

CURVA DE LACTANCIA Y CAMBIO EN EL PESO CORPORAL DE VACAS HOLSTEIN-FRIESIAN EN PASTOREO

LACTATION CURVE AND WEIGHT CHANGE OF GRAZING HOLSTEIN-FRIESIAN COWS

Vicente Lemus-Ramírez¹, Aurelio Guevara-Escobar^{2*} y José G. García-Muñiz³

¹Centro de Enseñanza Investigación y Extensión en Producción de Bovinos y Caprinos. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México. 76790. Tequisquiapan, Querétaro (vlemus@servidor.unam.mx). ²Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro. 76230. Juriquilla, Querétaro (guevara@uaq.mx). ³Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Chapingo, Estado de México (jgarciam@correo.chapingo.mx)

RESUMEN

La producción de leche en pastoreo, aunque moderada, es una opción atractiva por su bajo costo de operación e inversión de capital. En este se caracterizó un sistema de pastoreo no estacional en el altiplano mexicano al evaluar los efectos ambientales sobre variables relacionadas con la producción de leche utilizando 120 registros de lactancias de vacas Holstein-Friesian de origen neozelandés de 2001 a 2004. La caracterización incluyó el cálculo de la necesidad de energía metabolizable, consumo de materia seca (MS) y eficiencia alimenticia (EA) usando once registros de vacas en segunda lactancia obtenidos en el otoño-invierno de 1996-1997; se analizaron los cambios del peso corporal y se calculó la EA, usando los valores ajustados de leche, sólidos lácteos (SL) y el peso vivo. El rendimiento al pico de lactancia ($Y_{\max}$) y a 305 d (Y_{305}) fue menor en vacas primíparas (19.4 y 4388 L) en comparación con las múltiparas (23.0 L y 5331 L), aunque la persistencia (s) fue similar. Entre múltiparas (2-7 partos) no existió diferencia en $Y_{\max}$, Y_{305} o s . En lactancias iniciadas en primavera el $Y_{\max}$ se alcanzó más rápido y la s fue menor, en comparación con otoño; en otras estaciones estas variables fueron similares. Época de parto no tuvo efecto en $Y_{\max}$ o Y_{305} . El consumo calculado de MS fue 7120 kg (18.1 kg MS vaca⁻¹ d⁻¹) durante el ciclo productivo y la EA fue 73.62 kg SL Mg⁻¹ MS consumida. En promedio las vacas perdieron 9 kg de peso vivo desde el parto hasta el día 33, pero ganaron 24 kg hasta el final del periodo seco. Las concentraciones de energía (10 MJ de EM kg⁻¹) y proteína cruda (19.5%) del forraje muestreado no correspondieron a la respuesta productiva de las vacas; probablemente ellas consumieron forraje con mayor contenido energético en comparación con el modelo de necesidad de EM calculado.

Palabras clave: Necesidades de nutrimentos, pastoreo rotacional, persistencia, sólidos en leche.

ABSTRACT

Milk production from grazing, although moderate, is an attractive option because of low capital investment and operation costs. This study characterized a non-seasonal grazing system in the Mexican central plateau, evaluating environmental effects on variables related to milk yield with 120 lactation records of New Zealand bred Holstein-Friesian cows from 2001 to 2004. Characterization included metabolizable energy needs, dry matter (DM) intake, and feed efficiency (FE) using eleven second-lactation cows recorded in fall-winter, 1996-1997. Changes in body weight were analyzed and FE was calculated using fitted values of milk, milk solids (MS), and live weight. Yield at lactation peak ($Y_{\max}$) and at 305 d (Y_{305}) was lower in first-calf cows (19.4 and 4388 L) than in multiparous cows (23.1 L and 5331 L), although persistency (s) was similar. Among the multiparous cows (2-7 calvings), there was no difference in $Y_{\max}$, Y_{305} , or s . In lactations beginning in spring, $Y_{\max}$ was reached faster, and s was lower than those beginning in fall; when lactation began in other seasons, these variables were similar. Calving season had no effect on $Y_{\max}$ or Y_{305} . Calculated DM intake was 7120 kg (18.1 kg DM cow⁻¹ d⁻¹) during the productive cycle, and FE was 73.62 kg MS Mg⁻¹ DM intake. On average, the cows lost 9 kg live weight from calving to day 33, but gained 24 kg by the end of the dry period. Energy concentrations (10 MJ of ME kg⁻¹) and crude protein (19.5%) of the sampled forage was not consistent with the productive response of the cows, likely because they consumed forage with higher energy content relative to the calculated model of ME needs.

Key words: Nutrient needs, rotational grazing, persistency, milk solids.

INTRODUCTION

Mexico's milk production is not sufficient to cover the needs of the population, and consequently, México is the largest importer of milk in the world (Lara Covarrubias *et al.*, 2003). The situation becomes more complex

*Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: Marzo, 2007. Aprobado: Septiembre, 2008.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 42: 753-765. 2008.

INTRODUCCIÓN

La producción de leche en México es insuficiente para cubrir las necesidades de su población y como consecuencia México es el mayor importador de leche en el mundo (Lara-Covarrubias *et al.*, 2003). La situación se complica porque la producción de leche en gran parte proviene de sistemas de producción estabulados, donde la dependencia de granos importados en el sector agropecuario nacional es cada vez mayor. Así, las importaciones de maíz aumentaron 240%, comparado con periodos de 10 años antes (1984-1993) y después (1994-2003) de la implementación del tratado de libre comercio de América del Norte (TLCAN; Zahniser y Coyle, 2004). Como consecuencia, el precio pagado a los productores es bajo a pesar de su demanda (Ángeles-Montiel *et al.*, 2004; Zahniser y Coyle, 2004). En 2008 terminó el periodo de transición del TLCAN para maíz y leche, por lo que el sector agropecuario será más sensible a las importaciones y al precio internacional de los productos y será menos atractivo el uso de dietas con gran cantidad de grano.

La producción lechera en pastoreo a bajo costo se basa en el aprovechamiento del crecimiento de la pradera, con baja utilización de insumos y mano de obra, esto es, usando al forraje como fuente básica de alimentación y un alto número de vacas manejadas por persona (Ozawa *et al.*, 2005). La alta competitividad de este sistema está relacionada con el patrón estacional de crecimiento de las pasturas, que dependen básicamente de una apropiada humedad y fertilidad del suelo (Korte *et al.*, 1987; Nix, 1989). Los componentes clave en la productividad de un sistema de pastoreo son la materia seca (MS) producida por unidad de área, su contenido de energía y proteína digestible y su patrón de crecimiento (Holmes, 1987). La carga animal es una valiosa herramienta de manejo que influye en la cantidad de forraje consumido (Hodgson, 1990). Una alta carga animal maximiza la producción de sólidos lácteos (SL) por ha, pero reduce el rendimiento por unidad animal (Holmes y Wilson, 1987). Por tanto, para incrementar la ganancia neta de la granja se necesita una utilización alta del forraje proporcionado al ganado y una alta calidad genética de las vacas (Dartt *et al.*, 1999; Ozawa *et al.*, 2005).

Australia y Nueva Zelanda son competitivos en el mercado internacional de la leche porque sus sistemas están basados en el pastoreo y los costos de producción son los más bajos en el mundo. En México, las condiciones climáticas y edáficas son diferentes a la de estos países; además, en pastoreo hay restricciones nutricionales que pueden ser mayores para genotipos

because milk production largely occurs in free stall barn systems, while the domestic agricultural sector is increasingly dependent on grain imports. Maize imports increased 240% relative to those of the 10-year periods before (1984-1993) and after (1994-2003) implementation of the North American Free Trade Agreement (NAFTA) (Zahniser and Coyle, 2004). Consequently, the price paid to producers is low, in spite of the demand (Ángeles-Montiel *et al.*, 2004; Zahniser and Coyle, 2004). In 2008 the NAFTA transition period for maize and milk ended, and the agriculture and livestock sectors will be more greatly affected by imports and international prices, making use of diets that include large amounts of grain less attractive.

Low cost milk production from grazing is based on pasture growth, low inputs and labor, that is, using forage as the basic source of nutrition and a large number of cows managed per person (Ozawa *et al.*, 2005). The high competitiveness of this system is related to the seasonal pattern of pasture growth, which depends basically on appropriate soil moisture and fertility (Korte *et al.*, 1987; Nix, 1989). The key components in the productivity of a grazing system are dry matter (DM) produced per unit of area, its energy and digestible protein content, and its growth pattern (Holmes, 1987). Stocking animal rate is a valuable management tool which affects the quantity of forage intake (Hodgson, 1990). A high stocking rate maximizes production of milk solids (MS) per ha, but reduces yield per animal unit (Holmes and Wilson, 1987). Therefore, to increase net farm profits, use of a high proportion of forage and of genetically high quality cows is necessary (Dartt *et al.*, 1999; Ozawa *et al.*, 2005).

Australia and New Zealand are competitive in the international milk market because their systems are based on grazing, and their production costs are the lowest in the world. In México, the climatic and edaphic conditions are different, and under grazing there are nutritional limitations that may be greater for cattle not selected for performance in grazing systems (Kolver, 2003).

Milk production from grazing has been recommended for the wet tropical and temperate zones of México for decades. However, there is little information on the productivity of this system and even less on the dairy genotypes adapted to grazing. Because milk is sold in México principally in liquid form, it is not practical to synchronize forage growth pattern and lactation curve. This is an important difference with respect to other countries, for analysis of milk production in terms of seasonal variations and lactation number.

bovinos no seleccionados para mejor desempeño en sistemas de pastoreo (Kolver, 2003).

La producción lechera en pastoreo se ha recomendado para las zonas de clima tropical y templado húmedo de México desde hace décadas; sin embargo, hay poca información sobre la productividad de este sistema y aún menos sobre genotipos lecheros adaptados al pastoreo. Debido a que el mercado de leche líquida es la principal forma de comercialización en México, no es práctica la sincronización del patrón de crecimiento del forraje y la curva de lactancia. Ésta es una diferencia importante, respecto de otros países, para el análisis de la producción de leche en cuanto a las variaciones estacionales y el número de lactancia.

La alimentación se debe basar en el conocimiento de las necesidades de nutrimentos y su aporte por los alimentos. Para vacas en pastoreo hay varios sistemas de alimentación que establecen recomendaciones de nutrimentos basadas en el cálculo de la composición de la ganancia de peso y la producción de leche (Andrieu *et al.*, 1989; AFRC, 1993; Fox *et al.*, 2004). Dichos sistemas se han valorado en su país de origen pero hay poca información sobre su pertinencia en las condiciones de México.

Para caracterizar el sistema productivo los objetivos de esta investigación fueron: 1) describir el comportamiento de variables relacionadas con la producción de leche en un hato de vacas Holstein-Friesian de origen neozelandés en pastoreo en el altiplano mexicano con registros obtenidos de 2001 a 2004; 2) calcular la eficiencia alimenticia y el consumo de MS en el ciclo productivo mediante el análisis de la curva de lactancia (leche, grasa y proteína) y los cambios del peso vivo con registros de lactancia iniciada durante el otoño invierno de 1996-1997. Para los registros de 2001 a 2004 no se contó con mediciones con suficiente detalle para modelar las necesidades de energía metabolizable (EM) y materia seca (MS). Sin embargo, la congruencia en la producción de leche entre las dos bases de datos obtenidas con animales del mismo genotipo, sistema productivo y sitio, contribuye a una descripción más completa del sistema.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se efectuó en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Bovina y Caprina (CEIEPBC) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM, ubicado en el altiplano de México a 19° 42' 06" N, 99° 12' 54" E, y a 2263 m de altitud. El clima, C(W0)(W)b(y'), es templado subhúmedo con lluvias concentradas en las estaciones de verano-otoño (García, 1981).

La alimentación se basó en el pastoreo de una pradera irrigada de gramíneas (*Lolium perenne* L., *Festuca arundinacea* Schreb., *Dactylis glomerata* L.) y leguminosas (*Medicago sativa*

Feeding should be based on knowledge of nutritional needs and the contribution of different feeds. For grazing cows, there are several feeding systems which establish nutritional recommendations based on calculation of the composition of weight gain and milk yields (Andrieu *et al.*, 1989; AFRC, 1993; Fox *et al.*, 2004). These systems have been valued in the countries where they originated, but there is little information on its pertinence under the conditions of México.

To characterize the productive system, the objectives of this study were 1) to describe the behavior of variables related to milk production of a herd of New Zealand bred Holstein-Friesian cows grazed on the Mexican central plateau, using records obtained from 2001 to 2004; 2) to calculate feed efficiency (FE) and dry matter (DM) intake during the productive cycle with an analysis of the lactation curve (milk, fats, and protein) and changes in live weight, using records of lactation that began during the fall and winter of 1996-1997. For the records of 2001 to 2004, the measurements were not detailed enough to model metabolizable energy (ME) and DM needs. However, congruence between the two databases of milk production obtained with animals of the same genotype, production system and site contributes to a more complete description of the system.

MATERIALS AND METHODS

The study was conducted in the Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Bovina y Caprina (CEIEPBC-Center for Teaching, Research and Extension in Cattle and Goat Production) of the School of Veterinary Medicine and Animal Production of the Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), located on the Mexican central plateau at 19° 42' 06" N, 99° 12' 54" W, at an altitude of 2263 m. Climate (C(W0)(W)b(y')), is subhumid temperate with rains concentrated in summer and fall (García, 1981).

Feeding was based on grazing an irrigated pasture of grasses (*Lolium perenne* L., *Festuca arundinacea* Schreb., *Dactylis glomerata* L.) and legumes (*Medicago sativa* L., *Trifolium repens* L.), with 60-70% DM *in vitro* digestibility, 19.5% crude protein (CP), and 10 MJ of ME kg⁻¹ DM (Lemus *et al.*, 2002). Daily forage allowances for the livestock were calculated considering a DM intake of 3.5% of their live weight and a total quantity equal to two to three times the DM needs cow⁻¹ d⁻¹ (Holmes and Wilson, 1987). Average stocking rate was calculated to be 2.4 cows ha⁻¹. The grazing model used electric fence and strip grazing. The production system was not seasonal in response to needs for commercializing the product.

Variables related to milk production

Productive records were analyzed of New Zealand bred Holstein-Friesian cows born in México which had calved between November

L., *Trifolium repens* L.), con 60-70% de digestibilidad *in vitro* de la MS, 19.5% proteína cruda (PC) y 10 MJ de EM kg⁻¹ MS (Lemus *et al.*, 2002). Las asignaciones diarias de forraje para el ganado se calcularon considerando un consumo de MS de 3.5% de su peso vivo y que la cantidad total fuera dos a tres veces mayor que las necesidades de MS vaca⁻¹ d⁻¹ (Holmes y Wilson, 1987). La carga animal promedio fue calculada en 2.4 vacas ha⁻¹. El modelo de pastoreo empleado fue en línea (franjas) con cerco eléctrico. El sistema de producción fue no estacional en respuesta a las necesidades de comercialización del producto.

Variables relacionadas con la producción de leche

Se analizaron los registros productivos de vacas Holstein-Friesian de origen neozelandés nacidas en México, con partos ocurridos de noviembre del 2001 a diciembre de 2004. Para conformar la base de datos se descartaron las vacas que durante la lactancia presentaron mastitis clínica o con registros incompletos. La base de datos final consistió de 120 lactancias. Las vacas tuvieron un intervalo entre partos promedio de 12.9±0.4 meses, la duración promedio de la lactancia fue 326±18.1 d y el periodo seco 67.0±5.1 d. La producción de leche de cada vaca se registró semanalmente usando medidores proporcionales (Waikato LTD Co., New Zealand). La producción láctea se modeló usando la función gama incompleta (Wood, 1967), debido a que sus parámetros tienen una interpretación biológica para estudios de la evolución de la lactancia (Macciotta *et al.*, 2005):

$$Y_t = at^b e^{-ct} \quad (1)$$

donde, Y_t = producción de leche en el t -ésimo día de lactancia; e = base de los logaritmos naturales; a , b , c = parámetros que definen las curvas a ajustar. El rendimiento inicial inmediatamente después del parto es calculado por a ; b es la tasa de cambio desde la producción inicial hasta el máximo rendimiento; c es la tasa de cambio desde el máximo rendimiento hasta el final de la lactancia. Los estimadores de los parámetros se obtuvieron, para cada vaca, mediante regresión no lineal usando el paquete TableCurve 2D v 5.01 (Systat Software Inc., USA).

Una vez estimados los parámetros del modelo, para cada vaca se calcularon: el máximo rendimiento de leche ($Y_{\max}$) con la expresión $a(b/c)^b e^{-b}$; el tiempo después del parto para alcanzar el máximo rendimiento ($T_{\max}$) como b/c ; la persistencia (s), definida como el grado con el que se mantiene el pico de producción = $-(b+1) \ln(c)$; y la producción de leche por lactancia a 305 d (Y) se obtuvo con:

$$Y_{n_i}(L) = \sum_{i=1}^{n_i} at^b e^{-ct} \quad (2)$$

donde, n_i es la duración de lactancia de la i -ésima vaca.

Al maximizar la producción y utilización de pastura en los sistemas de pastoreo estacionales pueden resultar lactancias cortas debido

2001 and December 2004. To construct the database, cows with clinical mastitis during lactation or with incomplete records were eliminated. The final database comprised 120 lactations. The cows had a calving interval of 12.9±0.4 months; average duration of lactation was 326±18.1 d with an average dry period of 67.0±5.1 d. Milk production of each cow was recorded weekly using proportional meters (Waikato LTD Co., New Zealand). Milk production was modeled using the incomplete gamma function (Wood, 1967) because its parameters have a biological interpretation for studies of evolution of lactation (Macciotta *et al.*, 2005).

$$Y_t = at^b e^{-ct} \quad (1)$$

where Y_t = milk production on the t th day of lactation, e = the natural logarithms base; a , b , c = parameters that define the curves to be fitted. Initial yield immediately after calving is calculated by a ; b is the rate of change from initial production to maximum yield; c is the rate of change from maximum yield to the end of lactation. Estimators of the parameters were obtained for each cow by non-linear regression using the software TableCurve 2D v 5.01 (Systat Software Inc., USA).

Once the model parameters were estimated, for each cow the following were calculated: maximum milk yield ($Y_{\max}$) with the expression $a(b/c)^b e^{-b}$, time after calving to reach maximum yield ($T_{\max}$) as b/c , persistency (s), defined as the degree to which peak production is maintained = $-(b+1) \ln(c)$, and milk production per lactation to 305 d (Y) was obtained with

$$Y_{n_i}(L) = \sum_{i=1}^{n_i} at^b e^{-ct} \quad (2)$$

where n_i is duration of lactation of the i^{th} cow.

When maximizing yields and pasture in seasonal grazing systems, short lactations can result due to rationing strategies and the need to transfer forage. Depending on the calving season, grazing cows can have a moderate lactation peak and higher milk production toward the middle and end of lactation. To value milk yield in the first thirds of lactation and complete lactation, Y estimates to 205 d (Y_{205}) and 305 d (Y_{305}) of lactation were obtained.

Main effects of calving number, season and year, and their interactions were examined using a model of fixed effects with the GLM procedure (SAS Institute, 1997), but the effect of calving year and the interactions were not significant ($p>0.05$). The final fixed effects model was:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk}$$

where y_{ijk} is one of the response variables ($T_{\max}$, $Y_{\max}$, s , Y_{305} , and Y_{205}); μ is the population mean; α is the effect of the i^{th} calving; β is the effect of the j^{th} calving season; and ε is the random error related to observation y_{ijk} . Significance level was fixed at 0.05.

a las estrategias de racionamiento y a la necesidad de transferir pastura. Dependiendo de la época de parto, las vacas en pastoreo pueden tener un pico de lactancia moderado y mayor producción de leche hacia la mitad y el final de la lactancia. Para valorar la producción de leche en los dos primeros tercios de la lactancia y la lactancia completa, se obtuvieron estimados de Y a 205 (Y_{205}) y 305 d de lactancia (Y_{305}).

Se examinaron los efectos principales de número, época de parto, año de parto y sus interacciones mediante un modelo de efectos fijos con el procedimiento GLM (SAS Institute, 1997), pero el efecto de año de parto y las interacciones no fueron significativos ($p > 0.05$). El modelo final de efectos fijos fue:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk}$$

donde, y_{ijk} es alguna de las variables de respuesta ($T_{\max}$, $Y_{\max}$, s , Y_{305} y Y_{205}); μ es la media de la población; α es el efecto del i -ésimo número de parto; β el efecto de la j -ésima época de parto; y ε el error aleatorio relacionado con la observación y_{ijk} . El nivel de significancia se fijó en 0.05.

Necesidades de energía metabolizable (EM) y consumo de materia seca (MS)

Las necesidades de nutrimentos por las vacas lecheras dependen de la cantidad y composición de la leche producida, el grado de movilización de reservas corporales y la calidad de la dieta (Kolver, 2003). Para calcular las necesidades de EM (MJ d^{-1}) y MS (kg d^{-1}) se utilizaron las fórmulas de AFRC (1993) y datos de 11 lactancias (noviembre de 1996 a febrero de 1997) de vacas en su segundo parto, nacidas en México y de origen neozelandés. La producción de leche se registró como ya se describió y además se recolectaron muestras individuales de leche cada dos semanas para determinar los contenidos de grasa y proteína usando un Milkoscan (Milkoscan 133, Foss Electric, Denmark). Los rendimientos diarios y totales individuales de leche, grasa y proteína se calcularon usando las ecuaciones 1 y 2. Se registró el peso vivo (PV) individual cada 15 d durante la lactancia y el periodo seco. Los PV para los periodos intermedios entre los registros quincenales del PV se calcularon usando interpolación lineal del cambio de peso entre dos mediciones sucesivas. Lemus *et al.* (2002) reportaron información de calidad de la pradera consumida de 1995 a 1997 por las vacas evaluadas aquí. Se consideró que la pradera contenía 18.4 MJ de energía bruta (EB) y 10 MJ de EM kg^{-1} MS; además, se consideró $q_m = 0.57$, donde $q_m = \text{EM/EB}$. Las eficiencias de utilización de la EM se calcularon con las ecuaciones siguientes (AFRC, 1993):

Mantenimiento: $k_m = 0.35 q_m + 0.503$

Lactancia: $k_l = 0.35 q_m + 0.420$

Cambio de peso en vacas lactantes: $k_{g \rightarrow l} = 0.95 k_l$

Cambio de peso en vacas secas: $k_g = 0.78 q_m + 0.006$

Movilización de tejido corporal para producción de leche: $k_t = 0.84$

Crecimiento del feto: $k_c = 0.133$

Metabolizable energy (ME) needs and intake of dry matter (DM)

Dairy cows' nutrient needs depend on the quantity and composition of their milk, the degree of mobilization of body reserves, and diet quality (Kolver, 2003). To calculate ME needs (MJ d^{-1}) and DM (kg d^{-1}), AFRC (1993) formulas and data from 11 lactations (November 1996 to February 1997) of second parity cows bred in New Zealand and born in México were used. Milk production was recorded as described above, and also, individual milk samples were collected every other week to determine fat and protein contents using Milkoscan (Milkoscan 133, Foss Electric, Denmark). Daily and total individual milk yields, fat, and protein were calculated using equations 1 and 2. Individual live weight (LW) was recorded every other week during lactation and dry period. LW for periods intermediate between the bi-weekly LW records were calculated using linear interpolation of change in weight between two successive measurements. Lemus *et al.* (2002) reported information on quality of pasture consumed from 1995 to 1997 for the cows evaluated here. The pasture was considered to contain 18.4 MJ gross energy (GE) and 10 MJ ME kg^{-1} DM; $q_m = 0.57$, where $q_m = \text{ME/GE}$, was also considered. ME use efficiencies were calculated with the following equations (AFRC, 1993):

Maintenance: $k_m = 0.35 q_m + 0.503$

Lactation: $k_l = 0.35 q_m + 0.420$

Weight change in lactating cows: $k_{g \rightarrow l} = 0.95 k_l$

Weight change in dry cows: $k_g = 0.78 q_m + 0.006$

Mobilization of body tissue for milk production: $k_t = 0.84$

Fetus growth: $k_c = 0.133$

ME for maintenance (ME_m) was calculated with milk production and LW changes with the formula:

$$\text{ME}_m \left(\text{MJ d}^{-1} \right) = \frac{F_m + A_c}{k_m}$$

where F_m = energy requirement for heat production before feeding; A_c = energy required for activity, for cows that walk 3 km d^{-1} and graze on pastures (AFRC, 1993). The energy requirement for heat production before feeding was calculated following AFRC (1993):

$$F_m \left(\text{MJ d}^{-1} \right) = 0.53 \left(\frac{W_t}{1.08} \right)^{0.67},$$

and ME required for activity is:

$$A_c \left(\text{MJ d}^{-1} \right) = 0.0095 * W_t$$

where W_t is LW on day t of lactation (AFRC, 1993).

La EM para mantenimiento (EM_m) se calculó de acuerdo con la producción láctea y cambios de PV con la fórmula:

$$EM_m \text{ (MJ d}^{-1}\text{)} = \frac{F_m + A_c}{k_m}$$

donde, F_m = requerimiento de energía para producción de calor en ayuno; A_c = energía requerida por actividad, para vacas que caminan 3 km d⁻¹ y pastorean en praderas (AFRC, 1993). El requerimiento de energía para producción de calor en ayuno se calculó según AFRC (1993):

$$F_m \text{ (MJ d}^{-1}\text{)} = 0.53 \left(\frac{W_t}{1.08} \right)^{0.67}$$

y la EM requerida para actividad como:

$$A_c \text{ (MJ d}^{-1}\text{)} = 0.0095 * W_t$$

donde, W_t es el PV en el día t de lactancia (AFRC, 1993).

La EM requerida para ganancia de peso en vacas lecheras se calculó con la fórmula:

$$EM_{gan} \text{ (MJ d}^{-1}\text{)} = \frac{(LW_{gan} * EV_g)}{k_{g \rightarrow l}}$$

donde, LW_{gan} es la ganancia de PV (k_g); EV_g es el valor energético de una unidad de cambio en el PV de la vaca. Para vacas Holstein-Friesian en lactancia, el AFRC (1993) propone un valor energético de 19.3 MJ $k_{g \rightarrow l}$ de cambio de PV.

El promedio de gestación fue 280 d. Se consideró un peso promedio de las crías al nacimiento de 40 kg. La cantidad de energía retenida diariamente debida a la gestación (EM_c) se calculó con la siguiente ecuación (AFRC, 1993):

$$EM_c \text{ (MJ d}^{-1}\text{)} = \frac{0.25 * W_c \left[\left(10^{151.665 - 151.64e^{-0.0000576t}} \right) * \left(0.0201e^{-0.0000576t} \right) \right]}{k_c}$$

donde, W_c = peso al nacer del becerro; $e = 2.7182818$; t = edad de gestación; k_c = eficiencia de utilización de la EM para gestación.

Los requerimientos de EM para lactación se calcularon como:

$$EM_l \text{ (MJ d}^{-1}\text{)} = \frac{Y * EV_l}{k_l}$$

Me required for weight gain in dairy cows was calculated with the formula:

$$ME_{gan} \text{ (MJ d}^{-1}\text{)} = \frac{(LW_{gan} * EV_g)}{k_{g \rightarrow l}}$$

where, LW_{gan} is LW gain (k_g); EV_g is the energy value of a unit of change in LW of the cow. For lactating Holstein-Friesian cows, AFRC (1993) proposes an energy value of 19.3 MJ $k_{g \rightarrow l}$ for LW change.

The average gestation period was 280 d. Average weight of calves at birth was considered to be 40 kg. The amount of energy retained daily due to gestation (ME_c) was calculated with the following equation (AFRC, 1993):

$$ME_c \text{ (MJ d}^{-1}\text{)} = \frac{0.25 * W_c \left[\left(10^{151.665 - 151.64e^{-0.0000576t}} \right) * \left(0.0201e^{-0.0000576t} \right) \right]}{k_c}$$

where, W_c = calf weight at birth; $e = 2.7182818$; t = day of gestation; k_c = ME use efficiency for gestation.

ME requirements for lactation were calculated as

$$EM_l \text{ (MJ d}^{-1}\text{)} = \frac{Y * EV_l}{k_l}$$

where Y = daily milk yield (kg); EV_l = energy value of 1 kg milk; k_l = ME use efficiency for milk production.

Milk energy value (EV_l) was calculated from its composition with the following equation:

$$EV_l \text{ (MJ kg}^{-1}\text{)} = 0.0376 * G + 0.0209 * P$$

where G and P are milk fat and protein contents (g kg⁻¹).

RESULTS AND DISCUSSION

Variables related to milk production

The minimum squares mean for T_{max} of cows that calved in fall was 9.8 d later than that for cows that calved in spring; s of cows that calved in fall was 0.3 units higher than those that calved in spring (Table 1). For Y_{max} , Y_{205} , and Y_{305} , the effect of calving season was not significant ($p > 0.05$); general averages of 22.7, 3881, and 5058 L were estimated. Considering the ME of the forage reported by Lemus *et al.* (2002) for seasons of the year (9.7, 9.9, 8.8,

donde, Y = la producción diaria de leche (kg); EV_l = el valor energético de 1 kg de leche; k_l = la eficiencia de utilización de la EM para producción de leche.

El valor energético de la leche (EV_l) se calculó a partir de su composición con la siguiente ecuación:

$$EV_l \text{ (MJ kg}^{-1}\text{)} = 0.0376 \cdot G + 0.0209 \cdot P$$

donde, G y P son los contenidos de grasa y proteína de la leche (g kg^{-1}).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables relacionadas con la producción de leche

La media de cuadrados mínimos para $T_{\max}$ de vacas paridas en otoño fue 9.8 d más tardía que la de paridas en primavera; la s de vacas paridas en otoño fue mayor en 0.3 unidades respecto de las de primavera (Cuadro 1). Para $Y_{\max}$, Y_{205} y Y_{305} el efecto de época de parto no fue significativo ($p > 0.05$), estimándose promedios generales de 22.7, 3881 y 5058 L. Considerando la EM de la pastura reportada por Lemus *et al.* (2002) para las estaciones del año (9.7, 9.9, 8.8. y 10.0 MJ kg^{-1} MS de primavera a invierno), el efecto de época de parto sobre $T_{\max}$ se explicó por la menor concentración de EM en la pastura en otoño que en primavera. Aunque la EM de la pastura en invierno fue alta, es posible que la menor energía del alimento en la temporada de otoño repercuta en la producción de leche de las vacas paridas en otoño e invierno. Esto es apoyado por el valor más bajo del parámetro a para otoño e invierno (14.3 ± 0.7 y 13.8 ± 0.9 L) que en primavera (17.1 ± 0.73 L, $p \leq 0.05$).

and 10.0 MJ kg^{-1} DM from spring to winter), the effect of calving season on $T_{\max}$ was explained by the concentration of ME in fall forage which was lower than in spring forage. Although ME in winter forage was high, it is possible that the lower energy of fall forage has a repercussion on milk production of cows that calved in fall and winter. This is supported by the lower value of the parameter a for fall and winter (14.3 ± 0.73 and 13.08 ± 0.9 L) than in spring (17.1 ± 0.73 L, $p \leq 0.05$).

In the same way, the lower growth rate of pastures from January to May (Lemus *et al.*, 2002) resulted in lower accumulation of DM in the pasture and also in a lower value of the s parameter for cows that calved in spring than that for cows that calved in fall.

Regarding parity number, primiparous cows had lower $Y_{\max}$, Y_{205} , and Y_{305} than multiparous cows ($p \leq 0.05$), but $T_{\max}$ and s were similar, regardless of birth number. Y_{305} resulting from the incomplete gamma function (Table 2) for primiparous cows was 4388 L and for multiparous cows 5331 L; for Y_{205} the result was 3366 L and 4032 L.

Y_{305} and other variables related to milk yield were similar among multiparous cows. In free stall barn systems the differences in milk yield between primiparous and multiparous cows is due to a larger amount of nutrients directed toward milk production and less toward weight gain (Pollott, 2000), but also, primiparous cows have 80% the intake capacity of multiparous cows (Jarrige *et al.*, 1986). The difference between primiparous and multiparous cows was clear in the present study, but the lack of effect from parity number on milk yield in multiparous cows was attributed to the fact that voluntary intake

Cuadro 1. Medias ($\pm$ error estándar) para el efecto de época y número de parto sobre: días al pico de lactancia ($T_{\max}$), rendimiento al pico de lactancia ($Y_{\max}$), persistencia (s) y rendimiento por lactancia con duración ajustada (Y_{205} , Y_{305}).

Table 1. Means ($\pm$ standard error) for effect of season and parity number on days to lactation peak ($T_{\max}$), yield to lactation peak ($Y_{\max}$), persistency (s), and yield per lactation with adjusted duration (Y_{205} , Y_{305}).

	$T_{\max}$ (d)	$Y_{\max}$ (L)	s	Y_{205} (L)	Y_{305} (L)	n
Época de parto [†]						
Invierno	37.5 $\pm$ 3.0 ab	23.9 $\pm$ 0.8 a	6.3 $\pm$ 0.1 ab	3937.0 $\pm$ 129 a	5000.7 $\pm$ 173 a	17
Otoño	40.8 $\pm$ 2.3 b	22.2 $\pm$ 0.6 a	6.5 $\pm$ 0.1 b	3936.1 $\pm$ 100 a	5219.3 $\pm$ 134 a	29
Primavera	31.0 $\pm$ 2.4 a	24.0 $\pm$ 0.7 a	6.2 $\pm$ 0.1 a	4052.3 $\pm$ 104 a	5233.5 $\pm$ 139 a	28
Verano	33.4 $\pm$ 1.8 ab	22.6 $\pm$ 0.5 a	6.3 $\pm$ 0.0 ab	3850.3 $\pm$ 79 a	5036.1 $\pm$ 106 a	46
Número de parto [†]						
1	39.1 $\pm$ 2.2 a	19.4 $\pm$ 0.6 a	6.4 $\pm$ 0.1 a	3366.4 $\pm$ 95 a	4388.2 $\pm$ 127 a	33
2	37.4 $\pm$ 2.8 a	22.8 $\pm$ 0.8 b	6.5 $\pm$ 0.1 a	3851.8 $\pm$ 121 b	4995.3 $\pm$ 163 b	20
3	34.3 $\pm$ 2.6 a	23.7 $\pm$ 0.7 b	6.3 $\pm$ 0.1 a	4026.6 $\pm$ 112 b	5229.1 $\pm$ 150 b	23
4	31.3 $\pm$ 2.7 a	24.4 $\pm$ 0.8 b	6.2 $\pm$ 0.1 a	4176.5 $\pm$ 117 b	5465.1 $\pm$ 157 b	21
5 a 7	36.4 $\pm$ 2.6 a	25.6 $\pm$ 0.7 b	6.3 $\pm$ 0.1 a	4298.3 $\pm$ 114 b	5534.2 $\pm$ 153 b	23

[†] Medias con diferente literal en la misma columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Del mismo modo, la menor tasa de crecimiento de las praderas durante el periodo enero-mayo (Lemus *et al.*, 2002), redundó en una menor acumulación de MS en la pradera y también en un valor más bajo del parámetro s para las vacas paridas en primavera que de las paridas en otoño.

Con respecto a número de parto las vacas de primer parto tuvieron menor $Y_{\max}$, Y_{205} y Y_{305} que las multíparas ($p \leq 0.05$), pero el $T_{\max}$ y s fueron similares independientemente del número de parto. El Y_{305} resultante de la función gama incompleta (Cuadro 2) para las vacas de primer parto fue 4388 L y para las multíparas 5331 L; para Y_{205} , fue 3366 L y 4032 L.

El Y_{305} y las otras variables relacionadas con la producción de leche fueron similares entre vacas multíparas. En sistemas estabulados las diferencias en producción entre vacas de primer parto y las multíparas se debe a una mayor repartición de nutrientes hacia la producción de leche y menor hacia la ganancia de peso (Pollott, 2000), pero también la vaca primeriza tiene 80% de la capacidad de consumo de una vaca multípara (Jarrige *et al.*, 1986). La diferencia entre vacas primerizas y multíparas fue clara en el presente estudio pero la falta de efecto de número de parto sobre la producción de leche en vaca multíparas se atribuyó a que el consumo voluntario y el nivel de nutrimentos son limitantes para producciones más altas en vacas en pastoreo (Muller y Fales, 1998). Al respecto, en estudios realizados con vacas Holstein-Friesian en México considerando varios niveles tecnológicos, se ha calculado una mayor producción de leche por lactancia conforme aumenta el número de parto (Val-Arreola *et al.*, 2004; García-Muñoz *et al.*, 2007).

El nivel de $Y_{\max}$ de leche tiene una gran influencia en la producción durante el resto de la lactancia y se correlaciona positivamente con el Y_{305} . López-Villalobos *et al.* (2001) observaron en vacas Holstein-Friesian de dos líneas con diferencias genéticas en PV a edad madura un $Y_{\max}$ de 25.6 y 27.6 L, mientras que Medina (1998) reportó un $Y_{\max}$ de 24 L para vaquillas en pastoreo Holstein-Friesian de origen Americano y Holstein-Friesian de origen neozelandés.

and nutrient level are limitations for higher yields in grazing cows (Muller and Fales, 1998). In this regard, studies conducted with Holstein-Friesian cows in México, considering several levels of technology, have calculated higher milk yields per lactation as parity number increases (Val-Arreola *et al.*, 2004; García-Muñoz *et al.*, 2007).

The $Y_{\max}$ level of milk has a great influence on yield during the rest of lactation and correlates positively with Y_{305} . López-Villalobos *et al.* (2001) observed a $Y_{\max}$ of 25.6 and 27.6 L for Holstein-Friesian cows from two lines that differed genetically in LW of mature animals, while Medina (1998) reported a $Y_{\max}$ of 24 L for young grazing Holstein-Friesian American bred and New Zealand bred cows.

Persistency refers to the rate of decrease in milk yield after reaching $Y_{\max}$ (Wood, 1967). Thus, a cow with a flat lactation curve is described as persistent and can make better use of cheap feeds such as forage, undergoes less stress due to an elevated lactation peak, is less susceptible to metabolic and reproductive disorders, and therefore, is a more productive cow (Dekkers *et al.*, 1998; Jakobsen *et al.*, 2002). For this study, the value of 6.24 for multiparous cows is lower than that reported by other authors (6.70, Tekerli *et al.*, 2000; 6.35, Val-Arreola *et al.*, 2004; 6.71, Macciotta *et al.*, 2005), but higher than the 5.89 calculated by López-Villalobos *et al.* (2001). In our study this could reflect changes in LW after $T_{\max}$, since when $Y_{\max}$ is reached, persistency can be rapidly affected (Tekerli *et al.*, 2000). In this respect, Jenkins and Ferrell (1992) found that $T_{\max}$ is delayed in the measure that the energy level of the diet increases.

Metabolizable energy (ME) needs and dry matter (DM) intake

Milk yield and composition

Milk yield of the group of second calving cows used to calculate ME needs and DM intake was

Cuadro 2. Parámetros estimados de la función de gama incompleta (a , b y c), persistencia (s) y producción al pico de lactancia ($Y_{\max}$) que describen la curva de lactancia de vacas Holstein-Friesian en pastoreo.

Table 2. Estimated parameters of the incomplete gamma function (a , b , and c), persistency (s), and yield to lactation peak ($Y_{\max}$) that describe the lactation curve of grazing Holstein-Friesian cows.

Número de parto	a (L)	b	c $\times 10^{-3}$	s	$Y_{\max}$ (L)	R^2 †	n
Primíparas	14.8471	0.1796	4.7739	6.40	19.4	0.77	33
Multíparas	17.6933	0.1085	3.5871	6.24	23.0	0.60	87

† Coeficiente R^2 ajustado por grados de libertad.

La persistencia se refiere a la tasa de disminución en el rendimiento de leche después de alcanzar $Y_{\max}$ (Wood, 1967). Así, una vaca con una curva de lactancia aplanada se describe como persistente y puede hacer mayor uso de alimentos baratos como el forraje, sufre menor estrés debido a un pico de lactancia elevado, es menos susceptible a desórdenes metabólicos y reproductivos y, por tanto, es una vaca más redituable (Dekkers *et al.*, 1998; Jakobsen *et al.*, 2002). Para el presente estudio el valor de 6.24 para vacas multíparas es inferior al reportado por otros autores (6.70, Tekerli *et al.*, 2000; 6.35, Val-Arreola *et al.*, 2004; 6.71, Macciotta *et al.*, 2005), pero superior al 5.89 calculado por López-Villalobos *et al.* (2001). En el presente estudio esto pudo ser un reflejo de los cambios en el PV después de $T_{\max}$, pues al alcanzar $Y_{\max}$ la persistencia puede ser influenciada rápidamente (Tekerli *et al.*, 2000). Al respecto, Jenkins y Ferrell (1992) encontraron que el $T_{\max}$ se retrasa conforme aumenta el nivel de energía en la dieta.

Necesidades de energía metabolizable (EM) y consumo de materia seca (MS)

Producción y composición de la leche

La producción de leche del grupo de vacas de segundo parto usado para calcular las necesidades de EM y consumo de MS fue 4365 L para Y_{205} y 5997 L para Y_{305} , el $T_{\max}$ a los 48 d con un $Y_{\max}$ de 23.3 L. El promedio de sólidos en leche medidos durante la lactancia fue 5.0% para grasa y 3.43% para proteína; aunque el contenido varió en función de los días (Figura 1), con una menor proporción alrededor del pico de lactancia. La producción de grasa y proteína durante la lactancia descrita por la función gama incompleta se presenta en la Figura 2 y los parámetros correspondientes en el Cuadro 3. El total producido

4365 L for Y_{205} and 5997 for Y_{305} , $T_{\max}$ at 48 d with $Y_{\max}$ of 23.3 L. Average milk solids measured during lactation was 5.0% fat and 3.43% protein, although content varied in function of days (Figure 1), with a lower proportion around lactation peak. Fat and protein yield during lactation described by the incomplete gamma function is presented in Figure 2, and the corresponding parameters in Table 3. Total produced fat was 210.5 kg to 205 d and 293 kg to 305 d; total protein was 147.1 kg to 205 d and 202.6 to 305 d.

The amount (%) of fat in the milk in our study exhibited an inverse relationship to the lactation curve: lower at $Y_{\max}$ and increasing up to the end; this behavior coincides with that reported by Holmes and Wilson (1987). It is possible that the low proportion of fat in the milk on day 100 to day 200, the change in LW occurring from days 40 to 60 of lactation, and the 112 open days of this group of cows were associated with a period of underfeeding during the first third of lactation. Similar behavior in cows feeding on high quality alfalfa was reported and associated with a higher concentration of N-NH₃ in rumen, lower ruminal pH, and lower effectiveness of neutral detergent fiber (Waghorn and Barry, 1987). ME is the limiting nutrition factor for dairy production from grazing, but it is also possible that supply of high quality protein in the duodenum limits maximum potential milk yield to 25 kg d⁻¹ (Kolover, 2003), this coincides with the results obtained in our study.

Change in live weight

LW decreased 9.0 kg during the productive period, from calving to day 33 of lactation (Figure 3A). The change in weight reflected the change in milk yield measured between weighing dates of the

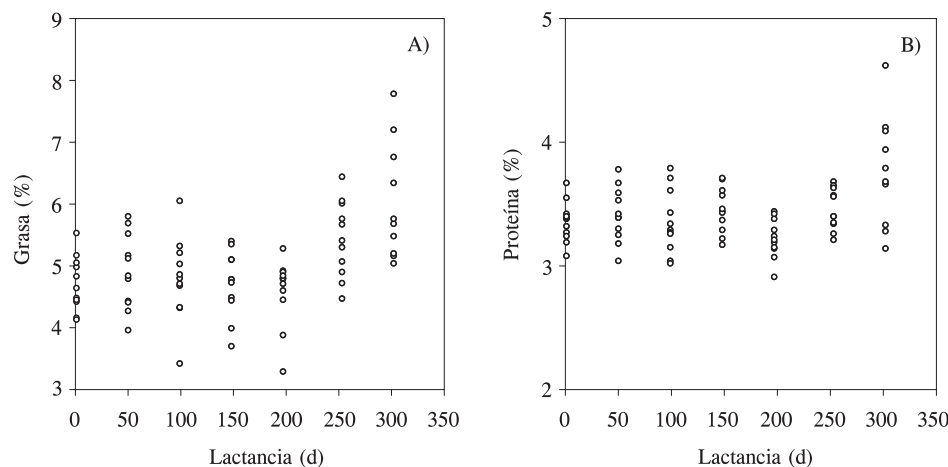


Figura 1. Contenido de sólidos de leche de vacas Holstein-Friesian en pastoreo, A) grasa y B) proteína.

Figure 1. Milk solids content of milk from grazing Holstein-Friesian cows, A) fat and B) protein.

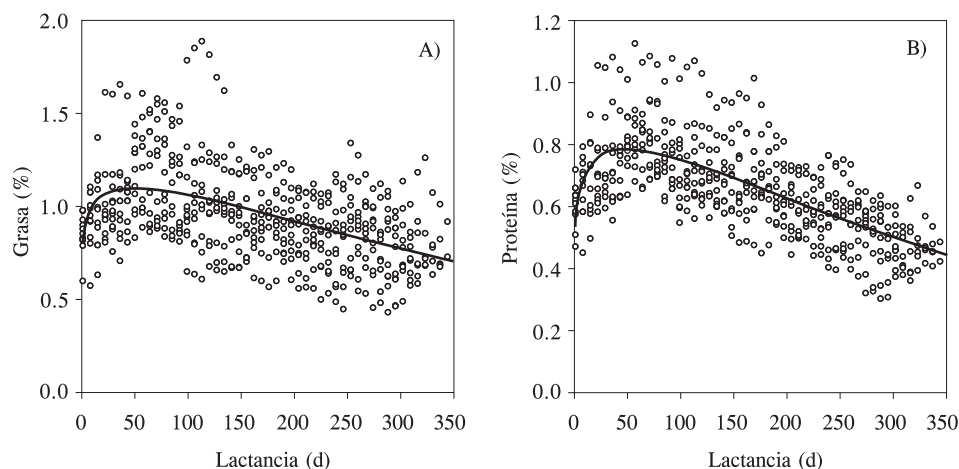


Figura 2. Curvas de la función gama incompleta para producción de grasa (A) y proteína (B) de vacas Holstein-Friesian en pastoreo.

Figure 2. Incomplete gamma function curves for fat (A) and protein (B) yield from grazing Holstein-Friesian cows.

de grasa fue 210.5 kg a 205 d y 293.7 kg a 305 d; de proteína fue 147.1 kg a 205 d y 202.6 a 305 d.

La cantidad (%) de grasa en la leche en el presente estudio mostró una relación inversa a la curva de lactancia: fue menor al alcanzar el $Y_{\max}$ y aumentando hacia el final; un comportamiento acorde con el reportado por Holmes y Wilson (1987). Es posible que la baja proporción de grasa en la leche del día 100 al 200, el cambio de peso ocurrido en los días 40 a 60 de lactancia y los 112 d abiertos de este grupo de vacas, se asociaran a un periodo de sub-alimentación durante el primer tercio de la lactancia. En vacas consumiendo alfalfa de alta calidad el comportamiento fue similar y se asoció con una mayor concentración de $N-NH_3$ en rumen, menor pH ruminal y menor efectividad de la fibra neutro detergente (Waghorn y Barry, 1987). La EM es el nutriente limitante para la producción láctea en pastoreo, pero también es posible que el abastecimiento de proteína de alta calidad en el duodeno limite el potencial máximo de producción de leche a 25 kg d^{-1} (Kolver, 2003), lo cual es acorde al resultado observado en el presente estudio.

Cambio en el peso vivo

En el periodo productivo el PV disminuyó 9.0 kg desde el parto hasta el día 33 de la lactancia (Figura 3A). El cambio de peso se reflejó en el cambio de la producción láctea medida entre las fechas de pesaje de los animales (Figura 3B). Desde el día 70 el PV aumentó 24.1 kg, en el periodo seco la ganancia de PV fue 6.9 kg, y entre partos la diferencia de PV fue 22.1 kg.

Necesidades calculadas

Los requerimientos diarios de MS (kg d^{-1}) se calcularon considerando el PV promedio, la ganancia

animals (Figure 3B). From day 70 LW increased 24.1 kg; in the dry period LW gain was 6.9 kg, and between births, the difference in LW was 22.1 kg.

Calculated needs

Daily DM requirements (kg d^{-1}) were calculated considering average LW, daily weight gain, yield of milk and milk solids (fat and protein). Lactation and dry period were considered separately; thus, DM requirements were calculated by productive stages (7120 kg DM cow^{-1} per productive cycle; Figure 4). Intake was 6511 kg during 326 d lactation and 609 kg during the dry period.

The ME kg^{-1} value of 10 MJ reported by Lemus *et al.* (2002) corresponds to the forage intake in our study; it is thus very likely that the cows selected better quality feed. This is due to the fact that the energy value was calculated from samples cut from the pasture, but the cows were offered herbage allowance two to three times greater than their DM needs. Taking into account that the upper limit for DM intake under ideal grazing conditions was 16.9 kg d^{-1} (Meijs and Hoekstra, 1984), it seems improbable that the New Zealand Holstein-

Cuadro 3. Parámetros de la función gama incompleta (a , b , c), persistencia (s), y días al pico de lactancia ($T_{\max}$) y rendimiento al pico de lactancia ($Y_{\max}$), para producción de grasa y proteína en la leche de vacas Holstein-Friesian en pastoreo.

Table 3. Parameters of the incomplete gamma function (a , b , c), persistency (s), and days to lactation peak ($T_{\max}$) and yield to lactation peak ($Y_{\max}$), for fat and protein yield in milk from grazing Holstein-Friesian cows.

	a	b	c $\times 10^{-3}$	s	$T_{\max}$ (d)	$Y_{\max}$ (L)
Grasa	0.7991	0.1092	2.1785	6.79	50.1	1.1
Proteína	0.5364	0.1327	2.7543	6.68	48.2	0.8

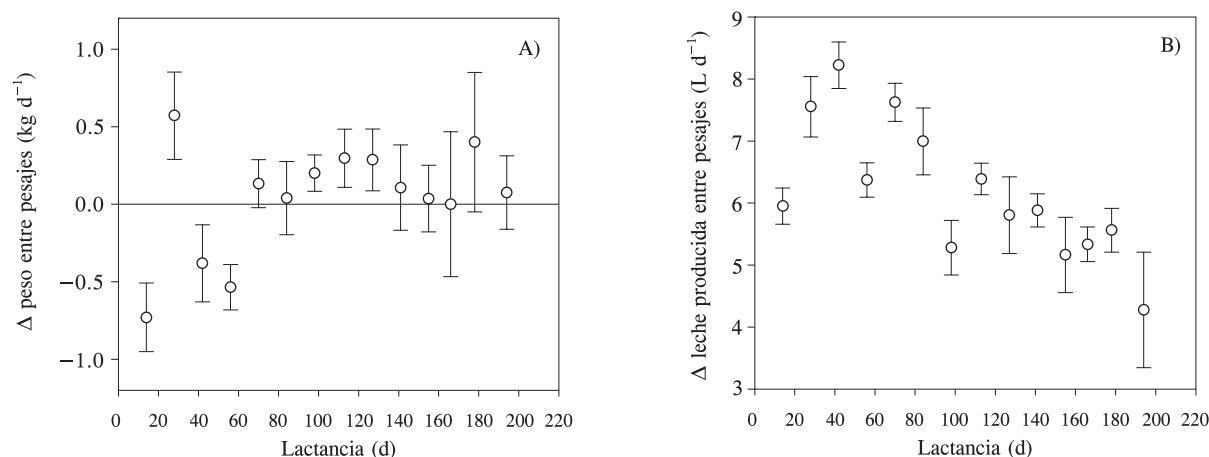


Figura 3. Medias y error estándar para: A) tasas de cambio (Δ) de peso vivo; B) producción láctea promedio diario entre pesajes de las vacas Holstein-Friesian en pastoreo.

Figure 3. Means and standard error for A) change (Δ) rates in live weight; B) average daily milk yield between weighing events of grazing Holstein-Friesian cows.

diaria de peso, la producción de leche y sólidos de grasa y proteína. La lactancia y el periodo seco se consideraron separadamente; así, los requerimientos de MS se calcularon por etapas productivas (7120 kg MS vaca⁻¹ por ciclo productivo; Figura 4). El consumo fue 6511 kg en la lactancia de 326 d y 609 kg durante el periodo seco.

El valor de 10 MJ de EM kg⁻¹ reportado por Lemus *et al.* (2002) corresponde a la pastura consumida en el presente estudio, por lo que es muy probable que las vacas seleccionaran alimento de mejor calidad. Esto se debe a que el valor energético se calculó a partir de muestras por corte de la pradera, pero a las vacas se les ofreció una asignación dos a tres veces mayor a la de su necesidad de MS. Tomando

Friesian cows could consume the quantity of forage calculated on the basis of the results of Lemus *et al.* (2002). Nevertheless, the intake level for lactating cows can reach up to 20 kg DM d⁻¹ (Bargo *et al.*, 2003).

CONCLUSIONS

For the group of New Zealand Holstein-Friesian cows managed under the conditions of this study, parity number had an effect in most of the variables related to milk yield, with higher values for multiparous cows than for first-calf cows. Lactation persistency was less in cows that calved in fall than in those that calved in spring. Cows that calved in spring reached maximum

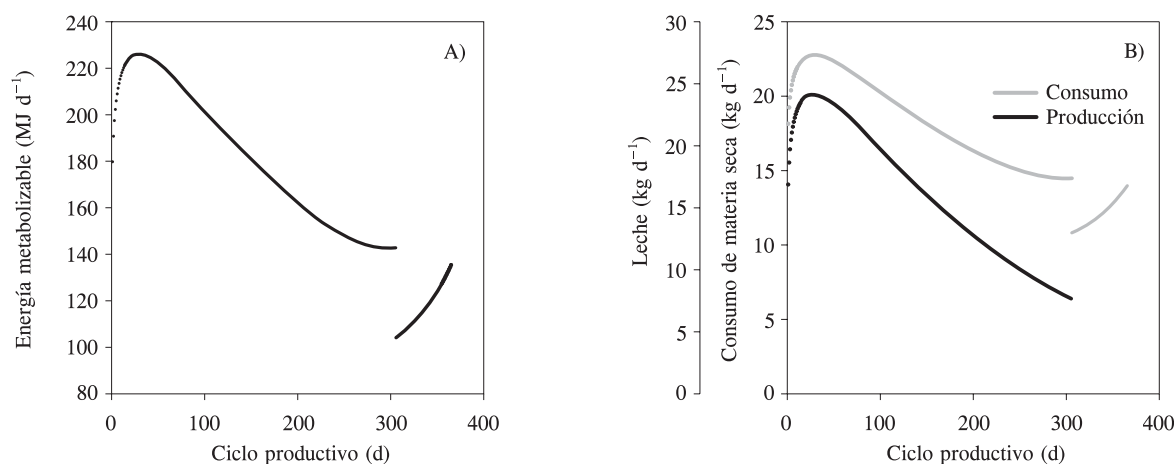


Figura 4. Modelos para: A) requerimiento de energía metabolizable; B) consumo de materia seca por día de vacas Holstein-Friesian en pastoreo.

Figure 4. Models for A) metabolizable energy requirements; B) dry matter intake per day of grazing Holstein-Friesian cows.

en cuenta que el límite superior para consumo de MS en condiciones ideales de pastoreo fue 16.9 kg d⁻¹ (Meijs y Hoekstra, 1984), parece difícil que las vacas Holstein-Friesian de origen neozelandés pudieran consumir la cantidad de forraje calculada con base en los resultados de Lemus *et al.* (2002). No obstante, el nivel de consumo para vacas en lactancia puede llegar hasta 20 kg MS d⁻¹ (Bargo *et al.*, 2003).

CONCLUSIONES

Para el grupo de vacas Holstein-Friesian neozelandés manejado en las condiciones del presente estudio, el número de parto tuvo un efecto en la mayoría de las variables relacionadas con la producción de leche, con valores mayores para vacas multíparas en relación a las primíparas. La persistencia de la lactancia fue menor en las vacas paridas en otoño en comparación con las paridas en primavera. El pico de máxima producción de leche se alcanzó antes en las vacas con parto en primavera en relación con las de otoño. Aunque el crecimiento de forraje varía durante el año, esto no se reflejó en la producción al pico de lactancia o ajustada a 305 d. La eficiencia de conversión de materia seca en sólidos de leche fue aceptable para las condiciones de este estudio pero posiblemente aún subestimada, pues el consumo de materia seca obtenido también fue alto en relación a lo reportado en la literatura.

LITERATURA CITADA

- AFRC (Agricultural and Food Research Council). 1993. Energy and Protein Requirements of Ruminants. CAB International. Wallingford, UK. 159 p.
- Andrieu, J., C. Demarquilly, and D. Sauvant. 1989. Tables of feeds used in France. In: Jarrige, R. (ed). Ruminant Nutrition: Recommended Allowances and Feed Tables. INRA. Paris. pp: 213-303.
- Ángeles-Montiel, R., J. S. Mora F., M. A. Martínez D., y R. García M. 2004. Efecto de las importaciones de leche en el mercado nacional del producto. Agrociencia 38: 555-564.
- Bargo, F., L. D. Muller, E. S. Kolver, and J. E. Delahoy. 2003. Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. J. Dairy Sci. 86: 1-42.
- Dartt, B. A., J. W. Lloyd, B. R. Radke, J. R. Black, and J. B. Kaneene. 1999. A comparison of profitability and economic efficiencies between management-intensive grazing and conventionally managed dairies in Michigan. J. Dairy Sci. 82: 2412-2420.
- Dekkers, J. C. M., J. H. Ten Haag, and A. Weersink. 1998. Economic aspects of persistency of lactation in dairy cattle. Liv. Prod. Sci. 53: 237-252.
- Fox, D. G., L. O. Tedeschi, T. P. Tylutki, J. B. Russell, M. E. Amburgh, L. E. Chase, A. N. Pell, and T. R. Overton. 2004. The Cornell net carbohydrate and protein system model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. Anim. Feed Sci. Technol. 112: 29-78.
- García, E. 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 246 p.

milk yield peak earlier than those that calved in fall. Although forage growth varies during the year, this variation was not reflected in production at lactation peak or at 305 d. Efficiency in converting dry matter into milk solids was acceptable for conditions of this study, but possibly still underestimated since the dry matter intake obtained was also higher than that reported in the literature.

—End of the English version—



- García-Muñiz, J. G., D. V. Mariscal-Aguayo, N. A. Caldera-Navarrete, R. Ramírez-Valverde, H. Estrella-Quintero, y R. Núñez-Domínguez. 2007. Variables relacionadas con la producción de leche de ganado Holstein en agroempresas familiares con diferente nivel tecnológico. Interciencia 32: 841-846.
- Hodgson, J. 1990. Grazing Management: Science into Practice. Longman Handbooks in Agriculture. John Wiley and Sons. New York. 203 p.
- Holmes, C.W. 1987. Pasture for dairy cattle. In: Nicol, A.M. (ed). Livestock Feeding on Pasture. Occasional Publication No. 10. N. Zealand Soc. Anim. Prod. Hamilton, New Zealand. pp: 133-145.
- Holmes, C. W., and G. F. Wilson. 1987. Milk Production from Pasture. Butterworths of New Zealand Ltd., Wellington, New Zealand. 319 p.
- Jakobsen, J. H., P. Madsen, J. Jensen, J. Pedersen, L. G. Christensen, and A. Sorensen. 2002. Genetic parameters for milk production and persistency for Danish Holsteins estimated in random regression models using REML. J. Dairy Sci. 85: 1607-1616.
- Jarrige, R., C. Demarquilly, J. P. Dulphy, A. Hoden, J. Robelin, C. Berenger, Y. Geay, M. Journet, C. Malterre, D. Micol, and M. Petit. 1986. The INRA fill unit system for predicting the voluntary intake of forage based diets in ruminants: A review. J. Anim. Sci. 63: 1737-1758.
- Jenkins, T. G., and C. L. Ferrell. 1992. Lactation characteristics of nine breeds of cattle fed various quantities of dietary energy. J. Anim. Sci. 70: 1652-1660.
- Kolver, E. S. 2003. Nutritional limitations to increased production on pasture-based systems. Proc. Nutr. Soc. 62: 291-300.
- Korte, C. J., A. C. P. Chu, and T. R. O. Field. 1987. Pasture production. In: Nicol, A. M. (ed). Livestock Feeding on Pasture. Occasional Publication No. 10. N. Zealand Soc. Anim. Prod. Hamilton, New Zealand. pp: 7-20.
- Lara-Covarrubias, D., J. S. Mora-Flores, M. A. Martínez Damián, G. García-Delgado, J. M. Omaña-Silvestre, y J. Gallegos-Sánchez. 2003. Competitividad y ventajas comparativas de los sistemas de producción de leche en el Estado de Jalisco, México. Agrociencia. 37: 85-94.
- Lemus, R. V., J. G. García M., S. G. Lugo L., E. Valencia G., y B. Villagrán V. 2002. Desempeño de una pradera irrigada en clima templado, establecida para el pastoreo con bovinos lecheros. Vet. Méx. 33: 11-26.
- López-Villalobos, N., R. V. Lemus, C. W. Holmes, and D. J. Garrick. 2001. Lactation curves for milk traits, live weight and body condition score for heavy and light Holstein-Friesian cows. Proc. N. Zealand Soc. Anim. Prod. 61: 217-220.
- Macciotta, N. P. P., D. Vicario, and A. Cappio-Borlino. 2005. Detection of different shapes of lactation curve for milk yield in dairy cattle by empirical mathematical models. J. Dairy Sci. 88: 1178-1191.

- Medina, C. M. 1998. Estudio del metabolismo y la relación de los trastornos metabólicos con la productividad de vaquillas Holstein-Friesian neozelandesas y americanas en pastoreo controlado. Tesis de Doctor en Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F. 160 p.
- Meijs, J. A. C., and J. A. Hoekstra. 1984. Concentrate supplementation of grazing dairy cows. 1. Effect of concentrate intake and herbage allowance on herbage intake. *Grass For. Sci.* 39: 59-66.
- Muller, L. D., and S. L. Fales. 1998. Supplementation of cool-season grass pastures for dairy cattle. *In*: Cherney, J. H. and D. J. R. Cherney (eds). *Grass for Dairy Cattle*. CABI, New York. pp: 335-350.
- Nix, J. S. 1989. Economic aspects of grass production and utilization. *In*: Holmes, C. W (ed). *Grass, its Production and Utilization*. The Br. Grassl. Soc. Blackwell Scientific Publications, 2nd ed. London, UK. pp: 214-239.
- Ozawa, T., N. López-Villalobos, and H. T. Blair. 2005. Dairy farming financial structures in Hokkaido, Japan and New Zealand. *J. Anim. Sci.* 76: 391-400.
- Pollott, G. E. 2000 A biological approach to lactation curve analysis for milk yield. *J. Dairy Sci.* 83: 2448-2458.
- SAS Institute. 1997. SAS/STAT software: changes and enhancements through release 6.12 SAS Institute. Cary, NC. 1162 p.
- Tekerli, M., Z. Akinci, I. Dogan, and A. Akcan. 2000. Factors affecting the shape of lactation curves of Holstein cows from the Balikesir province of Turkey. *J. Dairy Sci.* 83: 1381-1386.
- Val-Arreola, D., E. Kebreab, D. Dijkstra, and J. France. 2004. Study of the lactation curve in dairy cattle on farms in central Mexico. *J. Dairy Sci.* 87: 3789-3799.
- Waghorn, G. C., and T. N. Barry. 1987. Pasture as a nutrient source. *In*: Nicol, A. M. (ed). *Livestock Feeding on Pasture*. Occasional Publication No. 10. N. Zealand Soc. Anim. Prod. Hamilton New Zealand. pp: 21-38.
- Wood, P. D. P. 1967. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature* 216: 164-165.
- Zahniser, S., and W. Coyle. 2004. U.S.-Mexico corn trade during the NAFTA era: New twists to an old story. United States Department of Agriculture, Economic Research Service. Foreign Agricultural Service Report FDS-04D-01. 20 p.