

Modelo para curva de consumo de cerdas lactantes en una piara comercial. Comunicación

Intake curve model in lactating sows in a commercial herd. Communication.

Martínez¹, C.A., Rodríguez^{1,2}, A.P., Bernal³, Y.L. y Manrique¹, C.

Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Resumen

Para las granjas porcinas comerciales, modelar la curva de consumo en lactancia permite estimar y describir el consumo real de alimento por parte de las cerdas a través de la etapa. Con el objetivo de modelar dicha curva en hembras lactantes, se emplearon los registros de consumo diario individual (n=22550) en una piara comercial ubicada en el departamento de Atlántico, Colombia. Las cerdas se agruparon según el número de partos de la siguiente forma: primer parto, segundo parto y de 3 a 5 partos. Se ajustaron regresiones cuadráticas para cada uno de los grupos, calculando además los consumos totales y puntos críticos mediante las integrales y primeras derivadas de las funciones estimadas. Aunque en los tres grupos los consumos promedio fueron inferiores a las recomendaciones del NRC para los niveles productivos y condiciones ambientales de la granja, fueron similares a los reportados por otras fuentes. De acuerdo con los resultados, el pico de consumo debe alcanzarse tan cerca como sea posible del final del periodo. Se recomienda un trabajo fuerte y organizado en el manejo de registros en explotaciones comerciales, que permitan realizar análisis adecuados así como facilitar la toma de decisiones.

Palabras clave: curva de consumo, lactancia, modelación.

Summary

For swine commercial herds, modeling the intake curve during lactation stage allows to estimate the true sow's feed intake and to describe its performance through that stage. The individual intake data (n=22550) were employed to model the consumption curve in lactating sows at a commercial herd in Atlántico, Colombia. Sows were grouped according to parity in three groups: first parity, second parity, and 3 to 5 parities. Quadratic regressions were fitted for each group, calculating the total feed intake and critical points using the integrals and derivatives of the fitted functions. Although in the three groups the average intakes were lower than NRC recommendations for the herd's productivity level and environmental conditions, they were similar to those reported by other sources. The analysis of the obtained functions shows that the intake peak should be reached as near as possible of the phase end. A strong and organized work in the management of data in commercial herds is recommended, it allows carrying out adequate analysis as well as to make easier to take decisions and make recommendations.

Key words: intake curve, lactation, modeling.

Recibido: octubre de 2011

Aceptado: mayo de 2012

1. Grupo de estudio en mejoramiento y modelación animal GEMA, Departamento de ciencias para la producción animal, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. E-mail: camartinez@unal.edu.co

2. Departamento de Matemáticas, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

3. Departamento de producción animal, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Introducción

El consumo de la cerda en lactancia tiene efecto en variables como la pérdida de peso y grasa dorsal, las cuales afectan características reproductivas como el intervalo destete-celo y el tamaño de camada al siguiente parto (Peng et al., 2007). Tantasuparuk et al. (2001) reportaron aumentos significativos en el intervalo destete-celo en cerdas con mayores pérdidas de peso durante la lactancia. De igual manera, consumos insuficientes generan tanto menores tamaños de camada en el parto siguiente, como aumento en el intervalo destete-celo, problemas que se acentúan cuando los animales se encuentran sometidos a estrés por calor (Quiniou y Noblet, 1999). Según Weldon et al. (1994), cerdas primerizas con mayores consumos en la etapa de gestación presentaron hipofagia en lactancia, atribuida a las menores concentraciones de insulina en sangre que mostró este grupo de animales en comparación con las cerdas que tuvieron consumos adecuados durante la preñez. Los autores postulan al efecto lipogénico de dicha hormona, es decir, el hecho de que esta impide la oxidación de ácidos grasos no esterificados y aumenta la utilización periférica de glucosa, como el posible causante del mayor consumo voluntario observado en hembras con consumos adecuados en gestación. Dichas hembras presentaron además menores pérdidas de peso durante el período y un mayor número de alimentaciones al día. Según Peng et al. (2007), diversos factores como la temperatura ambiente, el genotipo, el número de partos, el estatus sanitario, la etapa de lactancia y el tamaño de camada determinan el consumo voluntario en cerdas lactantes.

En general, el modelamiento de los fenómenos biológicos es una herramienta que permite describir y predecir su comportamiento futuro, así como analizarlos de forma objetiva, buscando su optimización. En el caso de empresas porcícolas, resulta de gran utilidad modelar la curva de consumo en cerdas lactantes, ya que permite describir de manera adecuada el comportamiento que este tiene

durante dicha etapa productiva. Además, mediante el análisis matemático de la función establecida es posible determinar puntos máximos, mínimos y de inflexión, asíntotas y consumo total esperado, entre otros parámetros, cuya interpretación biológica brinda valiosa información acerca de la dinámica del consumo voluntario durante la lactancia.

En explotaciones comerciales se observan, generalmente, los valores de consumo promedio y no los valores diarios para el período de lactancia, lo cual no permite llevar a cabo análisis detallados, hecho que cobra gran relevancia en condiciones de trópico bajo. Es allí donde surge la necesidad de describir el consumo de alimento, teniendo en cuenta la presencia de problemas asociados a bajos consumos que a su vez, generan pérdidas económicas importantes (Quiniou y Noblet, 1999). Para ejemplificar los modelos que describen el comportamiento del consumo voluntario en cerdas lactantes, así como también identificar e interpretar los parámetros relacionados con dichos modelos, en el presente trabajo se modeló dicha curva en una piara comercial ubicada en el departamento de Atlántico, Colombia.

Materiales y Métodos

Registros y manejo de las cerdas.

Se utilizaron registros de consumo de alimento en hembras Camborough 22 en época de lactancia ($n=22550$), las cuales presentaban al momento del análisis entre uno y cinco partos, todas con lactancias completas. La duración de la lactancia fue de 21 días. Las hembras, pertenecientes a una granja comercial ubicada en el departamento del Atlántico, Colombia, que se caracteriza por contar con una temperatura media de 30 °C y humedad relativa de 70%, fueron mantenidas en condiciones de ambiente controlado, con una temperatura de 26 $\pm$ 1°C. Se suministró alimento balanceado de 3250 kcal EM *ad libitum* en base al cual se estimó el consumo como la diferencia entre el alimento ofertado y el alimento residual. Los registros de cerdas

que presentaron algún tipo de problema (traumas, patologías diversas, etc.) fueron excluidos de la base de datos con lo cual, después de la depuración, se tuvieron un total de 18396 registros. Los análisis preliminares y la edición de registros se realizaron mediante el programa SAS (2009).

Modelamiento de la función de consumo

Las cerdas se agruparon según el número de partos en 3 grupos: primer parto, segundo parto y de 3 a 5 partos. Para cada uno de los grupos se estimaron curvas de consumo a partir de las cuales se observó, particularmente, una caída en el consumo de las hembras jóvenes de la granja durante los últimos días de lactancia. Aunque una función exponencial de la forma $y = a[1 - \exp(-cx)]$, con $c < 0$, es creciente y podría describir el consumo en la lactancia, presenta una asíntota horizontal en $y=a$, razón por la cual no permite describir la caída en el consumo. Por tanto, se ajustaron funciones cuadráticas teniendo en cuenta que el NRC (1998) reporta un efecto cuadrático del tiempo cuando se expresa el consumo voluntario en unidades energéticas por día, sugiriendo el ajuste de funciones polinómicas de segundo grado.

Mediante el procedimiento GLM (SAS, 2009) se ajustaron regresiones del consumo voluntario en función del tiempo para cada uno de los grupos de cerdas. Una vez obtenidas las ecuaciones de regresión se realizaron test de comparación entre los parámetros de la curva, de forma análoga al enfoque de la regresión lineal. De acuerdo con la literatura, no se tienen test de comparación para funciones cuadráticas. Sin embargo, pueden ser construidos empleando una hipótesis lineal general, que permita evaluar si al menos uno de los parámetros es diferente. Por esta razón se realizó una prueba F entre los parámetros de dichas funciones, buscando la existencia de diferencias entre las tres curvas de consumo (Steel y Torrie, 1980).

Debido a que se tenían varias observaciones de consumo para cada día (uno por cada cerda), se modeló, inicialmente, la falta de ajuste (lack of fit), que permite estimar la

variación para cada uno de los días del período de lactancia. Esto fue necesario debido a la existencia de diferentes registros para cada día (uno por cada cerda). Sin embargo, la variación dentro de día o falta de ajuste no presentó un efecto significativo ($p > 0,05$) razón por la cual se descartó del modelo y se ajustó entonces una curva para cada grupo. Por tanto, el modelo empleado para cada uno de los grupos fue:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x + \hat{\beta}_2 x^2 \quad [\text{Ecuación 1}]$$

donde $\hat{y}$ corresponde al consumo estimado, medido en kg, al momento x (días), con $x \in [0, 21]$; son los estimadores de mínimos cuadrados del intercepto, término lineal y término cuadrático, respectivamente.

Para modelar el punto en el cual se presenta el máximo consumo y , por lo tanto, donde inicia la caída en la curva, se obtuvo la primera derivada de la función (Stewart, 2008):

$$\frac{d\hat{y}}{dx} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta \hat{y}}{\Delta x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} (\hat{\beta}_1 + 2\hat{\beta}_2 x + \hat{\beta}_2 \Delta x) = \hat{\beta}_1 + 2\hat{\beta}_2 x \quad [\text{Ecuación 2}]$$

Igualando la primera derivada de la función a 0, es decir, $\hat{\beta}_1 + 2\hat{\beta}_2 x = 0$ se tiene que, $x = -\frac{\hat{\beta}_1}{2\hat{\beta}_2}$ que es el valor de la abscisa en el

cual la ordenada toma un valor máximo o mínimo, es decir, el número de días en el cual se tiene el mayor o menor consumo de alimento. Si se toma nuevamente la derivada de la función, podrá evaluarse la concavidad de la función en el punto crítico antes indicado, teniéndose una función cóncava hacia arriba si $\frac{d^2 \hat{y}}{dx^2} > 0$ o una función cóncava hacia abajo si $\frac{d^2 \hat{y}}{dx^2} < 0$ (Stewart, 2008), con lo cual la segunda derivada estará dada por

$\frac{d^2\hat{y}}{dx^2} = 2\hat{\beta}_2$ por lo que la concavidad estará determinada por el valor relativo de $\hat{\beta}_2$

Asimismo, para modelar el consumo total (CT) se emplea la integral de la función evaluada entre 0 y L, donde L es la duración de la lactancia. Este valor se obtiene como sigue:

$$\begin{aligned} CT &= \int_0^L (\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x + \hat{\beta}_2 x^2) dx \\ &= \hat{\beta}_0 x \Big|_0^L + \hat{\beta}_1 \frac{x^2}{2} \Big|_0^L + \hat{\beta}_2 \frac{x^3}{3} \Big|_0^L \\ &= \hat{\beta}_0 (L-0) + \hat{\beta}_1 \frac{(L-0)^2}{2} + \hat{\beta}_2 \frac{(L-0)^3}{3} \\ &= \hat{\beta}_0 L + \frac{\hat{\beta}_1}{2} L^2 + \frac{\hat{\beta}_2}{3} L^3 \end{aligned} \quad \text{[Ecuación 3]}$$

Dado que L es igual a 21 días, el consumo total estará dado por:

$$\begin{aligned} CT &= \hat{\beta}_0 (21) + \frac{\hat{\beta}_1}{2} (21)^2 + \frac{\hat{\beta}_2}{3} (21)^3 \\ &= 21\hat{\beta}_0 + 220,5\hat{\beta}_1 + 3087\hat{\beta}_2 \end{aligned} \quad \text{[Ecuación 4]}$$

Resultados y Discusión

Los promedios de consumo, el número de registros y los coeficientes de variación para cada uno de los grupos se presentan en el Cuadro 1.

De acuerdo con los resultados, y teniendo en cuenta los niveles productivos y condiciones ambientales de la granja, los consumos promedio para los tres grupos fueron inferiores a las recomendaciones del NRC (1998). No obstante, fueron muy similares a los valores encontrados por Quiniou y Noblet (1999), quienes reportaron consumos promedio para cerdas multíparas en lactancias de 21 días de 4,900 y 4,529 kg/cerda/día en temperaturas de 25 y 27 °C, respectivamente, empleando en los dos casos dietas con densidad energética similar a la consumida por los animales del presente estudio. Los coeficientes de variación de cada uno de los grupos indicaron homogeneidad del consumo entre animales y también a través del período de lactancia.

Los interceptos de las tres curvas no fueron significativamente diferentes ($p > 0,05$), mientras que los dos parámetros restantes fueron diferentes para al menos dos de los tres grupos ($p < 0,05$). Por lo tanto, se ajustó una función polinómica de grado 2 para cada uno de los grupos, teniendo un intercepto común, ajustes que pueden verse en la Figura 1 conjuntamente con su respectiva ecuación de regresión. Para las cerdas de 3 a 5 partos

Cuadro 1: Parámetros estadísticos descriptivos para cada grupo de parición.

Table 1: Descriptive statistics parameters for each parity group.

Número de partos	Consumo medio diario (kg/cerda)	Número de registros	Coefficiente de variación
1	4,62	5376	30,02
2	4,73	5250	24,83
3-5	5,01	7770	28,57

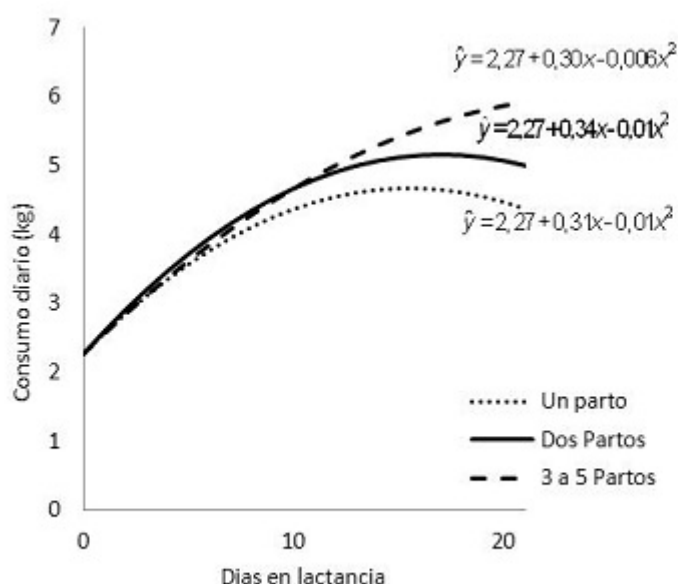


Figura 1: Consumo de alimento (kg/día) para cada grupo de parición

Figure 1: Feed intake (kg/day) for each parity group.

el pico de consumo estimado se encontró fuera del dominio de la función (0 a 21 días), lo cual coincidió con la tendencia observada en este grupo, ya que dichas hembras no presentaron la caída en la curva de lactancia. Por consiguiente, no es conveniente discutir acerca del pico de consumo estimado que, para este grupo en particular, toma valores

superiores a 21 días.

En el Cuadro 2 se presentan las ecuaciones polinómicas estimadas para cada uno de los grupos de parición junto con el máximo consumo, punto de la lactancia en el cual éste es alcanzado y el valor de la segunda derivada, que indica que todos los puntos críticos son máximos. Al comparar los resultados ob-

Cuadro 2: Ecuaciones de predicción del consumo de alimento, días hasta alcanzar el consumo máximo, consumo en el pico y total acumulado y segunda derivada para los tres grupos de parición.

Table 2: Equations for the prediction of feed intake, days to peak intake, peak intake magnitude, total estimated feed intake and second derivative for each of the three parity groups.

Número de partos	Ecuación de predicción para consumo	Días al pico de consumo	Pico de consumo (kg/cerda/día)	Consumo total (21 días de lactancia)	Segunda derivada
1	$\hat{y} = 2,27 + 0,31x - 0,01x^2$	15,5	4,67	85,15	-0,02
2	$\hat{y} = 2,27 + 0,34x - 0,01x^2$	17	5,13	91,77	-0,02
40972	$\hat{y} = 2,27 + 0,30x - 0,006x^2$	25	5,9	95,30	0

tenidos *versus* los propuestos por el NRC (1998), cuya curva de consumo presenta el pico a los 17,3 días con 18,163 Mcal EM/día, este valor correspondería a un consumo de 5,67 kg/cerda/día teniendo en cuenta la densidad energética del alimento empleado, valor que es superior al encontrado en el presente estudio para hembras de primer y segundo parto, e inferior al reportado para hembras de 3 a 5 partos. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la función propuesta por el NRC es general y no tiene en cuenta las diferencias que pueden darse por temperatura, nivel productivo y genética del animal.

De esta forma, las diferencias entre las funciones reportadas por el NRC y las obtenidas para esta granja comercial, evidencian la necesidad de modelar una curva de consumo para cada granja, empleando la curva propuesta por el NRC solamente como referencia. La razón es que si bien los lineamientos generales pueden ser vistos como referencia o puntos de partida, no brindan la objetividad necesaria para la toma de decisiones y conclusiones de un sistema productivo en particular.

En términos de los grupos establecidos por número de partos, las cerdas primerizas presentaron un consumo total esperado menor que las cerdas de segundo parto. Por su parte, las cerdas con más de dos partos mostraron el mayor consumo. El mismo patrón fue observado en el pico de consumo a través de los grupos. Estas dos tendencias y su relación pueden explicarse como sigue: en primer lugar, el consumo máximo se obtiene reemplazando los días al pico

$$\left(x = -\frac{\hat{\beta}_1}{2\hat{\beta}_2}\right)$$

en la ecuación de regresión, es decir:

$$\begin{aligned}\hat{Y}_{\max} &= \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \left(-\frac{\hat{\beta}_1}{2\hat{\beta}_2}\right) + \hat{\beta}_2 \left(-\frac{\hat{\beta}_1}{2\hat{\beta}_2}\right)^2 \\ &= \hat{\beta}_0 - \frac{\hat{\beta}_1^2}{2\hat{\beta}_2} + \frac{\hat{\beta}_1^2}{4\hat{\beta}_2} \\ &= \hat{\beta}_0 - \frac{\hat{\beta}_1^2}{4\hat{\beta}_2}\end{aligned}\quad [\text{Ecuación 5}]$$

Esta última expresión, al igual que las anteriores, es general. En el caso particular de la expresión [5], se tiene que $\hat{\beta}_2 < 0$, por lo tanto el segundo término se suma en vez de restarse. Asimismo en la expresión [3], el tercer término se resta en vez de sumarse y además, L tiene el mismo valor para todos los grupos (21 días). Dicho tercer término en [3] será menor a medida que $\hat{\beta}_2$ es menor que $\hat{\beta}_1$, conllevando a un mayor consumo total. De esta forma, y teniendo en cuenta que los interceptos son iguales, si se comparan las ecuaciones estimadas para predecir el consumo máximo y el consumo total entre grupos, dadas por las expresiones [3] y [5] respectivamente, se puede establecer que se esperan consumos máximos y totales mayores a medida que se incrementan los valores de $\hat{\beta}_1$ y disminuyen para $\hat{\beta}_2$. Siguiendo este razonamiento se tiene que los consumos máximos durante la lactancia (picos de consumo) serán mayores si las cerdas llegan a este nivel de ingesta más tarde. Adicionalmente, si aumenta el consumo máximo, aumentará también el consumo total durante la lactancia, evitando así los problemas que se presentan en esta fase, relacionados con bajos consumos y que han sido discutidos previamente.

Por lo tanto, uno de los objetivos de la granja bajo estudio será alcanzar incrementos en el consumo de alimento en hembras lactantes mediante diferentes estrategias de manejo a medida que avanza la etapa de lactancia. Desde el punto de vista matemático, esto puede justificarse considerando que, aun teniendo dos funciones positivas y cóncavas hacia abajo y que presenten máximos en diferentes puntos, aquella que involucre un mayor número de días en alcanzar el pico de consumo no necesariamente conllevará a un mayor consumo máximo ni a una mayor área bajo la curva (consumo total). Es decir, el hecho de que las cerdas aumenten su consumo durante toda la lactancia y lleguen a su máximo nivel de ingesta al final de la fase no implica en principio que sus consumos (máximo y total de alimento) sean mayores que los

de cerdas que presentan disminuciones en el consumo hacia el final de la etapa.

Implicancias

El modelamiento de las curvas de consumo en lactancia permite entender su comportamiento y por tanto, facilita el establecimiento de estrategias para mejorarlo. Se debe elegir la función que mejor se ajuste a las condiciones particulares de cada granja, teniendo en cuenta la interpretación de los parámetros relacionados a la función de consumo. Debido a la gran cantidad de factores que afectan el consumo voluntario en cerdas lactantes, la curva de consumo debe ser modelada para cada explotación. En el caso particular de la granja bajo estudio, las estrategias de alimentación en las hembras lactantes deben estar encaminadas a lograr el pico de consumo lo más cercano a 21 días en el caso de las cerdas de primer y segundo parto.

Asimismo, y de acuerdo con el presente estudio, las recomendaciones, análisis y/o conclusiones que se hagan tendrán mayor solidez si cuentan con un soporte matemático y estadístico. Finalmente, se debe resaltar la importancia de un trabajo fuerte y organizado en el manejo de registros en explotaciones comerciales, lo cual permitirá realizar análisis que faciliten la toma de decisiones y la formulación de recomendaciones. Por el contrario, si la calidad de la información no es adecuada, los resultados obtenidos a partir de los

análisis no serán confiables.

Bibliografía

- NRC. 1998. Nutrient requirements of Swine. National Research Council.
- Peng, J.J., Somes, S.A. and Rozeboom, D.W. 2007. Effect of system of feeding and watering on performance of lactating sows. *J. Anim. Sci.* 85:853-860.
- Quiniou, N. and Noblet, J. 1999. Influence of high ambient temperatures on performance of multiparous lactating sows. *J. Anim. Sci.* 77:2124-2134.
- SAS. 2009. SAS/STAT User's guide: Statistics. SAS Inst. Inc., Cary, NC.
- Steel, R.G.D. and Torrie, J.H. 1980. Principles and procedures of statistics a biometrical approach. 2^{ed.} United States of America. McGraw Hill, p.258-269.
- Stewart, J. 2008. Cálculo de una variable. Trascendentes tempranas. 6^aEd. México DF: Cengage Learning, p.270-347.
- Tantasuparuk, W., Dalin, A.M., Lundeheim, N., Kunavongkrit, A. and Einarsson, S. 2001. Body weight loss during lactation and its influence on weaning-to-service interval and ovulation rate in Landrace and Yorkshire sows in the tropical environment of Thailand. *Anim. Reprod. Sci.* 65:273-281.
- Weldon, W.C., Lewis, A.J., Louis, G.F., Kovar, J.L., Giesemann, M.A. and Miller, P.S. 1994. Postpartum hypophagia in primiparous sows: I. Effects of gestation feeding level on feed intake, feeding behavior, and plasma metabolite concentration during lactation. *J. Anim. Sci.* 72:387-394.