

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

Effect of genetic group on characteristics of sheep lactation curve

Juan Carlos Ángeles-Hernández^{2,4}, Araceli Guerrero-Loredo^{3,4}, Diana Arely Solís-Guzmán^{1,2}, Aurora Hilda Ramírez-Pérez², Sergio Ángeles-Campos², Manuel González-Ronquillo^{4*}

¹Departamento 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

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

³Especialidad 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.

⁴Departamento 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

1 **RESUMEN.** El objetivo del estudio fue analizar la producción de leche y las características de la curva de lactancia de
 2 grupos genéticos ovinos. Se analizaron 863 registros semanales de producción de 70 lactancias de seis grupos genéticos:
 3 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),
 4 y Corriedale (C). Se utilizó la función de Wood (WD) para estimar la producción láctea total observada (PLT^{obs}) y
 5 estimada a los 180 d (PLT¹⁸⁰), pico de lactación (PL), tiempo al pico de lactación (tPL) y persistencia (Per). El grupo
 6 genético influyó de forma significativa ($P < 0.05$) sobre la PLT^{obs}, PLT¹⁸⁰, PL y parámetro b del modelo de WD, con
 7 valores superiores en las ovejas EF50Cr50. Las diferencias en el desempeño productivo con el grupo genético pueden
 8 estar asociadas con la capacidad de adaptación de las ovejas EF a las condiciones climáticas locales.

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

10
 11 **ABSTRACT.** The aim of this study was to analyze the milk production and characteristics of the lactation curve
 12 of six sheep genetic groups. Were analyzed 863 weekly milk production records of 70 lactations of six genetic groups:
 13 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
 14 Corriedale (C). The function of Wood (WD) was used to estimate the actual total milk yield (PLT^{obs}) and estimated
 15 total milk yield at day 180 (PLT¹⁸⁰), peak lactation (PL), time at peak lactation (tPL) and persistence (Per). The
 16 genetic group influenced significantly ($P < 0.05$) on PLT^{obs}, PLT¹⁸⁰, PL and parameter b of WD model, with highest
 17 values of EF50Cr50 sheep. The observed differences in productive performance in relation with the genetic group could
 18 be associated with deficiencies in the adaptability of EF sheep to local agro-climatic conditions.

19 **Key words:** dairy sheep; East Friesian; peak lactation; persistence; Wood model.

20 INTRODUCCIÓN

21
 22 La producción de leche de oveja es una actividad pecuaria económicamente importante en los
 23 países del Mediterráneo y su utilización esta principalmente enfocada en la elaboración de quesos. En
 24 los países de América Latina, principalmente en la región central y norte del continente, no existe un
 25 desarrollo de la ovinocultura especializada en la pro-

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

38 (Ángeles-Hernández et al. 2014a).

39 El ajuste de la curva de lactancia a través
 40 de la utilización de modelos matemáticos es una
 41 herramienta metodológica útil para el análisis de los
 42 factores que afectan el proceso de producción láctea
 43 en rumiantes (Macciotta et al. 2011). El modelo
 44 desarrollado por Wood (1967) es la función más uti-
 45 lizada para el ajuste de curvas de lactación en ovinos
 46 (Portolano et al. 1996, Dag et al. 2005, Ángeles-
 47 Hernández et al. 2014b), bovinos (Wood 1967,
 48 Wood 1968) y caprinos (Tufarelli et al. 2009). Los
 49 parámetros del modelo de WD permiten describir las
 50 principales características de la curva de lactación
 51 como la producción láctea total, el pico de lac-
 52 tancia, tiempo al pico de lactación y persistencia
 53 (Portolano et al. 1996). Por lo anterior, el objetivo
 54 del estudio fue analizar la producción de leche y las
 55 características de la curva de lactancia de diferentes
 56 grupos genéticos con la función Gamma Incompleta
 57 propuesta por Wood.

58 MATERIALES Y MÉTODOS

59 La información de los registros de lactan-
 60 cias utilizadas en este estudio se obtuvieron de una
 61 unidad de producción especializada en leche ovina
 62 ubicada en Ixtapaluca, Estado de México, a 19° 21'
 63 09" LN y 98° 40' 11" LO, con altitud de 3 000 msnm
 64 (INEGI 2016), la temperatura media anual es de 16
 65 °C y la precipitación anual de 632 mm (SMN 2016).

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

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

83 iniciador y mostraban un peso adecuado para sepa-
 84 rarlos de sus madres, momento en el que las ordeñas
 85 se realizaron dos veces al día (08:00 y 18:00 h). El
 86 registro individual de producción láctea se realizó
 87 cada semana con un medidor tipo Waikato[®] (sis-
 88 tema de ordeño Waikato), obteniéndose datos de la
 89 lactación total.

90 En total se analizaron 863 registros de pro-
 91 ducción láctea semanal; las lactaciones utilizadas
 92 provienen de ovejas que parieron entre enero de
 93 2008 y febrero de 2011. Para que las lactan-
 94 cias se tomaran en cuenta para el análisis de-
 95 bieron contar con la siguiente información: a) datos
 96 de identificación de la oveja (número de identifi-
 97 cación, edad, grupo genético); b) fecha de parto;
 98 c) registros semanales de producción de leche; y
 99 d) primer registro de producción dentro de los
 100 primeros 45 d post-parto (Ruiz et al. 2000). Es-
 101 tos registros provienen de 13 lactaciones de nueve
 102 ovejas criollas (Cr), 12 lactancias de 12 ovejas
 103 East Friesian (EF), seis lactancias de seis ovejas
 104 $\frac{1}{2}$ East Friesian \times $\frac{1}{2}$ criolla (EF50Cr50); 16 lac-
 105 tancias de 12 ovejas $\frac{3}{4}$ East Friesian \times $\frac{1}{4}$ criolla
 106 (EF75Cr25); 15 lactancias de 13 ovejas $\frac{1}{2}$ Suffolk
 107 \times $\frac{1}{2}$ criolla (Suffolk50Cr50), y 8 lactancias de 7 ove-
 108 jas Corriedale (C); el grupo genético criollo se de-
 109 fine como animales que fenotípicamente manifies-
 110 tan características heterogéneas de la raza Suffolk
 111 (Garza 1998, Ulloa-Arvizu et al. 2009).

112 El rendimiento total de leche observado por
 113 lactancia se calculó con el método del día cen-
 114 trado o Fleischmann (Ruiz et al. 2000): $PLT^{obs} = (p_1 * d_1) + (\sum (\frac{p_i + p_{i+1}}{2}) * d_{i+1}) + (p_{k+1} * 7)$.
 115 Dónde: PLT es la producción láctea total en litros
 116 (PLT^{obs}), p_1 es la producción láctea en el primer
 117 registro, d_1 es el intervalo en días entre el parto y el
 118 primer registro de producción, p_{i+1} es la producción
 119 láctea en el i-ésimo registro de producción; d_{i+1} es
 120 el intervalo entre el i-ésimo y el i-ésimo + 1 registro
 121 de lactancia ($i+1$) ($i = 1, \dots, k$) y 7 establece el
 122 número de días entre el último registro de lactancia
 123 y el secado de la oveja.

124 Para el ajuste de las curvas de lactancia se uti-
 125 lizó la función Gamma Incompleta (WD) de Wood
 126 (1967):
 127

Tabla 1. Efecto del grupo genético ovino sobre la producción láctea total observada (PLT^{obs}) y ajustada a los 180 post-parto (PLT^{180}) y parámetros del modelo de Wood.

Grupo genético	PLT^{obs} (L)	PLT^{180} (L)	tPL(días)	PL(L)	Per	<i>a</i>	<i>B</i>	<i>c</i>
Criollo(Cr)	17.6 ^b	25.6 ^b	34	0.42 ^b	4.9	0.254	0.441 ^b	0.036
East Friesian (EF)	32.5 ^b	36.4 ^b	46	0.90 ^{ab}	5.3	0.272	0.689 ^{ab}	0.039
EF50Cr50	119.0 ^a	104.0 ^a	61	1.13 ^a	6.2	0.331	1.125 ^{ab}	0.057
EF75Cr25	41.2 ^b	43.5 ^b	46	0.57 ^{ab}	5.2	0.388	0.270 ^b	0.019
Corriedale	15.5 ^b	27.6 ^b	31	0.32 ^b	4.9	0.223	0.191 ^b	0.029
Suffolk50Cr50	45.9 ^{ab}	41.9 ^b	36	0.74 ^{ab}	7.2	0.441	2.719 ^a	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

^{a,b,c} 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.

128 $Y = at^b e^{-ct}$. Donde: *Y* es la producción de leche
 129 al tiempo *t* (días); *a*, *b* y *c* son los parámetros
 130 que describen la curva de lactancia. El parámetro
 131 *a* es la producción al inicio de la lactancia, *b* y *c*
 132 son los parámetros que describen la fase ascendente
 133 y descendente antes y después del pico de lactan-
 134 cia, respectivamente. Los parámetros del modelo
 135 de Wood se emplearon para calcular las principales
 136 características de la curva de lactación, con las for-
 137 mulas descritas en el artículo original (Wood, 1967);
 138 Pico de lactación (PL):

$$139 \quad PL = a(b/c)^b e^{-b}$$

140 Tiempo al pico de lactación (tPL):

$$141 \quad tPL : b/c$$

142 Persistencia (Per)

$$143 \quad Per = -(b + 1) \ln(c)$$

144 La estimación de los parámetros del modelo
 145 de Wood se llevó a cabo con el proceso iterativo de
 146 regresión no lineal con la estrategia computacional
 147 Marquardt. La producción láctea se estandarizó a
 148 180 d (PLT^{180}) para los diferentes grupos genéticos
 149 con los parámetros del modelo de WD. También se
 150 calcularon los coeficientes de correlación de Pearson
 151 (*r*) entre PL, tPL, Per y PLT^{180} . El modelo general
 152 lineal se utilizó para evaluar el efecto del grupo
 153 genético sobre las características de la curva de lac-
 154 tancia (tPL, PL y Per), parámetros del modelo de
 155 Wood (*a*, *b* y *c*), PLT^{obs} y PLT^{180} .

157 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

161 características de la curva de lactancia de acuerdo
 162 al grupo genético y sus pruebas de significancia se
 163 muestran en la Tabla 1. La PLT^{obs} y PLT^{180} fueron
 164 afectadas de forma significativa ($P < 0.05$) por
 165 el grupo genético. Las Ovejas EF50Cr50 tuvieron
 166 valores de producción láctea (PLT^{obs} y PLT^{180}) su-
 167 periores a los de los otros grupos genéticos. En
 168 relación a la proporción de genes EF sobre los valores
 169 de producción láctea, solo las ovejas EF50Cr50
 170 fueron significativamente superiores ($P < 0.001$) a
 171 los grupos genéticos puros EF y ovejas criollas. Una
 172 característica importante del modelo de WD es la
 173 capacidad de calcular las principales características
 174 de la curva de lactancia (PL, TPL y Per) a par-
 175 tir de la utilización de sus parámetros (*a*, *b* y *c*).
 176 En el presente estudio no hubieron diferencias entre
 177 grupos genéticos en relación con el tPL ($P =$
 178 0.357) y Per ($P = 0.226$). Los valores de PL fueron
 179 superiores en ovejas EF50Cr50 en comparación con
 180 grupos genéticos Cr y Corriedale. Los valores supe-
 181 riores de producción láctea ($PLT^{obs} = 119$ L) y PL
 182 (1.13 L) de ovejas EF50Cr50 establecen una relación
 183 entre estos parámetros de la curva de lactancia, lo
 184 cual se confirma con el coeficiente de correlación
 185 positivo entre PLT^{180} y PL ($r = 0.581$, $P < 0.01$)
 186 (Tabla 2). En la Figura 1 se puede ver el com-
 187 portamiento de las curvas de lactancia de acuerdo
 188 al grupo genético de las ovejas. El uso de mode-
 189 los matemáticos que describen la curva de lactan-
 190 cia permite identificar animales con mayor poten-
 191 cial para la producción de leche. El parámetro *a*
 192 que representa la producción láctea al inicio de la
 193 lactancia no mostró diferencias significativas entre

194 grupos genéticos ($P = 0.441$). Las diferencias entre los grupos genéticos ($P < 0.001$) con relación a los patrones de la curva de lactancia 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 lactancia, 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 lactancia (PL), tiempo al pico de lactancia (tPL) y persistencia (Per) calculados utilizando el modelo de Wood en lactancias de ovejas.

Item	PLT ¹⁸⁰	PL	tPL
PL	0.582**		
tPL	0.479**	0.019 ^{NS}	
Per	0.146 ^{NS}	-0.176 ^{NS}	0.525***

NS: No significativo, **: $P < 0.01$, ***: $P < 0.001$.

206 El efecto observado del cruzamiento sobre la
 207 PLT en ovejas EF50Cr50 al compararse con ovejas
 208 criollas es consistente con estudios previos en
 209 donde se analizó el cruzamiento de razas lecheras
 210 especializadas con razas criollas locales (Ángeles-
 211 Hernández et al. 2014b, Ugarte et al. 2001). Las
 212 ovejas EF manifestaron producciones lácteas
 213 inferiores a las reportadas por Hamann et al. (2004)
 214 en su región de origen con valores de 429 kg por lac-
 215 tancia. Lo que evidencia la dificultad de adaptación
 216 de la raza EF a condiciones ambientales distintas
 217 a las prevalentes en la región en donde fue de-
 218 sarrollada, aun cuando son cubiertas sus necesi-
 219 dades nutricionales (Peeters et al. 1992, Thomas
 220 et al. 2001). Al respecto Boyazoglu et al. (1979)
 221 al analizar diferentes grados de cruzamiento de la
 222 raza EF con ovejas Sarda; encontraron una mayor
 223 prevalencia de enfermedades respiratorias y menor
 224 producción láctea en animales 75% EF (7.9%), en
 225 comparación con razas EF puras, 25% EF, 50% EF
 226 (0.46, 2.27 y 3.17%, respectivamente). Resulta-
 227 dos similares fueron reportados por Peeters et al.

228 (1992) y Thomas et al. (2001), quienes sugieren
 229 que las ovejas EF muestran una mayor susceptibili-
 230 dad a enfermedades causadas por patógenos respi-
 231 ratorios con una disminución en la productividad a
 232 medida que aumenta la proporción de genes EF, lo
 233 que coincide con los hallazgos del presente estudio
 234 con valores superiores de producción láctea de ovejas
 235 EF50Cr50 vs. EF y EF75Cr25. Otros factores
 236 pueden estar involucrados en el déficit productivo
 237 asociado con el mayor porcentaje de genes EF; existe
 238 evidencia que el estrés generado por el proceso de
 239 adaptación a factores agroclimáticos y manejo de
 240 ordeño disminuyen la producción y la calidad de la
 241 leche en ovinos con mayor porcentaje de EF, debido
 242 al aumento en la liberación de cortisol (Caroprese et
 243 al. 2010).

244 El cruzamiento tiene el objetivo de aprovechar
 245 las diferencias raciales del potencial genético de pro-
 246 ducción y adaptación de los genotipos involucrados
 247 y los efectos de la heterosis, entre otros. En el pre-
 248 sente estudio los animales F1 fueron más produc-
 249 tivos que las ovejas criollas y EF, lo que coincide con
 250 Thomas et al. (2001). Sin embargo, un hallazgo in-
 251 teresante fueron los rendimientos inferiores en ovejas
 252 EF con respecto EF50Cr50; lo cual coincide con
 253 Gootwine y Goot (1996) quienes encontraron que
 254 las ovejas F1 manifestaron rendimientos lácteos su-
 255 periores que las EF, señalando que factores como la
 256 humedad, altas temperaturas y problemas sanitarios
 257 puede asociarse con su desempeño productivo infe-
 258 rior de las ovejas EF.

259 La aplicación del modelo de WD permitió el
 260 análisis de los patrones productivos en diversos gru-
 261 pos genéticos. El uso de modelos matemáticos que
 262 describen la curva de lactancia permite identificar
 263 animales con mayor potencial para la producción de
 264 leche, desde antes de completar el período de lactan-
 265 cia (Dag et al. 2005). De acuerdo con la segunda
 266 derivada del modelo de WD, el valor absoluto del
 267 parámetro b controla la magnitud de la curvatura
 268 del patrón de lactación (Macciotta et al. 2005). En
 269 las curvas típicas de lactancia, que presentan una
 270 fase de ascenso hasta el pico de lactancia y una dis-
 271 minución gradual de la producción láctea hasta el
 272 secado, los valores superiores del parámetro b deter-

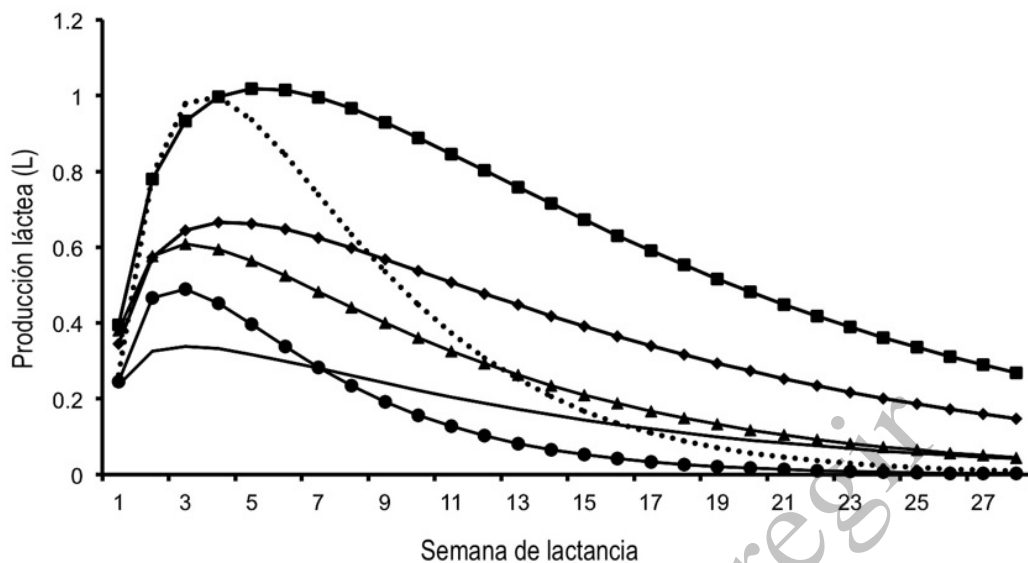


Figura 1. Curvas de lactación de acuerdo al grupo genético de ovejas en México. East Friesian (*), Criollo (●), EF50Cr50 (■), EF75Cr25 (▲), Suffolk50Cr50 (◆) y Corriedalé (-).

273 minan una mayor velocidad en el incremento de la
274 producción láctea en la primera fase de la lactancia y
275 podría asociarse con mayores rendimientos lácteos
276 totales. Al respecto Chang *et al.* (2001) señalan
277 que la variación en los valores del parámetro *b* no
278 afecta la forma de la curva de lactancia, resultados
279 que pueden deberse a la limitada disponibilidad de
280 registros productivos al inicio de la lactancia de la
281 base de datos.

282 Los valores de las características de la curva
283 de lactancia (tPL, PL y Per) calculadas con el
284 modelo WD permiten establecer comparaciones ob-
285 jetivas en relación a los patrones de producción
286 láctea entre animales, hatos y grupos genéticos
287 (Wood 1968). Por lo que el objetivo del mejo-
288 ramientos genético en animales lecheros es diseñar
289 curvas de lactancia con una estructura que pro-
290 mueva mayores rendimientos lácteos, sin generar
291 problemas metabólicos por deficiencias nutrimentales
292 al inicio de la lactancia (Togashi y Lin 2003).
293 La importancia de la modificación genética de la
294 curva de lactancia con el cruzamiento y selección, es
295 una dirección económicamente viable para el mejo-
296 ramiento de los sistemas ovinos productores de leche
297 (Weller *et al.* 2006, Macciotta *et al.* 2011). En

298 la actualidad, es deseable que las ovejas manifiesten
299 valores inferiores de PL y mayor persistencia, debido
300 a que están menos expuestos a problemas de salud
301 e infertilidad debido a sus requerimientos de energía
302 que sigue un patrón más consistente; generando
303 animales más eficientes y económicamente rentables
304 (Pulina *et al.* 2007).

305 La persistencia se define como la habilidad
306 de una hembra en lactancia para mantener su
307 producción después del pico de lactancia (Wood
308 1967). Los valores de persistencia se asocian de
309 forma positiva con la producción láctea, como se
310 confirma el presente estudio, aunque la intensidad
311 de la relación depende de la manera en la que la
312 persistencia es medida (Togashi y Lin 2003). Cur-
313 vas de lactancia de ovinos con mayor persistencia
314 muestran valores inferiores de PL (Portolano *et al.*
315 1996), con correlación positiva entre Per y tPL,
316 similar a la encontrada en el presente estudio. El
317 grupo genético influyó de forma significativa en el
318 rendimiento lácteo. Los animales EF50Cr50 fueron
319 superiores al resto de los grupos genéticos. Posible-
320 mente dificultades de adaptación a condiciones del
321 medio ambiente determinaron que los animales no
322 expresaran su mayor potencial lechero.

323 Los patrones de producción de leche determi-
324 nados por los parámetros de la curva de lactancia
325 fueron influenciados por el grupo genético. Esta
326 situación establece la posibilidad de aumentar los
327 rendimientos lácteos de las ovejas por medio de la
328 modificación de la curva de lactancia, con mecanis-
329 mos de mejoramiento genético como el cruzamiento
330 de razas locales con razas lecheras especializadas.

331
332

333 AGRADECIMIENTOS

334 Al proyecto PAPIME 204411, Asuntos de Per-
335 sonal Académico General de la UNAM. Al Consejo
336 Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por
337 las becas otorgadas a Diana Arely Solís, Juan Carlos
338 Ángeles y Araceli Guerrero. A Arturo Arellano por
339 su apoyo y a la Srta. Liz Hopper, de la Universi-
340 dad del Norte de Texas por la revisión del presente
341 manuscrito.
342

343 LITERATURA CITADA

- 344 Ángeles-Hernández JC, Ronquillo MG, Rocha-Malcher JP, Ángeles-Campos S, García-Winder LR (2014a)
345 Produccion de leche de oveja en México. La Revista del Borrego 15: 14-19.
- 346 Ángeles-Hernández JC, Ortega OAC, Pérez AHR, Ronquillo MG (2014b) Effects of crossbreeding on milk
347 production and composition in dairy sheep under organic management. Animal Production Science 54:
348 1641-1645.
- 349 Boyazoglu JG, Casu S, Flamant JC, Ruda G, Picinelli G (1979) Crossbreeding the Sardinian and East Friesian
350 breeds in Sardinia. Annales de Genetique et de Selection Animale 11: 23-51.
- 351 Caroprese M, Albenzio M, Marzano A, Schena L, Annicchiarico G, Sevi A (2010) Relationship between
352 cortisol response to stress and behavior, immune profile, and production performance of dairy ewes.
353 Journal of Dairy Science 93: 2395-2403.
- 354 Chang Y, Rekaya R, Gianola D, Thomas DL (2001) Genetic variation of lactation curves in dairy sheep: a
355 Bayesian analysis of Wood´s function. Livestock Production Science 71: 241-251.
- 356 Dag B, Keskin I, Miyailsoy F (2005) Application of different models to lactation curves of unimproved Awassi
357 ewes in Turkey. South African Journal of Animal Science 35: 238-243.
- 358 Fuerst-Waltl B, Baumung R (2009) Economic values for performance and functional traits in dairy sheep.
359 Italian Journal of Animal Science 8: 341-357.
- 360 Garza RP (1998) Comparación de recursos genéticos: El borrego Chiapas (México) y las razas autóctonas
361 de origen español. Archivos de Zootecnia 47: 425-430.
- 362 Gootwine E, Goot H (1996) Lamb and milk production of Awassi and East-Friesian sheep and their crosses
363 under Mediterranean environment. Small Ruminant Research 20: 255-260.
- 364 Haenlein GFW, Wendorff LW (2006) Sheep milk. In: Park WY, Haenlein GFW (ed). Handbook of Milk of
365 Non-Bovine Mammals. Blackwell Publishing. Iowa. USA. pp: 137-194.
- 366 Hamann H, Horstick A, Wessels A, Distl O (2004) Estimation of genetic parameters for test day milk
367 production, somatic cell score and litter size at birth in East Friesian ewes. Livestock Production
368 Science 87: 153-160.
- 369 INEGI (2016) Datos topográficos. <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/datostopograficos/>. Fecha
370 de consulta 6 de abril de 2016.
- 371 Macciotta NPP, Vicario D, Cappio-Borlino A (2005) Detection of different shapes of lactation curve for milk
372 yield in dairy cattle by empirical mathematical models. Journal of Dairy Science 88: 1178-91.

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