máximo	3196	5966	5886	3666	6743	6782
Desviación estándar	378	666	579	621	1231	982

Tabla 2. Modelos seleccionados para la producción de leche de conejas con lactaciones de 25 d (n = 116).

Producción de leche 0-25 d	Modelo	P-valor	EMPR
Primera lactación	$983,7 (\pm 141,7) + 1,5338 (\pm 0,039) \times \text{Peso camada 20 d}$	<0,001	4,68
Segunda lactación y sucesivas	$983,7 (\pm 141,7) + 1,5816 (\pm 0,047) \times \text{Peso camada 20 d}$	<0,001	7,06

EMPR: Error medio de predicción relativo.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado gracias a la financiación del proyecto AGL2015-66485-R y MEDGAN ABI-2913.

Bibliografía

- De Blas J.C., Taboada E., Mateos G.G., Nicodemus N., Méndez J. 1995. Effect of substitution of starch for fiber and fat in isoenergetic diets on nutrient digestibility and reproductive performance of rabbits. *J. Anim. Sci.*, 73: 1131-1137.
- Fortun-Lamothe L., Sabater F. 2003. Estimation de la production laitiere des lapines a partir de la croissance des laperaux. 10emes Journées de la Recherche Cunicole. pp. 69-72. Paris.
- Lebas F. 1969. Alimentation lactée et croissance pondérale du lapin avant sevrage. *Ann. Zootech.*, 18: 197-208.
- Sabater M.C., Tolosa M.C., Cervera C. 1993. Factores de variación de la curva de lactación de la coneja. *Archivos de Zootecnia*, 42: 105-114.

