

## Efecto del grupo genético sobre características de la curva de lactación ovina

### Effect of genetic group on characteristics of the ovine lactation curve

Juan Carlos Ángeles-Hernández<sup>2,4</sup>, Araceli Guerrero-Loredo<sup>3,4</sup>, Diana Arely Solís-Guzmán<sup>1,2</sup>, Aurora Hilda Ramírez-Pérez<sup>2</sup>, Sergio Ángeles-Campos<sup>2</sup>, Manuel González-Ronquillo<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad 3000, CP. 04510, Ciudad de México, México

<sup>2</sup>Maestría y Doctorado en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal. Universidad Nacional Autónoma de México.

<sup>3</sup>Especialidad en Producción Ovina, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México, El cerrillo piedras blancas s/n, CP. 50090, Toluca, Estado de México, México.

<sup>4</sup>Departamento de Nutrición Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto Literario 100 Lote. CP. 50000, Toluca. Estado de México, México

\*Autor de correspondencia: mrg@uaemex.mx

**Nota científica recibida:** 07 de abril de 2017 **aceptada:** 20 de octubre de 2017

**RESUMEN.** El objetivo del estudio fue analizar la producción de leche y las características de la curva de lactación de grupos genéticos ovinos. Se analizaron 863 registros semanales de producción de 70 lactaciones de seis grupos genéticos: East Friesian (EF), Criollo (Cr), EF  $\frac{1}{2}$  Cr  $\frac{1}{2}$  (EF50Cr50), EF  $\frac{3}{4}$  Cr  $\frac{1}{4}$  (EF75Cr25), Suffolk  $\frac{1}{2}$  Cr  $\frac{1}{2}$  (Suffolk50Cr50), y Corriedale (C). Se utilizó la función de Wood (WD) para estimar la producción láctea total observada (PLT<sup>obs</sup>) y estimada a los 180 d (PLT<sup>180</sup>), pico de lactación (PL), tiempo al pico de lactación (tPL) y persistencia (Per). El grupo genético influyó de forma significativa ( $p < 0.05$ ) sobre la PLT<sup>obs</sup>, PLT<sup>180</sup>, PL y parámetro b del modelo de WD, con valores superiores en las ovejas EF50Cr50. Las diferencias en el desempeño productivo con el grupo genético pueden estar asociadas con la capacidad de adaptación de las ovejas EF a las condiciones climáticas locales.

**Palabras clave:** East Friesian, modelo de Wood, ovejas lecheras, persistencia, pico de lactancia

**ABSTRACT.** The objective of the study was to analyze the milk production and characteristics of the lactation curve of ovine genetic groups. We analyzed 863 weekly production records of 70 lactations of six genetic groups: East Friesian (EF), Criollo (Cr), EF  $\frac{1}{2}$  Cr  $\frac{1}{2}$  (EF50Cr50), EF  $\frac{3}{4}$  Cr  $\frac{1}{4}$  (EF75Cr25), Suffolk  $\frac{1}{2}$  Cr  $\frac{1}{2}$  (Suffolk50Cr50), and Corriedale (C). Wood's function (WD) was used to estimate the total observed milk production (TMP<sup>obs</sup>) and estimated at 180 d (TMP<sup>180</sup>), lactation peak (LP), time to lactation peak (tLP) and persistence (Per). The genetic group had a significant influence ( $p < 0.05$ ) on tTMP<sup>obs</sup>, TMP<sup>180</sup>, LP and parameter b of the WD model, with higher values in the EF50Cr50 sheep. The differences in productive performance with the genetic group may be associated with the adaptability of EF sheep to local climatic conditions.

**Key words:** East Friesian, Wood model, dairy sheep, persistence, lactation peak

## INTRODUCCIÓN

La producción de leche de oveja es una actividad pecuaria económicamente importante en los países del Mediterráneo y su utilización esta principalmente enfocada en la elaboración de quesos. En los países de América Latina, principalmente en la región central y norte del continente, no existe un desarrollo de la ovinocultura especializada en la pro-

ducción de leche en comparación con los países de Europa y Asia (Haenlein y Werndorff 2006). La viabilidad de una empresa lechera ovina es posible cuando se manejan grupos genéticos con un potencial en la producción de leche (Fuerst-Waltl y Baumung 2009). En este sentido, en años recientes se han introducido a México razas como East Friesian, Lacaune y Awassi para establecer unidades especializadas en la producción de leche de oveja

(Ángeles-Hernández et al. 2014a).

El ajuste de la curva de lactancia a través de la utilización de modelos matemáticos es una herramienta metodológica útil para el análisis de los factores que afectan el proceso de producción láctea en rumiantes (Macciotta et al. 2011). El modelo desarrollado por Wood (1967) es la función más utilizada para el ajuste de curvas de lactación en ovinos (Portolano et al. 1996, Dag et al. 2005, Ángeles-Hernández et al. 2014b), bovinos (Wood 1967, Wood 1968) y caprinos (Tufarelli et al. 2009). Los parámetros del modelo de WD permiten describir las principales características de la curva de lactación como la producción láctea total, el pico de lactación, tiempo al pico de lactación y persistencia (Portolano et al. 1996). Por lo anterior, el objetivo del estudio fue analizar la producción de leche y las características de la curva de lactación de diferentes grupos genéticos con la función Gamma Incompleta propuesta por Wood.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La información de los registros de lactaciones utilizadas en este estudio se obtuvieron de una unidad de producción especializada en leche ovina ubicada en Ixtapaluca, Estado de México, a 19° 21' 09" LN y 98° 40' 11" LO, con altitud de 3 000 msnm (INEGI 2016), la temperatura media anual es de 16 °C y la precipitación anual de 632 mm (SMN 2016).

Las ovejas en lactación se alimentaron con 1.2 kg de materia seca de una ración totalmente mezclada la cual contenía: 28% de sorgo en grano, 17% maíz en grano, 12% de pasta de soya, 10% semilla de algodón, 9% pasta de canola, 8% de heno de avena, 5% salvado de trigo, 4.9% optimizador de energía, 3.5% pre mezcla mineral, 1.6% carbonato de calcio, 0.5% sal común y 0.5% grasa protegida.

Las ovejas se ordeñaron de forma mecánica del día cuatro al 60 post-parto una vez al día, periodo en cual los corderos se amamantaron de forma parcial por sus madres durante el día y se separaron de ella durante la noche para ordeñarlas a las 8:00 mañana. El destete se realizó al día 61, cuando los corderos se alimentaban con alimento

iniciador y mostraban un peso adecuado para separarlos de sus madres, momento en el cual las ordeñas se realizaron dos veces al día (08:00 y 18:00 h). El registro individual de producción láctea se realizó cada semana con un medidor tipo Waikato<sup>®</sup> (sistema de ordeño Waikato), obteniéndose datos de la lactación total.

En total se analizaron 863 registros de producción láctea semanal; las lactaciones utilizadas provienen de ovejas que parieron entre enero de 2008 y febrero de 2011. Para que las lactaciones se tomaran en cuenta para el análisis debieron contar con la siguiente información: a) datos de identificación de la oveja (número de identificación, edad, grupo genético); b) fecha de parto; c) registros semanales de producción de leche; y d) primer registro de producción dentro de los primeros 45 d post-parto (Ruiz et al. 2000). Estos registros provienen de 13 lactaciones de nueve ovejas criollas (Cr), 12 lactaciones de 12 ovejas East Friesian (EF), seis lactaciones de seis ovejas  $\frac{1}{2}$  East Friesian x  $\frac{1}{2}$  criolla (EF50Cr50); 16 lactaciones de 12 ovejas  $\frac{3}{4}$  East Friesian x  $\frac{1}{4}$  criolla (EF75Cr25); 15 lactaciones de 13 ovejas  $\frac{1}{2}$  Suffolk x  $\frac{1}{2}$  criolla (Suffolk50Cr50), y 8 lactaciones de 7 ovejas Corriedale (C); el grupo genético criollo se define como animales que fenotípicamente manifiestan características heterogéneas de la raza Suffolk (Garza 1998, Ulloa-Arvizu et al. 2009).

El rendimiento total de leche observado por lactaciones se calculó con el método del día centrado o Fleischmann (Ruiz et al. 2000):  $PLT^{obs} = (p_1 * d_1) + (\sum (\frac{p_i + p_{i+1}}{2}) * d_{i+1}) + (p_{k+1} * 7)$ . Dónde: PLT es la producción láctea total en litros ( $PLT^{obs}$ ),  $p_1$  es la producción láctea en el primer registro,  $d_1$  es el intervalo en días entre el parto y el primer registro de producción,  $p_{i+1}$  es la producción láctea en el  $i$ -ésimo registro de producción;  $d_{i+1}$  es el intervalo entre el  $i$ -ésimo y el  $i$ -ésimo + 1 registro de lactación ( $i+1$ ) ( $i = 1, \dots, k$ ) y 7 establece el número de días entre el último registro de lactación y el secado de la oveja.

Para el ajuste de las curvas de lactación se utilizó la función Gamma Incompleta (WD) de Wood (1967):

**Tabla 1.** Efecto del grupo genético ovino sobre la producción láctea total observada (PLT<sup>obs</sup>) y ajustada a los 180 post-parto (PLT<sup>180</sup>) y parámetros del modelo de Wood.

Grupo genético	PLT <sup>obs</sup> (L)	PLT <sup>180</sup> (L)	tPL(días)	PL(L)	Per	a	B	c
Criollo(Cr)	17.6 <sup>b</sup>	25.6 <sup>b</sup>	34	0.42 <sup>b</sup>	4.9	0.254	0.441 <sup>b</sup>	0.036
East Friesian (EF)	32.5 <sup>b</sup>	36.4 <sup>b</sup>	46	0.90 <sup>ab</sup>	5.3	0.272	0.689 <sup>ab</sup>	0.039
EF50Cr50	119.0 <sup>a</sup>	104.0 <sup>a</sup>	61	1.13 <sup>a</sup>	6.2	0.331	1.125 <sup>ab</sup>	0.057
EF75Cr25	41.2 <sup>b</sup>	43.5 <sup>b</sup>	46	0.57 <sup>ab</sup>	5.2	0.388	0.270 <sup>b</sup>	0.019
Corriedale	15.5 <sup>b</sup>	27.6 <sup>b</sup>	31	0.32 <sup>b</sup>	4.9	0.223	0.191 <sup>b</sup>	0.029
Suffolk50Cr50	45.9 <sup>ab</sup>	41.9 <sup>b</sup>	36	0.74 <sup>ab</sup>	7.2	0.441	2.719 <sup>a</sup>	0.134
EEM	13.98	11.54	9.6	0.148	0.87	0.101	0.483	0.036
Valor de P	0.001	0.002	0.357	0.001	0.226	0.356	0.001	0.201

<sup>a,b,c</sup> Diferentes literales en la misma columna muestran diferencias significativas ( $p < 0.05$ ); tPL; tiempo al pico de lactancia; PL: pico de lactancia Per: persistencia; EEM: error estándar de la media.

$Y = at^b e^{-ct}$ . Dónde: Y es la producción de leche al tiempo  $t$  (días);  $a$ ,  $b$  y  $c$  son los parámetros que describen la curva de lactación. El parámetro  $a$  es la producción al inicio de la lactación,  $b$  y  $c$  son los parámetros que describen la fase ascendente y descendente antes y después del pico de lactancia, respectivamente. Los parámetros del modelo de Wood se emplearon para calcular las principales características de la curva de lactación, con las fórmulas descritas en el artículo original (Wood, 1967): Pico de lactación (PL):

$$PL = a(b/c)^b e^{-b}$$

Tiempo al pico de lactación (tPL):

$$tPL : b/c$$

Persistencia (Per)

$$Per = -(b + 1) \ln(c)$$

La estimación de los parámetros del modelo de Wood se llevó a cabo con el proceso iterativo de regresión no lineal con la estrategia computacional Marquardt. La producción láctea se estandarizó a 180 d (PLT<sup>180</sup>) para los diferentes grupos genéticos con los parámetros del modelo de WD. También se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson ( $r$ ) entre PL, tPL, Per y PLT<sup>180</sup>. El modelo general lineal se utilizó para evaluar el efecto del grupo genético sobre las características de la curva de lactación (tPL, PL y Per), parámetros del modelo de Wood ( $a$ ,  $b$  y  $c$ ), PLT<sup>obs</sup> y PLT<sup>180</sup>.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de producción láctea observada y estimada, los parámetros del modelo de WD y las

características de la curva de lactación de acuerdo al grupo genético y sus pruebas de significancia se muestran en la Tabla 1. La PLT<sup>obs</sup> y PLT<sup>180</sup> fueron afectadas de forma significativa ( $p < 0.05$ ) por el grupo genético. Las Ovejas EF50Cr50 tuvieron valores de producción láctea (PLT<sup>obs</sup> y PLT<sup>180</sup>) superiores al resto de los otros grupos genéticos. En relación a la proporción de genes EF sobre los valores de producción láctea, solo las ovejas EF50Cr50 fueron significativamente superiores ( $p < 0.001$ ) a los grupos genéticos puros EF y ovejas criollas. Una característica importante del modelo de WD es la capacidad de calcular las principales características de la curva de lactación (PL, TPL y Per) a partir de la utilización de sus parámetros ( $a$ ,  $b$  y  $c$ ). En el presente estudio no hubieron diferencias entre grupos genéticos en relación con el tPL ( $p = 0.357$ ) y Per ( $p = 0.226$ ). Los valores de PL fueron superiores en ovejas EF50Cr50 en comparación con grupos genéticos Cr y Corriedale. Los valores superiores de producción láctea (PLT<sup>obs</sup> = 119 L) y PL (1.13 L) de ovejas EF50Cr50 establecen una relación entre estos parámetros de la curva de lactación, lo cual se confirma con el coeficiente de correlación positivo entre PLT<sup>180</sup> y PL ( $r = 0.581$ ,  $p < 0.01$ ) (Tabla 2). En la Figura 1 se puede ver el comportamiento de las curvas de lactación de acuerdo al grupo genético de las ovejas. El uso de modelos matemáticos que describen la curva de lactación permite identificar animales con mayor potencial para la producción de leche. El parámetro  $a$  que representa la producción láctea al inicio de la lactación no mostró diferencias significativas entre grupos genéticos ( $p = 0.441$ ).

Las diferencias entre los grupos genéticos ( $p < 0.001$ ) con relación a los patrones de la curva de lactación se presentaron en la fase de ascenso de la producción de leche, representada por el parámetro  $b$  del modelo de WD, mostrando los valores superiores las ovejas Suffolk50Cr50, EF50Cr50 y EF en comparación con Cr, EF75Cr25, y C (Tabla 1). En relación al parámetro  $c$ , que representa la fase descendente de producción de la curva de lactación, no se observaron diferencias ( $p > 0.05$ ) entre los grupos genéticos analizados.

**Tabla 2.** Coeficientes de correlación entre la producción láctea total (PLT), pico de lactación (PL), tiempo al pico de lactación (tPL) y persistencia (Per) calculados utilizando el modelo de Wood en lactaciones de ovejas.

Item	PLT <sup>180</sup>	PL	tPL
PL	0.582**		
tPL	0.479**	0.019 <sup>NS</sup>	
Per	0.146 <sup>NS</sup>	-0.176 <sup>NS</sup>	0.525***

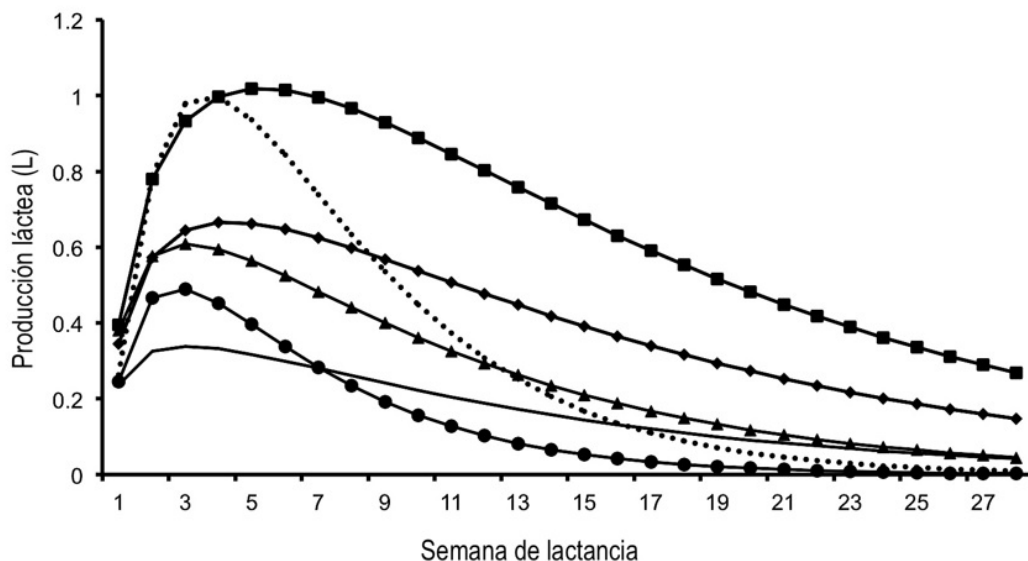
NS: No significativo, \*\*:  $p < 0.01$ , \*\*\*:  $p < 0.001$ .

El efecto observado del cruzamiento sobre la PLT en ovejas EF50Cr50 al compararse con ovejas criollas es consistente con estudios previos en donde se analizó el cruzamiento de razas lecheras especializadas con razas criollas locales (Ángeles-Hernández et al. 2014b, Ugarte et al. 2001). Las ovejas EF manifestaron producciones lácteas inferiores a las reportadas por Hamann et al. (2004) en su región de origen con valores de 429 kg por lactancia. Lo que evidencia la dificultad de adaptación de la raza EF a condiciones ambientales distintas a las prevalentes en la región en donde fue desarrollada, aun cuando son cubiertas sus necesidades nutricionales (Peeters et al. 1992, Thomas et al. 2001). Al respecto Boyazoglu et al. (1979) al analizar diferentes grados de cruzamiento de la raza EF con ovejas Sarda; encontraron una mayor prevalencia de enfermedades respiratorias y menor producción láctea en animales 75% EF (7.9%), en comparación con razas EF puras, 25% EF, 50% EF (0.46, 2.27 y 3.17%, respectivamente). Resultados similares fueron reportados por Peeters et al. (1992) y Thomas et al. (2001), quienes sugieren

que las ovejas EF muestran una mayor susceptibilidad a enfermedades causadas por patógenos respiratorios con una disminución en la productividad a medida que aumenta la proporción de genes EF, lo que coincide con los hallazgos del presente estudio con valores superiores de producción láctea de ovejas EF50Cr50 vs. EF y EF75Cr25. Otros factores pueden estar involucrados en el déficit productivo asociado con el mayor porcentaje de genes EF; existe evidencia que el estrés generado por el proceso de adaptación a factores agroclimáticos y manejo de ordeño disminuyen la producción y la calidad de la leche en ovinos con mayor porcentaje de EF, debido al aumento en la liberación de cortisol (Caroprese et al. 2010).

El cruzamiento tiene el objetivo de aprovechar las diferencias raciales del potencial genético de producción y adaptación de los genotipos involucrados y los efectos de la heterosis, entre otros. En el presente estudio los animales F1 fueron más productivos que las ovejas criollas y EF, lo que coincide con Thomas et al. (2001). Sin embargo, un hallazgo interesante fueron los rendimientos inferiores en ovejas EF con respecto EF50Cr50; lo cual coincide con Gootwine y Goot (1996) quienes encontraron que las ovejas F1 manifestaron rendimientos lácteos superiores que las EF, señalando que factores como la humedad, altas temperaturas y problemas sanitarios puede asociarse con su desempeño productivo inferior de las ovejas EF.

La aplicación del modelo de WD permitió el análisis de los patrones productivos en diversos grupos genéticos. El uso de modelos matemáticos que describen la curva de lactancia permite identificar animales con mayor potencial para la producción de leche, antes de completar el período de lactación (Dag et al. 2005). De acuerdo con la segunda derivada del modelo de WD, el valor absoluto del parámetro  $b$  controla la magnitud de la curvatura del patrón de lactación (Macciotta et al. 2005). En las curvas típicas de lactación, que presentan una fase de ascenso hasta el pico de lactación y una disminución gradual de la producción láctea hasta el secado, los valores superiores del parámetro  $b$  determinan una mayor velocidad en el incremento de la



**Figura 1.** Curvas de lactación de acuerdo al grupo genético de ovejas en México. East Friesian (●), Criollo (○), EF50Cr50 (■), EF75Cr25 (▲), Suffolk50Cr50 (◆) y Corriedale (-).

producción láctea en la primera fase de la lactación y podría asociarse con mayores rendimientos lácteos totales. Al respecto Chang *et al.* (2001) señalan que la variación en los valores del parámetro *b* no afecta la forma de la curva de lactación, resultados que pueden deberse a la limitada disponibilidad de registros productivos al inicio de la lactación de la base de datos.

Los valores de las características de la curva de lactación (tPL, PL y Per) calculadas con el modelo WD permiten establecer comparaciones objetivas en relación a los patrones de producción láctea entre animales, hatos y grupos genéticos (Wood 1968). Por lo que el objetivo del mejoramiento genético en animales lecheros es diseñar curvas de lactancia con una estructura que promueva mayores rendimientos lácteos, sin generar problemas metabólicos por deficiencias nutrimentales al inicio de la lactación (Togashi y Lin 2003). La importancia de la modificación genética de la curva de lactación con el cruzamiento y selección, es una dirección económicamente viable para el mejoramiento de los sistemas ovinos productores de leche (Weller *et al.* 2006, Macciotta *et al.* 2011). En la actualidad, es deseable que las ove-

jas manifiesten valores inferiores de PL y mayor persistencia, debido a que están menos expuestos a problemas de salud e infertilidad ya que sus requerimientos de energía siguen un patrón más consistente; generando animales más eficientes y económicamente rentables (Pulina *et al.* 2007).

La persistencia se define como la habilidad de una hembra en lactancia para mantener su producción después del pico de lactancia (Wood 1967). Los valores de persistencia se asocian de forma positiva con la producción láctea, como se confirma el presente estudio, aunque la intensidad de la relación depende de la manera en la cual la persistencia es medida (Togashi y Lin 2003). Curvas de lactación de ovinos con mayor persistencia muestran valores inferiores de PL (Portolano *et al.* 1996), con correlación positiva entre Per y tPL, similar a la encontrada en el presente estudio. El grupo genético influyó de forma significativa en el rendimiento lácteo. Los animales EF50Cr50 fueron superiores al resto de los grupos genéticos. Posiblemente dificultades de adaptación a condiciones del medio ambiente determinaron que los animales no expresaran su mayor potencial lechero.

Los patrones de producción de leche determi-

nados por los parámetros de la curva de lactación fueron influenciados por el grupo genético. Esta situación establece la posibilidad de aumentar los rendimientos lácteos de las ovejas por medio de la modificación de la curva de lactación, con mecanismos de mejoramiento genético como el cruzamiento de razas locales con razas lecheras especializadas.

## AGRADECIMIENTOS

Al proyecto PAPIME 204411, Asuntos de Personal Académico General de la UNAM. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por las becas otorgadas a Diana Arely Solís, Juan Carlos Ángeles y Araceli Guerrero. A Arturo Arellano por su apoyo y a la Srta. Liz Hopper, de la Universidad del Norte de Texas por la revisión del presente manuscrito.

## LITERATURA CITADA

- Ángeles-Hernández JC, Ronquillo MG, Rocha-Malcher JP, Ángeles-Campos S, García-Winder LR (2014a) Producción de leche de oveja en México. *La Revista del Borrego* 15: 14-19.
- Ángeles-Hernández JC, Ortega OAC, Pérez AHR, Ronquillo MG (2014b) Effects of crossbreeding on milk production and composition in dairy sheep under organic management. *Animal Production Science* 54: 1641-1645.
- Boyazoglu JG, Casu S, Flamant JC, Ruda G, Picinelli G (1979) Crossbreeding the Sardinian and East Friesian breeds in Sardinia. *Annales de Genetique et de Selection Animale* 11: 23-51.
- Caroprese M, Albenzio M, Marzano A, Schena L, Annicchiarico G, Sevi A (2010) Relationship between cortisol response to stress and behavior, immune profile, and production performance of dairy ewes. *Journal of Dairy Science* 93: 2395-2403.
- Chang Y, Rekaya R, Gianola D, Thomas DL (2001) Genetic variation of lactation curves in dairy sheep: a Bayesian analysis of Wood's function. *Livestock Production Science* 71: 241-251.
- Dag B, Keskin I, Miyailsoy F (2005) Application of different models to lactation curves of unimproved Awassi ewes in Turkey. *South African Journal of Animal Science* 35: 238-243.
- Fuerst-Waltl B, Baumung R (2009) Economic values for performance and functional traits in dairy sheep. *Italian Journal of Animal Science* 8: 341-357.
- Garza RP (1998) Comparación de recursos genéticos: El borrego Chiapas (México) y las razas autóctonas de origen español. *Archivos de Zootecnia* 47: 425-430.
- Gootwine E, Goot H (1996) Lamb and milk production of Awassi and East-Friesian sheep and their crosses under Mediterranean environment. *Small Ruminant Research* 20: 255-260.
- Haenlein GFW, Wendorff LW (2006) Sheep milk. In: Park WY, Haenlein GFW (ed). *Handbook of Milk of Non-Bovine Mammals*. Blackwell Publishing. Iowa. USA. pp: 137-194.
- Hamann H, Horstick A, Wessels A, Distl O (2004) Estimation of genetic parameters for test day milk production, somatic cell score and litter size at birth in East Friesian ewes. *Livestock Production Science* 87: 153-160.
- INEGI (2016) Datos topográficos. <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/datostopograficos/#>. Fecha de consulta 6 de abril de 2016.
- Macciotta NPP, Vicario D, Cappio-Borlino A (2005) Detection of different shapes of lactation curve for milk yield in dairy cattle by empirical mathematical models. *Journal of Dairy Science* 88: 1178-91.

- Macciotta NPP, Dimauro C, Rassu SPG, Steri R, Pulina G (2011) The mathematical description of lactation curves in dairy cattle. *Italian Journal of Animal Science* 10: 213-223.
- Peeters R, Buys N, Robijns L, Vanmontfort D, Van-Isterdael J (1992) Milk yield and milk composition of Flemish Milk sheep, Suffolk and Texel ewes and their crossbreds. *Small Ruminant Research* 7: 279-288.
- Portolano B, Spatafora F, Bono G, Margiotta S, Todaro M, Ortoleva V, et al. (1996) Application of the Wood model to lactation curves of Comisana sheep. *Small Ruminant Research* 24: 7-13.
- Pulina G, Nudda A, Macciotta NPP, Battacone G, Rassu SPG, Cannas A (2007) Non-nutritional factors affecting lactation persistency in dairy ewes: a review. *Italian Journal of Animal Science* 6: 115-141.
- Ruíz R, Oregui LM, Herrero M (2000) Comparison of models for describing the lactation curve of Latxa sheep and an analysis of factors affecting milk yield. *Journal of Dairy Science* 83: 2709-2719.
- SMN (2016) Información climatológica por estado. <http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=mex>. Fecha de consulta 6 de abril de 2016.
- Thomas DL, Berger YM, McKusick BC (2001) Effects of breed, management system, and nutrition on milk yield and milk composition of dairy sheep. *Journal of Animal Science* 79: E16-E20.
- Togashi K, Lin CY (2003) Modifying the lactation curve to improve lactation milk and persistency. *Journal of Dairy Science* 86: 1487-1493.
- Tufarelli V, Dario M, Laudadio V (2009) Forage to concentrate ratio in Jonica breed goats: influence on lactation curve and milk composition. *Journal of Dairy Research* 76: 124-128.
- Ugarte E, Ruiz R, Gabiña D, Beltran de Heredia I (2001) Impact of high-yield foreign breeds on the Spanish dairy sheep industry. *Livestock Production Science* 71: 3-10.
- Ulloa-Arvizu R, Gayosso VA, Alonso MRA (2009) Origen genético del ovino criollo mexicano (*Ovis aries*) por el análisis del gen del Citocromo C Oxidasa subunidad. *Técnica Pecuaria México* 47: 323-328.
- Weller JI, Ezra E, Leitner G (2006) Genetic analysis of persistency in the Israeli Holstein population by the multitrait animal model. *Journal of Dairy Science* 89: 2738-2746.
- Wood PDP (1967) Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature* 216: 164-165.
- Wood PDP (1968) Factors affecting persistency of lactation in cattle. *Nature* 218: 894.

