

Efecto del estrés calórico sobre parámetros de la curva de lactancia de un rebaño lechero en el trópico

Heat stress effect on parameters of lactation curves from a dairy herd in the tropics

^{1*} Lucena, C.

¹Profesor Titular, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado,
Decanato de Ciencias Veterinarias, Barquisimeto, Estado Lara, Venezuela.
Teléfono: 0251 2592451. e-mail: cseijas@ucla.edu.ve

RESUMEN

El objetivo fue analizar los efectos climáticos de temperatura ambiental (TA) y humedad relativa (HR) sobre los parámetros de ajuste del modelo matemático de Wood para la descripción de la curva de lactancia de vacas en un rebaño lechero Pardo Suizo, manejado en forma intensiva en Venezuela. Se consideraron datos de 4260 pesadas diarias de leche de 491 lactancias y se ajustaron con el modelo de regresión no lineal de Wood a través del programa PROC NLIN del SAS. Se calculó el Índice de Temperatura-Humedad (ITH) clasificándolo en alto con un valor igual o mayor a 72 y bajo con un valor menor a 72. El efecto del ITH sobre los parámetros *a*, *b* y *c* del modelo de Wood se analizó con un modelo general lineal. El ITH no tuvo un efecto significativo sobre el parámetro *a* de la curva, por lo que las vacas presentaron un nivel inicial de producción independiente de los efectos ambientales combinados de temperatura y humedad relativa. El ITH tuvo un efecto altamente significativo sobre los parámetros *b* y *c* del modelo de Wood ($P < 0,01$), de manera que vacas con curvas de lactancia asociadas a valores altos de ITH presentaron un menor ritmo de ascenso de la producción después del parto y una tasa de descenso más acentuada después del pico de producción.

Palabras Clave: Estrés calórico, vacas, curva de lactancia, trópico.

ABSTRACT

Aim was to analyze climatic effects of ambient temperature (AT) and relative humidity (RH) on adjustment parameters of mathematical model of Wood for describing lactation curve of cows in a dairy Brown Swiss herd managed intensively in Venezuela. Data from 4260 daily milking weights and 491 lactations were considered and fitted with a non-linear regression model of Wood (PROC NLIN of SAS®). A temperature-humidity index (ITH) was calculated from AT and RH, ITH was classified as High with a value equal to or greater than 72 and Low with a value less than 72. The ITH effect on the parameters *a*, *b* and *c* of the Wood model was analyzed with a general linear model (PROC GLM of SAS®). The ITH did not have a significant effect on *a* parameter of the curve, so that cows had an independent initial level of production from combined environmental effects of temperature and relative humidity. The ITH had a highly significant effect on parameters *b* and *c* of the Wood model ($P < 0.01$), in order that cows with lactation curves associated with high values of ITH showed a slower rate of rise in production after calving and a more pronounced decrease in production after peak.

Key Words: Heat stress, cows, lactation curve, tropics.

INTRODUCCIÓN

La representación gráfica de la producción de leche contra el tiempo posparto es una curva de lactancia, la forma de esta gráfica está determinada por la eficiencia biológica de la vaca para producir leche en una lactancia determinada y constituye un buen indicador de su productividad, por lo que puede ser usada como información fenotípica para programas de selección y tomar decisiones en el manejo. El estrés calórico en el ganado lechero es el resultado de diferentes componentes climáticos que provocan un desplazamiento de la homeotermia de estos animales, los componentes más importantes son la temperatura ambiental y la humedad relativa [1], la variación de los parámetros que determinan la forma de la curva de lactancia puede estar provocada por la influencia de factores ambientales, viéndose afectada la producción de leche [2]. En Venezuela existe la necesidad de generar registros adecuados de producción de leche para basar la mejora de la producción lechera en datos adecuadamente corregidos por factores que influyan en la producción de las vacas del país y por otro lado existe un creciente avance en la disponibilidad de recursos informáticos a nivel de fincas y organizaciones de ganaderos que permitirían una mejor estructuración, ajuste y análisis de los registros de producción de leche, si se cuenta con metodologías que se correspondan al entorno nacional. El objetivo de este trabajo fue analizar los efectos climáticos de temperatura ambiental (TA) y humedad relativa (HR) sobre los parámetros de ajuste del modelo matemático de Wood basado en la función gamma incompleta, ampliamente usado para la descripción de la curva de lactancia de vacas [3], en un rebaño Pardo Suizo manejado en forma intensiva en Venezuela.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el análisis de la producción de leche se recolectaron datos de animales puros de la raza Pardo Suizo pertenecientes a una finca lechera ubicada en el municipio Miranda, estado Carabobo a 650 m.s.n.m. y a 10°09'33" de latitud Norte y 68°22'24" de longitud Oeste, manejados en forma intensiva en corrales abiertos, ordeñados dos veces al día y alimentados con una ración total mezclada que incluyó fuentes de forraje como ensilaje de maíz, sorgo, y/o pasto Maralfalfa (*Pennisetum hybridum*), suplementado después del ordeño con una mezcla que incluyó harina de maíz, harina de soya, semilla de algodón, pulpa de cítricos, residuos de destilería de cerveza, vitaminas, minerales y otros aditivos diseñados para suplir o exceder las recomendaciones del NRC para vacas lecheras [4]. Se analizaron datos de 4.260 pesadas diarias de leche de 491 lactancias de 160 vacas de 3,58 partos y 324 días de duración en promedio; 133

lactancias correspondieron al primer parto, 104 al segundo, 64 al tercero, 48 al cuarto y 142 de cinco o más partos, ocurridas entre los años 2000 y 2008. En el análisis se consideraron lactancias con una duración mínima de 180 y máxima de 600 días, adicionalmente se recolectaron datos de fecha de parto, temperatura y humedad relativa promedio del día correspondiente a la pesada de leche, las cuales ocurrieron con una frecuencia de 16,2 días y una repetición en promedio de 10,52 pesadas por lactancia. A partir de la temperatura ambiental y humedad relativa se calculó el Índice de Temperatura-Humedad (ITH) promedio para el mes de parto según la fórmula:

$$ITH = (°F * 9 / 5 + 32) - (0.55 - (0.55 * (HR * 0.01))) * ((°F * 9 / 5 + 32) - 58), [5], \text{ donde:}$$

ITH = Índice de Temperatura-Humedad

°F = Temperatura ambiental en grados Fahrenheit

HR = Porcentaje de humedad relativa

El ITH se ha usado ampliamente para estimar los efectos combinados de la temperatura ambiental y la humedad relativa, usando las temperaturas de bulbo seco y húmedo para estimar la magnitud del estrés calórico sobre el ganado lechero. La escala más usada estima un valor umbral de 72 para la disminución en la producción de leche [6]. El modelo de Wood basado en la función gamma incompleta, ha sido usado en la mayoría de estudios de curvas de lactancia [3], porque describe las características básicas de las curvas típicas de lactancia con solo tres parámetros, los cuales a su vez permiten el cálculo de producción promedio, pico de producción y día del pico de producción. El modelo describe lo que es reconocido como una curva típica de producción de leche, según: $y = a n^{b e^{-cn}}$, donde: y = la cantidad de leche por vaca medida el día de la pesada, a = la producción inicial de leche inmediatamente después del parto, b = el nivel de inclinación desde el nivel inicial de producción hasta un pico máximo de producción y c = el declive de la producción de leche desde el pico hasta el final de la lactancia.

Así mismo, a partir de la ecuación se calculan la producción de leche promedio para este rebaño al pico de la lactancia y el día posterior al parto en que se alcanzó la producción máxima de leche (pico), mediante las formulas: Litros al pico = $a / (b/c)^b e^{-b}$ y días posparto del pico = b/c . Las curvas de lactancia fueron ajustadas con un procedimiento de regresión no lineal (PROC NLIN) del SAS® 2002 [7]. La curva de lactancia general del rebaño se construyó a partir de las soluciones de los parámetros y fue graficada hasta el día máximo de las lactancias que se consideraron en este estudio. Para el estudio del efecto del estrés

calórico sobre los parámetros de la curva de lactancia se tomaron los datos de temperatura diaria correspondientes a la pesada de leche de la estación meteorológica Samán Mocho, situada a 425 msnm y a 10°07'14" de latitud Norte y 67°53'29" de longitud Oeste, 45 km al noreste de la finca descrita. A partir de cada observación diaria de temperatura ambiental y humedad relativa de los años incluidos en el periodo analizado se calculó el correspondiente ITH. A partir de la estadística descriptiva del ITH, se clasificaron los valores en ITH alto y bajo con un nivel umbral de 72. En la zona de estudio existen dos épocas definidas de régimen de precipitaciones anuales, las cuales influyen en la cantidad y calidad de forraje disponible, por lo que se clasificó la época de parto en dos, la primera de Diciembre a Abril, la época seca y de Mayo a Noviembre la época lluviosa, según datos de pluviometría de la zona [8]. El efecto del ITH clasificado sobre los parámetros a , b y c del modelo de Wood, se analizó en modelos independientes para cada parámetro con el método de cuadrados mínimos para ajustar un modelo general lineal (PROC GLM, SAS®, 2002) según: $y_{ij} = \mu + I_i + \Lambda_j + A_k + E_l + e_{ijklm}$, donde;

y_{ij} = parámetro a , b y c del modelo de Wood para el modelo de ajuste de la curva de lactancia

μ Media teórica poblacional

I_i Efecto del i -ésimo ITH clasificado del día de la pesada (i = alto, bajo)

Λ_j Efecto de la j -ésima lactancia

A_k = Efecto del k -ésimo año de parto

E_l = Efecto de la l -ésima época de parto

e_{ijklm} = Error aleatorio NID ($0, \sigma^2_e$)

Se calcularon y compararon los promedios ajustados de cada parámetro expresados como mínimos cuadrados de las variables clasificatorias ITH, lactancia, año y época de parto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para estimar las condiciones de desarrollo de estrés calórico se calculó el ITH diario para el período estimado. Esto permitió estimar los efectos del estrés calórico sobre las vacas lecheras con los efectos combinados de temperatura ambiental y humedad relativa. A cada pesada de leche se asoció un valor de ITH del día de la pesada. El promedio general de ITH, 73,2 estuvo por encima de 72 el cual es considerado como valor umbral de condiciones de estrés calórico sobre el ganado lechero [2], se encontró un valor

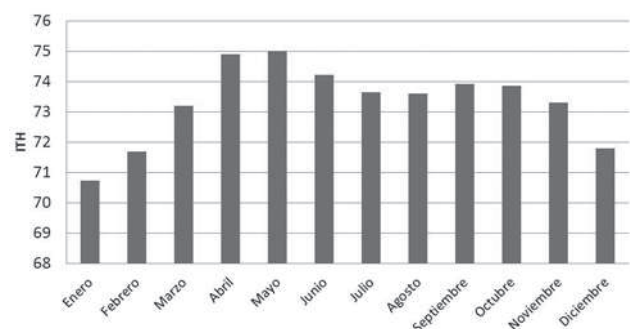
máximo de 75 el cual es considerado como un estrés moderado (Tabla I).

Tabla I. Estadística descriptiva de valores de ITH desde 2000 a 2008 de la estación climatológica Samán Mocho, Carabobo, Venezuela.

Parámetro	valor
N	4260
Promedio	73,2
Desviación estándar	1,3
Error estándar de la media	0,02
Coefficiente de variación	1,77
Mínimo	70,7
Máximo	75,0

La distribución de los promedios mensuales de los valores de ITH (Figura 1), muestra un periodo de Diciembre a Febrero con bajas condiciones para el desarrollo de estrés calórico y otro de Marzo a Noviembre con un valor de ITH mayor a 72. Las pesadas de leche que se realizaron en fechas con valores de ITH mayores a 72 generaron curvas de lactancia que fueron clasificadas como alto ITH o con mayores condiciones para el desarrollo de estrés calórico sobre las vacas y las que se realizaron en fechas con valores de ITH menores a 72 se clasificaron como ITH bajo.

Figura 1. Índice de Temperatura - Humedad (ITH) promedio mensual de 2000 a 2008 de la estación climatológica Samán Mocho, Carabobo, Venezuela



El promedio diario de producción de leche fue de 12,3 litros por vaca, lo que difiere de lo publicado por Bodisco *et al.* [9], quienes reportaron un promedio de 10,25 litros por vaca por día en un rebaño mestizo de Pardo Suizo en el área central de Venezuela, lo cual puede deberse a que este rebaño fue manejado con un mejor plano de alimentación con uso de forrajes conservados en la mayor parte del año, sin embargo

coinciden con lo reportado por Pérez y Gómez [10], para el mismo rebaño en estudio.

En la Tabla II se muestra la estadística descriptiva de pesas diarias de leche clasificadas por número de lactancia. El promedio de producción de leche por vaca por día para las vacas de primera lactancia fue de 11,49 litros, con la menor desviación estándar (3,09). Las vacas de 2 lactancias produjeron en promedio 11,96 litros, por encima de los 10,78 Kg de leche/vaca/día reportados por Bodisco *et al.* [9]. Las vacas con 5 lactancias o más presentaron el mayor promedio de producción de leche por vaca por día, sin embargo, estas vacas presentaron una variación más amplia de la producción (σ 4,27). El 25% de las pesadas en general fueron mayores a 15 litros/vaca/día.

Lactancia	N	Media	σ	Mínimo	Máximo
1	1061	11,49	3,08	4,0	19,8
2	816	11,96	3,75	4,0	23,0
3	469	12,53	4,08	4,2	23,0
4	479	12,43	4,07	4,2	23,6
5 o más	1435	12,92	4,27	4,0	30,0
Total	4260				
Promedio		12,26			

Tabla II. Estadística descriptiva de pesas diarias de leche por lactancia en vacas Pardo Suizo en Miranda, Estado Carabobo, Venezuela.

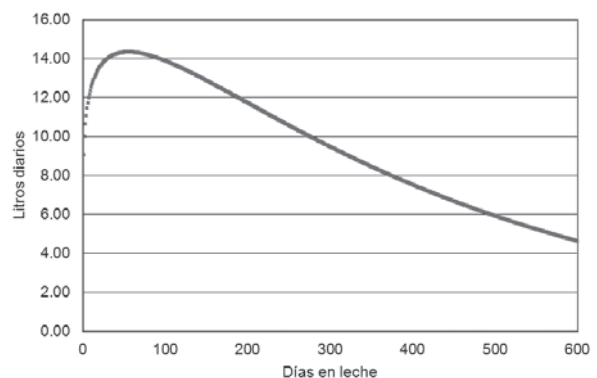
Los parámetros obtenidos para el ajuste de la curva de lactancia se muestran en la tabla III. El valor del parámetro a , que representa el nivel de producción por vaca el día 0 postparto, fue de 9,043. Este nivel de producción inicial resultó mucho menor al reportado por García *et al.* [11], en vacas Pardo Suizo en México el cual estuvo cercano a 17 litros por vaca por día y fueron semejantes a los encontrados por Sánchez *et al.* [12], con lactancias simuladas comparando el modelo de Wood con la función *spline*. El valor de b que indica la tasa de incremento en la producción desde el parto hasta el pico de lactancia, fue 0,1523, muy similar al reportado por Sánchez *et al.* [12], para vacas ½ Pardo suizo en Venezuela, mientras que el valor del parámetro c de 0,00275, fue similar al promedio para las épocas seca y lluviosa de vacas Carora y Hosltein x Brahman en Venezuela reportado por Vaccaro *et al.* [13], este último parámetro indicó un ritmo suave de descenso después del pico de producción. Las similitudes y diferencias encontradas con otros trabajos pudieran ayudar a determinar el comportamiento productivo de animales de razas lecheras en condiciones de producción con las

características climáticas y de manejo descritas en este estudio. Con los parámetros obtenidos se generó la curva de lactancia general de todas las lactancias, ajustada al día máximo de lactancia encontrado en este estudio, la cual se muestra en la Figura 2. El pico de producción fue de 14,3 litros calculado como *litros al pico* = $a (b/c)^b e^{-b}$ y el día postparto en que ocurrió el pico de producción fue el día 55 calculado como *días al pico* = b/c .

Parámetro	Valor
a	9,043
b	0,1523
c	0,00275

Tabla III. Parámetros del modelo de Wood para la curva de lactancia general de vacas Pardo Suizo en Miranda, Estado Carabobo, Venezuela.

Figura 2. Curva de lactancia general ajustada por modelo de Wood, de vacas Pardo Suizo en Miranda, Estado Carabobo, Venezuela.



Para evaluar el efecto del estrés calórico sobre la curva de lactancia se analizó el efecto del ITH clasificado (ITHC) sobre los parámetros a , b y c del modelo de Wood con un modelo general lineal que incluyó el número de partos, el año y la época de parto. Los promedios ajustados para los parámetros a , b y c según el ITHC se encuentran en la tabla IV. A partir de estos parámetros se produjeron las curvas de producción ajustadas a 305 días para los ITHC alto y bajo (Figura 3).

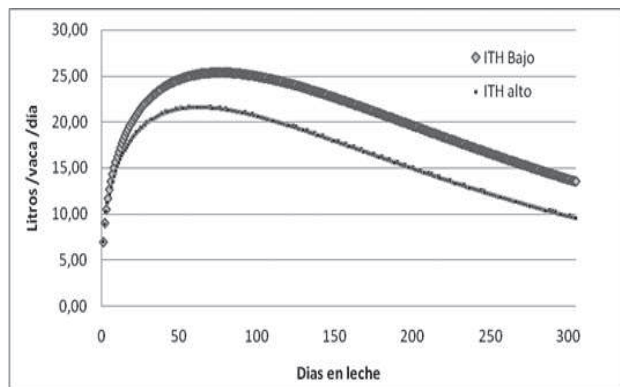
Los efectos del ITHC, el número de partos, el año y la época de parto sobre el parámetro a , b y c se muestran en la tabla V. El ITHC no tuvo un efecto significativo sobre el parámetro a , es decir sobre la cantidad de leche que produjeron las vacas al momento

de iniciar su lactancia, esta producción estuvo afectada significativamente por el número de partos ($p < 0,01$), el año ($p < 0,01$) y la época de parto ($p < 0,01$).

Parámetro	ITHC		P
	Bajo	Alto	
<i>a</i>	6,99 ^a	7,04 ^a	> 0,05
<i>b</i>	0,3872 ^a	0,3572 ^b	< 0,01
<i>c</i>	0,0051 ^a	0,0057 ^b	< 0,01
Días al pico	76,3	62,3	
Litros al pico	25,4	21,5	

Tabla IV. Medias de mínimos cuadrados de los parámetros del modelo de Wood ajustadas por Índice de Temperatura - Humedad Clasificado (ITHC), para vacas Pardo suizo en Miranda, Estado Carabobo, Venezuela. Promedios con letras diferentes en una misma fila tienen una diferencia significativa ($P < 0,01$).

Figura 3. Curvas de producción ajustadas a 305 días bajo el modelo de Wood para Índice de Temperatura - Humedad (ITH) alto y bajo de vacas Pardo Suizo en Miranda, Estado Carabobo, Venezuela.



La falta de efectos del ITH sobre *a* coincide con lo reportado por Cincovic *et al.* [2], en curvas de lactancia de vacas Holstein en Serbia. La falta de un efecto de estrés calórico en la producción de leche al momento del parto sugiere un manejo adecuado del control climático durante el periodo preparto de las vacas en este estudio.

El parámetro *b* del modelo de Wood indica la tasa de incremento en la producción después del parto y hasta el pico, el ITHC tuvo un efecto significativo ($p < 0,0018$), lo que produjo un promedio menor (Tabla

VI) y una curva con un ritmo menos elevado para el ITH alto (Figura 3), se observa también como este parámetro define un área mayor por debajo de la curva para el ITH bajo, de manera que esta curva presenta una mayor producción de leche total. Este resultado representa un efecto negativo sobre la producción de leche en vacas sometidas a estrés calórico y es similar a lo reportado por Cincovic *et al.* [2], con vacas Holstein en Serbia con valores de ITH entre 72 y 82.

Parámetro	<i>a</i>		<i>b</i>		<i>c</i>	
	F	P	F	P	F	P
ITHC	0,0346	0,8346	9,67	< 0,0018	18,99	< 0,0001
Número de partos	14,61	< 0,0001	9,97	< 0,0001	9,72	< 0,0001
Año de parto	16,08	< 0,0001	7,93	< 0,0001	26,99	< 0,0001
Época de parto	4,68	< 0,0069	0,12	< 0,57	1,26	< 0,264

Tabla V. Efectos del Índice de Temperatura - Humedad Clasificado (ITHC), el número de partos, el año y la época de parto sobre los parámetros *a*, *b* y *c* del modelo de Wood de vacas Pardo Suizo en Miranda, Estado Carabobo, Venezuela.

parámetro de la curva de lactancia	Nivel de ITH	Promedio	P
<i>b</i>	Bajo	0,3872 ^a	0,0018
	Alto	0,3572 ^b	
<i>c</i>	Bajo	0,0051 ^a	< 0,0001
	Alto	0,0057 ^b	

Tabla VI. Parámetros *b* y *c* del modelo de la curva de lactancia de Wood, ajustados por Índice de temperatura-humedad (ITH) clasificado de vacas Pardo Suizo en Miranda, Estado Carabobo, Venezuela. Promedios con letras diferentes en filas diferentes dentro de un mismo parámetro, tienen una diferencia significativa ($P < 0,01$).

El parámetro *c* de la curva representa la capacidad de la vaca de mantener una producción de leche alta después de alcanzar el pico de lactancia, esto puede definirse también como persistencia de la curva de lactancia, en este estudio el parámetro fue afectado significativamente por el estrés calórico, medido como ITHC, las vacas sometidas a un estrés calórico alto presentaron un parámetro *c* mayor ($p < 0,01$) lo que significa un ritmo de descenso de la curva más acelerado que las vacas que no estuvieron sometidas a estrés calórico. Este hallazgo es muy importante pues

este parámetro define gran parte de la forma general de la curva de lactancia, interviniendo de manera determinante en la cantidad de leche total producida en la lactancia. Resulta interesante el hecho de que no se detectaron diferencias significativas de la época de parto ($p > 0,05$) sobre el parámetro c , es probable que en rebaños sometidos a un estrés más intenso o con variaciones más marcadas de temperatura, humedad y que estén en zonas donde existan diferencias grandes en la precipitación entre épocas del año, pueda detectarse algún efecto de este tipo, en todo caso, la diferencia en las medias del parámetro c demuestra la variación en la capacidad de las vacas de intentar mantener la producción de leche mientras al mismo tiempo tratan de mantener la homeotermia.

CONCLUSIONES

El estrés calórico, expresado como Índice de Temperatura-Humedad (ITH), no tuvo un efecto significativo sobre el nivel inicial de producción de leche en la lactancia medido como el parámetro a del modelo de Wood, sin embargo tuvo un efecto significativo sobre los parámetros b y c de este modelo, afectando por lo tanto el ritmo de ascenso de la producción después del parto y la tasa de descenso después del pico de producción en la curva de lactancia de estas vacas, definiendo una curva con menor producción total en las lactancias con pesadas de leche en días de mayor estrés calórico.

Un nivel alto de ITH disminuyó la capacidad de las vacas de mantener una mejor persistencia de la curva. El modelo de Wood puede usarse para ajustar curvas de lactancia en vacas de esta raza bajo condiciones de manejo similares a las empleadas en este estudio. Se debe tomar en cuenta los factores climáticos para ajustar curvas de lactancia cuando se presenten valores altos de ITH, a fin de determinar el efecto sobre el ascenso después del parto y descenso después del pico en la producción de vacas lecheras en el trópico.

AGRADECIMIENTO

El autor desea expresar una sincera gratitud al personal obrero, administrativo y gerencial de la finca donde se realizó el estudio, por la dedicación y el profesionalismo mostrado en el apoyo para la recolección de los datos.

BIBLIOGRAFIA

[1] Olson T, Lucena C, Chase Jr C, Hammond A. Evidence of a major gene influencing hair length and heat tolerance in *Bos taurus* cattle. *J Ani Sci*. 2003; 81: 80-

90.

[2] Cincovic MR, Belic BM, Toholj BD, Radovic IV, Vidovic BR. The influence of THI values at different periods of lactation on milk quality and characteristics of lactation curve. *J Agricultural Sci*. 2010; 55(3): 235-241.

[3] Macciotta NPP, Vicario D, Cappio-Borlino A. Detection of Different Shapes of Lactation Curve for Milk Yield in Dairy Cattle by Empirical Mathematical Models. *J Dairy Sci*. 2005; 88: 1178-1191.

[4] NRC (National Research Council). Nutrient Requirements of Dairy Cattle. National Academy of Sciences, Washington, D.C. 2001; p 3-17.

[5] West J.W. Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle. *J. Dairy Sci*. 2003; 86:2131-2144.

[6] Collier RJ, Collier JL. Environmental Physiology of Livestock. Wiley-Blackwell. USA. 2012

[7] SAS 9.1.3 Help and Documentation, SAS Institute Inc. Cary, NC, 2004.

[8] Askue M. y E. Soto. Régimen de precipitación en Montalbán, Estado Carabobo, Venezuela. *Agronomía Trop*. 2004; 54(4): 359-370.

[9] Bodisco B, Cevallos E, Rincón EJ, Mazzarri G, Fuenmayor C. Efecto de algunos factores ambientales y fisiológicos sobre la producción de leche de vacas Holstein y Pardo Suizo en Maracay, Venezuela. *Agronomía Trop* 2001; 21(6):549-563.

[10] Pérez G, Gómez M. Factores genéticos y ambientales que afectan el comportamiento productivo de un rebaño pardo suizo en el trópico. 1. producción de leche. *Rev Cient FCV LUZ*. 2005; 15(2): 141-147.

[11] García JG, Martínez. EG, Núñez R, Ramírez R, López R, Ruiz A. Comparación de Ecuaciones para Ajustar Curvas de Lactancia en Bovinos. *Rev Cient FCV LUZ I*, 2008; 18: 160-169.

[12] Sánchez E, Castejón O, Román R. La función spline para el ajuste de lactancia en vacas. *Rev Cient FCV LU*. 2000; 10 (5): 376-382.

[13] Vaccaro R, Enjoy GD, Sabaté C. Curvas de lactancia de vacas Carora y cruzadas Holstein Friesian x Brahman. *Rev. Fac. Cienc Vet UCV*. 1999; 40(1):37-44.