

## Características de las curvas de lactación en ovejas y factores que influyen en su variación: Revisión

Gabriela Castillo-Hernández <sup>a</sup>

Ana Erika Ochoa-Alfaro <sup>b</sup>

Manuel Antonio Ochoa-Cordero <sup>c</sup>

Jorge Alonso Maldonado Jáquez <sup>d</sup>

Glaforo Torres-Hernández <sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Programa de Ganadería. 56264, Montecillo, Edo. de México. México.

<sup>b</sup> Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de Química. San Luis Potosí. México.

<sup>c</sup> Iniciativa Privada. San Luis Potosí. México.

<sup>d</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental La Laguna. Coahuila. México.

\* Autor de correspondencia: [glathe@colpos.mx](mailto:glathe@colpos.mx)

### Resumen:

Los programas de mejoramiento genético de las razas de ovejas lecheras han respondido a una creciente demanda y popularidad del mercado, especialmente para quesos elaborados con leche de oveja. Estos derivados de la leche son una fuente importante de sustancias bioactivas para la salud humana. Por lo tanto, el conocimiento de la producción de leche (PRODL) es muy importante y los factores que influyen en su variación. El patrón típico de la PRODL durante el período que una oveja está lactando se conoce como curva de lactación (CL), y éstas pueden ser típicas (CLT) o atípicas (CLA). Las CLT se caracterizan por alcanzar

una PRODL máxima (pico de lactación, PL) a los pocos días después del parto, y posteriormente disminuye gradualmente hasta llegar al final de la lactación, o secado. Las CLA son aquellas que muestran alguna desviación del patrón normal. Es importante conocer la representación gráfica del comportamiento de la lactación, ya que, además de predecir la PRODL, permite identificar problemas de salud y alimentación, así como la posibilidad de seleccionar hembras que sobresalen en la PRODL. La persistencia de la lactación (PER) se ha definido como la tasa de disminución en la PRODL después de que se alcanzó el PL, y es muy deseable que las ovejas tengan una alta PER. Se han desarrollado modelos matemáticos para el estudio de las CL y PER. Existen factores genéticos y ambientales que influyen en las CL.

**Palabras clave:** Razas de ovinos, Producción de leche, Curvas típicas, Pico de lactación, Persistencia.

Recibido: 11/09/2023

Aceptado: 30/07/2024

## Introducción

En los últimos 150 años la selección genética y las mejoras en el manejo han llevado a mejorar las razas de ovinos para producción de leche (PRODL), respondiendo a una creciente demanda y popularidad del mercado, especialmente para quesos elaborados con leche de oveja<sup>(1)</sup>. En la actualidad se estima que existen 1,000 millones de ovejas en el mundo<sup>(2)</sup>, donde las principales áreas de cría se ubican dentro de las latitudes 35-55 grados norte en Europa y Asia, así como entre 30 y 45 grados sur en América del Sur, Australia y Nueva Zelanda<sup>(3)</sup>. Los productos derivados de la leche de oveja, como quesos, requesón, yogurt, etc., constituyen la dieta típica de los productores<sup>(4)</sup> y son una fuente importante de sustancias bioactivas que benefician la salud humana<sup>(5)</sup>. Se han descrito alrededor de 1,500 razas de ovinos y, de éstas, por su fin zootécnico (leche), solamente 180 se identifican como razas de ordeño, aun cuando muchas son razas locales utilizadas para producción de carne, lana y leche, donde la leche no es el producto de interés principal<sup>(6)</sup>. Las razas de ovejas lecheras más importantes en el mundo son: East Friesian<sup>(7)</sup>, Lacaune<sup>(8)</sup>, Chios<sup>(9)</sup>, Sarda<sup>(10)</sup>, y Manchega<sup>(11)</sup>, entre otras.

El nivel productivo de la oveja es la característica económica más importante en el rebaño, debido a que representa información utilizada en la estimación de índices biológicos que faciliten las decisiones de selección en programas de mejora genética<sup>(12)</sup>. Por tanto, uno de los criterios más importantes para evaluar la productividad de las hembras es la PRODL, ya

que afecta de manera directa la eficiencia del sistema de producción y tiene efectos muy importantes en la rentabilidad de la granja<sup>(13)</sup>. Por lo anterior, el conocimiento del comportamiento de la curva de lactación (CL) es muy importante, ya que permitirá planear de manera adecuada los programas de manejo general y de mejoramiento genético. El objetivo de la presente revisión es describir las características principales de las CL y mencionar qué factores influyen en su variación. En esta revisión se han incluido estudios realizados en ovejas; no obstante, la gran mayoría de los estudios en la literatura científica que abordan este tema están enfocados a describir las CL en bovinos lecheros.

### **Definición de curva de lactación**

La PRODL durante el periodo de lactación en mamíferos y rumiantes domésticos es el resultado de procesos fisiológicos desarrollados por células especializadas de la glándula mamaria, las cuales sintetizan y secretan compuestos orgánicos e inorgánicos a través de filtración sanguínea activa y pasiva<sup>(14)</sup>. La PRODL comienza cuando la gestación está por concluir mediante la expansión del tejido de la glándula mamaria, y finaliza cuando el volumen de la glándula mamaria disminuye, debido a la regresión secretora que finaliza con el cese de la lactación, o secado<sup>(15)</sup>. Todos estos mecanismos fisiológicos dan como resultado un patrón típico de PRODL a lo largo del tiempo conocido como “curva de lactación” (CL), que se puede definir como la representación gráfica del periodo de tiempo en que tiene lugar la PRODL, aunque también se expresa como una función fisiológica continua que describe la secreción de leche con el transcurso del tiempo<sup>(16)</sup>. Según el criterio de algunos autores<sup>(17)</sup>, y tomando como ejemplo las ovejas lecheras Assaf, la lactación se puede dividir en tres periodos: lactación temprana, la cual considera el periodo del parto hasta el mes 2, lactación media, que abarca del mes 3 al 7, y lactación tardía, a partir del mes 8 y hasta el secado.

### **Importancia de conocer las curvas de lactación**

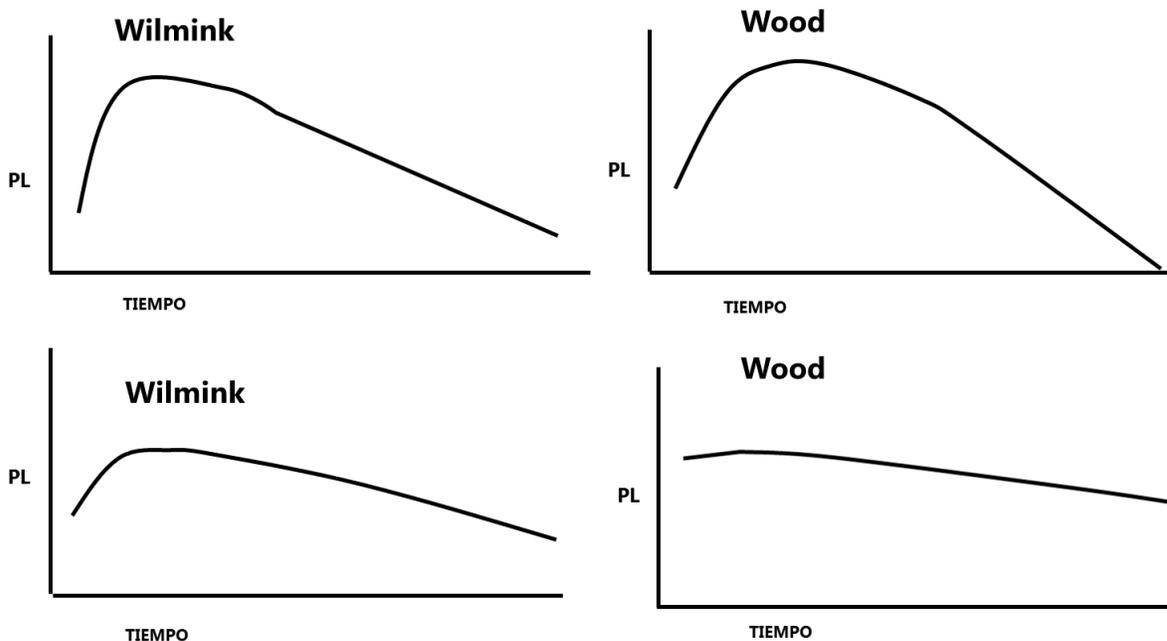
El conocimiento de una CL permite predecir la producción total de leche<sup>(18)</sup>, las características propias de la curva (tratadas más adelante) y, finalmente, el desempeño futuro de los animales reproductores (bovinos, ovinos, caprinos), o de su progenie<sup>(19)</sup>. Además, al entender el comportamiento de la forma de las CL, es posible tomar decisiones en el rebaño sobre aspectos como nutrición, sanidad y administración. Sobre todo, es útil para identificar y seleccionar ovejas superiores en PRODL, lo cual hace de estas curvas un conocimiento valioso para los productores<sup>(20)</sup>.

### **Tipos de curvas de lactación**

Por su forma, existen dos tipos de CL: típicas (CLT) y atípicas<sup>(21)</sup> (CLA). Una CLT llega a su producción máxima de leche (pico de producción, pico de lactación, PL) a los pocos días

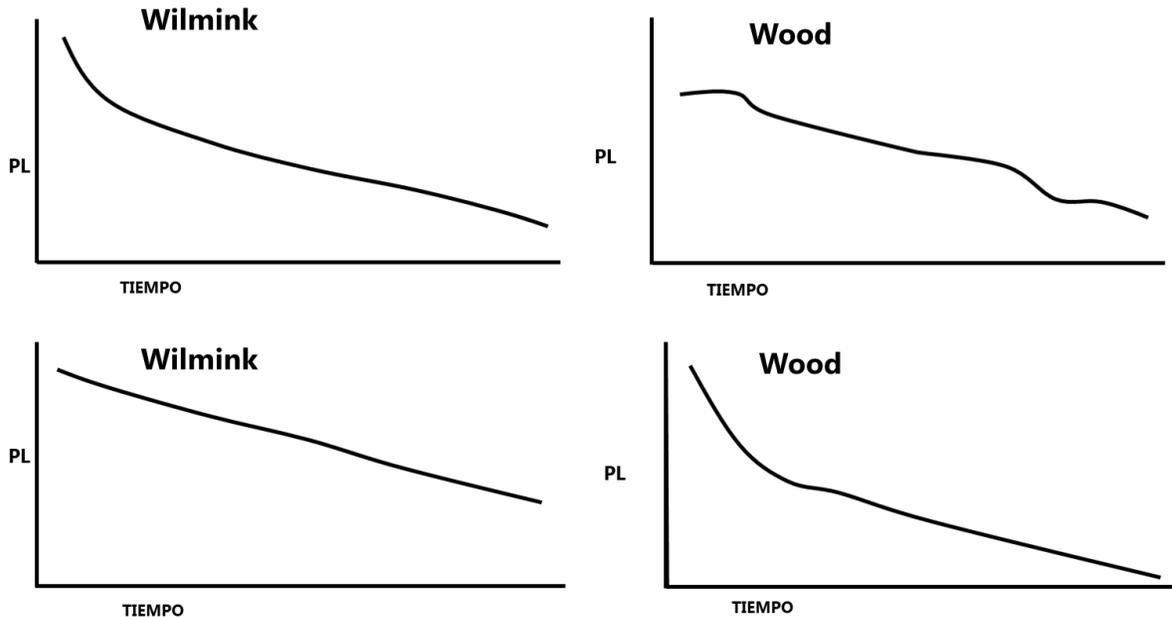
después del parto (2-6 semanas), y posteriormente muestra una disminución constante hasta llegar a la etapa del secado, o final de la lactación<sup>(22)</sup>. El patrón típico de una CL (Figura 1) es regular y continuo, y constituye la expresión de los mecanismos fisiológicos a partir del inicio de la PRODL<sup>(23)</sup>. Una CLA es aquella representada por ligeras desviaciones de la CLT; por ejemplo, debido a la presencia o ausencia de un punto de inflexión en la parte decreciente de la lactación; otras decrecen de manera continua y carecen del PL<sup>(24)</sup>, tal como se muestra en la Figura 2, y son representadas por desviaciones del patrón regular, lo que se puede atribuir a varios factores como la nutrición, el estado de salud del animal, y perturbaciones ambientales<sup>(23)</sup>. Por ejemplo, en el modelo de Wood<sup>(25)</sup>, una característica que diferencia las CLT de las CLA consiste en que los parámetros “b” y “c” son positivos en las CLT, mientras que en las CLA estos parámetros son negativos<sup>(26)</sup>.

**Figura 1:** Esquematación de curvas de lactación típicas, de acuerdo con los modelos de Wilmink y Wood



Adaptado de Palacios Espinosa *et al*<sup>(21)</sup>

**Figura 2:** Esquematzación de curvas de lactación atípicas, de acuerdo con los modelos de Wilmink y Wood



Adaptado de Palacios Espinosa *et al*<sup>(21)</sup>

Las CLT (normales) se caracterizan por tener un número determinado de parámetros, dependiendo de la función matemática y su relación con características como: el inicio de la PRODL, el PL y la persistencia (PER). Siguiendo con el modelo de Wood<sup>(25)</sup>, los parámetros que describen la curva son “a”, “b” y “c”. El parámetro “a” está relacionado con la PRODL inicial después del parto, “b” significa el aumento temprano de la PRODL hasta alcanzar el PL, y “c” describe la tasa de disminución en la PRODL hasta el secado<sup>(27)</sup>.

### **Etapas (fases) de una curva de lactación**

Las etapas típicas de una CL son: un aumento gradual inicial a partir del parto, hasta llegar a un punto de producción máxima de leche que representa el PL, que ocurre dentro de los primeros días posteriores al parto (o días en leche), generalmente en el rango entre 2 y 6 semanas y que es, además, un criterio utilizado en la selección de hembras reproductoras<sup>(28)</sup>. Posteriormente inicia la fase decreciente hasta llegar al cese de la PRODL, o secado del animal, en donde la PRODL es mínima. El secado, en razas de ovejas lecheras como la East Friesian, generalmente se lleva a cabo entre 180 y 210 días, y en casos excepcionales puede llegar hasta 260 días<sup>(29)</sup>. Debe tenerse mucho cuidado con el método utilizado para llevar a cabo el secado del animal, debido a la posibilidad de que se presenten infecciones en la glándula mamaria, como mastitis<sup>(30,31)</sup>. El secado puede ser abrupto: suspender el ordeño en

un día determinado, o bien, gradual: reducir la frecuencia del ordeño en días, o semanas<sup>(32)</sup>. En vacas lecheras se han recomendado algunas prácticas de manejo para llevar a cabo el secado<sup>(33,34)</sup>, las que también podrían ponerse en práctica en ovejas. Al final se tiene una CL que representa, de manera gráfica, la PRODL total, misma que se puede estimar a partir del área bajo la curva, definida como la cantidad total de leche producida durante toda la lactación y que está determinada por la forma de la curva<sup>(35)</sup>.

### Modelos de curvas de lactación

Los primeros modelos matemáticos para caracterizar CL fueron desarrollados en estudios de vacas lecheras; sin embargo, varios de estos también se han utilizado para caracterizar CL de ovejas y cabras. Estos modelos se clasifican en a) empíricos y, b) mecanicistas. En relación a la lactación, los modelos empíricos están basados en datos reales de PRODL; por ejemplo, registros del día de prueba, mientras que los modelos mecanicistas se basan en la biología de la lactación; por ejemplo, el crecimiento y regresión de la glándula mamaria, o el flujo de nutrientes<sup>(36)</sup>. Dicho de otra manera, la teoría del modelo empírico se refiere al nivel de la realidad en la que se expresa el fenómeno considerado, mientras que el mecanicista se caracteriza por un supuesto teórico más profundo<sup>(37)</sup>. Describir y discutir estos modelos no es un objetivo de la presente revisión. Por tanto, y sólo para fines ilustrativos, en los Cuadros 1 y 2 se muestran ejemplos de modelos empíricos y mecanicistas, respectivamente.

**Cuadro 1:** Ejemplos de modelos empíricos y sus parámetros utilizados en curvas de lactación de ovejas, expresados en función del tiempo (t)

Modelo	Parámetros	Autor(es)
$Y = ae^{-bt}$	2	Brody <i>et al.</i> (1923)
$Y_t = at^b \exp(-ct)$	3	Wood (1967)
$Y_t = a - bt - a \exp(-ct)$	3	Cobby & Le Du (1978)
$Y_t = at^{bc} \exp(-ct)$	3	Dhanoa (1981)
$Y_t = a + bt + c \exp(-wt)$	4	Wilmink (1987)
$Y_t = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3 \log(1/t) + a_4 \log(1/t)^2$	5	Ali & Schaeffer (1987)
$Y_t = \sum [a_1 b_1 [1 - \tanh^2(b_1(t - c_1))]]$	3 por fase	Grossman & Koops (1988)

$Y_t = \exp(a + bt + ct^2 + d/t)$	4	Morant & Gnanasakthy (1989)
$Y_t = a_1 b_1 (\tanh^2(b_1(t - c_1))) + a_2 b_2 (1 - \tanh^2(b_2(t - c_2)))$	6	Gipson & Grossman (1989)
$Y_t = at^{b \exp(-ct)}$	3	Cappio-Borlino <i>et al.</i> (1995)
$Y_t = t/a + bt + ct^2$	3	Nelder (1996)
$Y_t = \sum_{i=1}^n \alpha_i P_j$	5	Brotherstone <i>et al.</i> (2000)

Adaptado de Bilgin *et al.*<sup>(38)</sup> y Macciotta *et al.*<sup>(37)</sup>

**Cuadro 2:** Ejemplos de modelos mecanicistas y sus parámetros utilizados en curvas de lactación de ovejas

Modelo	Parámetros	Autor(es)
$\int_0^{t_L} R_M(t) dt.$	14	Neal & Thornley (1983)
$dY/dt = a \{ \exp[-\exp(G_0 - bt)] \} [\exp(-ct)]$	4	Emmans & Fisher (1986)
$Y_t = a \exp^{[b(1-\exp(-ct))/c - dt]}$	4	Dijkstra <i>et al.</i> (1997)
$Y_t = a \{ 1/[1+(1-b)/b \exp^{-cn}] - 1/[1+(1-d)/d \exp^{-gn}] \}$	5	Pollot (2000)
$I = SE^L (de^{-k_2 t} + I_6 e^{w_6 t} + I_7 e^{w_7 t})$	8	Vetharanim <i>et al.</i> (2003)

Fuente: Neal & Thornley<sup>(39)</sup>, Friggens *et al.*<sup>(40)</sup>, Adediran *et al.*<sup>(41)</sup>, Vetharanim *et al.*<sup>(42)</sup>.

Para llevar a cabo programas de mejoramiento genético de la CL se requiere conocer la magnitud de la varianza genética aditiva de los parámetros de las CL. Con base en lo anterior, se han llevado a cabo algunos estudios en ovejas para estimar la heredabilidad ( $h^2$ ) de los parámetros de la CL. Pollot y Gootwine<sup>(43)</sup> encontraron en ovejas mejoradas Awassi valores bajos de la varianza genética aditiva para el PL y día en que ocurre el PL (DPL), resultando valores de  $h^2$  de 0.11 para PL y de 0.032 para DPL, explicando los autores que estos resultados indican que factores ambientales ejercen un efecto mayor en la manifestación de estos parámetros. En los EEUU, un grupo de investigadores<sup>(20)</sup> analizó primeras lactaciones

de cruza de ovejas Dorset, Romanov, Targhee, Rideau Arcott, Polypay, Booroola Merino, Suffolk, Rambouillet, Finnsheep y East Friesian para investigar la variación genética de parámetros de la CL usando un análisis Bayesiano del modelo de Wood<sup>(25)</sup>. Los valores obtenidos de  $h^2$  de los parámetros “a”, “b”, y “c” fueron 0.35, 0.35, y 0.27, respectivamente, por lo que estos autores concluyeron que parte de la variación en curvas de lactación entre ovejas es heredable. En otro estudio con ovejas Yankasa<sup>(44)</sup>, y también con el modelo de Wood<sup>(25)</sup> se encontraron valores de  $h^2$  de 1.4, 0.3, y 0.2, en los parámetros “a”, “b”, y “c”, respectivamente. Con respecto al valor irregular del parámetro “a”, estos autores explicaron que dicho valor pudo estar sujeto a grandes errores de muestreo y, además, sobrestimado, debido a la participación de efectos genéticos no aditivos. Revisando la magnitud de los estimadores de  $h^2$  en los anteriores estudios, se infiere que, en virtud a que se encuentran en el rango bajo-medio, se podría esperar una respuesta positiva a la selección de CL en ovejas.

### **Persistencia de la lactación**

Una fase de la lactación estrechamente relacionada con la CL es lo que se conoce como “persistencia de la lactación” (o de la producción de leche, PER), que inicialmente se definió como “la tasa de secreción láctea que indica el valor inicial al parto y su cambio con el avance de la lactación”<sup>(45)</sup>, y cuya primer medida numérica fue dada, en bovinos, como un porcentaje de la PRODL en el mes previo”. Posteriormente, se definió como<sup>(46)</sup>: “una función del aplanamiento de la CL”; es decir, una hembra tiene mayor PER cuanto más aplanada sea su CL. Un año más tarde se publicó en la literatura otra definición<sup>(47)</sup>: “la capacidad de mantener el nivel de PRODL durante la lactación” y que se puede extender a los componentes de la leche, entre los que se encuentran la grasa y proteína. Finalmente, con otro enfoque<sup>(48)</sup>, se dijo que la PER es: “la tasa de disminución en la PRODL después de haber alcanzado el PL”.

La mayor parte de la información sobre PER de la lactación, en especial modelos matemáticos, proviene de especies mayores, en particular de bovinos lecheros<sup>(37)</sup>. Sin embargo, en estudios con ovejas lecheras, la PER se ha estudiado con el mismo enfoque del ganado vacuno lechero<sup>(49,50)</sup>. Bajo este escenario, la PER tiene un impacto importante en bovinos lecheros, ya que tiene beneficios tanto en los costos de alimentación<sup>(51)</sup>, como en aspectos reproductivos<sup>(52)</sup>. Por lo tanto, la tendencia actual en la PRODL en bovinos es mejorar la PER y extenderla, en lugar de incrementar la PRODL en el PL<sup>(53)</sup>, lo que se aplica también a ovejas y cabras.

### **Modelos de persistencia de la lactación**

Para medir la PER se han propuesto diferentes criterios<sup>(35)</sup>, lo que involucra el uso de diferentes modelos matemáticos. Sin embargo, al igual que en el caso de los modelos de CL, describir y discutir modelos de PER no es un objetivo de esta revisión. Por tanto, para fines

ilustrativos, en el Cuadro 3 se muestran algunos modelos matemáticos que se han planteado en bovinos, de acuerdo a la definición de PER.

**Cuadro 3:** Algunos modelos matemáticos y sus parámetros para medir persistencia de la lactación en vacas lecheras

Modelo de persistencia	Referencia
$P = (3 + 4 + 5th\ months\ yield) - (7 + 8 + 9th\ months\ yield) / 12$ $P = Total\ yield\ (sum\ of\ 7\ months) / milk\ yield\ of\ last\ 3\ months$	Ludwin (1942)
$P = \sum (\gamma_i - S_i) \times (d_i - d_0)$	Cole & VanRaden (2006)
$P = EBV_{290} - EBV_{90}$	Cobuci <i>et al.</i> (2007)
$P = \sum_{i=61}^{300} EBV - 240 \times EBV_{60}$	Harder <i>et al.</i> (2006)
$P = \sum_{i=61}^{305} EBV - 245 \times EBV_{60}$ $P = (milk_{270} / milk_{90}) \times 100$	DeRoos <i>et al.</i> (2001)
$P = (milk_{225} / milk_{45}) \times 100$ $P = \left( \sum_{i=1}^{150} milk / maximum\ milk\ yield \right) \times 100$	Weller <i>et al.</i> (2006)
$P = 305\ day\ milk\ yield / the\ first\ 50\ day\ milk\ yield$	Yilmaz & Koc (2013)
$P = maximum\ milk\ yield / average\ milk\ yield$	Atashi <i>et al.</i> (2006)
$P = EBV_{280} / EBV_{65}$ $P = \sum_{i=66}^{280} EBV / \sum_{i=5}^{65} EBV$	Togashi & Lin (2004)
$P = ((EBV_{280} - EBV_{60}) + Y_{280}) / Y_{60} * 100$	Mostert <i>et al.</i> (2008)
$P = \sum_{i=61}^{280} milk_{280} - milk_{60}$	Jamrozik <i>et al.</i> (1997)

$P = 1/55 \sum_{i=255}^{i=350} \text{milk yield}_i - 1/21 \sum_{i=50}^{i=70} \text{milk yield}_i$	Kistemaker (2003)
$P = \sum_{i=101}^{200} \text{milk} / \sum_{i=1}^{100} \text{milk} \quad P = \sum_{i=201}^{305} \text{milk} / \sum_{i=1}^{100} \text{milk}$ $P = \sum_{i=1}^{100} \text{milk} / (\text{MAX} \sum_{i=1}^{100} \text{milk} \times 200)$	Johansson & Hansson (1940)
$P = \sum_{DIM=60}^{279} D_{DIM} - D_{280} \quad P = EBV_{280} - EBV_{60}$	Jakobsen <i>et al.</i> (2002)
$P = -(b + 1)1n c$	Wood (1970)
$P = 100 (1 + 2\gamma_i)$	Kamidi (2005)

Fuente: Torshizi *et al.*<sup>(54)</sup>

Como en el caso de las CL, también se han llevado a cabo estudios en ovejas para estimar la  $h^2$  de la PER, aunque para este parámetro, en menor número en comparación con vacas lecheras. Para estimar la  $h^2$  de la PER, un grupo de investigadores en Grecia<sup>(55)</sup> utilizó ovejas lecheras Sfakia utilizando los métodos PLM2:PLM1 (PRODL mes 2:PRODL mes 1), PLM3:PLM1 (PRODL mes 3:PRODL mes 1), PLM4:PLM1 (PRODL mes 4:PRODL mes 1), MA (medida de la disminución de la PRODL de una oveja relativa al nivel de PRODL en la lactación temprana, en porcentaje), y CV (medida asociada con la variación de las PRODL de una oveja en el día de prueba, en porcentaje), con resultados, respectivamente, de 0.26, 0.16, 0.14, 0.24, y 0.28. En un estudio con ovejas Awassi mejoradas<sup>(43)</sup> se estimó la  $h^2$  de la PER, medida como la pérdida de PRODL diaria existente entre DPL y el final de la lactación, obteniendo así un valor de 0.11. Kominakis *et al.*<sup>(56)</sup> estimaron la  $h^2$  de la PER en ovejas lecheras Boutsiko de Grecia, para lo cual utilizaron tres medidas de PER:  $\hat{\beta}$  (mide la tasa de declinación de PRODL posterior al PL de una oveja, en kg/día), además de las medidas MA y CV (ya descritas), habiendo obtenido valores de 0.15, 0.10, y 0.13, para las medidas  $\hat{\beta}$ , MA, y CV, respectivamente. Al igual que con las CL, los estimadores de  $h^2$  de la PER están en el rango bajo-medio, lo que es alentador para utilizarse en programas de selección para mejorar la PER en ovejas.

## Factores que afectan la curva de lactación

### Genéticos

El comportamiento de la lactación está determinado en gran parte por el genotipo del

individuo; es decir, la forma de la CL está determinada genéticamente<sup>(57)</sup>. Un grupo de investigadores<sup>(58)</sup> utilizó un modelo matemático mecanicista en el proceso de secreción de la leche, basado en la teoría fisiológica de la glándula mamaria, en donde la salida del modelo puede ser una función monoexponencial o biexponencial. Utilizando 64 ovejas lecheras Sarda, la función biexponencial ajustó CL regulares ( $R^2=0.87$ ), mientras que la monoexponencial ajustó CL decaídas ( $R^2=0.80$ ). Los autores concluyeron que el dimorfismo de la CL no fue debido a factores ambientales (nivel de producción, tipo de nacimiento y estado de salud de la ubre), pero sí tuvo una influencia genética.

En un estudio en el que se utilizaron cruces entre varias razas de ovejas lecheras se investigó<sup>(20)</sup> la variación genética en las características de las CL usando una jerarquía Bayesiana de tres etapas: 1) se utilizó el modelo de Wood, 2) se describió la variación entre ovejas, y 3) se incluyeron las distribuciones *a priori* de todos los parámetros desconocidos. Los resultados indicaron que parte de la variación de las CL entre ovejas es heredable. Por otra parte, las correlaciones genéticas fueron negligibles, lo que sugirió que existe suficiente campo para modificar las CL por vía genética.

En ovejas Araucanas y Romney Marsh se analizó PRODL<sup>(59)</sup>, caracterizando también sus CL y relacionando la PRODL con el crecimiento de sus corderos. Las CL en ambas razas fueron típicas; sin embargo, la PRODL en las ovejas Araucanas tuvo una fase ascendente hasta el día 30, con una producción máxima de 2.18 L día<sup>-1</sup>, mientras que las ovejas Romney Marsh alcanzaron el PL el día 20 de lactación, con una PRODL máxima de 2.47 L día<sup>-1</sup>.

Komprej *et al*<sup>(60)</sup> analizaron las CL para la PRODL diaria, y contenido de grasa y proteína en ovejas lecheras Bovec, Bovec mejorada e Istria Pramenka, estimadas con un modelo animal de repetibilidad con registros de los días de prueba. La forma de las CL para la producción diaria de leche en ovejas Bovec y Bovec mejorada ajustó bien (51.35 %) a la curva general de lactación de las ovejas lecheras. En las ovejas Istrián Pramenka la forma de la CL fue más o menos atípica, con un pico de producción menor y una PRODL diaria decreciente durante casi toda la lactación. Las formas de las CL para los contenidos de grasa y proteína fueron opuestas a las de las CL para la PRODL diaria en las tres razas.

Para analizar la PRODL y las características de la CL, se analizaron<sup>(61)</sup> 863 registros semanales de PRODL de 70 lactaciones de seis grupos genéticos de ovejas: East Friesian (EF), Criollo (Cr), ½ EF x ½ Cr, ¾ EF x ¼ Cr, ½ Suffolk x ½ Cr, y Corriedale (C). Se utilizó la función de Wood (WD) para estimar la PRODL total observada ( $PLT^{obs}$ ) y estimada a los 180 días ( $PLT^{180}$ ), pico de lactación (PL), tiempo al pico de lactación (TPL), y PER. El grupo genético influyó de forma significativa ( $P<0.05$ ) en la  $PLT^{obs}$ ,  $PLT^{180}$ , PL y parámetro “b” del modelo de Wood, con valores superiores en las ovejas ½ EF x ½ Cr. En todos los casos, las CL fueron típicas, aunque con diferentes grados de PER. Los autores concluyeron que las diferencias en el desempeño productivo debidas al grupo genético pueden estar asociadas con la capacidad de adaptación de las ovejas EF a las condiciones climáticas locales.

## Ambientales

Antes de abordar los resultados encontrados en la literatura en relación con este tipo de factores, un grupo de investigadores<sup>(37)</sup> en bovinos lecheros, indicó que los modelos lineales mixtos representan una herramienta matemática adecuada para la evaluación de efectos ambientales, siendo capaces de tomar en cuenta factores que podrían afectar cada registro del día de prueba de manera diferente. Estos autores presentaron la estructura básica de estos modelos de la manera siguiente:  $y = \text{HTD} + F + \text{DIM} + L + e$ ; donde  $y$ : PRODL diaria; HTD: interacción entre el hato y la fecha de la prueba que toma en cuenta los efectos peculiares de una fecha específica;  $F$ : factor fijo (estación de parto, región de producción, número de parto); DIM: efecto fijo de los días en los grupos de PRODL, cuyas soluciones de cuadrados mínimos permiten generar curvas de lactación corregidas por otros efectos incluidos en el modelo;  $L$ : efecto aleatorio individual de la vaca (oveja, cabra) asociado a un componente de varianza ( $\sigma^2_L$ );  $e$ : efecto residual aleatorio asociado al componente de varianza  $\sigma^2_L$ .

En un estudio con ovejas lecheras Sarda<sup>(62)</sup> se obtuvieron CL estimadas y predichas por edad al parto, además de efectos estacionales para rendimientos de leche, grasa y proteína. Las tendencias de los efectos estacionales mostraron un pico de primavera para la PRODL, leche, grasa, y rendimiento de proteína. Los efectos estacionales en el contenido de grasa fueron muy irregulares, mientras que para el contenido de proteína fueron pequeños y constantes en el tiempo. Las CL predichas mostraron un efecto creciente de la edad al parto en todas las variables. De estos resultados, los autores concluyeron que la tendencia de los efectos estacionales en las producciones de leche dentro de rebaño-año podría ser una herramienta importante para mejorar las técnicas de manejo.

Utilizando ovejas lecheras Sarda con diferentes niveles de producción (en gramos), tipo de parto y salud de la ubre, se probó una versión no lineal modificada<sup>(63)</sup> del modelo de Wood ( $y = at^{b \exp(-ct)}$ ). Los resultados mostraron que la versión modificada del modelo (" $a$ "=702.3+56.2, " $b$ "=1.29±0.09, " $c$ "=0.133±0.013) ajustó muy bien la CL ( $R^2 = 0.905$ ; desviación estándar residual= 145.3) con pocas iteraciones requeridas para la convergencia (<5). La producción de leche, el nivel de producción y el tipo de parto influyeron en todos los parámetros, mientras que la salud de la ubre solamente influyó en el parámetro " $a$ ".

En un estudio con ovejas lecheras Comisana<sup>(64)</sup> se ajustaron datos de PRODL con el modelo de Wood y se evaluó el efecto de factores ambientales en los parámetros de la CL. Hubo una fuerte influencia de la interacción número de parto x estación de parto en los parámetros de la lactación. Las CL para las ovejas paridas en invierno tuvieron un PL más alto que las ovejas paridas en otoño. El número de parto se correlacionó positivamente con la producción al pico y negativamente con el DPL y la PER. El tipo de parto no influyó significativamente en la forma de la CL.

Con ovejas lecheras Valle del Belice se utilizaron<sup>(65)</sup> modelos de días de prueba para estimar la CL y analizar factores ambientales en la PRODL y en los porcentajes de grasa y proteína.

Se analizaron tres rebaños y en cada uno se formaron dos grupos de ovejas, de los cuales un grupo no recibió complemento alimenticio alguno, mientras que el otro grupo recibió 500 g día<sup>-1</sup> de un concentrado comercial. El número de parto afectó la CL para la PRODL, que fue menor y más plana para las ovejas primerizas; los efectos en los contenidos de grasa y proteína fueron más pequeños. La época de parto afectó a todas las variables. La productividad estacional tuvo el mayor efecto en la composición de la leche, lo que resultó en un desequilibrio entre porcentajes de grasas y proteínas. Los efectos de rebaño y complementación alimenticia afectaron sólo la CL para la PRODL.

En México se llevó a cabo un estudio<sup>(66)</sup> con ovejas lecheras cruzadas provenientes de cuatro granjas comerciales para investigar factores ambientales que influyen los parámetros de la CL, usando el modelo aditivo de Pollot de 5 parámetros. Las ovejas cruzadas fueron la progenie de East Friesian como línea paterna, y de Suffolk, Pelibuey, Blackbelly y Hampshire como línea materna. Los parámetros estimados fueron el potencial máximo de secreción de leche (MSmax), la tasa relativa de disminución en el número de células (DR), y la proporción de células del parénquima muertas al parto. Se analizaron los efectos de tipo de nacimiento, número de parto, rebaño, y época de parto en la producción total de leche (TMY), longitud de la lactación y parámetros estimados del modelo de Pollot. El rebaño tuvo un efecto significativo ( $P<0.05$ ) en la mayoría de las variables analizadas, la TMY fue mayor ( $P<0.05$ ) en lactaciones de parto doble que de parto simple. Las ovejas de primer parto tuvieron menor TMY que las de cuarto parto ( $P<0.01$ ).

Así mismo, con el objetivo de caracterizar la CL de ovejas de la población lechera sintética búlgara, considerando la PRODL del día de prueba y el número de parto, se analizaron<sup>(67)</sup> registros de PRODL del rebaño del Instituto Agrícola-Shumen, durante el período 2009-2019. Para esto, se utilizó un modelo lineal mixto, en donde la hipótesis analítica incluyó los efectos de año y mes de lactación, número de parto, tipo de parto, día de prueba (relacionado con la CL), período de amamantamiento, efecto permanente de los cambios ambientales, valor genético del animal, y efectos ambientales residuales. Se encontró una curva típica, relativamente plana, que varió según el día de la prueba y el número de parto.

Factores climáticos como temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación son elementos ambientales que tienen influencia en el bienestar y estrés de los animales<sup>(68)</sup> y, además, pueden afectar diversos aspectos productivos como crecimiento, reproducción, y PRODL en rumiantes<sup>(69)</sup>. En un estudio con ovejas lecheras Churra<sup>(70)</sup> estos mismos factores, además de la precipitación, afectaron la producción total y la calidad de la leche, lo cual tiene influencia directa en la CL.

En la región del Mediterráneo, se llevó a cabo un estudio<sup>(71)</sup> para investigar el efecto del estrés calórico en la PRODL de ovejas Valle del Belice. Los resultados indicaron que hubo

un efecto antagónico entre PRODL y el estrés calórico, ya que la selección para incrementar la PROD redujo la tolerancia al calor.

Resultados similares al estudio anterior se encontraron en vacas lecheras de dos regiones de los EE.UU.<sup>(72)</sup>, ya que la selección para incrementar la PRODL permaneció constante hasta cierto punto (umbral), y posteriormente tuvo un comportamiento decreciente lineal, al incrementarse el valor del índice de temperatura-humedad (THI), diseñado para medir el estrés calórico.

También se ha encontrado que el estrés por frío también tiene un efecto importante en la PRODL. En un estudio con ovejas lecheras Manchega del Mediterráneo<sup>(73)</sup> se analizó el efecto de exposición a condiciones climática adversas (exposición a calor y frío) en la PRODL para medir la capacidad de termo-tolerancia de las ovejas, así como el grado de disminución en la PRODL, fuera de la zona de confort térmico. Los resultados mostraron que el estrés por frío tuvo un efecto negativo mayor en la PRODL, en comparación con el estrés por calor.

## Conclusiones e implicaciones

Una curva de lactación es la representación gráfica del comportamiento del nivel de producción de leche individual, o de un grupo de individuos, en la lactación. El conocimiento de una curva de lactación es de suma importancia, ya que permite predecir la producción total de leche, tomar decisiones en aspectos de nutrición, sanidad y administración de la granja, pero, sobre todo, permite identificar las hembras superiores en producción de leche para utilizarlas en el rebaño como reproductoras. Atendiendo a su forma, las curvas de lactación pueden ser típicas (normales) y atípicas. La persistencia de la lactación es una fase estrechamente ligada a la curva de lactación y representa la tasa de disminución en la producción de leche después de haber alcanzado el pico de lactación. Se han desarrollado modelos matemáticos para caracterizar curvas de lactación y estudiar la persistencia de la lactación, la mayor parte en bovinos, aunque varios también se han utilizado en ovejas. Para propósitos de selección, tanto de la curva de lactación como de la persistencia, las estimaciones de la heredabilidad reportadas en ovejas muestran valores que están en un rango bajo-medio, lo que da confianza para esperar respuestas positivas en programas de mejoramiento genético, los que al diseñarse deberán tener objetivos claros y bien definidos, además de utilizar la metodología idónea del programa, con base en las características propias de las variables a medir, de la población animal y del ambiente, y finalmente considerar la posible influencia de factores genéticos y ambientales en la respuesta de los ovinos a las curvas de lactación. La escasa información sobre curvas de lactancia en ovejas indica la necesidad de llevar a cabo más investigación en esta especie, no sólo en ovejas de razas lecheras, sino también en ovejas de razas productoras de carne, ya que la habilidad materna

para producción de leche influye de manera significativa en el crecimiento predestete y supervivencia de las crías, e impacta directamente en la rentabilidad del sistema de producción.

### **Agradecimientos**

Se agradece al CONAHCYT (México) por la beca para estudios de Doctorado en Ciencias del primer autor (GCH). Este artículo pertenece a la LGAC: “Innovación Tecnológica y Seguridad Alimentaria en Ganadería”.

### **Conflicto de interés**

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

### **Literatura citada:**

1. Haenlein GFW, Wendorff WL. Sheep Milk. In: handbook of milk of non-bovine mammals. Chapter 3: Young W. Park GFH. Haenlein, and William L. Wendorff, editors. Blackwell Publishers; 2006:137-194. <https://doi.org/10.1002/9780470999738.ch7>.
2. FAOSTAT. Producción de ovinos en el mundo. 2020. Consultado 31 Ago, 2022. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QL/visualize>.
3. Morris ST. Overview of sheep production systems. In: Ferguson D, Lee C, Fisher A, ediytors. Advances in sheep welfare; 1st. ed. Duxford, United Kingdom. Woodhead Publishing; 2017:19-35. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-00983-2>.
4. Pulina G, Milán MJ, Lavín MP, Theodoridis A, Morin E, Capote J, *et al.* Invited review: Current production trends, farm structures, and economics of the dairy sheep and goat sectors. *J Dairy Sci* 2018;101(8):6715-6729. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14015>.
5. Flis Z, Molik E. Importance of bioactive substances in sheep’s milk in human health. *Int J Mol Sci* 2021;22(9):4364. <https://doi.org/10.3390/ijms22094364>.
6. Thomas DL, Haenlein GFW. Sheep Milk. 3.1 Production of sheep milk. In: Handbook of milk of non-bovine mammals. Young W. Park GFH Haenlein, and William L Wendorff, editors. John Wiley & Sons Ltd; 2017:181-209. <https://doi.org/10.1002/9780470999738.ch7>.
7. Hamann H, Horstick A, Wessels A, Distl O. Estimation of genetic parameters for test day milk production, somatic cell score and litter size at birth in East Friesian ewes. *Livest Prod Sci* 2004;87(2-3):153-160. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2003.09.015>.

8. Barillet F, Marie C, Jacquin M., Lagriffoul G, Astruc JM. The French Lacaune dairy sheep breed: use in France and abroad in the last 40 years. *Livest Prod Sci* 2001;71(1):17-29. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00237-8](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00237-8).
9. Gelasakis AI, Arsenos G, Valergakis GE, Oikonomou G, Kiossis E, Fthenakis GC. Study of factors affecting udder traits and assessment of their interrelationships with milking efficiency in Chios breed ewes. *Small Ruminant Res* 2012;103(2-3):232-239. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.09.045>.
10. Sanna SR, Carta A, Casu S. Genotype by environment interaction for milk yield in Sarda dairy sheep. *J Anim Breed Genet* 2002;119:190-199. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0388.2002.00337.x>.
11. Ramón M, Legarra A, Ugarte E, Garde JJ, Pérez-Guzmán MD. Economic weights for major milk constituents of Manchega dairy ewes. *J Dairy Sci* 2010;93(7):3303-3309. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2787>.
12. Pérez-Álvarez JG, Rodríguez-Almeida FA, Domínguez-Viveros J. Genetic parameter estimates for productivity of the Katahdin and Hampshire ewe and its components. *J Anim Sci* 2016;94(5):836-848. <https://doi.org/10.2527/jam2016-1715>.
13. Bayril T, Akdemir F, Baran MS, Orhan C, Yildirim IH, Yildiz AŞ, Çelik R. Effects of lamb sex, parity, and birth type on milk yield, lactation length, and milk components in Zom ewes raised under semi-intensive conditions. *South African J Anim Sci* 2023; 53(2):185-196. <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v53i2.05>.
14. Akers RM. *Lactation and the mammary gland*. Wiley-Blackwell; 2016.
15. Lérias JR, Hernández-Castellano LE, Suárez-Trujillo A, Castro N, Poulis A, Almeida AM. The mammary gland in small ruminants: major morphological and functional events underlying milk production—a review. *J Dairy Res* 2014;81(3):304-318. <https://doi.org/10.1017/S0022029914000235>.
16. Dongre VB, Gandhi RS, Avtar S, Atul G. A brief review on lactation curve models for predicting milk yield and different factors affecting lactation curve in dairy cattle. *Int J Agric Res Review* 2011;1(1): 6-15.
17. Abecia JA, García A, Castillo L, Palacios C. The effects of weather on milk production in dairy sheep vary by month of lambing and lactation phase. *J Anim Behav Biometeorol* 2017;5(2):56-63. <http://dx.doi.org/10.26667/2318-1265jabb.v5n2p56-63>.
18. Wood PDP. A note on the estimation of total lactation yield from production on a single day. *Anim Prod* 1974;19(3):393-396. <https://doi.org/10.1017/S0003356100022972>.

19. Yépez-Ruidías H, Rúa-Bustamante CV, Idárraga-Idárraga Y, Arboleda-Zapata E, Calvo Cardona SJ, Montoya Atehortúa A, *et al.* Estimación de las curvas de lactancia y producción de leche de cabras del departamento de Antioquia, usando controles lecheros quincenales y mensuales. *Rev CES Med Vet Zoot* 2010;5(2):30-35.
20. Chang YM, Rekaya R, Gianola D, Thomas DL. Genetic variation of lactation curves in dairy sheep: A Bayesian analysis of Wood's function. *Livest Prod Sci* 2001;71(2-3):241-251. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00185-3](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00185-3).
21. Palacios-Espinosa A, González-Peña Fundora D, Guerra-Iglesias D, Espinoza-Villavicencio JL, Ortega-Pérez R, Guillén-Trujillo A, *et al.* Curvas de lactancia individuales en vacas Siboney de Cuba. *Rev Mex Cienc Pecu* 2016;7(1):15-28. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?>
22. Ángeles-Hernández JC, Aranda-Aguirre E, Muñoz-Benítez AL, Chay-Canul AJ, Albarrán-Portillo B, Pollott GE, *et al.* Physiology of milk production and modelling of the lactation curve. *CAB Reviews* 2021;60(056):1-22. doi: 10.1079/PAVSNR202116056.
23. Macciotta NPP, Dimauro C, Steri R, Cappio-Borlino A. Mathematical modelling of goat lactation curves. In: *Dairy goats feeding and nutrition*. Cannas A, Pulina G, Dias Francesconi AH, editors. CABI International 2008:31-46.
24. Druet T, Jaffrézic F, Boichard D, Ducrocq V. Modeling lactation curves and estimation of genetic parameters for first lactation test-day records of French Holstein cows. *J Dairy Sci* 2003;86(7):2480-2490. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73842-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73842-9).
25. Wood PDP. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature* 1967;216:164-165. <https://doi.org/10.1038/216164a0>.
26. Shimizu H, Umrod S. An application of the weighted regression procedure for constructing the lactation curve in dairy cattle. *Jap J Zootech Sci* 1976;47(12):733-738.
27. Waheed A, Khan MS. Lactation curve of Beetal goats in Pakistan. *Arch Anim Breed* 2013;56(1):892-898. <https://doi.org/10.7482/0003-9438-56-089>.
28. Aytekin I, Boztepe S. The key to successful dairy cattle: days in milk (DIM). *Selcuk J Agric Food Sci* 2017;31(3):184-188. doi:10.15316/SJAFS.2017.53.
29. Fahmy MH, Shrestha JNB. Dairy Animals/Sheep Breeds. In: *Encyclopedia of dairy sciences*. Roginski, H, editor. Academic Press. 2002: 598-613. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227235-8/00112-7>.

30. Chaffer M, Leitner G, Zamir S, Winkler M, Glickman A, Ziv N, Saran A. Efficacy of dry-off treatment in sheep. *Small Ruminant Res* 2003;47(1):11-16. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(02\)00194-3](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(02)00194-3).
31. Petridis IG, Mavrogianni VS, Fragkou IA, Gougoulis DA, Tzora A, Fotou K, *et al.* Effects of drying-off procedure of ewes' udder in subsequent mammary infection and development of mastitis. *Small Ruminant Res* 2013;110(2-3):128-132. <http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.11.020>.
32. Sougaris S, Brozos CN, Petridou E, Papadopoulos T, Kiossis E. Abrupt and gradual drying-off procedure and intramammary dry treatment: Impact on udder health status of Chios breed dairy sheep. *J Hellenic Vet Med Soc* 2022;73(2):4031-4040. <https://doi.org/10.12681/jhvms.26304>.
33. Vilar MJ, Rajala-Schultz PJ. Dry-off and dairy cow udder health and welfare: Effects of different milk cessation methods. *The Veterinary J* 2020;262:105503 <http://dx.doi.org/10.1016/j.tvjl.2020.105503>.
34. Persson-Waller K, Landin H, Nyman AK. Herd routines and veterinary advice related to drying-off and the dry period of dairy cows. *Dairy* 2022;3(2):377-399. <https://doi.org/10.3390/dairy3020029>.
35. Grossman M, Hartz SM, Koops WJ. Persistency of lactation yield: A novel approach. *J Dairy Sci* 1999;82(10):2192-2197. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(99\)75464-0](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(99)75464-0).
36. Grossman M, Koops WJ. Modeling extended lactation curves of dairy cattle: A biological basis for the multiphasic approach. *J Dairy Sci* 2003;86(3):988-998. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73682-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73682-0).
37. Macciota NPP, Dimauro C, Rassu SPG, Steri R, Pulina G. The mathematical description of the lactation curves in dairy cattle. *Italian J Anim Sci* 2016;10:4. <https://doi.org/10.4081/ijas.2011.e51>.
38. Bilgin OC, Esenbuga N, Davis ME. Comparison of models for describing the lactation curve of Awassi, Morkaraman and Tushin sheep. *Arch Anim Breed* 2010;53(4):447-456. <https://doi.org/10.5194/aab-53-447-2010>.
39. Neal HDSC, Thornley JHM. The lactation curve in cattle: a mathematical model of the mammary gland. *J Agric Sci Camb* 1983;101:389-400. <http://dx.doi.org/10.1017/S00218596000337710>.
40. Friggens NC, Emmans GC, Veerkamp RF. On the use of simple ratios between lactation curve coefficients to describe parity effects on milk production. *Livest Prod Sci* 1999;62(1):1-13. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(99\)00110-4](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00110-4).

41. Adediran SA, Ratkowusky DA, Donaghy DJ, Malau-Aduli AEO. Comparative evaluation of a new lactation curve model for pasture-based Holstein-Friesian dairy cows. *J Dairy Sci* 2012;95:5344-5356. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2011-4663>.
42. Vetharaniam I, Davis SR, Upsdell M, Kolver ES, Pleasants AB. Modeling the effect of energy status on mammary gland growth and lactation. *J Dairy Sci* 2003;86(10):3148-3156. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73916-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73916-2).
43. Pollott GE, Gootwine E. A genetic analysis of complete lactation milk production in Improved Awassi sheep. *Livest Prod Sci* 2004;71:37-47. [http://dx.doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00239-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00239-1).
44. Afolayan RA, Abubakar BY, Dim NI, Osinowo OA. Inheritance of growth and lactation parameters in Yankasa sheep. *Nigerian J Anim Prod* 2001;28(1):9-13.
45. Gaines WL. Measures of persistency of lactation. *J Agric Res* 1927;34(4):373-383.
46. Sturtevant EL. Influence of distance from calving on milk yield. *N.Y. State Agr Expt Sta Ann Rept* 1887;5:26-28.
47. Gengler N. Use of mixed models to appreciate the persistency of yields during the lactation of milk cows [Ph.D. Diss]. Gembloux, Belgium: Faculté Univ Sci Agron. 1995.
48. Gengler N. Persistency of lactation yields: a review. *Interbull Bulletin* 1996;12:87-96.
49. Cole JB, Null DJ. Genetic evaluation of lactation persistency for five breeds of dairy cattle. *J Dairy Sci* 2009;92(5):2248-2258. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1825>.
50. Gutiérrez JP, Legaz E, Goyache F. Genetic parameters affecting 180-days standardised milk yield, test-day milk yield and lactation length in Spanish Assaf (Assaf. E) dairy sheep. *Small Ruminant Res* 2007;70(2-3):233-238. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.03.009>.
51. Dekkers JCM, Ten Hag, JH, Weersink A. Economic aspects of persistency of lactation in dairy cattle. *Livest Prod Sci* 1998;53:237-252. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(97\)00124-3](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(97)00124-3).
52. Dobson H, Smith RF, Royal MD, Knight CH, Sheldon IM. The high producing dairy cow and its reproductive performance. *Reprod Dom Anim* 2007;42(Suppl 2):17-23. <https://doi.org/10.1111%2Fj.1439-0531.2007.00906.x>.
53. Schutz MM, Hansen LB, Steuernagel GR, Kuck AL. Variation of milk, fat, protein, and somatic cells for dairy cattle. *J Dairy Sci* 1990;73:484-493. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(90\)78696-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78696-1).

54. Torshizi ME, Mashhadi MH, Farhangfar H. Different aspects of lactation persistency in dairy cows. *Indian J Anim Sci* 2019;89(6):607-614. <https://doi.org/10.56093/ijans.v89i6.91098>.
55. Kominakis AP, Volanis M, Rogdakis E. 1999. Genetic and phenotypic parameters of milk yield in Sfakia sheep. In: Proc 15th Scient Meet Hellenic Zootech Soc Chania, Greece. November 3-5, 1999.
56. Kominakis AP, Rogdakis E, Koutsotolis K. Genetic aspects of persistency of milk yield in Boutsico dairy sheep. *Asian-Aust J Anim Sci* 2002;15(3):315-320. <https://doi.org/10.5713/ajas.2002.315>.
57. Bonnier G. Is the shape of the lactation curve genetically determined?. *Hereditas* 1935;10:199-213.
58. Cappio-Borlino A, Macciotta NPP, Pulina G. The shape of Sarda ewe lactation curve analysed by a compartmental model. *Livest Prod Sci* 1997;51(1-3):89-96. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(97\)00102-4](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(97)00102-4).
59. Millanao I, Herdener N, Parada D, Sepúlveda N. Producción de leche, curvas de lactancia y crecimiento de sus corderos, en dos razas de ovejas en la región de la Araucanía, Chile. APPA – ALPA, Cusco, Perú. *Sitio Argentino de Producción Animal* 2007;1-4.
60. Komprej A, Gorjanc G, Kompan D, Kovač M. Lactation curves for milk yield, fat, and protein content in Slovenian dairy sheep. *Czech J Anim Sci* 2012;57(5):231-239. doi: 10.17221/5921-CJAS.
61. Ángeles-Hernández JC, Guerrero-Loredo A, Solís-Guzmán DA, Ramírez-Pérez AH, Ángeles-Campos S, González-Ronquillo M. Efecto del grupo genético sobre las características de la curva de lactación ovina. *Ecosist Rec Agrop* 2018;5(14):327-333. <https://doi.org/10.19136/era.a5n14.1425>.
62. Carta A, Sanna SR, Casu S. Estimating lactation curves and seasonal effects for milk, fat and protein in Sarda dairy sheep with a test day model. *Livest Prod Sci* 1995;44:37-44. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(95\)00051-L](https://doi.org/10.1016/0301-6226(95)00051-L).
63. Cappio-Borlino A, Pulina G, Rossi G. A non-linear modification of Wood's equation fitted to lactation curves of Sardinian dairy ewes. *Small Ruminant Res* 1995;18(1):75-79. [https://doi.org/10.1016/0921-4488\(95\)00713-U](https://doi.org/10.1016/0921-4488(95)00713-U).
64. Portolano B, Spatafora F, Bono G, Margiotta S, Todaro M, Ortoleva V, *et al.* Application of the Wood model to lactation curves of Comisana sheep. *Small Ruminant Res* 1997;24(1):7-13. [https://doi.org/10.1016/0921-4488\(95\)00842-X](https://doi.org/10.1016/0921-4488(95)00842-X).

65. Cappio-Borlino A, Portolano B, Todaro M, Macciotta NPP, Giaccone P, Pulina G. Lactation curves of Valle del Belice dairy ewes for yields of milk, fat, and protein estimated with test day models. *J Dairy Sci* 1997;80(11):3023-3029. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76269-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76269-6).
66. Ángeles-Hernández JC, Pollot G, Albarrán-Portillo B, Ramírez-Pérez AH, Lizarazo-Chaparro A, Castelán-Ortega OA, *et al*. The application of a mechanistic model to analyze the factors that affect the lactation curve parameters of dairy sheep in Mexico. *Small Ruminant Res* 2018;164:58-63. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2018.05.003>
67. Stancheva N, Angelova T, Yordanova D, Krastanov J. Lactation curve of the sheep from Bulgarian dairy synthetic population. *Trad Mod Vet Med* 2021;6(2):64-71. doi: 10.5281/zenodo.5741398.
68. Naskar S, Gowane GR, Chopra A, Paswan C, Prince LLL. Chapter 13: Genetic adaptability of livestock to environmental stresses. In: Sejian V, *et al*, editors. *Environmental stress and amelioration in livestock production*. Springer Berlin Heidelberg;2012:317-378. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-29205-7-13>.
69. Silanikove N. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest Prod Sci* 2000;67:1-18. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00162-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00162-7).
70. González-Ronquillo M, Abecia JA, Gómez R, Palacios C. Effects of weather and other factors on milk production in the Churra dairy sheep breed. *J Anim Behav Biometeorol* 2021;9:2125. <https://doi.org/10.31893/jabb.21025>.
71. Finocchiaro R, van Kaam JBCHM, Portolano B. Effect of weather conditions on somatic cell score in Sicilian Valle del Belice ewes. *Ital J Anim Sci* 2007;6(Suppl. 1):130-132. <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.1s.130>.
72. Bohmanova J, Misztal I, Cole JB. Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *J Dairy Sci* 2007;90:1947-1956. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-513>.
73. Ramón M, Díaz C, Pérez-Guzmán MD, Carabaño MJ. Effects of exposure to adverse climatic conditions on production in Manchega dairy sheep. *J Dairy Sci* 2016;99(7):5764-5779. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10909>.