

Relación entre crecimiento y curvas de lactancia en grupos raciales lecheros de distintas zonas agroecológicas de Costa Rica

B Vargas y J Ulloa

Posgrado Regional en Ciencias Veterinarias Tropicales, Programa en Producción Animal Sostenible, Apdo. postal 304-3000, Heredia, Costa Rica
bvargasl@costarricense.cr

Resumen

El objetivo del presente estudio fue tipificar y comparar el rendimiento en producción de leche y grasa en primera lactancia entre 15 grupos raciales lecheros procedentes de 9 zonas agroecológicas de Costa Rica y establecer si dicho rendimiento es afectado por la tasa de crecimiento durante la etapa de crianza. Para el ajuste de las curvas de lactancias (leche y grasa) se utilizó el modelo de Wood.

En producción de leche a 305 d. se observaron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre zonas y grupos raciales. Las zonas con mayores producciones fueron Bosque Pluvial-Montano Bajo, Bosque Muy Húmedo-Montano, Bosque Húmedo-Premontano y Bosque Húmedo-Montano Bajo. Por el contrario la zona con menor producción fue Bosque Húmedo-Tropical. Los grupos raciales con mayor producción fueron Holstein y sus cruces con Pardo Suizo o Jersey, mientras que los de menor producción fueron los cruces Bos indicus×Bos taurus, cruces de Jersey×Pardo Suizo y Pardo Suizo. En cuanto a producción de grasa, se observaron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre zona agroecológicas, no así entre grupos raciales. Las zonas donde se presentaron mayores producciones de grasa fueron Bosque Pluvial-Montano Bajo y Bosque Muy Húmedo-Montano, mientras que la zona con menor producción fue Bosque Húmedo-Tropical. Las razas con mayor producción de grasa fueron cruces Holstein×Jersey, Guernsey, Holstein y Jersey. A pesar de la amplia diferencia en producción de leche de la raza Holstein sobre la Jersey (> 1200 kg), las diferencias en grasa no fueron estadísticamente significativas (12 kg). Para la mayoría de las razas se observó una asociación positiva entre la ganancia de peso (0-12 meses) y la Producción de Leche a 100 días. En general, los coeficientes de regresión de la ganancia de peso (0-12 meses) sobre la producción de leche a 100 d. en primera lactancia oscilaron entre -22.9 ($p > 0.5$) hasta 47.9 ($p < 0.01$). En el caso de Guernsey se observó un incremento aproximado de 47.9 kg en Producción de leche a 100 días por cada kg adicional de ganancia de peso mensual durante el primer año de crecimiento. Los coeficientes obtenidos para ganancia de peso (12-20 meses) y edad al parto oscilaron entre -3.9 ($p > 0.5$) y 27.9 ($p < 0.01$). Es probable que las mayores ganancias de peso se relacionen con una mejor condición nutricional al momento del primer parto y por ende un mejor rendimiento en producción.

Palabras claves: Curva de lactancia, producción de leche a 305 d, tasa de crecimiento, zonificación agroecológica

Relation between growth rate and lactation curves in

dairy breed types from different agro ecological zones in Costa Rica

Abstract

The objective of this study was to assess the relationship between growth rate during the rearing period (0-12 mo, 12-20 mo) and production (milk and fat) during first lactation in 15 dairy breed types from 9 agro ecological zones of Costa Rica. Lactation curves (milk and fat) were adjusted using a Wood model.

For 305-d. milk yield, highly significant ($p < 0.01$) differences were found between breed types and agroecological zones. Zones with higher milk yield were *Lower Montane Rain Forest*, *Montane Wet Forest*, *Premontane Wet Forest* and *Lower Montane Wet Forest*. Zone with the lowest milk yield was *Tropical Moist Forest*. Breed types with the highest production were Holstein and crosses Holstein×Brown Swiss and Holstein×Jersey. Breed types with the lowest production were crosses Bos Indicus×Bos Taurus, Jersey×Brown Swiss and Brown Swiss. For production of fat, highly significant ($p < 0.01$) differences were found between agro ecological zones, but no significant differences were detected between breed types. Zones with the highest production of fat were *Lower Montane Rain Forest* and *Montane Wet Forest*, and zone with the lowest production was *Tropical Moist Forest*. Breed types with the highest production of fat were crosses Holstein×Jersey, Guernsey, Holstein and Jersey. Despite the large difference in milk yield between Holstein and Jersey (+1200 kg), no significant differences were found for fat (12 kg). For most of breed types, a positive association was observed between growth rate (0-12 mo) and 100-d milk yield during first 100 d. in lactation. Regression coefficients for the effect of growth rate (0-12 mo) on 100-d milk yield during first lactation ranged between -22.9 ($p > 0.05$) and 47.9 ($p < 0.01$). For Guernsey, the coefficient meant an increase of 47.9 kg in 100-d milk yield per each 1 kg increase in monthly growth rate (0-12 mo). Regression coefficients for the effect of growth rate (12-20 mo) on age at first calving ranged between -3.9 ($p > 0.05$) and 27.9 ($p < 0.01$). It is likely that higher growth rates result in better body condition at first calving, which subsequently traduces in a better performance during first lactation.

Key words: 305-d milk yield, agro ecological zones, growth rate, lactation curves

Introducción

La producción de leche en ganado bovino se encuentra afectada por varios factores que contribuyen en grado variable a la expresión fenotípica del animal. Es importante determinar el impacto relativo de los factores genéticos, fisiológicos y ambientales sobre la producción, con el fin de hacer los ajustes necesarios antes de proceder a la selección de los genotipos más deseables (Labbé et al 1985). En Costa Rica, al igual que en muchos países del trópico, ha existido una fuerte tendencia a la sustitución de razas locales por razas puras exóticas, con el fin de incrementar los niveles de producción de leche. Estas razas se han originado en regiones donde las condiciones climáticas y nutricionales son más favorables, en su mayoría, que las imperantes bajo condiciones locales; por lo que en algunos casos el rendimiento de estas razas se ve disminuido. Una alternativa a la cual ha recurrido el productor es la utilización de cruces entre razas cebuínas y razas europeas; con el fin de minimizar los problemas de poca adaptación de las razas puras.

La curva de lactancia de hembras rumiantes ha sido objeto de gran cantidad de investigación. La razón es evidente debido a la importancia biológica y económica del proceso de la lactancia. El patrón de producción de leche durante una lactancia en ausencia de factores limitantes o factores reductores, se divide básicamente en tres fases (Masselin et al 1987): fase calostrual, fase ascendente y fase descendente. La *fase calostrual* abarca los primeros 2-3 días de la lactancia, en los cuales la hembra produce el calostro.

Estos días generalmente no se registran ni se consideran a la hora de tipificar curvas de lactancia. Posterior a la fase calostrual, se inicia la fase *ascendente*, donde la producción se incrementará hasta alcanzar una producción máxima. Durante esta fase una característica importante por definir es la velocidad de ascenso o tasa de incremento en la producción de leche. Este factor está dado por el grado de inclinación de la curva en su fase ascendente. El momento del pico de la lactancia y el nivel absoluto de este pico son altamente dependientes de factores raciales y genéticos. Finalmente, en la fase *descendente* se produce una disminución paulatina de la producción hasta el momento del secado. En la fase descendente es también importante determinar la velocidad de descenso de la producción. Esta se define comúnmente como la *persistencia* de la producción y está dada por el grado de inclinación de la curva en el descenso. La persistencia también depende en gran parte de factores genéticos.

El modelo no lineal más conocido para la tipificación de curvas de lactancia en vacas lecheras es la función gama incompleta de Wood (Wood 1967). Este modelo consta de tres parámetros que describen el patrón de producción de leche durante la lactancia. El parámetro a se relaciona con el nivel de producción, mientras que los parámetros b y c definen el nivel de inclinación de la curva durante las fases ascendente y descendente, respectivamente. A partir de estos parámetros pueden derivarse otros parámetros de interés biológico como el tiempo estimado al pico de la lactancia ($t_{max} = b/c$), la producción al pico [$Pl_{max} = a \times (b/c)^b \times e^{-b}$] y la persistencia [$-(b+1) \times \ln(c)$].

En investigaciones previas se ha determinado que existe una relación positiva entre el peso corporal y el rendimiento de leche en la primera lactancia. Esta relación no significa necesariamente que las novillas genéticamente grandes son más deseables; sino aquellas que estén lo suficientemente desarrolladas al parto (Wattiaux s.f(a)). Por otro lado, algunos estudios indican que tasas de crecimiento aceleradas durante la etapa de crianza ($> 600 \text{ g día}^{-1}$) pueden causar efectos negativos sobre la producción en la primera lactancia (Sejrsen and Purup 1997, McDonald et al 2005).

Rueda et al (2005) encontraron efecto significativo de la ganancia de peso hasta los 280 kg sobre la producción de leche corregida a los 305 días ($P < 0.0001$) indicando que la producción corregida a 305 días se maximiza con tasas de crecimiento cercanas a 1.0 kg/d . Solano y Vargas (1997) realizaron un estudio para cuantificar el efecto de la velocidad de crecimiento prepubertal y pospubertal y la edad al primer parto sobre la producción de leche de hembras Jersey y Holstein en Costa Rica, encontrando que la producción de leche en la primera lactancia muestra un efecto lineal positivo sobre la velocidad de crecimiento durante la crianza y la edad al primer parto.

Actualmente no existe un estudio a nivel local, que compare la producción obtenida en distintas zonas agroecológicas tanto de las razas introducidas como de sus cruces. Es importante además estimar la relación entre parámetros de crecimiento y de rendimiento productivo. Un estudio de este tipo podría aportar información importante con el fin de identificar los tipos raciales más adecuados de acuerdo a las características agroecológicas de las distintas zonas de producción. El objetivo del presente estudio fue tipificar y comparar el rendimiento en producción de leche y grasa en primera lactancia entre grupos raciales lecheros procedentes de distintas zonas agroecológicas de Costa Rica y establecer si dicho rendimiento es afectado por la tasa de crecimiento durante la etapa de crianza.

Materiales y métodos

Fuentes de información

La información para este estudio se obtuvo de la base de datos del Centro Regional de Informática para la Producción Animal Sostenible (CRIPAS, Pérez et al 1989) adjunto a la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional de Costa Rica. Esta base de datos contiene información proveniente de alrededor de 844 fincas lecheras distribuidas en distintas zonas de Costa Rica, cuya información se almacena inicialmente en el programa de cómputo VAMPP (Noordhuizen y Buurman 1984). Se contó inicialmente con 408 847 registros de pesaje animal y 3 847 696 registros de producción de leche. Los datos incorporados en el presente análisis fueron recolectados en las fincas en el periodo comprendido entre el 1 de enero de 1980 hasta el 30 de abril del 2005.

Edición de los datos

Inicialmente, se procedió a clasificar las explotaciones por zona agroecológica, utilizando el la clasificación primaria del sistema de zonas de vida (Holdridge 1987). Las zonas incluidas fueron: Bosque seco tropical (BS-T), Bosque muy húmedo tropical (BMH-T), Bosque muy húmedo premontano (BMH-P), Bosque húmedo montano bajo (BH-MB), Bosque pluvial montano bajo (BP-MB), Bosque húmedo tropical (BH-T), Bosque húmedo premontano (BH-P), Bosque muy húmedo montano bajo (BMH-MB), Bosque muy húmedo montano (BMH-M).

Debido a la amplia gama de grupos raciales presentes en la población se realizó en algunos casos una agrupación de grupos raciales afines. Como resultado los grupos raciales resultantes fueron: Holstein (H8), Jersey (J8), Pardo Suizo (PS8), Guernsey (G8), cruces Holstein×Jersey con preponderancia Holstein (H+J-), cruces Holstein×Pardo Suizo con preponderancia Holstein (H+PS-), cruces Holstein×Jersey con preponderancia Jersey (H+J+), cruces Holstein×Pardo Suizo con con preponderancia Pardo Suizo (H-PS+), cruces Holstein×Jersey en iguales proporciones (H4J4), cruces Holstein×Simental en iguales proporciones (HSM), cruces Holstein×Pardo Suizo en iguales proporciones (H4PS4), cruces Bos Indicus×Bos Taurus con preponderancia Bos Indicus (BI+BT-), cruces Bos Indicus×Bos Taurus con preponderancia Bos Taurus (BI+BT+), cruces Bos Indicus×Bos Taurus en iguales proporciones (BI4BT4), cruces Jersey×Pardo Suizo en iguales proporciones (J4PS4).

Seguidamente, se realizó una depuración de datos adicional a los controles de calidad ya presentes en el programa VAMPP. Esta depuración se realizó con el fin de detectar y eliminar valores extremos considerados biológicamente improbables o imposibles; así como también para asegurar una mayor representatividad de los datos. En datos de crecimiento, se eliminaron los pesos corporales que presentaron más de tres desviaciones estándares con respecto al promedio observado para cada edad (en meses) dentro de raza en la población. Se seleccionaron los grupos raciales que contaron con un mínimo de 100 hembras con registros de peso corporal. Cada hembra debió contar con un mínimo de 5 registros de peso tomados antes de los 84 meses de edad. Con respecto a los datos de lactancia (leche y grasa), se seleccionaron solamente registros de primeras lactancias. Lactancias posteriores no se tomaron en cuenta en el presente estudio ya que se consideró que el potencial efecto del crecimiento sobre la producción de leche sería más evidente durante la primera lactancia. Se eliminaron registros de producción de leche menores a los 3 días de producción (periodo calostrado) y mayores a los 365 días. Se eliminaron registros de producción de leche que presentaron más de 3 desviaciones estándares con respecto al promedio observado para cada periodo de lactancia (1 periodo=2 semanas) dentro de grupo racial en la población. Se seleccionaron las razas que contaron con un mínimo de 100 lactancias con registros de producción en una determinada zona agroecológica. Se seleccionaron lactancias que contaron con un mínimo de tres registros de producción diarios de leche.

Tipificación de las curvas de lactancia

Una vez editados los datos se procedió a generar curvas de lactancia mediante el ajuste del modelo de Wood ($Y = a \times t^b \times e^{-c \times t}$

Wood 1967) a los datos de producción diaria de leche por grupo racial y zona agroecológica, utilizando el procedimiento NLIN (SAS 1990). A partir de los parámetros a , b y c de las curvas de lactancia se obtuvieron también otros parámetros de interés biológico, tales como el tiempo al pico de lactancia, la producción estimada al pico y la persistencia.

Se estimaron también las curvas de producción de grasa utilizando la función de Wood. En este caso, debido a la limitada disponibilidad de información, esta tipificación se pudo realizar únicamente para los grupos raciales H8, J8, G8, PS8, BI-BT+, H4J4, BI4BT4 y H-J+.

Relación entre crecimiento y producción de leche

Se utilizó un modelo de regresión lineal múltiple para determinar la relación observada en la población entre parámetros de crecimiento y parámetros de producción de leche en hembras de primer parto. La variable dependiente fue la producción de leche durante los primeros 100 días de la primera lactancia. Se evaluó la producción de solo 100 días con el fin de maximizar el número de registros disponibles, considerando además que de existir algún efecto de crecimiento sobre la producción, éste se verá reflejado principalmente sobre la fase inicial de la lactancia de las hembras de primer parto. La producción a 100 días se estimó con base en los registros diarios disponibles para cada hembra utilizando métodos de interpolación descritos por Gamboa (2004), basados en las curvas de lactancia generadas en la primera fase del presente estudio.

El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = m + ZA_i + GR_j + GR \times GDP1_k + GR \times GDP2_k + e_{ijk} \quad (1)$$

donde:

Y_{ijk}	=	$P100$, Producción acumulada a 100 días
m	=	Media general de la variable de respuesta
ZA_i	=	Efecto fijo de la i -ésima Zona Agroecológica,
GR_j	=	Efecto fijo del j -ésimo grupo racial,
$GDP1$	=	Ganancia de peso promedio (kg/mes) entre el nacimiento y los 12 meses, como covariable.
$GDP2$	=	Ganancia de peso promedio (kg/mes) entre 12 y 20 meses, como covariable.
e_{ijk}	=	Error aleatorio $NID(0, \sigma^2)$.

Los estimados de ganancia de peso (0 a 12 meses, 12 a 20 meses) se obtuvieron mediante el cálculo de coeficientes de regresión lineal simple con los datos de peso disponibles para cada animal dentro de cada uno de los periodos considerados. En el modelo se incluyó el efecto de GDD asociado con grupo racial ($GR \times GPD$) con el fin de evaluar si la relación entre crecimiento y producción es consistente entre los distintos grupos raciales.

La información disponible fue analizada mediante modelos estadísticos de regresión lineal múltiple utilizando el procedimiento GLM (SAS 1990).

Resultados y discusión

Tipificación de curvas de lactancia

Después de la edición de los datos, se contó con un total de 76 grupos de raza×zona agroecológica con suficiente información para el ajuste de las curvas de primera lactancia. Después del proceso de edición de los datos el total de registros de producción diarios resultante fue de 989 200. La distribución de la información entre grupos raciales y zonas fue muy irregular. Las zonas con mayor cantidad de información fueron BMH-P (22.1%) y BMH-T (22.0%) y las de menor cantidad fueron BMH-M (2.22%) y BS-T (1.03%). Los grupos raciales con mayor cantidad de información fueron H8 (50.5%) y J8 (29.4%) y los de menor cantidad fueron G4H4 (0.22%) y HSM (0.18%).

La tabla 1 muestra los parámetros finales de la curva de lactancia obtenidos mediante el ajuste del modelo Wood a los grupos de raza×zona agroecológica.

Tabla 1. Parámetros de la curva de lactancia según el modelo de Wood para distintos grupos raciales en diferentes zonas agroecológicas de Costa Rica

Zona	Grupo racial	A	$E.E_A^1$	B	C	Día-pico	Kgs pico	Kg 305-d
bh-t	BI4BT4	8.37	0.17	0.096	0.025	57.7	11.2	2470.7
bmh-mb	BI4BT4	14.03	0.44	0.033	0.019	26.0	15.1	3896.4
bmh-p	BI4BT4	9.18	0.21	0.035	0.021	25.4	9.9	2523.9
bmh-t	BI4BT4	13.51	0.37	0.039	0.030	20.3	14.6	3447.4
bs-t	BI4BT4	8.67	0.59	0.000	0.027	0.0	8.7	2103.5
bh-t	BI-BT+	15.49	0.20	0.076	0.036	31.9	18.7	3973.8
bmh-p	BI-BT+	12.36	0.29	0.094	0.028	51.6	16.3	3550.2
bmh-t	BI-BT+	15.80	0.44	0.164	0.047	52.9	25.7	4316.1
bs-t	BI-BT+	16.46	0.68	0.290	0.060	73.6	42.8	5074.6
bh-mb	G4H4	16.34	0.58	0.243	0.052	70.9	36.0	4950.6
bmh-mb	G4H4	18.51	0.59	0.047	0.021	33.8	20.8	5183.1
bmh-p	G4H4	13.07	0.68	0.141	0.036	58.6	20.1	3774.2
bmh-t	G4H4	15.94	0.44	0.000	0.027	0.0	15.9	3888.6
bh-mb	G8	19.64	0.47	0.112	0.041	41.2	26.6	5137.1
bh-p	G8	13.45	0.27	0.144	0.025	87.0	22.2	4365.0
bmh-mb	G8	17.24	0.30	0.064	0.026	36.8	20.4	4743.8
bmh-p	G8	14.75	0.64	0.086	0.034	38.7	18.5	3945.0
bmh-t	G8	14.38	0.76	0.035	0.030	17.8	15.3	3638.7
bs-t	G8	13.78	0.89	0.208	0.050	63.0	26.5	3975.5
bh-mb	H+J-	17.37	0.46	0.179	0.036	76.1	31.6	5440.7
bh-p	H+J-	18.85	0.62	0.132	0.034	58.8	28.3	5476.2
bh-t	H+J-	13.30	0.68	0.178	0.050	53.8	22.6	3618.1
bmh-mb	H+J-	17.05	0.44	0.143	0.036	60.1	26.5	4960.0
bmh-p	H+J-	17.22	0.50	0.114	0.034	51.1	24.1	4842.9
bmh-t	H+J-	15.34	0.28	0.127	0.036	54.1	22.4	4351.0
bh-t	H+PS-	13.22	0.41	0.106	0.031	51.8	18.1	3763.5
bmh-p	H+PS-	18.25	0.39	0.109	0.045	36.7	24.2	4582.9
bmh-t	H+PS-	14.57	0.31	0.260	0.054	73.0	34.3	4474.8
bh-mb	H4J4	15.11	0.55	0.081	0.025	49.2	19.1	4347.0
bh-p	H4J4	19.76	0.47	0.145	0.041	54.2	30.5	5527.9
bh-t	H4J4	12.42	0.34	0.034	0.028	18.5	13.3	3186.9
bmh-m	H4J4	17.94	1.24	0.062	0.025	38.2	21.1	4993.0
bmh-mb	H4J4	15.24	0.28	0.088	0.034	40.0	19.3	4097.7

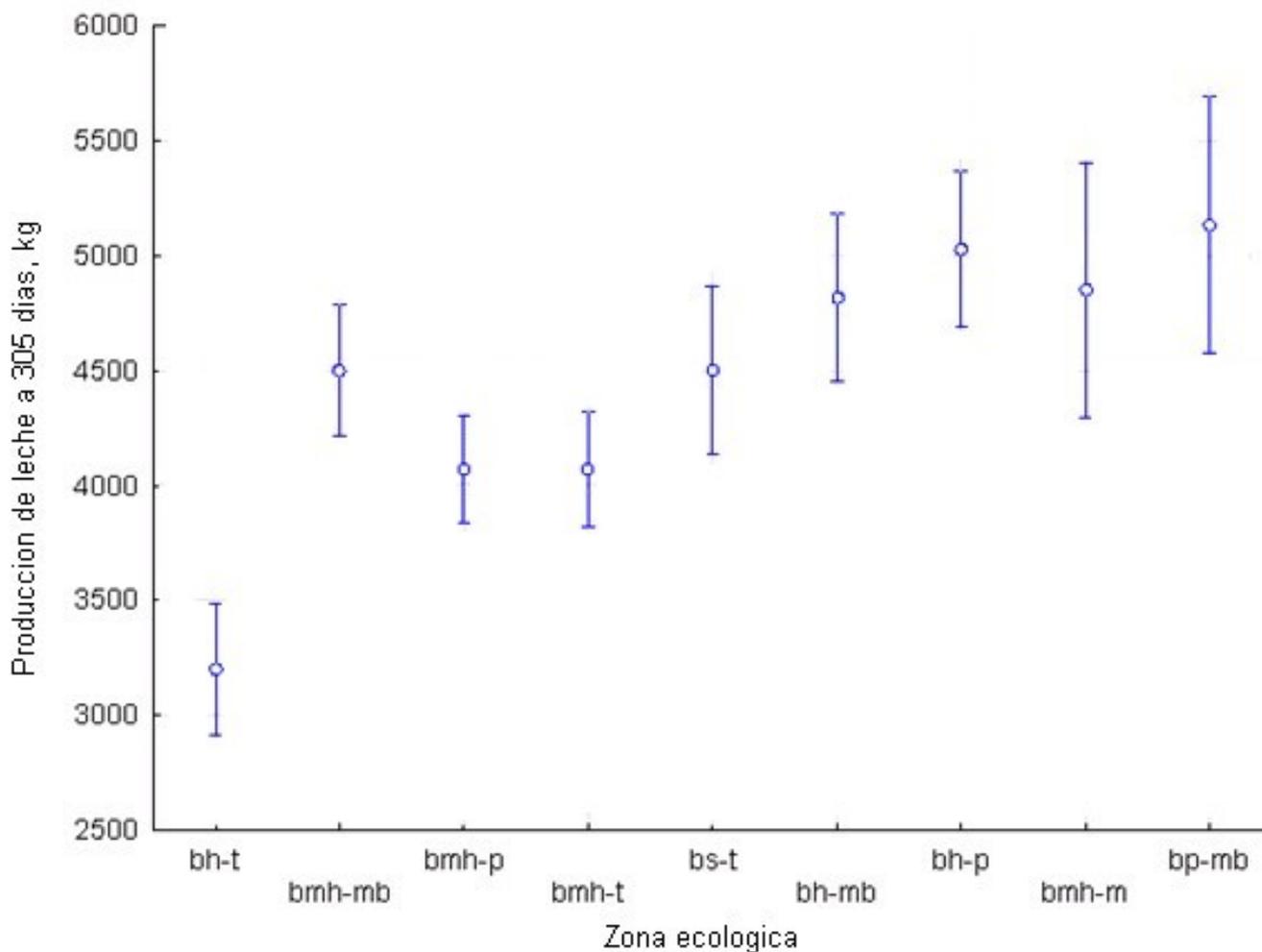
bmh-p	H4J4	15.12	0.28	0.125	0.038	49.7	21.8	4168.0
bh-t	BI4BT4	8.37	0.17	0.096	0.025	57.7	11.2	2470.7
bmh-mb	BI4BT4	14.03	0.44	0.033	0.019	26.0	15.1	3896.4
bmh-p	BI4BT4	9.18	0.21	0.035	0.021	25.4	9.9	2523.9
bmh-t	BI4BT4	13.51	0.37	0.039	0.030	20.3	14.6	3447.4
bs-t	BI4BT4	8.67	0.59	0.000	0.027	0.0	8.7	2103.5
bh-t	BI-BT+	15.49	0.20	0.076	0.036	31.9	18.7	3973.8
bmh-p	BI-BT+	12.36	0.29	0.094	0.028	51.6	16.3	3550.2
bmh-t	BI-BT+	15.80	0.44	0.164	0.047	52.9	25.7	4316.1
bmh-t	H4J4	14.76	0.29	0.105	0.035	45.4	19.8	4035.0
bp-mb	H4J4	17.32	0.65	0.145	0.054	40.4	25.6	4265.9
bh-p	H4PS4	17.39	1.30	0.187	0.037	76.3	32.5	5451.9
bh-t	H4PS4	11.65	0.39	0.000	0.035	0.0	11.7	2646.2
bmh-mb	H4PS4	15.57	0.62	0.065	0.027	36.9	18.4	4277.4
bmh-p	H4PS4	15.16	0.38	0.153	0.047	49.5	23.6	4059.4
bmh-t	H4PS4	15.04	0.45	0.112	0.034	49.4	20.8	4193.3
bh-mb	H8	19.93	0.29	0.131	0.032	61.8	30.0	5886.6
bh-p	H8	19.55	0.27	0.161	0.037	66.2	32.7	5844.4
bh-t	H8	13.40	0.46	0.005	0.020	3.6	13.4	3521.9
bmh-m	H8	19.91	0.39	0.117	0.027	65.6	28.9	6014.8
bmh-mb	H8	17.20	0.23	0.127	0.034	56.3	25.2	4940.3
bmh-p	H8	18.96	0.27	0.144	0.033	65.8	30.0	5682.4
bmh-t	H8	17.03	0.26	0.131	0.037	53.8	25.2	4802.9
bp-mb	H8	21.67	0.41	0.190	0.041	70.3	40.2	6585.7
bs-t	H8	17.76	0.36	0.175	0.045	59.3	30.4	5056.4
bh-mb	H-J+	15.45	0.41	0.071	0.027	40.2	18.7	4284.9
bh-p	H-J+	16.72	0.75	0.183	0.045	62.1	29.7	4835.0
bh-t	H-J+	11.75	0.60	0.061	0.030	31.0	13.6	3108.5
bmh-mb	H-J+	14.93	0.32	0.114	0.036	47.9	20.7	4107.5
bmh-p	H-J+	14.82	0.31	0.144	0.042	51.7	22.6	4075.9
bmh-t	H-J+	14.21	0.34	0.085	0.030	43.7	18.0	3944.2
bs-t	H-J+	15.12	0.49	0.186	0.040	70.7	27.7	4608.8
bmh-p	H-PS+	16.07	0.27	0.169	0.047	54.8	26.7	4437.9
bh-p	HSM	14.31	0.63	0.302	0.060	76.2	39.2	4501.1
bmh-p	HSM	15.17	0.82	0.060	0.023	38.6	17.8	4253.3
bmh-t	HSM	13.82	0.54	0.113	0.029	58.3	19.5	4048.1
bh-t	J4PS4	11.75	0.72	0.081	0.030	40.6	14.6	3211.2
bmh-mb	J4PS4	13.38	1.18	0.094	0.020	72.6	18.2	4157.6
bmh-p	J4PS4	13.19	0.45	0.132	0.042	47.5	19.3	3546.9
bmh-t	J4PS4	13.49	0.51	0.113	0.038	44.9	18.5	3636.3
bh-mb	J8	15.49	0.38	0.092	0.031	44.8	20.1	4289.8
bh-p	J8	16.29	0.35	0.110	0.033	51.0	22.5	4594.1
bh-t	J8	11.32	0.44	0.000	0.022	0.0	11.3	2887.8
bmh-m	J8	14.23	0.40	0.123	0.037	50.8	20.4	3959.3
bmh-mb	J8	14.95	0.36	0.107	0.035	46.9	20.3	4120.1
bmh-p	J8	14.73	0.37	0.077	0.030	39.5	18.1	4026.1

¹ EE_A Error Estándar del parámetro A

El promedio del coeficiente de determinación (R^2) obtenido para este ajuste fue superior a 0.99, con un error estándar de estimación de 0.62 kg día⁻¹. Asimismo, el promedio obtenido para el coeficiente Durbin Watson fue de 1.30, lo que indicó una ausencia de autocorrelación.

Los parámetros obtenidos fueron consistentes en su mayoría. Los errores estándares del parámetro A fueron en su gran mayoría menores de 1 kg, lo que indica que la precisión de las curvas es satisfactoria en la mayoría de los casos. En algunos casos se obtuvieron valores de 0 para el parámetro B. Este resultado se obtuvo principalmente en grupos raciales con lactancias de baja producción donde no se observó un pico de producción marcado, por lo que la curva ajustada careció de fase ascendente.

Un análisis de varianza sobre la variable Producción de Leche a 305 días, con base en los parámetros de la tabla 1, indicó que existen efectos altamente significativos ($p < 0.01$) tanto de la zona agroecológica como del grupo racial sobre la producción a 305 d. En cuanto a las diferencias entre zonas se observan tres distintos niveles de producción (Figura 1, superior).



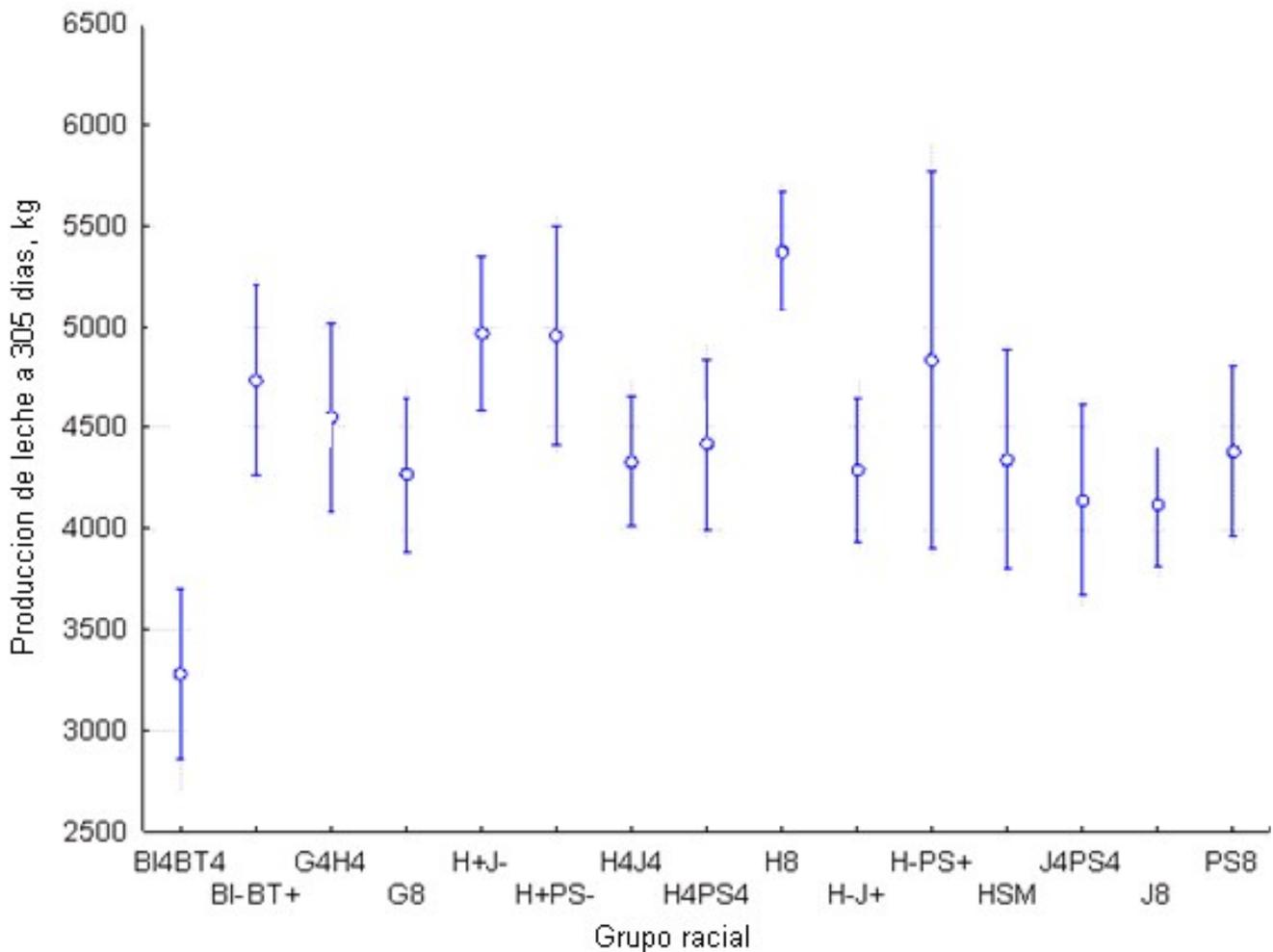


Figura 1. Medias de mínimos cuadrados (+IC95%) para la variable Producción de Leche a 305 días (Kg) según Zona Agroecológica (superior) y Grupo Racial (inferior)

Las zonas en las cuales se observaron mayores producciones de leche a 305-d fueron BP-MB, BMH-M, BH-P y BH-MB. Estas zonas corresponden a las regiones de mayor altitud y con clima más templado, aptos para la ganadería de leche especializada. Por el contrario la zona con la menor producción por lactancia fue BH-T, que corresponde a la zona más baja y con mayores temperaturas. Las demás zonas muestran un nivel de producción intermedio.

En cuanto a las razas, se observó un rango de variación de 2889 kg para BI4BT4 hasta 5370 kg para Holstein. Como se observa en la figura 1 (inferior) los intervalos de confianza son amplios por lo que las diferencias entre razas no son significativas en algunos casos. Sin embargo, los grupos raciales con tendencia a una mayor producción son principalmente la raza Holstein y sus cruces con Pardo Suizo o Jersey, mientras que los de menor producción son BI4BT4, J4PS4 y PS8. Estas diferencias son congruentes con el patrón de producción generalmente encontrado en estos grupos raciales.

Aunque las producciones de leche de cada raza variaron sustancialmente entre distintas zonas, las diferencias relativas entre razas se mantuvieron bastante consistentes en las distintas zonas agroecológicas. Es decir, las razas con mayor o menor producción tendieron, salvo pocas excepciones, a ser las mismas en las distintas zonas. Se debe considerar sin embargo, que no todas las razas estuvieron presentes en cada una de las zonas por lo que no fue posible evaluar la significancia estadística del efecto de interacción zona×raza.

En la figura 2 se presenta un ejemplo de la variación observada en curvas de lactancia de la raza Holstein entre distintas zonas agroecológicas.

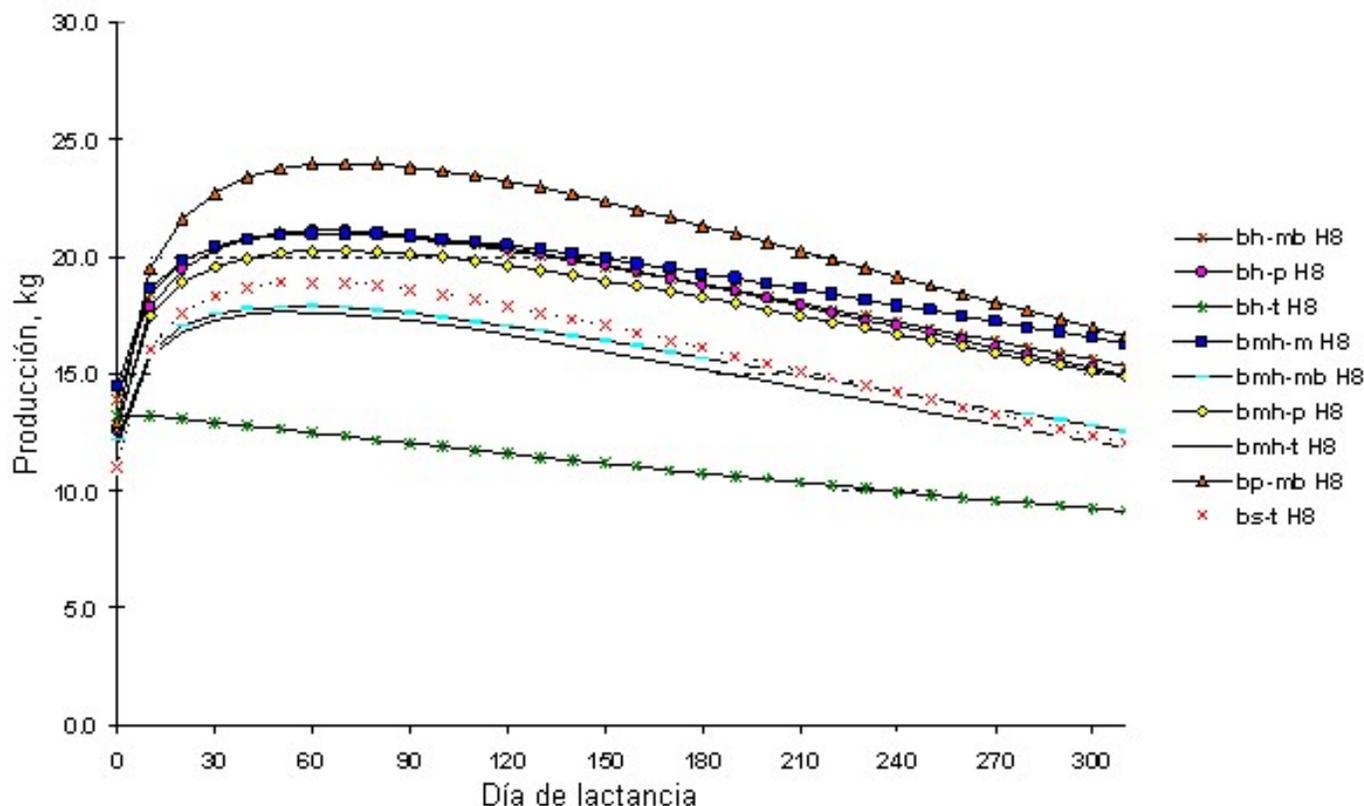


Figura 2. Curvas de lactancia estimadas según el modelo de Wood para hembras de raza Holstein en distintas zonas agroecológicas de Costa Rica

Para esta raza, la curva de menor elevación se da en la zona BH-T donde la producción por lactancia es de 3522 kg, mientras que la más elevada se obtiene en la zona BP-MB con 6586 kg por lactancia. La zona BP-MB se caracteriza por presentar una vegetación siempre verde lo que favorece las condiciones de manejo de la raza Holstein, originaria de zonas templadas. La zona BH-T es por el contrario es una zona caliente y húmeda a la vez, lo cual puede afectar el comportamiento productivo de esta raza. Es evidente además, que existen diferencias marcadas en los sistemas de producción que han evolucionado en las distintas zonas agroecológicas, ya que las lecherías más intensivas tienden a ubicarse en las regiones más templadas.

En la figura 3 se presenta un ejemplo de la variación observada en curvas de lactancia de distintos grupos raciales dentro de la zona BMH-P.

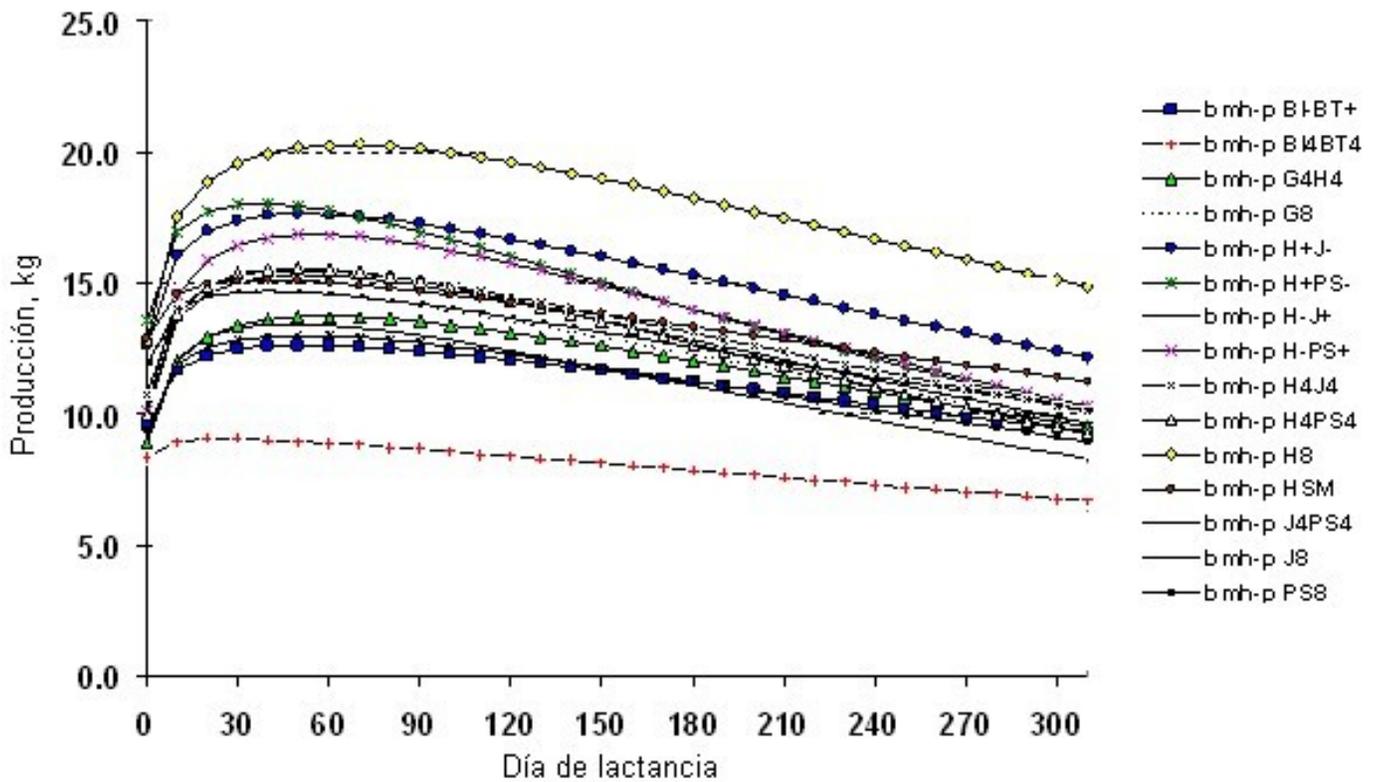


Figura 3. Curvas de lactancia estimadas según el modelo de Wood para hembras de distintos grupos raciales dentro de la zona agroecológica BMH-P de Costa Rica

Se observa como las curvas más elevadas pertenecen a H8, H+PS- y H+J- con producciones cercanas a los 20 kg al inicio de la lactancia en el caso de H8. Por el contrario las curvas menos elevadas corresponden a BI4BT4. En este gráfico también es posible apreciar que algunas curvas no son paralelas lo que significa que algunas razas presentan mayor persistencia que otras. La zona BMH-P presenta rangos de precipitación bastante altos (2000-4000) y temperaturas intermedias.

Se observó además una gran variabilidad en el parámetro de tiempo (días) al pico de la lactancia. El promedio observado fue de 48.6 ± 19.5 d. No se observaron diferencias raciales consistentes en tiempo al pico, aunque sí entre zonas. Las zonas de mayor producción tendieron a presentar una fase ascendente más tardía (>60 d) en comparación con las zonas de menor producción, donde los picos se alcanzan más temprano o en algunos casos son casi inexistentes. Asimismo se observó una correlación positiva de 0.75 ($p < 0.01$) entre la producción al pico de la lactancia y el tiempo al pico, es decir se observaron picos más tardíos conforme se eleva el nivel de producción.

Por otra parte, el ajuste de curvas de producción de grasa de primera lactancia se pudo realizar solamente con 25 grupos de raza \times zona agroecológica. El R^2 del modelo Wood fue de 0.99 (± 0.005) y el error estándar fue de 0.039 kg (± 0.023). Por otro lado, el valor obtenido para el coeficiente Durbin-Watson fue de 1.89, indicando ausencia de autocorrelación.

Los parámetros de la curva obtenidos para los 25 grupos se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros de la curva de producción de grasa según el modelo de Wood para distintos grupos raciales en diferentes zonas agroecológicas de Costa Rica

Zona	Grupo racial	A	E.E.A ¹	B	C	Día pico	Kg pico	Kg 305-d
bh-t	BI4BT4	0.454	0.039	0.000	0.0115	0.0	0.454	127.8

bh-t	BI-BT+	0.552	0.018	0.116	0.0347	51.0	0.332	154.9
bs-t	BI-BT+	0.612	0.050	0.243	0.0450	82.2	0.226	198.6
bh-mb	G8	0.737	0.014	0.040	0.0151	39.9	0.599	215.7
bh-mb	H4J4	0.689	0.065	0.107	0.0192	84.4	0.407	220.6
bmh-p	H4J4	0.643	0.050	0.255	0.0530	73.1	0.236	197.8
bmh-t	H4J4	0.621	0.067	0.167	0.0404	62.9	0.308	181.7
bh-mb	H8	0.777	0.007	0.050	0.0179	42.5	0.604	225.9
bh-p	H8	0.638	0.017	0.141	0.0289	74.0	0.337	198.3
bmh-m	H8	0.885	0.045	0.067	0.0176	57.5	0.633	266.0
bmh-mb	H8	0.580	0.011	0.010	0.0117	12.6	0.550	165.8
bmh-p	H8	0.755	0.015	0.000	0.0096	0.0	0.755	216.2
bmh-t	H8	0.619	0.020	0.193	0.0456	64.2	0.282	181.1
bp-mb	H8	0.793	0.015	0.050	0.0168	45.0	0.615	232.6
bs-t	H8	0.709	0.036	0.133	0.0316	64.0	0.392	211.4
bmh-p	H-J+	0.717	0.030	0.212	0.0475	67.7	0.304	213.4
bs-t	H-J+	0.589	0.048	0.343	0.0511	102.0	0.151	220.2
bh-mb	J8	0.696	0.014	0.082	0.0199	62.4	0.465	210.6
bh-p	J8	0.653	0.017	0.098	0.0167	89.0	0.397	210.5
bmh-mb	J8	0.786	0.016	0.009	0.0108	12.5	0.748	226.3
bmh-p	J8	0.609	0.020	0.132	0.0297	67.6	0.335	184.5
bmh-t	J8	0.579	0.036	0.000	0.0146	0.0	0.579	158.1
bp-mb	J8	0.739	0.018	0.104	0.0186	85.1	0.439	236.7
bs-t	J8	0.571	0.018	0.283	0.0419	102.8	0.175	207.0
bs-t	PS8	0.628	0.089	0.249	0.0486	77.8	0.231	199.1

¹ EE_A Error Estándar del parámetro A

Los valores obtenidos se mantuvieron en su mayoría dentro de rangos normales, aunque nuevamente ocurrieron algunos casos con valores de 0 para el parámetro B, indicando curvas sin fase ascendente. Los errores estándares del parámetro A fueron bajos en todos los casos indicando una precisión adecuada de los estimados.

El análisis de varianza de la producción de grasa a 305 d, calculada con base en los parámetros de la tabla 2, indicó que existen efectos altamente significativos de zona agroecológica, pero no de grupo racial. Al igual que con la producción de leche, las zonas con mayores producciones de grasa por lactancia fueron BMH-M y BP-MB, mientras que la zona con menor producción fue BH-T.

Las diferencias entre grupos raciales para producción de grasa (figura 4) fueron menos marcadas que las observadas para producción de leche y mostraron un patrón distinto.

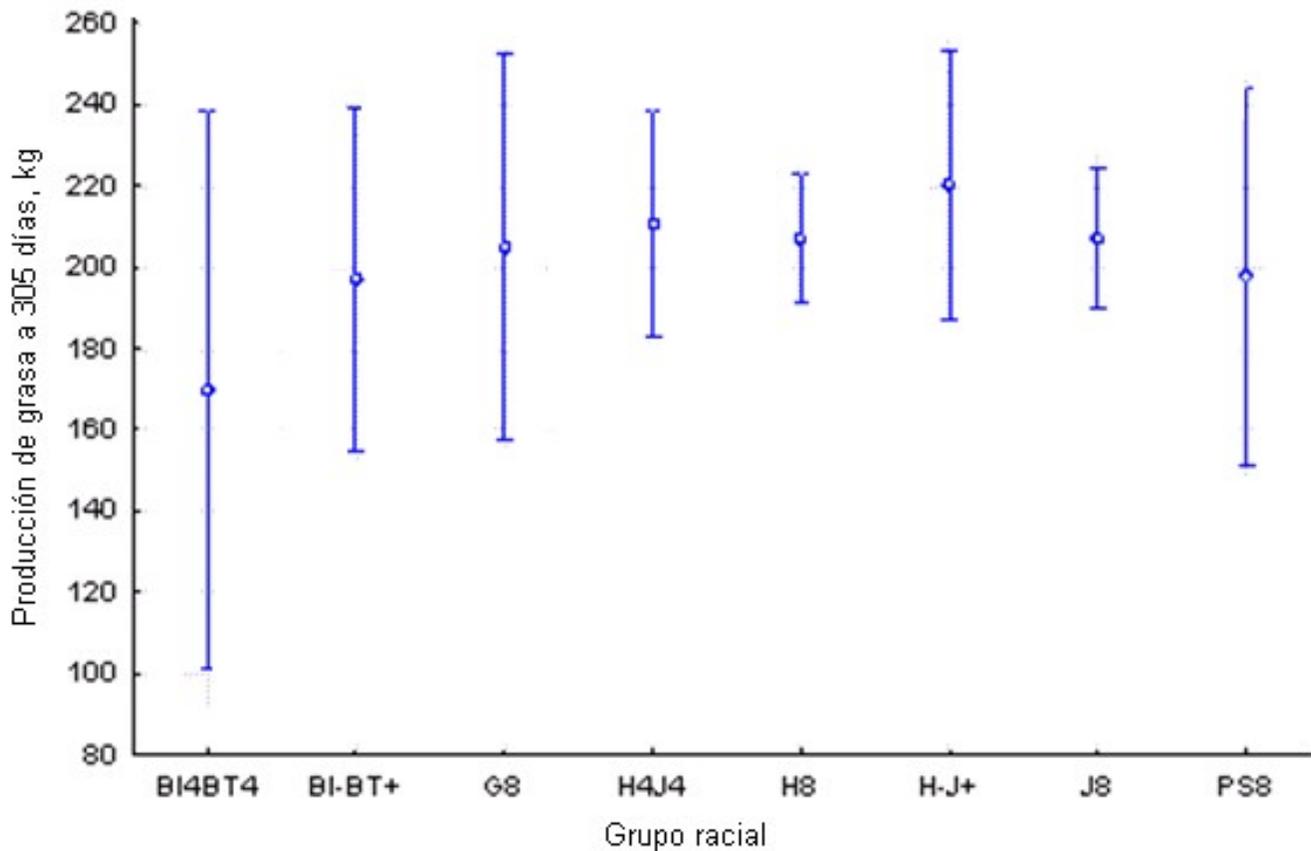


Figura 4. Medias de mínimos cuadrados (+IC95%) para la variable Producción de Grasa a 305 días (Kg) según Grupo Racial

El grupo racial con menor producción de grasa fue BI4BT4. Las razas con mayor producción de grasa fueron H-J+, G8, H8 y J8. Es importante recalcar que, a pesar de la amplia diferencia en producción de leche de la raza Holstein sobre la Jersey (>1200 kg), en términos de grasa su producción no presenta diferencia estadísticamente significativa (12 kg, $p > 0.05$).

Este resultado es importante ya que el sistema de pago local se realiza con base en los kilogramos de sólidos totales, y no en el volumen de leche. Considerando que un estudio paralelo (Vargas y Ulloa 2008) muestra que la raza Jersey presenta una menor edad a primer parto y un menor intervalo parto concepción, se podría establecer que en términos bioeconómicos la raza Jersey sería un animal mucho más eficiente bajo las circunstancias que se analizan. Otros estudios (Teodoro y Madalena 2005) han reportado también conclusiones similares con respecto a la raza Jersey.

En la figura 5 se presenta un ejemplo de la variación observada en las curvas de producción de grasa de la raza Holstein en distintas zonas agroecológicas.

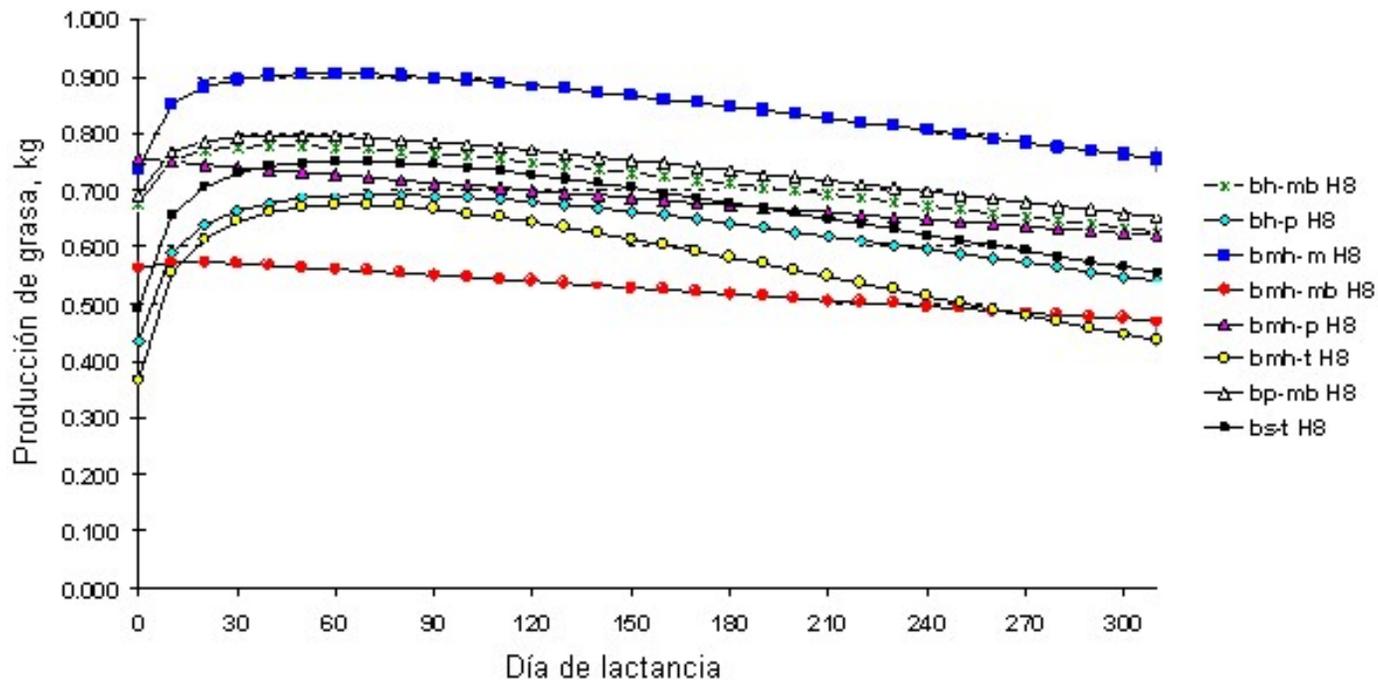


Figura 5. Curvas de producción de grasa estimadas según el modelo de Wood para hembras de raza Holstein en distintas zonas agroecológicas de Costa Rica

La zona que mejores resultados presentó fue BMH-M con producciones superiores a 1 kilogramo de grasa en los primeros días de lactancia. La zona que menores producciones presentó fue la del BMH-MB con producciones cercanas a 0.9 kilos de grasa en los primeros días de la lactancia.

En la figura 6 se presenta un ejemplo de la variación observada en las curvas de producción de grasa de distintos grupos raciales dentro de la zona BS-T.

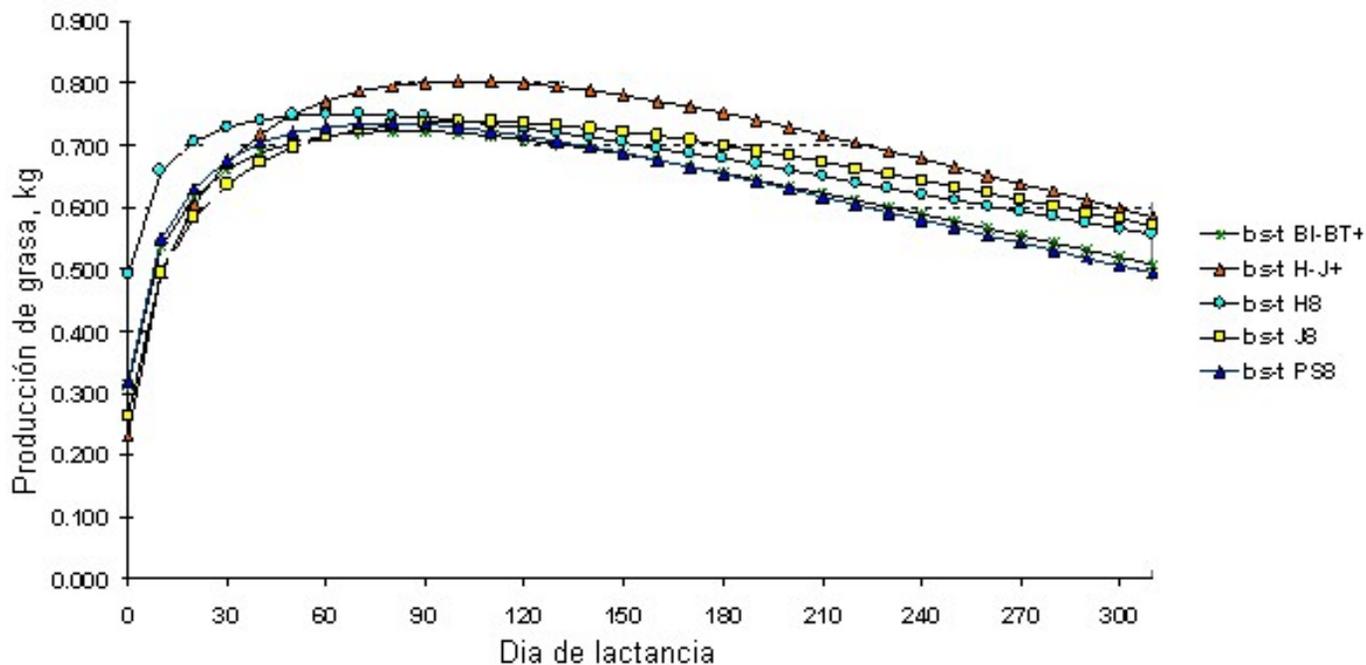


Figura 6. Curvas de producción de grasa estimadas según el modelo de Wood para hembras de distintos grupos raciales dentro de la zona agroecológica BS-T de Costa Rica

En esta zona se observa una curva más elevada para grupo H-J+, mientras que la curva de PS8 es la menos elevada. En el caso de la raza H8 inicia con una curva elevada pero luego cae después del pico de lactancia. Por el contrario la raza Jersey inicia con una curva menos elevada al principio pero presenta un pico más tardío y es más persistente hacia el final.

Se realizó un análisis más detallado solamente con las razas Holstein y Jersey en las 7 zonas agroecológicas donde ambas razas estuvieron presentes. En estos datos se obtuvieron promedios prácticamente iguales de producción de grasa a 305 d para ambas razas (204.5 kg J, vs 204.8 kg H). Aunque en algunos casos se observa un pico más elevado para Holstein, el tiempo al pico es más tardío en la Jersey (43 d. H vs. 59 d. J). Esto parece confirmar entonces que la raza Jersey presenta una mayor persistencia en la producción de grasa, hasta el punto de compensar su inferioridad en volumen de producción de leche.

Relación entre crecimiento y producción de leche

De acuerdo con los resultados del análisis estadístico existen efectos altamente significativos ($p < 0.01$) de los factores raza y zona agroecológica sobre la producción de leche durante los primeros 100 días de la primera lactancia. De la misma manera se observó un efecto altamente significativo ($p < 0.01$) de la interacción Raza \times Ganancia de Peso. El R^2 para este modelo fue 0.42.

Los coeficientes de regresión de GPD1 y GPD2 mostraron en general un efecto positivo de la ganancia de peso sobre la Producción de Leche a 100 días. La magnitud del coeficiente de regresión de GPD1 sobre P100 varió entre -22.9 ($p > 0.05$) para BI-BT+ hasta 47.9 ($p < 0.01$) para Guernsey. Es decir, en el caso de Guernsey se observa un incremento aproximado de 47.9 kg en P100 por cada kilogramo adicional de ganancia de peso mensual durante el primer año de crecimiento. Aunque se observaron coeficientes negativos para BI-BT+ y H4PS4 estos no fueron estadísticamente significativos.

De manera similar, el coeficiente de regresión de GPD2 sobre P100 varió entre -3.9 ($p > 0.05$) para BI-BT+ y 27.9 ($p < 0.01$) para Holstein. Es decir, en el caso de Holstein se observa un incremento aproximado de 27.9 kg en P100 por cada kilogramo adicional de ganancia de peso mensual durante el periodo comprendido entre 12 y 20 meses de edad. Nuevamente se observaron coeficientes negativos para BI-BT+ y H4PS4, pero estos no fueron estadísticamente significativos.

Estudios previos a nivel experimental (Sejrsen y Purup 1997; Lammers et al 1999; MacDonald et al 2005) sugieren un efecto inverso de la ganancia de peso en las etapas pre y pos pubertales sobre la producción de leche durante la primera lactancia. Sin embargo estos estudios están enfocados a comparar ganancias de peso estándares ($p.e < 700$ g/día en Holstein) contra ganancias de peso aceleradas (> 900 g/día). En las condiciones del presente estudio las ganancias de peso promedio encontradas a nivel de finca clasifican como estándares. Por ejemplo, para Holstein GPD1 y GPD2 fueron de 0.64 kg día⁻¹ y 0.52 kg día⁻¹. Para la raza Jersey los promedios respectivos fueron de 0.49 kg día⁻¹ y 0.36 kg día⁻¹. En estos rangos de ganancia de peso no es de esperar ningún efecto negativo sobre la producción en primera lactancia. Por el contrario, una mayor ganancia de peso en estas circunstancias se relaciona generalmente con una mejor condición nutricional al momento del primer parto y probablemente esa sea la razón de que en el presente estudio se observe una relación positiva entre GPD y P100 para la mayoría de los grupos raciales involucrados.

Conclusiones

- Los resultados obtenidos en este estudio dejan ver que existe un efecto marcado de los factores raza y zona agroecológica sobre la producción de leche a 305 días en primera lactancia. Las zonas en las cuales se observaron mayores corresponden a las regiones de mayor altitud y con clima más templado. Los grupos raciales con tendencia a una mayor producción son principalmente la raza Holstein y sus cruces con Pardo Suizo o Jersey.
- No se observaron diferencias marcadas en producción de grasa durante la primera lactancia entre los distintos grupos raciales. Este resultado es importante ya que representaría una ventaja de la raza Jersey (y razas pequeñas) sobre la raza Holstein (y otras razas de mayor envergadura) sobre todo si se considera que la raza Jersey también presenta un mejor rendimiento reproductivo y el sistema de pago actual está basado en contenido de sólidos en la leche.
- Los resultados del estudio permiten además establecer que existe un efecto positivo del crecimiento durante la crianza sobre la producción de los primeros 100 días de la primera lactancia. Este efecto es consistente y significativo para todos los grupos raciales, excepto BI-BT + y H4PS4.

Referencias

Gamboa G 2004 Evaluación de efectos ambientales y genéticos sobre producción de leche de vacas Holstein y Jersey en Costa Rica. Tesis M.Sc. Universidad Nacional, Costa Rica. 95 p.

Holdridge L R 1987 Ecología basada en zonas de vida. Traducido por Humberto Jiménez Saa. San José, Costa Rica. IICA. 216 p.

Labbé S, Abreu O y Perozo N 1985 Factores que afectan la primera lactancia de vacas criollas limoneras. *Zootecnia Tropical* 1(1 y 2):41-53 <http://www.ceniap.gov.ve/pbd/RevistasCientificas/ZootecniaTropical/zt0112/texto/limoneras.htm>

Lammers B P, Heinrichs A J and Kensinger R S 1999 The effects of accelerated growth rates and estrogen implants in prepubertal Holstein heifers on estimates of mammary development and subsequent reproduction and milk production. *Journal of Dairy Science* 82:1753–1764 <http://jds.fass.org/cgi/reprint/82/8/1753>

MacDonald K A, Penno J W, Bryant A M and Roche J R 2005 Effect of feeding level Pre- and Post-Puberty and body weight at first calving on growth, milk production, and fertility in grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science* 88:3363–3375 <http://jds.fass.org/cgi/reprint/88/9/3363>

Masselin S, Sauvant P, Chapoutot D et Milan D 1987 Les modèles d'ajustement des courbes de lactation. *Annales de Zootechnie* 36 (2): 171-206 http://animres.edpsciences.org/index.php?option=article&access=standard&Itemid=129&url=/articles/animres/pdf/1987/02/Ann.Zootech._0003-424X_1987_36_2_ART0006.pdf

Noordhuizen J P T and Buurman J 1984 Veterinary automated management and production control program for dairy farms (VAMPP). The application of MUMPS for data processing. *Veterinary Quarterly* 6:62-77

Pérez E, Baayen M T, Capella E and Barkema H 1989 Development of a livestock information system for Costa Rica. In: H Kuil, R W Palin and J E Huhn (Editors). *Livestock Production and Diseases in the Tropics*. Proceedings of the 4th International Conference. Institute of Tropical Veterinary Medicine Utrecht, The Netherlands, pp. 221-224

Rueda A, Santa N I y Correa H J 2005 Relación entre la tasa de crecimiento hasta el primer parto y la producción de leche durante la primer lactancia en vacas Holstein. Universidad Nacional de Colombia.

SAS Inst. Inc. 1990 SAS User's Guide: Statistics, Version 6.0 Edition. Cary, NC.

StatSoft Inc. 2001. STATISTICA (data analysis software system), version 6. www.statsoft.com.

Sejrsen K and Purup S 1997 Influence of prepubertal feeding level on milk yield potential of dairy heifers: A Review. Journal of Animal Science 75:828–835 <http://jas.fass.org/cgi/reprint/75/3/828>

Solano Patiño C y Vargas Leitón B 1997 El crecimiento de novillas de reemplazo en fincas lecheras de Costa Rica 2. El efecto de la velocidad de crecimiento y la edad al primer parto sobre la subsecuente producción de leche. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal 5: 37-150

Teodoro R L and Madalena F E 2005 Evaluation of crosses of Holstein, Jersey or Brown Swiss sires × Holstein-Friesian/Gir dams. 3. Lifetime performance and economic evaluation. Genetics and Molecular Research 4: 84-93 <http://www.funpecrp.com.br/GMR/year2005/vol1-4/pdf/gmr0115.pdf>

Vargas B, Koops W J, Herrero M and Van Arendonk J A M 2000 Modeling extended lactation of dairy cows. Journal of Dairy Science 83: 1371-1380 <http://jds.fass.org/cgi/reprint/83/6/1371>

Vargas B y Ulloa J 2008 Relación entre curvas de crecimiento y parámetros reproductivos en grupos raciales lecheros de distintas zonas agroecológicas de Costa Rica. Volume 20, Article # 103. Retrieved , from <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd20/7/varg20103.htm>

Wood P D P 1967 Algebraic model of the lactation curve in cattle. Nature (London) 216:164–165