

CONDICIONES AMBIENTALES Y PRODUCCIÓN DE LECHE DE UN HATO DE GANADO JERSEY EN EL TRÓPICO HÚMEDO: EL CASO DEL MÓDULO LECHERO-SDA/UCR¹

Rodolfo WingChing-Jones^{2/}, Ricardo Pérez^{**}, Eduardo Salazar^{**}*

Palabras clave: Producción de leche, condiciones ambientales, estrés calórico, curva de lactancia

Keywords: Milk production, environmental conditions, heat stress, lactation curve

Recibido: 26/11/07

Aceptado: 26/02/08

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el efecto del ambiente sobre la producción láctea diaria de un hato puro de la raza Jersey, aclimatado al trópico húmedo desde su nacimiento, se analizó los registros de producción de 26 animales y sus respectivas lactancias. Las 4 130 observaciones analizadas incluyeron: la identificación de la vaca; el día de pesa de la leche; el mes; el año; la producción de leche diaria; el día de lactancia respectivo; el número de parto; la edad del animal; las temperaturas máxima y mínima; la precipitación; la radiación solar; y la humedad relativa máxima y mínima. Los días de lactancia, el número de lactancias (3^a-5^a), la edad del animal (7,5-10 años) y el número de parto tuvieron un efecto altamente significativo sobre la producción de leche diaria. Con las variables ambientales se obtuvo que la precipitación >40 mm.día⁻¹ y la humedad relativa <80%.día⁻¹ (p<0,001) presentan un efecto directo sobre la producción de leche y que tanto la temperatura ambiental (p=0,32), como la radiación solar (p=0,31) y sus interacciones, tuvieron un efecto significativo. Finalmente, el incremento en la producción de leche debido a la precipitación diaria ronda 1,0 l.día⁻¹.animal⁻¹, mientras que la merma en producción promedio con relación a la humedad relativa (HR) alcanza hasta 1,75 l.día⁻¹.animal⁻¹.

ABSTRACT

Environmental variables and milk production in a Jersey herd in the humid tropics: the case of the Dairy unit-SDA/UCR. To evaluate the effect of the environment on the daily milk production of a Jersey herd acclimatized to the humid tropics, since birth, production records of 26 animals and their respective lactations, for a total of 4 130 observations, were analyzed. Data included: ID number of the cow; day of weighting milk; month; year; daily milk production; day of lactation, number of birth; age of the animal; maximum and minimum temperatures; rainfall; solar radiation; and maximum and minimum relative humidity. Lactation period, number of lactations (3rd-5th), age of the animal (7.5-10 years) and birth had a highly significant effect on milk production. With regard to the environmental variables, precipitation >40 mm.day⁻¹ and relative humidity <80%.day⁻¹ (p<0.001) have a direct effect on milk production. Environmental temperature (p=0.32) and solar radiation (p=0.31), as well as their interactions, had no significant effect. Finally, the increase in milk production due to the daily precipitation was approximately 1.0 l.day⁻¹.animal⁻¹, while a decrease in milk average production due to relative humidity (RH) reached up to 1.75 l.day⁻¹.animal⁻¹.

1 Proyecto de Investigación No 510-A7-805
2 Autor para correspondencia. Correo electrónico: rodolfo.wingching@ucr.ac.cr

* Escuela de Zootecnia y Sede del Atlántico. Universidad de Costa Rica
** Escuela de Agronomía y Sede del Atlántico. Universidad de Costa Rica

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción en el trópico presentan un microclima específico para cada localidad o finca, dependiendo de la latitud, la altitud, la distribución de las tierras, aguas, el suelo y variables climáticas como el viento, la lluvia, la temperatura, la humedad relativa (HR), radiación, presión atmosférica, y la cobertura vegetal (Williamson y Payne 1975). Por esta razón, se puede encontrar zonas ecológicas como las descritas por Holdridge (1978), aptas para tipos de producción pecuaria específicos y que sirven como punto de referencia para generar modelos biogeográficos mecanísticos (Yates *et al.* 2000).

Según la ubicación geográfica del sistema productivo, estas zonas ecológicas ejercen una influencia sobre cualquier tipo de animal doméstico homeotermo en su habilidad de mantener la temperatura corporal dentro de un rango óptimo de actividad biológica; lo anterior dependerá del éxito de los mecanismos termorreguladores del animal (Curtis 1983), su genotipo (Beerda *et al.* 2007) y de la intensidad de la interacción con el ambiente (Tapki y Şahin 2006).

Los ambientes tropicales ofrecen ventajas y desventajas para la producción animal; dentro de los aspectos positivos se menciona que la precipitación alta y la duración solar diaria casi constante, favorecen la producción de forraje durante gran parte del año. En cambio, la proliferación de parásitos internos y externos (Jiménez *et al.* 2007); las enfermedades; los contenidos altos de pared celular en los forrajes (Sánchez *et al.* 2000) que favorecen la producción de calor interno (Arieli *et al.* 2004); las temperaturas y HR altas, son condiciones que afectan la expresión del potencial genético de los animales (Kadzere *et al.* 2002), comprometen su bienestar (Tapki y Şahin 2006) y conducen a una situación de estrés calórico.

El estrés calórico en los animales, cuantificado como el impacto en la producción de leche (Bohmanova *et al.* 2007) y en la reproducción (García-Ispierto *et al.* 2007), afecta los mecanismos de termorregulación animal (evaporación,

conducción, convección y radiación) (Collier *et al.* 2006), afectando su zona de confort o termoneutralidad (5-25°C), lo que a su vez altera el consumo de alimento (West 2003), las concentraciones hormonales (Jordan 2003) y el metabolismo (Kadzere *et al.* 2002). Entre las condiciones ambientales que se relacionan con la productividad láctea, se citan la temperatura ambiental (Settivari *et al.* 2007), la HR (Bohmanova *et al.* 2007), la radiación solar (Tucker *et al.* 2007), la velocidad del viento (Nassuna-Musoke *et al.* 2007), el efecto de la duración del día (Barash *et al.* 2001) y la precipitación diaria (García-Ispierto *et al.* 2007).

El objetivo del presente trabajo fue determinar el impacto de la temperatura, la humedad relativa, la radiación solar; y la precipitación, sobre la producción láctea de un hato Jersey en el trópico húmedo; y, de describir las características fenotípicas del sistema, relacionadas con la producción láctea (curva de lactancia, edad productiva, cantidad de lactancias y edad al primer parto) en el mismo sitio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y tamaño del módulo lechero de la Sede del Atlántico de la Universidad de Costa Rica

Este módulo es una unidad dedicada a la investigación, la acción social y la docencia de la Universidad de Costa Rica. Se ubica en el cantón de Turrialba, provincia de Cartago, a 640 msnm, en condiciones de trópico húmedo y consta de un área de 6,7 ha, distribuidas en áreas de pastoreo para animales en producción, no lactantes, en crecimiento, así como bosque secundario, instalaciones y caminos.

Estructura del hato y su manejo

El hato lo conforman 26 animales puros de la raza Jersey, adaptados a estas condiciones ambientales desde su nacimiento, de los cuales el 42,3% son multipartos (>3), el 3,8% son de segundo parto, el 15,4% de primer parto, el 19,2%

agrupa las hembras mayores a 12 meses pero que no han parido y el 19,2% son los animales menores a 1 año.

Todos los animales son bañados contra garrapatas (*Boophilus microplus*) y tórsalos (*Dermatobia hominis*) cada 30 días, mientras que las desparasitaciones vía intramuscular se aplican 1 vez al año a los animales mayores a 1 año, los animales menores a 1 año se desparasitan cada 2 meses vía oral o intramuscular.

La alimentación del hato en producción consiste en un aporte de pasto Estrella (*Cynodon nlemfluensis*) en un 70% en base seca, el cual se consume por pastoreo en 21 días y un 30% de alimento balanceado, suministrado durante el ordeño. El alimento tiene una concentración proteica y energética de 14% y 3000 Mcal ED.kg⁻¹, respectivamente y se suministra a razón de 5 kg.animal⁻¹.día⁻¹. Diariamente se ofrece 100 g de suplemento mineral y 200 g de grasa sobrepasante (densidad energética de 5400 cal.kg⁻¹.animal⁻¹ de energía neta de lactancia).

El proceso de ordeño es automático y consiste en un ordeño a las 6:00 a.m y otro a la 1:00 p.m.

Manejo del forraje

Los apartos se fertilizan después de que los animales salen de ellos, con 100 kg de N, 30 kg de P₂O₅ y 40 kg de KCl ha⁻¹.año⁻¹. Con respecto al manejo de las arvenses, estas se controlan por métodos culturales o químicos.

Período de evaluación y de recolección de la información

Cada semana la leche producida por animal se pesó los días martes y viernes, empleando un medidor automático marca Waikato® (MKV-Milkmeter 327108) con capacidad de 31 kg o 65 lb. Esta información se tabuló, concordando con el tiempo de lactancia que presenta cada animal y las condiciones ambientales predominantes ese

día. Se tomó la información recopilada desde el mes de agosto del año 2003 hasta diciembre del 2006, para un total de 4 130 observaciones, procedentes del análisis de 26 animales y sus correspondientes lactancias. Los datos analizados por año, en el mismo orden, equivalen a 2,2, 19,9, 37,7 y 40,1% del total de las observaciones, respectivamente.

Información meteorológica

La información meteorológica fue facilitada por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y de Enseñanza (CATIE), ubicado a 1 km de distancia del módulo lechero. Este Centro posee estaciones meteorológicas de las marcas DAVIS®, LI-COR® y Wilh Lambrecht®, las cuales registran diariamente el valor promedio de la temperatura máxima y mínima (°C), la precipitación (mm), la radiación solar (MJ.m⁻²) y la HR máxima y mínima (%).

Análisis de la información

La información de las condiciones ambientales se tabuló el día de pesada de la leche para cada animal, conjuntamente con la identificación de la vaca, el mes, el año, la producción de leche, el día de lactancia respectivo, el número de parto y la edad del animal. Las variables fueron evaluadas por medio de una regresión multifactorial, estimando la incidencia de cada variable independiente sobre la producción de leche diaria (variable dependiente). Como variables independientes se consideró el mes, el año, el número de parto de la vaca, la edad del animal, los días de lactancia, la precipitación diaria, el valor de humedad relativa media y la radiación solar. El análisis planteado se hizo por medio del comando "reg" del programa STATAtm 8.0 (STATA 2003), en cambio, la comparación entre medias de los efectos principales se realizó por medio de la prueba de Waller Duncan (SAS 2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variabes productivas

La producción láctea varió significativamente con los días de lactancia, la cantidad de lactancias, el número de parto y la edad del animal.

Curva de lactancia. En la figura 1 se describe el comportamiento de la curva de producción de leche descrito por la ecuación de Wood (1967). En este sistema el pico de lactancia, o sea la producción máxima de leche de un animal durante su lactancia se alcanzó entre los 56 y 60 días posparto, con una producción de leche promedio de $18,69 \pm 0,25$ l.animal⁻¹.día⁻¹, mientras que el valor de persistencia –el grado en el cual las producciones se mantienen día a día en cualquier etapa de la lactación- promedio se determinó en $95,69 \pm 3,27\%$.

Con relación a estos resultados, Valerín (1997) al analizar la información de 6 518 lactancias de animales Jersey, en 49 fincas distribuidas en Cartago (38,8%), Heredia (8,2%), San José (4,1%), Zarcero (42,9%) y Monteverde (6,1%), informa de un valor de persistencia promedio de 83% y un valor promedio de producción de leche al pico de lactancia de 19,9 kg a los 53,2 días posparto. En esta investigación, se determinó también que durante los primeros 50 días posparto los animales producen en promedio 3,20 l de

leche más que el promedio de producción desde los 51 días de lactancia al momento del secado ($p < 0,0001$).

Cabe aclarar que durante los 0-50 días posparto los animales son más susceptibles al estrés calórico, debido a un mayor metabolismo de los nutrimentos para satisfacer la producción láctea se incrementa la tasa de producción de calor interno, siendo este problema mayor en animales de alto potencial productivo (Tapki y Şahin 2006).

Edad productiva. La edad del animal es un factor que determina la producción de leche (González 1995), debido a su relación con el crecimiento físico (musculatura) y fisiológico del animal (St-Pierre *et al.* 2003). En esta investigación, la edad a la cual se obtiene la mayor producción de leche es entre 7,5-10 años, valor superior al encontrado para condiciones tropicales de 5-7 años (Freitas *et al.* 1991), comportamiento que se explica por un retraso en el crecimiento de los animales, producto de un manejo alimenticio a base de forraje. En este rango (7,5-10 años), se obtiene 6,17 l.día⁻¹ de leche más que los animales menores a 2,5 años ($p < 0,001$) y 1,1 l.día⁻¹ más que los animales con edades de 2,5-5 años ($p < 0,001$). Además, los animales en el rango óptimo superan en 0,59 l.día⁻¹ de leche a los animales con edades de 5-7,5 años ($p < 0,001$) y en 0,94 l.día⁻¹ de leche a los animales mayores a 10 años ($p < 0,001$).

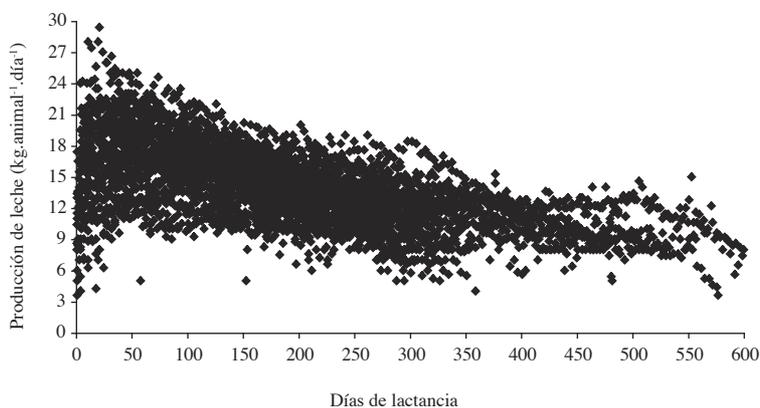


Fig. 1. Relación de la producción de leche diaria promedio con base al día de lactancia.

Cantidad de lactancias. En la figura 2, se describe la producción de leche promedio con relación a la cantidad de lactancias evaluadas (efecto cuadrático), notándose que la mejor producción se alcanza entre la 3^{ra} y 5^{ta} lactancia ($p < 0,001$), con un rango de producción de 15,1-15,3 kg.animal⁻¹.día⁻¹. En condiciones ambientales similares, Valerín (1997) estimó que la producción de leche de animales Jersey se optimiza en la 6^a lactancia, con una producción promedio de 15,47 kg.animal⁻¹.día⁻¹. En ambos casos, se nota que el óptimo de lactancia se logra cuando los animales alcanzan su vida media activa fisiológica, sin que se encuentre una relación entre otras variables ambientales que justifiquen el hecho.

Edad al primer parto (EPP). Se determinó que la EPP se alcanza en promedio a los 38,8±7,7 meses, de manera similar a lo encontrado por Pezo *et al.* (1999), en el modulo lechero del CATIE (39,3±3,9 meses). Tal comportamiento es producto de un desarrollo de los animales a base de pasto, sin suplementación, lo cual limita la tasa de crecimiento y aumenta la edad al primer parto, incrementando el número de lactancias por animal requeridas para el pago de la inversión en la etapa de crianza de los reemplazos (Rivera 2000).

Los valores encontrados en esta investigación, son superiores a los mencionados por Valerín (1997) quien reporta 31,1±5,1 meses; el mismo autor, al resumir otros estudios en condiciones

tropicales, informa que la EPP promedio de vacas Jersey es de 29,5 meses, dato similar al mencionado por Rojas-Bourrillón (2002) para ganado Jersey (28,1 meses) y para Holstein (28,4 meses) en el Valle Central, y de 29 meses para la zona media de San Carlos.

Variables ambientales

Las variables ambientales que más repercuten sobre la producción de leche son la precipitación y la humedad relativa ($p < 0,001$), mientras que la temperatura ambiental ($p = 0,32$), y la radiación solar ($p = 0,31$) y sus interacciones, no ejercen un efecto directo. Es importante tener presente, que el estudio se basó en la información de un hato Jersey puro, adaptado a condiciones de trópico húmedo, debido a que en la literatura se indica que este tipo de animal soporta altas temperaturas por su baja producción de calor metabólico relacionado a su menor tamaño (Johnston *et al.* 1958).

Período de evaluación. El mes y el año de evaluación afectan directamente ($p < 0,001$) las condiciones ambientales y la producción promedio de los animales (kg.día⁻¹.animal⁻¹ de leche) (Cuadros 1 y 2). Con relación a la producción láctea promedio anual por animal, se encontró que esta disminuyó desde el primero hasta el último año de evaluación, tendencia que se explica por una mayor proporción del hato menor a 7,5 años, en los 2 últimos años registrados.

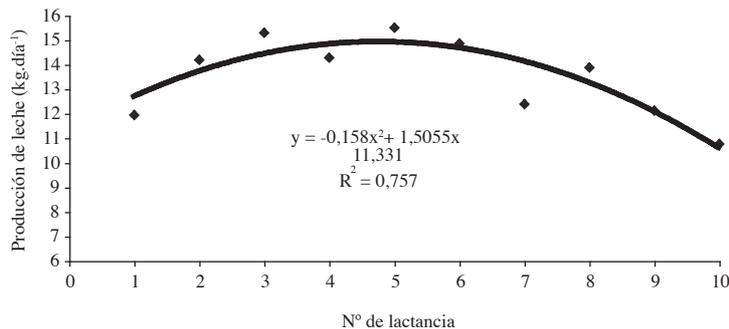


Fig. 2. Efecto del número de lactancia sobre la producción de leche por animal.

Cuadro 1. Comportamiento de la producción de leche diaria por animal y de las variables ambientales con respecto al año de evaluación.

Año	Nº Obs.	Producción de leche (kg.día ⁻¹)	Temperatura (°C.día ⁻¹)			Precipitación (mm.día ⁻¹)	Radiación (MJ.m ² .día ⁻¹)	Humedad Relativa (%.día ⁻¹)	
			Máxima	Mínima	Media			Máxima	Mínima
2003	93	15,11 _a	28,52 _a	18,64 _a	22,17 _{ab}	7,27 _a	14,27 _c	90,94 _a	67,61 _a
2004	821	14,29 _b	28,53 _a	18,17 _b	22,05 _b	8,02 _a	15,35 _b	89,47 _b	65,12 _a
2005	1559	14,12 _{bc}	28,56 _a	18,55 _a	22,24 _a	7,87 _a	14,71 _{bc}	89,33 _b	64,74 _b
2006	1657	13,63 _c	27,22 _b	18,65 _a	22,11 _{ab}	8,08 _a	16,64 _a	87,10 _c	67,10 _b

p<0,0001

La evaluación mensual reflejó 2 periodos de producción láctea, el de mayor producción entre enero y agosto y el otro con una producción menor de setiembre a diciembre; este comportamiento podría relacionarse con una mejor distribución de las lluvias y una mayor radiación, variables que favorecen la producción de forraje. Rangos similares de producción informan Pezo *et al.* (1999) al analizar la información de 13 años de un sistema de producción láctea de un hato del cruce criollo x Jersey, bajo condiciones ambientales similares.

Precipitación pluvial. El aumento en la precipitación causa un efecto positivo sobre la producción diaria de leche (p<0,002), que se incrementa en 1,0 kg.día⁻¹.animal⁻¹ cuando la precipitación es mayor a 40 mm.día⁻¹ (3 928 observaciones), lo que repercute en más de 196 l.lactancia⁻¹ de leche cuando la duración de la misma es ≥200 días. Este comportamiento podría relacionarse con el índice de temperatura y humedad (ITH), ya que al aumentar la precipitación la temperatura baja y la HR aumenta, dando una relación menor a 72 en el ITH, valor que no condiciona al animal a situaciones de estrés (Kadzere *et al.* 2002). Es importante aclarar, que el rango de precipitación analizado en esta investigación se encuentra de 0-166 mm.día⁻¹; precipitaciones más altas o constantes, pueden generar respuestas diferentes sobre la producción láctea por efectos directos sobre el animal o la disponibilidad de forraje.

Humedad relativa (HR). La producción de leche aumenta (promedio de producción de 15,34±3,3 l.día⁻¹) cuando el valor de HR es inferior al 80% (p<0,0001). La producción de leche se reduce en 1,08 l.día⁻¹.animal⁻¹ cuando la HR es >80% pero <87% (p<0,009) y en el rango >87% pero <95% la pérdida en producción se contabilizó en 1,19 l (p<0,01). Los animales dejan de producir 1,75 l en promedio cuando la HR diaria es >95% (p<0,0001). Estas mermas en producción se relacionan con el estrés calórico que sufren los animales, producto de la interacción entre los valores de HR y la temperatura que se promediaron en esta investigación (Cuadros 1 y 2), ya que según el índice de humedad y temperatura (ITH), cuando se alcanza valores superiores a 72 en el ITH, los cuales se obtienen a temperaturas ≥22°C y HR altas, el animal se encuentra en un estado de estrés calórico (Smith *et al.* 2006). Esta situación se debe a la reducción de la evaporación, por la poca capacidad de intercambio de calor que se puede realizar con el ambiente y el animal, cuando la HR es alta (West 1994). Además de la merma en producción de leche, se consideran como indicadores de estrés calórico, la disminución en el consumo de MS y la reducción en la fertilidad de los animales (St-Pierre *et al.* 2003), mientras que a nivel clínico se asocia con el aumento en la temperatura rectal, la tasa cardiaca y la tasa respiratoria (Settivari *et al.* 2007).

CONCLUSIONES

El ganado Jersey mostró una sensibilidad en la producción de leche a valores de RH altos (>80%) y a precipitaciones bajas (<40 mm.día⁻¹), debido a su efecto negativo sobre los mecanismos de liberación de calor, para evitar el estrés en los animales. En condiciones tropicales es muy común la presencia de síntomas de estrés calórico, favorecida por las condiciones características del trópico, así como por la ineficiencia del sistema ruminal, al procesar materiales con bajas digestibilidades y altos contenidos de fibra. Debido a esta situación, la práctica de un buen manejo nutricional y la escogencia de animales adaptados a tales condiciones, son estrategias que benefician la productividad y el bienestar de los animales.

Las características fenotípicas que influyen en la producción láctea son la edad del animal, los días de lactancia y el número de lactancias; lo cual permite desarrollar un programa de suplementación estratégica y sustitución de semovientes, que favorecerá la constancia en producción láctea del sistema de producción.

AGRADECIMIENTOS

A Roberto Ugalde y Oscar Garita del Módulo Lechero-Sede del Atlántico de la Universidad de Costa Rica por la recopilación de la información producto a sus actividades diarias en esta unidad. A la M.Sc. María Isabel González de la Escuela de Estadística y al Dr. Henry Soto de la Escuela de Zootecnia por las recomendaciones a la hora de analizar la información. También al Dr. Alfredo Alvarado por las recomendaciones brindadas durante la redacción de este trabajo.

LITERATURA CITADA

- ARIELI A, RUBINSTEIN A, MOALLEM U, AARÓN Y., HALACHMI I. 2004. The effect of fiber characteristics on thermoregulatory responses and feeding behavior of heat stressed cows. *Journal of Thermal Biology* 29:749–751.
- BARASH H., SILANIKOVE N., SHAMAY A., EZRA E. 2001. Interrelationships among ambient temperature, day length and milk yield in dairy cows under a Mediterranean climate. *J. Dairy Sci.* 84:2314–2320.
- BEERDA B., OUWELTJES W., ŠEBEK L., WINDIG J., VEERKAMP R. 2007. Effects of genotype by environment interactions on milk yield, energy balance, and protein balance. *J. Dairy Sci.* 90:219–228.
- BOHMANOVA J., MISZTAL I, COLE J. 2007. Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *J. Dairy Sci.* 90:1947–1956.
- COLLIER R., DAHL G., VAN BAAL J. 2006. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 89:1244–1253.
- CURTIS S. 1983. Environmental management in animal agriculture. The Iowa State University Press. Ames, Iowa, USA. 410 p.
- FREITAS A., MILAGRES J., TEIXEIRA N., CASTRO A. 1991. Produção de leite em um rebanho leiteiro mestiço. *Rev. Soc. Bras. Zoot.* 20 (1):80–89.
- GARCIA-ISPIERTO I., LOPEZ-GATIUS F., BECH-SABAT G., SANTOLARIA P., YANIZ J., NOGAREDA C., DE RENSIS F., LOPEZ-BEJAR M. 2007. Climate factors affecting conception rate of high producing dairy cows in northeastern Spain. *Theriogenology* 67:1379–1385.
- GONZALEZ N. 1995. Comportamiento de la producción de leche acumulada de vacas Holstein y Jersey en hatos de la meseta central. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 47 p.
- HOLDRIDGE L. 1978. Ecología basada en zonas de vida. Serie libros y materiales de enseñanza. San José, Costa Rica. IICA. 276 p.
- JIMENEZ A, MONTENEGRO V., HERNANDEZ J, DOLZ G., MARANDA L., GALINDO J, EPE C., SCHNIEDER T. 2007. Dynamics of infections with gastrointestinal parasites and *Dictyocaulus viviparus* in dairy and beef cattle from Costa Rica. *Veterinary Parasitology* 148:262–271.
- JOHNSTON J., HAMBLIN F., SCHARADER G. 1958. Factor concerned in the comparative heat tolerance of Jersey, Holsteins and red Sindhi-Holstein (F₁) cattle. *J. Anim. Sci.* 17:473–479.

- JORDAN E. 2003. Effects of heat stress on reproduction. *J. Dairy Sci.* 86:(E. Suppl.):E104–E114.
- KADZERE C., MURPHY M., SILANIKOVE N., MALTZ E. 2002. Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livestock Production Science* 77:59–91.
- NASSUNA-MUSOKE G., KABASSA J., KING M. 2007. Response of friesian cows to microclimate on small farms in warm tropical climates. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 6 (7):899-906.
- PEZO D., HOLMANN F., ARZE J. 1999. Evaluación bioeconómica de un sistema de producción de leche basado en el uso intensivo de gramíneas fertilizadas, en el trópico húmedo de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 23(1):105-117.
- RIVERA A. 2000. Determinación del retorno de la inversión en la crianza de novillas Jersey a primer parto en la zona de altura de la meseta central de Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica. San José Costa Rica. 101 p.
- ROJAS-BOURRILLÓN A. 2002. Análisis de la inversión en el desarrollo de reemplazos. *In: 1^{er} Congreso Cooperativo Dos Pinos 2002. Comité de Educación y Bienestar Social COPROLE. Coyol de Alajuela. 20 Junio. 119 p.*
- SANCHEZ J., VILLAREAL M., SOTO H. 2000. Caracterización nutricional de los componentes forrajeros de cuatro asociaciones gramíneas/*Arachis pintoi*. *Nutrición Animal Tropical* 6 (1):1-22.
- SAS 2003. SAS 9.1.3 for Windows. Service Pack 4. Win_Pro plataforma. Copyright (c) 2002-2003 by SAS Institute Inc. Cary NC.USA.
- SETTIVARI R., SPAIN J., ELLERSIECK M., BYATT J., COLLIER R., SPIERS D. 2007. Relationship of thermal status to productivity in heat-stressed dairy cows given recombinant bovine somatotropin. *J. Dairy Sci.* 90:1265–1280.
- SMITH T, CHAPA A, WILLARD S, HERNDON C., WILLIAMS R., CROUCH J, RILEY T, POGUE D. 2006. Evaporative tunnel cooling of dairy cows in the southeast II: Impact on lactation performance. *J. Dairy Sci.* 89:3915–3923.
- STATA 2003. Statatm 8.0. Statistics/Data analysis. Special edition. Copyright 1984-2003. Stata Corporation .4905 Lakeway Drive College Station, Texas 77845, USA.
- St-PIERRE N., COBANOV B., SCHNITKEY G. 2003. Economic losses from heat stress by US livestock industries. *J. Dairy Sci.* 86:(E. Suppl.):E52–E77.
- TAPKI I., ŞAHIN A. 2006. Comparison of the thermoregulatory behaviours of low and high producing dairy cows in a hot environment. *Applied Animal Behaviour Science* 99:1-11.
- TUCKER C., ROGERS A., SCHUTZ K. 2007. Effect of solar radiation on dairy cattle behaviour, use of shade and body temperature in pasture-based system. *Applied Animal Behaviours Science*. Doi: 10.1016/j.applanim.2007.03.015.
- VALERIN J. 1997. Caracterización fenotípica y evaluación genética de reproductores Jersey para producción láctea, días abiertos, intervalo entre partos y edad al primer parto. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 125 p.
- WEST J. 1994. Interactions of energy and bovine somatotropin with heat stress. *J. Dairy Sci.* 77:2091-2102.
- WEST J. 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86:2131–2144.
- WILLIAMSON G., PAYNE W. 1975. La ganadería en regiones tropicales. Colección agricultura tropical. BLUME, España. 468 p.
- WOOD P. 1967. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature* 216:164-165.
- YATES D., KITTEL T., CANNON R. 2000. Comparing the correlative Holdridge model to mechanistic biogeographical model for assessing vegetation distribution response to climate change. *Climatic Change* 44:59-87.

ADDENDUM

Cuadro 2. Comportamiento de la producción de leche diaria por animal y de las variables ambientales con respecto al mes de evaluación.

Variable	Mes											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	XI	X	XI	XII
Producción (kg.día ⁻¹)	14,42a	14,67a	14,66a	14,20 ab	14,67a	14,60a	14,45a	13,91b	13,18c	13,16c	13,08c	12,77c
Máxima	25,55g	25,72g	28,09d	28,25cd	28,93b	29,08ab	28,42c	28,99ab	29,22a	29,14ab	26,98f	27,35e
Mínima	17,36h	17,25h	18,09f	18,59e	19,13b	19,51a	19,03bc	19,16b	18,78d	18,95c	18,49e	17,77g
Media	20,53f	20,55f	22,09d	22,52c	22,84b	23,08a	22,55c	22,94b	22,60c	22,83b	21,56e	21,50e
Precipitación (mm.día ⁻¹)	13,03a	10,48bc	4,46g	5,36fg	9,28cd	8,78cd	6,58fe	5,61fg	10,41bc	7,50de	11,21ab	3,88g
Radiación (MJ.m ⁻² .día ⁻¹)	11,82g	13,89e	17,26a	16,22c	16,11c	16,43c	15,17d	17,11ab	17,27a	16,79abc	13,08f	15,21d
Humedad relativa (%)	91,29a	89,09c	86,96f	87,17f	88,69cd	88,80c	89,02c	87,92e	88,19de	87,14f	90,23b	88,14e
Mínima	74,18a	69,19b	63,33gf	64,14dfe	65,84c	64,81dce	64,78dce	63,72gfe	62,76g	63,31gf	70,12b	65,13dc

p<0,001