

## Modelos de pronóstico para las hembras gestantes al diagnóstico de la gestación y la tasa de gestación final en rebaños vacunos lecheros en la provincia de Camagüey

José Alberto Bertot Valdés, Maydier Norman Horrach Junco, Roberto Vázquez Montes de Oca, Magaly Garay Durba, Rafael Avilés Balmaseda, Carlos Loyola Oriyés

Universidad de Camagüey, Cuba

jose.bertot@reduc.edu.cu

### RESUMEN

Para establecer modelos de pronóstico para las hembras gestantes al diagnóstico de la gestación y la tasa de gestación final y contribuir a mejorar la eficiencia de la inseminación artificial en rebaños bovinos lecheros, se tomaron los datos de los boletines correspondientes al período comprendido entre enero de 1982 y diciembre de 2007 de los archivos de la subdelegación de ganadería de la delegación del MINAGRI en la provincia de Camagüey, Cuba. A partir de las hembras recentinas, hembras detectadas en primer celo y total de celos y hembras inseminadas, fueron creadas nuevas variables con retardos (desde cero hasta 12 meses de precedencia) en relación con las hembras gestantes a diagnóstico que fueron utilizadas como explicativas en análisis de regresión paso a paso para el pronóstico de las hembras gestantes a diagnóstico. Para la tasa de gestación final se realizó la evaluación de varios modelos. El modelo se estimó a partir de los primeros 290 datos y fueron retenidos 12 datos al final de la serie de tiempo para validar el modelo seleccionado. Se obtuvieron modelos de regresión caracterizados por su alta determinación ( $R^2$ ), para las hembras gestantes al diagnóstico, a partir de las detectadas en estro, recentinas e inseminadas, a diferentes retardos. Para la tasa de gestación final se ajustó un modelo (ARIMA) que, de acuerdo con los resultados en el período de validación, puede utilizarse para pronósticos. Se recomienda estudiar los factores sociales y otros que puedan influir en la eficiencia de la IA.

**Palabras clave:** ganado lechero, inseminación artificial, tasa de gestación, pronósticos

### INTRODUCCIÓN

Varias técnicas están disponibles para describir los datos de series de tiempo que incluye los procedimientos descriptivos, así como los modelos ARIMA. Los modelos pueden usarse para investigar patrones dentro de la serie o la asociación entre la variable dependiente y las independientes en el tiempo (Ward y Carpenter, 2000).

Ejemplos del uso de análisis de series de tiempo en la literatura veterinaria, incluye la asociación entre la infección de virus de lengua azul y el índice de la oscilación del sur (Ward y Johnson, 1996), la relación entre los factores climáticos y las infecciones *Corynebacterium pseudotuberculosis* en equinos (Doherr *et al.*, 1998) y los patrones temporales de rabia doméstica y silvestre en Namibia (Courtin *et al.*, 2000).

El objetivo del trabajo fue establecer modelos de pronóstico para las hembras gestantes al diagnóstico de la gestación y la tasa de gestación final para contribuir a mejorar la eficiencia de la inseminación artificial en rebaños vacunos lecheros de la provincia de Camagüey.

### MATERIALES Y MÉTODOS

Fueron utilizados los datos correspondientes a un trabajo anterior (Horrach *et al.*, 2012a). Se realizó el cruce bivariado de las combinaciones entre las hembras gestantes al diagnóstico con las recogidas de hembras en primer estro y totales, las hembras inseminadas pendientes a diagnóstico y las hembras recentinas, mediante la función de correlación cruzada de series cronológicas utilizando retardos de hasta 24 meses y fueron creadas, a partir de las originales (hembras recentinas, hembras detectadas en primer celo y total de celos y hembras inseminadas), nuevas variables con retardos que oscilaron desde cero hasta 12 meses de precedencia en relación con las hembras gestantes a diagnóstico, según el procedimiento descrito por Bertot (2007).

Las nuevas variables (recogidas de hembras en estro, las hembras inseminadas pendientes a diagnóstico y las hembras recentinas a diferentes retardos) fueron utilizadas como explicativas en análisis de regresión paso a paso hasta encontrar el mejor ajuste para el pronóstico de las hembras gestantes a diagnóstico.

Modelos de pronóstico para las hembras gestantes al diagnóstico de la gestación y la tasa de gestación final en rebaños vacunos lecheros en la provincia de Camagüey

Para la tasa de gestación final se realizó la evaluación de varios modelos considerando 302 observaciones a partir del año 1982 con intervalo de muestra anual y longitud de la estacionalidad de 12. El modelo se estimó a partir de los primeros 290 datos y fueron retenidos 12 datos al final de la serie de tiempo para validar el modelo seleccionado.

Los modelos evaluados fueron los siguientes:

(A) Caminata aleatoria

(B) Media constante = 54,229

(C) Tendencia lineal =  $45,5713 + 0,00407138 t$

(D) Tendencia cuadrática =  $205,163 + -0,14626 t + 0,0000353471 t^2$

(E) Tendencia exponencial =  $\exp(3,83674 + 0,0000703435 t)$

(F) tendencia curva-S =  $\exp(4,13237 + -310,069 / t)$

(H) Suavización exponencial simple con  $\alpha = 0,2747$

(I) Suavización exp. De Brown con  $\alpha = 0,0938$

(J) Suavización exp. De Holt con  $\alpha = 0,2187$  y  $\beta = 0,0101$

(M) ARIMA (1, 0,1) x (1, 0,2) 12 con constante

(N) ARIMA (1, 0,1) x (1, 0,1) 12 con constante

(O) ARIMA (1, 0,1) x (0, 1,1) 12

(P) ARIMA (1, 1,2) x (1, 0,2) 12

(Q) ARIMA (1, 0,2) x (1, 0,2) 12 con constante

Para la selección del modelo con el mejor ajuste se utilizaron la raíz del error cuadrado medio (RMSE), el error absoluto medio (MAE), el porcentaje de error absoluto medio (MAPE), el error medio (ME) y el porcentaje de error medio (MPE).

El modelo con el menor valor del Criterio de información de Akaike (AIC) fue el utilizado para generar los pronósticos. Todos los análisis fueron realizados con el paquete Statgraphics Centurión XV Versión 15.2.06 (Statpoint, Inc. 1982-2007).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir del estudio de forma integral de las principales variables, del sistema de organización y control de la reproducción utilizado en Cuba fueron definidos los patrones de estacionalidad (Bertot *et al.*, 2006a; Bertot, 2007), el orden de precedencia en el tiempo (Bertot *et al.*, 2009a) y la magnitud de sus relaciones causales directas de interdependencia (Bertot *et al.*, 2009b); por lo que

se recomendó su empleo por la utilidad en la adopción de decisiones.

A partir de entonces se han aplicado estos principios a la evaluación de la fiabilidad de los datos, permitiendo comparar el retardo fisiológico esperado con el observado (Bertot, Vázquez y Avilés, 2007; Bertot *et al.*, 2009a; Figueroa *et al.*, 2010; Fernández *et al.*, 2012; Ramírez *et al.*, 2010) y en pronósticos (Bertot *et al.*, 2011).

Las Tablas 1 y 2 muestran los resultados de ajustar dos modelos de regresión lineal múltiple para describir la relación entre las hembras gestantes al diagnóstico y las variables explicativas a diferentes retardos.

### *Ecuación de los modelos ajustados*

Gestantes a diagnóstico =  $533,97 + 0,0773856 * \text{recentinas (5)} + 0,480016 * \text{recogidas totales (3)} - 0,0312645 * \text{inseminadas (4)}$

Gestantes a diagnóstico =  $511,841 - 0,0287272 * \text{inseminadas (4)} + 0,0471778 * \text{recentinas (4)} + 0,115154 * \text{recogidas totales (2)} + 0,391096 * \text{recogidas totales (3)}$

Estos resultados confirman la validez de la metodología analítica empleada en otros trabajos desarrollados en la provincia que tienen en común la alta determinación.

Bertot, Vázquez y Avilés (2007) proporcionan varios modelos que permiten realizar pronósticos de los principales eventos reproductivos: recogida de hembras en primer estro, recogida total de hembras en estro, hembras inseminadas pendientes a diagnóstico, hembras gestantes en el diagnóstico de la gestación y nacimientos, contemplando las diferentes categorías reproductivas de la hembra a diferentes retardos en el tiempo.

Para las hembras gestantes al diagnóstico estos autores refieren modelos utilizando como explicativas la recogida de hembras en primer estro y recogida total de hembras en estro, ambas con retardos de tres meses y las hembras recentinas y las hembras incorporadas a la reproducción con retardos de 6 y 4 meses, respectivamente, con coeficientes de determinación similares a los obtenidos en la presente investigación.

Bertot *et al.* (2011) obtuvieron tres modelos para el pronóstico de los nacimientos empleando variables con retardos de 9; 10 y 12 meses; estos autores señalan que los modelos brindan la posibilidad de adoptar medidas con la anticipación suficiente para mejorar la adopción de deci-

siones en el control de la reproducción en sistemas vacunos lecheros.

Los resultados expuestos confirman la importancia de mantener una adecuada distribución de hembras en las diferentes categorías reproductivas propuesta por Holý (1987), confirmada en rebaños de Camagüey por Bertot *et al.* (2006b) y De la Torre *et al.* (2006), y pudieran constituir una valiosa herramienta para la planificación de las campañas de reproducción y la elaboración de los planes de producción de leche, por lo que se debe continuar trabajando en la obtención, perfeccionamiento y validación de modelos para el pronóstico de las variables de mayor peso en el proceso de reproducción y se sugiere la creación de nuevos modelos estructurales, la inclusión de efectos auto-regresivos y el uso de modelos ARIMA y métodos inteligentes de estimación como las redes neuronales Bertot (2007).

En el presente trabajo, dadas las características de las variables en estudio (efectos auto-regresivos, estacionalidad), fue empleado el modelo de un promedio móvil auto-regresivo integrado (ARIMA) el cual asume que el mejor pronóstico disponible para datos futuros, está dado por el modelo paramétrico que relaciona el valor más reciente con los valores y ruido previos (Tabla 3).

La Tabla 4 muestra los estadísticos de error tanto para los períodos de estimación como de validación; los resultados fueron considerablemente mejores en el período de validación, lo que significa que el modelo se desempeñará tan bien como se esperaría para pronosticar la tasa de gestación final.

En la Figura 1 aparece la secuencia en el tiempo para la tasa de gestación final con el modelo ARIMA en el que puede apreciarse que, de mantenerse las condiciones actuales en las que se desenvuelve la ganadería en las empresas de Camagüey, no debe esperarse mejora en este indicador en los próximos años; lo que exige la adopción inmediata de medidas que propicien el cambio de esta situación. Los modelos obtenidos reafirman los resultados informados por otros autores en las condiciones de Camagüey.

Al respecto, Bertot *et al.* (2011) demostraron que la utilización de los patrones de comportamiento estacional de las variables con retardos en el tiempo, es posible para la planificación de la época de los nacimientos mediante la optimiza-

ción en los escalones precedentes de las hembras detectadas en estro diez meses antes que fue la variable con mayor impacto en el sistema.

## CONCLUSIONES

Fueron observados efectos auto-regresivos para las hembras gestantes, pendientes a diagnóstico y la tasa de gestación final que permitieron la obtención de modelos de regresión caracterizados por su alta determinación ( $R^2$ ), para el pronóstico de las hembras gestantes al diagnóstico, a partir de las hembras detectadas en estro, las recentinas y las inseminadas a diferentes retardos. Para la tasa de gestación final se ajustó un modelo de promedio móvil auto-regresivo integrado (ARIMA) el cual, de acuerdo con los resultados en el período de validación, puede utilizarse para pronósticos.

## AGRADECIMIENTOS

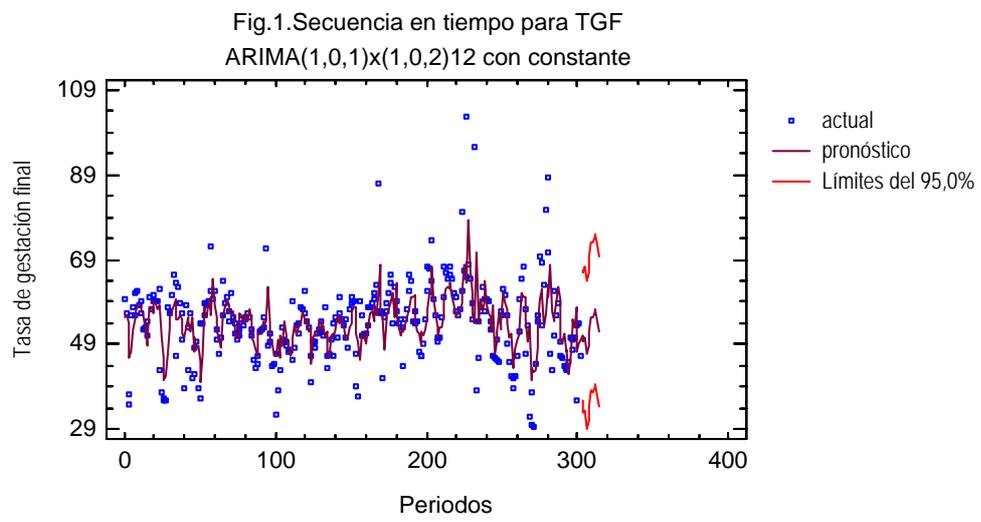
Agradecemos la colaboración de la delegación Provincial del Ministerio de la Agricultura en Camagüey, especialmente a Omar Navarro.

## REFERENCIAS

- BERTOT, J. A. (2007). Modelo estructural para mejorar la organización y el control de la reproducción de sistemas vacunos lecheros. Tesis de doctorado en Ciencias Veterinarias, Universidad de Camagüey, Cuba.
- BERTOT, J. A.; VÁZQUEZ, R.; DE ARMAS, R.; GARAY, MAGALY; AVILÉS, R.; LOYOLA, C. y HORRACH, M. (2011). Utilización de patrones de estacionalidad e impactos de variables con retardo en el tiempo para la planificación de los nacimientos en sistemas vacunos lecheros. *Rev. prod. anim.*, 23 (1).
- BERTOT, J. A.; VÁZQUEZ, R.; AVILÉS, R.; DE ARMAS, R.; GARAY, MAGALY; LOYOLA, C. y HORRACH, M. (2006a). Análisis del comportamiento estacional y tendencia de las categorías reproductivas y los nacimientos en empresas pecuarias lecheras. *Rev. prod. anim.*, 18 (2), 149-154.
- BERTOT, J. A.; VÁZQUEZ, R.; AVILÉS, R.; DE ARMAS, R.; GARAY, MAGALY; LOYOLA, C. *et al.* (2006b). Comportamiento reproductivo en empresas pecuarias lecheras de la provincia de Camagüey. Resultados preliminares. No publicado. Comunicación personal.
- BERTOT, J. A.; VÁZQUEZ, R.; DE ARMAS, R.; GARAY, MAGALY; ÁLVAREZ, J. L.; AVILÉS, R.; LOYOLA, C. y HORRACH, M. (2009a). Relaciones de dependencia temporal entre las variables de organización y control de la reproducción en sistemas lecheros. *Rev. prod. anim.*, 21 (1), 89.

Modelos de pronóstico para las hembras gestantes al diagnóstico de la gestación y la tasa de gestación final en rebaños vacunos lecheros en la provincia de Camagüey

- BERTOT, J. A.; VÁZQUEZ, R.; DE ARMAS, R.; GARAY, MAGALY; ÁLVAREZ, J. L.; AVILÉS, R.; LOYOLA, C. y HORRACH, M. (2009b). Modelo estructural para mejorar la organización y el control de la reproducción en sistemas vacunos lecheros. *Rev. prod. anim.*, 21 (2), 169-174.
- BERTOT, J. A.; VÁZQUEZ, R. y AVILÉS, R. (2007). *Metodología analítica para la evaluación y pronóstico del estado reproductivo y los nacimientos en rebaños bovinos lecheros*. Trabajo presentado en el evento CYTDES'2007, 5 al 8 de junio, Universidad de Camagüey, Cuba.
- COURTIN, F.; CARPENTER, T. E.; PASKIN, R. D. y CHOMEL, B. B. (2000). Temporal Patterns of Domestic and Wildlife Rabies in Central Namibia Stock-Ranching Area, 1986-1996. *Prev. Vet. Med.*, 43, 13-28.
- DE LA TORRE, R.; BERTOT, J. A.; COLLANTES, M., y VÁZQUEZ, 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.
- DOHERR, M. G.; CARPENTER, T. E.; WILSON, W. D. y GARDNER, I. A. (1998). *Relationship Between Climate Events and The Frequency of Equine Corynebacterium pseudotuberculosis Infections (1982-1995)-Time-Series Approach*. En Proceedings of the SVEPM Meeting, Ennis, Ireland.
- FERNÁNDEZ, R.; BERTOT, J. A. y Vázquez, M. R. (2012). Estacionalidad e impactos de las causas que producen el desecho de hembras bovinas en rebaños lecheros de Camagüey. *Rev. Prod. Anim.*, 24.
- FIGUEROA, J. L.; BERTOT, J. V. y VÁZQUEZ, M. R. (2010). Evaluación de la recogida de hembras en estro en la empresa pecuaria Triángulo 4 de la provincia de Camagüey. *Rev. Prod. Anim.*, 22 (1).
- HOLY, L. (1987). *Biología de la reproducción bovina*. La Habana, Cuba: Editorial Científico Técnica.
- HORRACH, M. N.; BERTOT, J. A.; VÁZQUEZ, R.; AVILÉS, R. y DE LOYOLA C. (2012a). Comportamiento de la tasa de gestación final en rebaños vacunos lecheros en la provincia de Camagüey. *Rev. Prod. Anim.*, 24 (2), X-X.
- RAMÍREZ, J. A.; BERTOT, J. A.; LOYOLA, C.; VÁZQUEZ, R.; GARAY, MAGALY y AVILÉS, R. (2010). Análisis de la estacionalidad de los nacimientos y las categorías reproductivas en empresas pecuarias lecheras de La Habana. *Revista de Prod. Anim.*, 22 (2).
- BERTOT, J. A.; VÁZQUEZ, R.; DE ARMAS, R.; GARAY, MAGALY; AVILÉS, R.; LOYOLA, C. y HORRACH, M. (2011). Utilización de patrones de estacionalidad e impactos de variables con retardo en el tiempo para la planificación de los nacimientos en sistemas vacunos lecheros. *Revista de Prod. Anim.*, 23 (1).
- Statgraphics Centurión XV Versión 15.2.06 (Statpoint, Inc. 1982-2007).
- WARD, M. P. y CARPENTER, T. E. (2000). Techniques for Analysis of Disease Clustering in Space and In Time in Veterinary Epidemiology. *Prev. Vet. Med.*, 4, 257-284.
- WARD, M. P. y JOHNSON, S. J. (1996). Bluetongue Virus and The Southern Oscillation Index: Evidence of An Association. *Prev. Vet. Med.*, 2, 57-68.
- HORRACH, M. N.; BERTOT, J. A.; VÁZQUEZ, R.; AVILÉS, R. y DE LOYOLA, C. (2012a). Comportamiento de la tasa de gestación final en rebaños vacunos lecheros en la provincia de Camagüey. *Rev. Prod. Anim.*, 24 (X), X-X.
- HORRACH, M. N.; BERTOT, J. A.; VÁZQUEZ, R.; AVILÉS R. y DE LOYOLA, C. (2012b). Comportamiento estacional de variables relacionadas con la eficiencia de la inseminación artificial en rebaños vacunos lecheros en la provincia de Camagüey. *Rev. Prod. Anim.*, 24 (X), X-X.



**Figura 1. Secuencia en el tiempo para la tasa de gestación final**

**Tabla 1. Modelo de regresión para el pronóstico de las hembras gestantes al diagnóstico**

| Parámetro             | Estimación | Error estándar | Estadístico T | Valor-P |
|-----------------------|------------|----------------|---------------|---------|
| Constante             | 533,97     | 126,31         | 4,23          | 0,00    |
| Recentinas (5)        | 0,08       | 0,02           | 3,59          | 0,00    |
| Recogidas totales (3) | 0,48       | 0,02           | 21,72         | 0,00    |
| Inseminadas (4)       | -0,03      | 0,01           | -4,23         | 0,00    |

**Análisis de Varianza**

| Fuente        | Suma de Cuadrados | Gl     | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|--------|----------------|---------|---------|
| Modelo        | 1091370000,00     | 3,00   | 363789000,00   | 681,54  | 0,00    |
| Residuo       | 156397000,00      | 293,00 | 533778,00      |         |         |
| Total (Corr.) | 1247760000,00     | 296,00 |                |         |         |

**R-cuadrada = 87,46 %****R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 87,34 %****Error estándar del est. = 730,60****Error absoluto medio = 514,44****Estadístico Durbin-Watson = 1,07557 (P=0,0000)****Autocorrelación de residuos en retardo 1 = 0,458233**

**Tabla 2. Modelo de regresión para el pronóstico de las hembras gestantes al diagnóstico**

| Parámetro             | Estimación | Error Estándar | Estadístico T | Valor-P |
|-----------------------|------------|----------------|---------------|---------|
| Constante             | 511,841    | 122,578        | 4,17563       | 0,0000  |
| Inseminadas (4)       | -0,0287272 | 0,00738235     | -3,89133      | 0,0001  |
| Recentinas (4)        | 0,0471778  | 0,0214703      | 2,19735       | 0,0288  |
| Recogidas totales (2) | 0,115154   | 0,030503       | 3,77516       | 0,0002  |
| Recogidas totales (3) | 0,391096   | 0,0319         | 12,2601       | 0,0000  |

**Análisis de Varianza**

| Fuente        | Suma de Cuadrados | Gl  | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|-----|----------------|---------|---------|
| Modelo        | 1,09512E9         | 4   | 2,7378E8       | 544,49  | 0,0000  |
| Residuo       | 1,45314E8         | 289 | 502815,        |         |         |
| Total (Corr.) | 1,24043E9         | 293 |                |         |         |

**R-cuadrada = 88,28 %****R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 88,12 %****Error estándar del est. = 709,09****Error absoluto medio = 503,82****Estadístico Durbin-Watson = 0,995193 (P=0,0000)****Autocorrelación de residuos en retardo 1 = 0,495961**

**Tabla 3. Resumen de Modelo ARIMA para el pronóstico de la tasa de gestación final**

| Parámetro                            | Estimado | Error estándar | t        | Valor-P  |
|--------------------------------------|----------|----------------|----------|----------|
| Auto-regresivo de orden 1            | 0,681194 | 0,0990099      | 6,88005  | 0,000000 |
| Media móvil de orden 1               | 0,323616 | 0,126216       | 2,56399  | 0,010841 |
| Estacional auto-regresivo de orden 1 | 0,695342 | 0,126875       | 5,48051  | 0,000000 |
| Estacional Media móvil de orden 1    | 0,538312 | 0,134209       | 4,01101  | 0,000077 |
| Estacional Media móvil de orden 2    | -0,18058 | 0,071259       | -2,53413 | 0,011788 |
| Media                                | 54,2322  | 1,35011        | 40,1686  | 0,000000 |
| Constante                            | 5,26741  |                |          |          |

**Pronóstico histórico: sí**

**Varianza estimada de ruido blanco = 32,06 con 296 grados de libertad**

**Desviación estándar estimada de ruido blanco = 5,66**

**Número de iteraciones: 7**

**Tabla 4. Estadísticos del error estimados para el modelo ARIMA**

| Estadístico                        | Período    |            |
|------------------------------------|------------|------------|
|                                    | Estimación | Validación |
| Raíz del Error Cuadrado Medio      | 5,64382    | 4,17875    |
| Error Absoluto Medio               | 4,21564    | 3,61429    |
| Porcentaje de Error Absoluto Medio | 8,18444    | 7,62592    |
| Error Medio                        | -0,0673228 | -2,36657   |
| Porcentaje de Error Medio          | -1,30392   | -5,15645   |