

Modelo estructural para mejorar la organización y el control de la reproducción en sistemas vacunos lecheros

José Alberto Bertot Valdés¹, Roberto Vázquez Montes de Oca¹, Rolando de Armas de la Rosa², Magaly Garay Durba¹, Jorge Luís Álvarez Calvo³, Rafael Avilés Balmaseda¹, Carlos Loyola Oriyés¹ y Maydier Horrach Junco²

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Camagüey

²Ministerio de la Agricultura Camagüey

³Asociación Cubana de Producción Animal

jose.bertot@reduc.edu.cu

RESUMEN

Con el objetivo de obtener un modelo estructural que permita la adopción de decisiones para mejorar la organización y el control de la reproducción en sistemas vacunos lecheros, se recolectaron los datos mensuales correspondientes al período comprendido entre enero de 1982 a diciembre de 2005, de seis empresas pecuarias lecheras de la provincia Camagüey. Se utilizaron el total de hembras en la reproducción (HR), inseminadas pendientes a diagnóstico de gestación (PENDIEN), recentinas (RECENT), vacías (VACITOT), incorporaciones (INCOR), desechos de la reproducción (BAJAS), detectadas en el primer (RECPRI) y en total de estros (RECTOT), gestantes (GESTDIA) y no gestantes en el diagnóstico (VACDIAG) y total de nacimientos (NACIM). Para determinar las relaciones causales directas de interdependencia entre las variables con retardos, se empleó la técnica SEM (modelación de ecuaciones estructurales). El análisis estructural permitió obtener un modelo ajustado en el que fueron estimados los impactos de todas las variables explicativas considerando todos los efectos con una elevada confiabilidad (R^2 altos) lo que no se había reportado anteriormente en trabajos publicados en Cuba. Se confirmó la validez de las relaciones con los nacimientos de las variables retardadas a seis meses: gestantes (0,43) y vacías al diagnóstico (0,23), y a nueve meses: recogidas en primer (0,28) y total estros (0,20), e inseminadas (0,20); se destacó el impacto de RECTOT10 (0,39) que es una relación no evidente en el sistema. La aplicación de estos resultados permitirá la adopción de decisiones para mejorar la organización de la reproducción en los sistemas vacunos lecheros.

Palabras clave: ganado vacuno, reproducción, retardos, modelación, ecuaciones estructurales

ABSTRACT

Structural modeling to improve the organization and control of the reproduction in dairy cattle systems

In order to obtain a structural model that allows making decisions to improve the organization and control of reproduction in dairy cattle systems data were collected monthly for the period January 1982 - December 2005 of six dairy cattle companies, in Camagüey province. Total of females in reproduction (HR), inseminated cows (PENDIEN), post partum cows (RECENT), anoestrus cows (VACITOT), heifers (INCOR), culled cows (BAJAS), cows detected in the first oestrus (RECPRI) and overall oestrus (RECTOT), pregnant cows (GESTDIA) and no pregnant cows (VACDIAG) at diagnosis, and total of births (NACIM) were collected monthly. The technique SEM (structural equation modelling) was used to determine direct causal relationships of interdependence between the variables with lags related to births. The structural analysis yielded a fitted model in which impacts of all explanatory variables were estimated considering all the effects with high reliability (high R^2) that had not been previously reported in papers published in Cuba. The validity of relations with the lagged variables delayed six months: pregnant cows (0.43) and no pregnant cows at diagnosis (0.23), and nine months: in the first oestrus (0.28) and total oestrus (0.20), and inseminated (0.20) was confirmed, highlighting the impact of RECTOT10 (0.39) which is a not evident relationship in the system. The application of these results will allow making decisions to improve the organization of the reproduction in dairy cattle systems.

Key words: dairy cattle, reproduction, lags, structural equation modelling

INTRODUCCIÓN

En los estudios sobre el análisis del comportamiento reproductivo en Cuba se utilizaron indicadores de eficiencia reproductiva que presentan limitaciones severas, y han sido abordados con modelos lineales uniecuacionales que se caracterizan por su baja determinación.

El sistema de organización y control de la reproducción utilizado en Cuba, incluye una gran cantidad de variables no estudiadas de forma integral, esto impide definir más claramente los patrones de estacionalidad y el orden de precedencia en el tiempo y se desconoce la magnitud de sus relaciones causales directas de interdependencia; por lo que su utilidad en la adopción de decisiones por parte de los directivos para realizar proyecciones de trabajo es limitada.

Tomando como referencia el orden de precedencia en el tiempo que deben seguir las hembras al transitar por diferentes estados reproductivos en relación a los nacimientos, Bertot *et al.* (2009), observaron que las variables representativas del estado reproductivo de las hembras alcanzaron las mayores correlaciones en retardos seis, nueve y doce meses con respecto a los nacimientos.

A partir de estos resultados puede representarse el proceso de reproducción mediante las asociaciones entre las variables pero estas no indican los impactos directos pues incluyen los efectos directos, indirectos espúreos y conjuntos, en consecuencia el objetivo del trabajo fue determinar la magnitud de las relaciones causales directas de interdependencia entre las variables representativas del estado reproductivo de las hembras con respecto a los nacimientos.

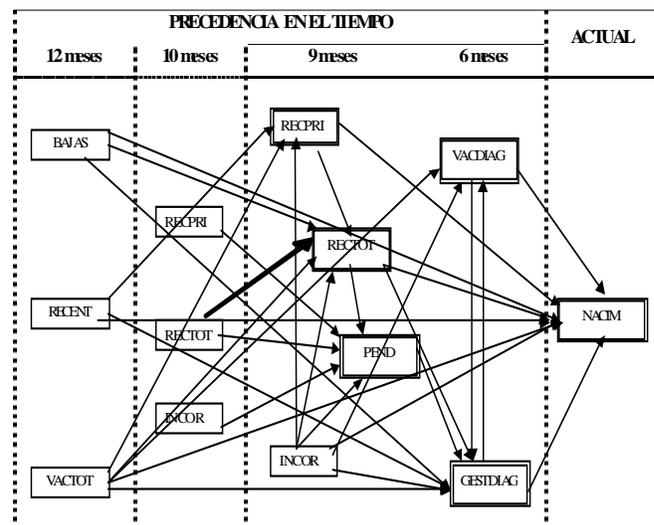
MATERIALES Y MÉTODOS

Tomando en consideración la distribución ineficiente de las hembras en las categorías reproductivas con una elevada proporción de vacías (de la Torre *et al.*, 2006), la existencia de mayor correlación del estado reproductivo del rebaño con los nacimientos que de los indicadores reproductivos y productivos (Bertot *et al.*, 2006a), el establecimiento de las variables más representativas del sistema de organización y control de la reproducción en los sistemas lecheros en las condiciones de la provincia de Camagüey (Bertot *et al.*, 2008), se empleó la base de datos de un trabajo anterior (Bertot *et al.*, 2009) que incluyó al período comprendido entre

enero de 1982 y diciembre de 2005, en las seis empresas pecuarias de la Cuenca Lechera Camagüey-Jimaguayú en la provincia de Camagüey.

Se utilizaron las variables año, mes (enero a diciembre), total de hembras en la reproducción (HR), hembras inseminadas pendientes a diagnóstico de gestación (PENDIEN), total de hembras recentinas (RECENT), total de hembras vacías (VACITOT), incorporaciones a la reproducción (INCOR), desechos de la reproducción (BAJAS), total de hembras detectadas en el primer estro (RECPRI), total de hembras detectadas en total de estros (RECTOT), total de hembras que resultaron gestantes en el diagnóstico (GESTDIA), total de hembras no gestantes en el diagnóstico (VACDIAG) y total de nacimientos (NACIM)).

A partir de los resultados de los correlogramas obtenidos en un trabajo anterior (Bertot *et al.*, 2009) se construyó un diagrama de trayectoria teórico representativo de las interrelaciones entre las variables con retardos. En el diagrama (Figura 1) cada trayectoria, representada por una flecha, indica la relación entre la posible causa y el posible efecto; se tomaron en cuenta sólo las relaciones plausibles desde el punto de vista biológico y/o justificado en la bibliografía. Para determinar las relaciones de interdependencia entre las variables con retardos, se empleó la técnica SEM (modelación de ecuaciones estructurales).



En la definición del modelo definitivo se cumplieron las etapas de especificación, identificación, diagnóstico y modificación (Batista-Foguet y Genders, 2000).

Para no omitir variables relevantes, y considerando la posible existencia de efectos directos, indirectos y espúreos, se confeccionó un modelo en el que las variables involucradas, fueron incluidas en el conjunto de ecuaciones, previamente representadas en el diagrama de trayectoria.

Se comprobó que cada ecuación y el modelo en general estaban identificados teniendo en cuenta las reglas establecidas en relación con el número de variables, parámetros a estimar y grados de libertad del modelo.

Se aplicó el método de máxima verosimilitud a partir de una matriz de covarianza para la solución simultánea del sistema de ecuaciones donde los coeficientes fueron estimados teniendo en cuenta a todas las ecuaciones.

El diagnóstico global se realizó a cada modelo mediante el estadístico Chi cuadrado (X^2), la raíz del cuadrado medio del error de aproximación (RMSEA), el residual cuadrático medio (RMR), el índice de ajuste normalizado (NFI), el índice de ajuste no normalizado (NNFI), el índice de ajuste comparado (CFI) y el índice de bondad de ajuste (AGFI) y N crítico (CN).

Tabla 1. Índices de ajuste global para el modelo

Índice	Valor obtenido	Valor recomendado
Grados de libertad	17	-
X^2 (Chi-Cuadrado)	23,82 (P = 0,12)	-
RMSEA (Raíz del cuadrado medio del error de aproximación)	0,036	< 0,08
Intervalo de confianza (90 por ciento) para RMSEA	(0,0; 0,071)	-
NFI (Índice de ajuste normalizado)	1,00	>0,90
NNFI (Índice de ajuste no normalizado)	1,00	>0,90
CFI (Índice de ajuste comparado)	1,00	Próximo a 1
CN (N crítico)	382,60	> 200 ($\alpha \pm 0,05$)
RMR (Raíz del cuadrado medio del error)	0,0088	Próximo a cero
AGFI (Índice de bondad del ajuste)	0,94	>0,90

Se evaluó el ajuste de cada modelo considerando los valores de Chi-cuadrado, errores estándar, valores de t, residuales estandarizados y los índices de modificación. Se realizó la eliminación y adición de parámetros, para mejorar la parquedad y el ajuste respectivamente, hasta la obtención de un modelo con parámetros interpretables y con utilidad práctica.

La preparación de los datos, matrices y análisis exploratorios multivariados fueron desarrollados con el programa PRELIS 2.30 (Jöreskog y Sörbom, 1999) y el análisis estructural mediante el programa LISREL versión 8.30 (Jöreskog y Sörbom, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La mayoría de las respuestas del animal a un escenario complejo de factores causales interrelacionados parecen ser de carácter multivariado (Enevoldsen y Gröhn, 1996), pero este aspecto se ha considerado de manera parcial en los estudios desarrollados en Cuba y en relación con la evaluación del comportamiento reproductivo en Camagüey, aunque se han evaluado los efectos de los factores no se ha logrado establecer la existencia de interrelaciones causales entre los mismos.

El análisis de trayectoria se ha utilizado para modelar interrelaciones entre diversas enfermedades (Curtis *et al.* 1985; Correa *et al.*, 1990; Gröhn *et al.*, 1998) y entre estas y el desempeño reproductivo (Erb *et al.*, 1981; Erb *et al.*, 1985; Heuer *et al.*, 1999).

El análisis estructural permitió obtener un modelo

ajustado de acuerdo con los valores indicados por Jöreskog y Sörbom (1999), Hair *et al.* (1999), Batista-Foguet y Genders (2000) y Byrne (2001) para los índices de ajuste (Tabla 1). Se confirmó, en algunos casos y en otros se modificó el orden de precedencia en el tiempo establecido a partir de los correlogramas y fueron estimados los impactos de todas las variables explicativas considerando todos los efectos con una elevada confiabilidad (R^2 altos)

Tabla 2. Ecuaciones estructurales obtenidas*.

Variable de pendiente	Ecuación estructural
NACIM	$= 0,28*RECPRI9 + 0,20*RECTOT9 - 0,20*PENDIE9 - 0,23*VACDIA6 + 0,43*GESTDI6 + 0,20*RECENT12 - 0,13*RECPRI10$ $+ 0,39*RECTOT10, \text{Errorvar.} = 0,10, R^2 = 0,90$
	(0,082) (0,12) (0,053) (0,042) (0,055) (0,040) (0,079) 3,38 1,72 -3,78 -5,39 7,70 4,92 -1,70 (0,10) (0,0089) 3,91 11,55
RECPRI9	$= 0,20*RECENT12 + 0,54*RECPRI10 + 0,26*INCOR9, \text{Errorvar.} = 0,16, R^2 = 0,84$
	(0,042) (0,046) (0,035) (0,014) 4,66 11,76 7,49 11,55
RECTOT9	$= 0,61*RECPRI9 + 0,042*RECENT12 - 0,21*RECPRI10 + 0,56*RECTOT10 + 0,028*INCOR9, \text{Errorvar.} = 0,033, R^2 = 0,97$
	(0,028) (0,021) (0,043) (0,041) (0,018) (0,0028) 21,85 1,97 -5,02 13,49 1,60 11,55
PENDIE9	$= 0,25*RECTOT9 + 0,16*VACIAT12 - 0,097*RECPRI10 + 0,67*RECTOT10, \text{Errorvar.} = 0,14, R^2 = 0,86$
	(0,066) (0,031) (0,082) (0,093) (0,012) 3,76 5,06 -1,18 7,21 11,55
VACDIA6	$= 0,49*PENDIE9 + 0,76*GESTDI6 - 0,22*RECENT12 - 0,13*VACIAT12, \text{Errorvar.} = 0,28, R^2 = 0,72$
	(0,066) (0,075) (0,072) (0,051) (0,027) 7,40 10,09 -3,08 -2,56 10,08
GESTDI6	$= 0,31*RECPRI9 + 1,05*RECTOT9 - 0,43*VACDIA6 - 0,066*INCOR9, \text{Errorvar.} = 0,17, R^2 = 0,83$
	(0,090) (0,10) (0,069) (0,040) (0,019) 3,48 10,17 -6,21 -1,65 8,55

*errores de estimación (entre paréntesis) y valores de t (debajo de los errores)

lo que no se había reportado anteriormente en trabajos publicados en el país relacionados con el análisis del comportamiento reproductivo en rebaños lecheros.

Fueron obtenidas las ecuaciones estructurales para los nacimientos y las hembras detectadas en estro (RECPRI y RECTOT), pendientes, vacías a diagnóstico y gestantes a diagnóstico con retardos en el tiempo (Tabla 2). Se confirmó la validez de las relaciones con las variables retardadas a seis (gestantes y vacías al diagnóstico) y nueve meses (recogidas en primer y total estros e inseminadas) con relación a los nacimientos, se destacaron los impactos de RECTOT10 que es una relación no evidente en el sistema y los esperados de RECPRI9 y RECTOT9, que confirman la importancia de la detección del estro en el comportamiento reproductivo en un programa de IA (Diskin y Sreenan, 2000). Las hembras inseminadas (PENDIE9) tuvieron un bajo impacto en los nacimientos lo que pudiera reflejar baja eficiencia en la IA y pérdidas de gestaciones, pues frecuentemente después del servicio las hembras no retornan al estro dentro de los 24 días siguientes. Esta situación ha sido reportada

como un problema en rebaños comerciales de Australia (Nation y Mcmillan, 2001) y en Camagüey (Betancourt *et al.*, 2005).

Las hembras recentinas (RECENT12) tuvieron un impacto bajo sobre los nacimientos lo que refleja la irregularidad del proceso reproductivo en las condiciones del estudio que se manifiesta en una progresiva prolongación del IPP, desde 448,7 días (Vázquez *et al.*, 1985) hasta 667,79 (de la Torre *et al.*, 2006), que explica que en esa categoría reproductiva se mantuviera durante los últimos 24 años entre el 9 y 11 % del total de hembras (Bertot *et al.*, 2006b).

Menéndez (2003) ha señalado que el mejor nivel de cualquier etapa del comportamiento reproductivo depende de la optimización en el escalón precedente. Este autor expresa que se pueden alcanzar los mismos objetivos desde diferentes direcciones de trabajo, no obstante es obvio que el enfoque global es el único que brinda los resultados más eficientes, es decir, mayor proporción de terneros vivos. Un paso crítico para los problemas del rebaño es el establecimiento de la causa y el efecto porque

el conocimiento de la causa proporciona la base para la prevención y el control (Gay, 2006).

Los resultados también pueden sugerir que la eficiencia y seguridad en la detección del estro mediante observación visual no ha alcanzado los niveles adecuados en las condiciones de Camagüey, pues Loyola *et al.* (2005) detectaron serios problemas en este sentido, particularmente relacionados con la capacitación del personal encargado de la detección y en el empleo adecuado de los medios auxiliares; debe considerarse la acción de otros factores como el amamantamiento (Galina *et al.*, 2001; Montiel y Ahuja, 2005) y los nutricionales, sobre todo por la existencia de patrones de comportamiento estacional.

CONCLUSIONES

Fue obtenido un modelo estructural para el sistema de organización y control de la reproducción, de variables con retardos en el tiempo, que permitió determinar la magnitud de los impactos de las relaciones causales directas de interdependencia entre las variables que integran el sistema de organización y control de la reproducción donde se destacaron las hembras detectadas en estro con retardo de diez meses (RECTOT 10 = 0,39) en relación con los nacimientos.

La aplicación de los resultados obtenidos, al cuantificar los impactos directos de los niveles precedentes, permitirán la adopción de decisiones para mejorar la organización de la reproducción en los sistemas vacunos lecheros.

REFERENCIAS

- BATISTA-FOGUET, J. M., Y COENDERS, G. (2000). *Modelos de ecuaciones estructurales Modelos para el análisis de relaciones causales*. La Muralla-Edit. Hespérides ed.
- BERTOT, J. A., VAZQUEZ, R., DE LA TORRE, R., Y COLLANTES, M. (2006a). Estimación de los nacimientos y las pérdidas económicas por baja eficiencia reproductiva en rebaños lecheros. *Rev. Prod. Anim*, 18 (2), 145-148.
- BERTOT, J. A., VAZQUEZ, R., AVILES, R., DE ARMAS, R., GARAY, M., LOYOLA, C., *et al.* (2006b). Comportamiento reproductivo en empresas pecuarias lecheras de la provincia de Camagüey. Resultados preliminares. No publicados.
- BERTOT, J A.; R. VAZQUEZ, R. AVILES, R. DE ARMAS, MAGALY GARAY, C. LOYOLA. Y M. HORRACH. (2009). Relaciones de dependencia temporal entre las variables de organización y control de la reproducción en sistemas lecheros. *Rev. Prod. Anim*, 21 (1), 89-93.
- BERTOT, J. A., VÁZQUEZ, R., DE ARMAS, R., GARAY, MAGALY., AVILÉS, R. B., TEJEDA, E., LOYOLA, C. Y HORRACH, M. (2008). Determinación de las variables más representativas para la organización y el control de la reproducción en sistemas vacunos lecheros. *Rev. prod. Anim*, 20 (1), 65-71.
- BETANCOURT, J. A., BERTOT, J. A., VÁZQUEZ, R., ACOSTA, A. Y AVILÉS, R. (2005). Evaluación de la fertilidad postparto en rebaños bovinos lecheros de la provincia de Camagüey. *Rev. Prod. Anim*, 17 (1), 61-66.
- BYRNE, B. M. (2001). *Structural Equation Modelling with AMOS. Basic Concepts, Applications and Programming*. New Jersey.
- CORREA, M. T., CURTIS, C. R., ERB, H. N., SCARLETT, J. M. AND SMITH, R. D. (1990). An Ecological Analysis of Risk Factors for Postpartum Disorders of *Holstein-Friesian Cows* from Thirty-Two New York farms. *J. Dairy Sci*, 73 (6), 1515-1524.
- CURTIS, C. R., ERB, H. N., SNIFFEN, C. J., SMITH, R. D. AND KRONFELD, D. S. (1985). Path Analysis of Dry Period Nutrition, Postpartum Metabolic and Reproductive Disorders and Mastitis in *Holstein* cows. *J. Dairy Sci*, (68), 2347.
- DE LA TORRE, R., BERTOT, J. A., COLLANTES, M. Y VAZQUEZ, R. (2006). Análisis integral de la relación reproducción-producción-economía en rebaños bovinos lecheros en las condiciones de Camagüey., Cuba. Estimación de las pérdidas económicas. *Rev. Prod. Anim*, 18 (1), 83-88.
- DISKIN, M. G. AND SREENAN, J. M. (2000). Expression and Detection of Oestrus in Cattle. *Reprod. Nutr. Dev*, (40), 481-491.
- ENEVOLDSEN, G. y GRÖHN, Y. T. (1996). Methodology for Assessment of the Health-Production Complex Indairy Herds to Promote Welfare. *Acta. Agric. Scand. Sect. A. Anim. Sci*, Suppl (27), 86-90.
- ERB, H. N. y MARTIN, S. W. (1981). Interrelationships between Production and Reproductive Diseases in *Holstein* Cows. Path Analysis. *J. Dairy Sci*, (64), 282.

- ERB, H. N., SMITH, R. D., OLTENACU, P. A., GUARD, C. L., HILLMAN, R. B., POWERS, P. A., *et al.* (1985). Path Model of Reproductive Diseases and Performance, Milk Fever, Mastitis, Milk Yield and Culling in Holstein Cows. *J. Dairy Sci*, 68 (12), 3337-3349.
- GALINA, C. S., RUBIO, I., BASURTO, H. Y ORIHUELA, A. (2001). Consequences of Different Suckling Systems for Reproductive Activity and Productivity of Cattle in Tropical Conditions. *Applied Anim Behaviour Sci*, (72), 255-262.
- GAY, J. M. (2006). Determining Cause and Effect in Herds. *Vet. Clin. Food Anim*, (22), 125-147.
- GRÖHN, Y. T. EICKER, S. W.; DUCROCQ, V. y HERTL, J.A. (1998). Effect of Diseases on the Culling of *Holstein* Dairy Cows in New York State. *J. Dairy Sci*, 81 (4), 966-978.
- HAIR, J. F. A., R. E.; TATHAM, R. L. y BLACK, W. C. (1999). *Multivariate Data Analysis* (Fourth Edition Inc ed. Vol. Chapter 11), Prentice-Hall.
- HEUER C., SCHUKKEN Y. H. Y DOBBELAAR P (1999). Postpartum Body Condition Score and Results from the First Test Day Milk as Predictors of Disease, Fertility, Yield, and Culling in Commercial Dairy Herds. *J. Dairy Sci*, 82 (2), 295-304.
- JÖRESKOG, K. y D. SÖRBOM. (1999). LISREL 8.30. User's Reference Guide Lincolnwood, IL Scientific Software International.
- LOYOLA, C. J., BERTOT, J. A. Y VAZQUEZ, R. (2005). *Evaluación de la calidad de la detección del celo en rebaños bovinos lecheros en condiciones de Camagüey*. Memorias del evento Las Ciencias Técnicas y Agropecuarias por un Desarrollo Sostenible, Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba.
- MENENDEZ, A. (2003). Un enfoque global sobre el comportamiento reproductivo del ganado vacuno. *Revista ACPA*, (1), 41-46.
- MONTIEL, F. y AHUJA, C. (2005). Body Condition and Suckling as Factors Influencing the Duration of Postpartum Anestrus in Cattle: a Review. *Anim Reprod. Sci*, (85), 1-26.
- NATION D. y MCMILLAN, J. (2001) *The Phantom Cow Síndrome. A study of cows that are not observed in oestrus within 24 days of an unsuccessful mating*. Final Report, The University of Melbourne, Dairy Herd Improvement Fund and NHIA.
- VAZQUEZ, R., CONDE, G. y DE LOS REYES, A. (1985). Estudio del comportamiento reproductivo de las novillas F1 (HxC) en condiciones de producción comercial en la provincia de Camagüey. *Rev. Prod. Anim*, 2 (1), 71-80.

Recibido: 6/7/2009

Aceptado: 5/10/2009