

# Desempeño de una pradera irrigada en clima templado, establecida para el pastoreo con bovinos lecheros

## Performance of irrigated pasture, established for grazing dairy cattle in temperate climate

Vicente Lemus Ramírez\*  
José Guadalupe García-Muñoz\*\*  
Sara Guadalupe Lugo León\*  
Ernesto Valencia Gutiérrez\*  
Benjamín Villagrán Vélez\*

### Abstract

A three-year grazing experiment was carried out in central Mexico in order to measure botanical composition, nutritional value and pasture growth rate, and to determine the relationship between pasture height and herbage mass of a mixed grass (*Lolium perenne*, *Festuca arundinacea* and *Dactylis glomerata*) legume (*Medicago sativa* and *Trifolium repens*) sward. The pasture was flood-irrigated, and grazed throughout the year by lactating Holstein dairy cows. The pasture's botanical composition was determined using manual dissection techniques. The pasture's nutritional value was determined through the *in vitro* dry matter (DM) digestibility (IVDMD), and its crude protein (CP) content. Energy content of pasture samples, expressed as megajoules (MJ) of metabolizable energy (ME) per kg of DM, was determined from the IVDMD values. Pasture growth rates were calculated from the monthly records of herbage mass determination, and the relationship between pasture's height and herbage mass was determined using a linear regression. On average, the pasture's botanical composition included 70% grass and 30% legumes. The relationship between pasture height and herbage mass was linear and, on average, pasture herbage mass increased 219 ( $r^2 = 87.0$ ,  $CV = 6\%$ ); 206 ( $r^2 = 77.0$ ,  $CV = 8\%$ ); 107.4 ( $r^2 = 60.0$ ,  $CV = 9\%$ ) kg DM by each centimeter increase in pasture's height during spring, summer and autumn, respectively. On average, pastures yielded 17.22 tons DM/hectare/year during the three-year grazing experiment. The fastest pasture's growth rates (38 to 63 kg DM/hectare/day) were obtained during the spring-autumn period, and the slowest ones (32 to 40 kg DM/hectare/day) during winter. Throughout the year for the three-year study, the pasture's IVDMD, CP content, and ME concentration were 65%, 19.5%, and 9.6 MJ ME/kg DM, respectively. Variations observed on pasture's production and nutritional value were due to an insufficient supply of irrigation water and low fertilizer doses applied, and not to adverse effects of the grazing animals on the pasture. It is concluded that under the conditions of this study the pasture's nutritional value, botanical composition, and pasture growth rates were adequate for the feeding of lactating grazing dairy cattle.

**Key words: PASTURE GROWTH RATE, NUTRITIONAL VALUE, HERBAGE MASS, BOTANICAL COMPOSITION.**

### Resumen

En la región del altiplano mexicano se realizó un estudio durante tres años para determinar la composición botánica, el valor nutritivo, el patrón de crecimiento y la relación entre altura del forraje y cantidad de materia seca (MS) producida de una pradera mixta de gramíneas (*Lolium perenne*, *Festuca arundinacea* y *Dactylis*

Recibido el 8 de febrero de 2001 y aceptado el 19 de junio de 2001.

\* Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción de Bovinos y Caprinos (CEIEPBC), Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, Tepotzotlán, Estado de México, México.

\*\* Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chapingo, km 38.5, Carretera México-Texcoco, Chapingo, 56230, Estado de México, México.

*glomerata*) y leguminosas (*Medicago sativa* y *Trifolium repens*), manejadas con irrigación y utilizadas para ganado lechero en pastoreo. La composición botánica de la pradera se determinó usando técnicas de disección manual. El valor nutritivo del forraje se determinó a través de análisis de la digestibilidad *in vitro* de la MS (DIVMS) y de su contenido de proteína cruda (PC). El contenido energético de las muestras de forraje, expresado en megajoules (MJ) de energía metabolizable (EM) por kg de MS, se determinó a partir de los valores de DIVMS. Las tasas de crecimiento de la pradera se determinaron de las muestras mensuales colectadas durante el periodo de estudio. La relación entre altura y MS de las muestras de forraje se analizó usando un modelo de regresión lineal simple. En promedio, la composición botánica de la pradera fue de 70% para las gramíneas y 30% para las leguminosas. La relación entre altura y cantidad de MS fue lineal y en promedio cada centímetro de altura de la pradera correspondió a 219 ( $r^2 = 87.0$ , CV = 6%); 206 ( $r^2 = 77.0$ , CV = 8%); 107.4 ( $r^2 = 60.0$ , CV = 9%) kg de MS de forraje durante primavera, verano y otoño, respectivamente. En promedio, se produjeron 17.22 ton de MS/ha/año en los tres años que duró el estudio. Las tasas de crecimiento más elevadas (38 a 63 kg de MS/ha/día) se obtuvieron durante el periodo primavera-otoño y las más bajas (32 a 40 kg de MS/ha/día) durante el invierno. El valor nutritivo de la pradera para todo el año fue de 65% para la DIVMS, 19.5% para la PC y un contenido energético de 9.6 MJ de EM/kg de MS. Las variaciones observadas en los parámetros de producción y calidad del forraje de la pradera se debieron a las deficiencias en el suministro de agua de riego y a la fertilización, y no a efectos adversos del pastoreo de la pradera por el ganado lechero. Se concluye que bajo las condiciones en que se llevó a cabo el estudio, el valor nutritivo del forraje, la composición botánica y las tasas de crecimiento de la pradera, fueron apropiados para la alimentación de ganado lechero en pastoreo.

**Palabras clave:** TASA DE CRECIMIENTO DEL FORRAJE, VALOR NUTRITIVO, MASA DE FORRAJE, COMPOSICIÓN BOTÁNICA.

## Introduction

Low cost milk production in Mexico's central regions is based on rotational grazing on technologically improved swards made out of mixtures of grasses, such as perennial rye grass (*Lolium perenne*), orchard grass (*Dactylis glomerata*), tall fescue (*Festuca arundinaceae*) and legumes such as white clover (*Trifolium repens*) and alfalfa (*Medicago sativa*).<sup>1</sup> However, these swards are subject to seasonal growth patterns which determine the number of animals that can be maintained in each productive cycle.<sup>2-9</sup> This makes it indispensable to know the pattern of forage production in the meadow in order to take the appropriate decisions concerning the cattle's feed.<sup>6,8,10-13</sup> For the establishment and full use of the sward, one must be fully aware of both agricultural and ecological conditions present in the areas such as temperature, annual rainfall and fertility of the soil.<sup>14-18</sup> The amount of dry matter produced is determined by the height and density of the pasture, whereas the quality of the dry matter is determined by factors such as proportion of living and dead tissue, proportion of leaves vs. stalks, as well as existing biodiversity between different species of plants (grasses and legumes).<sup>19-22</sup> Methods which have a high predictive value must be used in order to take the most appropriate decisions concerning management of the sward.<sup>6,23-25</sup> The most productive evaluation of the sward can be accomplished by using a variety of methods which can be classified as indirect or direct ones; these methods assist the farmer in the determination of the quality and quantity of dry matter

## Introducción

La producción de leche a bajo costo en la región central de México se basa en el pastoreo rotacional de praderas tecnificadas, compuestas por mezclas de gramíneas como el ballico perenne (*Lolium perenne*), el zacate ovilla (*Dactylis glomerata*), la festuca alta (*Festuca arundinaceae*) y leguminosas como el trébol blanco (*Trifolium repens*) y la alfalfa (*Medicago sativa*).<sup>1</sup> Sin embargo, las praderas templadas están sujetas a un patrón de crecimiento estacional que determina la cantidad de animales que pueden ser mantenidos en cada ciclo productivo.<sup>2-9</sup> Por lo anterior, resulta indispensable conocer el patrón de producción forrajera de la pradera para tomar las decisiones correctas al planificar la alimentación del ganado.<sup>6,8,10-13</sup> El conocimiento de las condiciones agroecológicas de la zona como temperatura, precipitación pluvial y fertilidad del suelo, son elementos básicos a considerar para establecer y aprovechar la producción de una pradera.<sup>14-18</sup> La altura del cultivo, conjuntamente con la densidad del forraje, determinan la cantidad de MS que se produce, mientras que la proporción de tejido vivo y muerto, la relación hoja-tallo, así como la biodiversidad entre especies de plantas (gramíneas-leguminosas), determinan la calidad de la materia seca disponible.<sup>19-22</sup> La toma de decisiones oportunas para el manejo de la pradera requiere de métodos de evaluación que permitan una alta precisión en sus valores de predicción.<sup>6,23-25</sup> Para la evaluación productiva de la pradera existen

which is produced.<sup>23, 26, 27</sup> Indirect or non-destructive techniques, used to estimate the mass of forage produced, are generally used by the farmer or by a technical assistant. These techniques can range from an evaluation of the pasture by simple visual estimates, to those techniques that require measuring devices like the graduated ruler, the New Zealand plate (which measures the compressed height of the forage), or electrical measuring devices, among others. Alternatively, the botanical composition of the yield of herbage can be used as a field technique in order to perform a qualitative evaluation of dry matter. However, to determine the nutritive value of the forage, for example, the concentration of metabolizable energy (ME), one must use precise specialized techniques carried out in laboratory analyses.<sup>21, 25, 26</sup>

The purpose of the present study was to quantify changes regarding growth rate, nutritional quality, and botanical composition of a flood-irrigated mixed pasture, containing temperate area grasses and legumes established for feeding in lactating dairy cattle.

## Materials and methods

### Location of the study

The study was carried out at the "Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Bovina y Caprina" (CEIEPBC), which is part of the 'Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia' (FMVZ) of the 'Universidad Nacional Autónoma de México' (UNAM). CEIEPBC is located 50 km north of Mexico City, in the central plateau of the country. The climate in the area is  $C(W_{\phi})(W)b(y)'$ <sup>28</sup>, which corresponds to a temperate subhumid climate with seasonal summer rainfall (Table 1 and Figure 1). The study lasted three years, from 1995 to 1997.

### Establishing the sward

During the fall of 1994 (from October to November) tilling and sowing was carried out in 19.5 ha of land in order to establish the sward. For this purpose, various species of grasses and legumes were selected (Table 2). Upon sowing, the land was fertilized using urea, applying 50 units of nitrogen/ha. The same quantity of nitrogen was applied twice a year in May-June and September-October. Water requirements were covered using a flood-irrigation technique. The water was obtained from the local district of "La Concepción" dam, and, on average, the CEIEPBC received four provisions of water for the agricultural fall-winter cycle (Table 3).

### Cattle used

In order to evaluate the effects of rotational grazing on the productivity of the meadow, a group of 30 first-calf

diversos métodos de medición que se pueden clasificar como directos o indirectos, y que auxilian al productor en la determinación de la cantidad y calidad de la MS producida.<sup>23,26,27</sup> Las técnicas indirectas o no destructivas para estimar la masa de forraje generalmente son empleadas por el propio granjero o bien por un asesor técnico, y estas técnicas van desde la evaluación a simple vista hasta aquellas que requieren del uso de algún instrumento de medición como la regla graduada, el plato neozelandés para medir altura comprimida del forraje, o un medidor electrónico de la masa de forraje, entre otros. Por otro lado, la composición botánica de la masa de forraje puede utilizarse como técnica de campo para la evaluación cualitativa de la MS. Sin embargo, para una determinación más precisa del valor nutritivo del forraje, como su concentración de EM, se debe recurrir al análisis de laboratorio con técnicas especializadas.<sup>21,25,26</sup>

El objetivo del presente estudio fue cuantificar los cambios en la tasa de crecimiento, la calidad nutricia, así como la composición botánica, de una pradera asociada (gramíneas y leguminosas templadas) e irrigada, que se estableció para el pastoreo de bovinos lecheros.

## Material y métodos

### Ubicación del estudio

El estudio se realizó en los predios del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Bovina y Caprina (CEIEPBC), dependiente de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). El CEIEPBC está localizado a 50 km al norte de la ciudad de México, en el altiplano mexicano. El clima de la región es del tipo  $C(W_{\phi})(W)b(y)'$ ,<sup>28</sup> que corresponde a un clima templado-subhúmedo con precipitaciones pluviales concentradas en el verano (Cuadro 1 y Figura 1). La fase de campo del estudio duró tres años, de 1995 a 1997.

### Establecimiento de la pradera

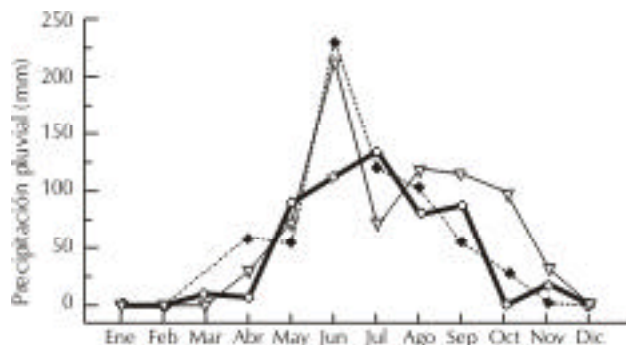
Durante el otoño de 1994 (octubre-noviembre) se realizaron las actividades agrícolas (labranza y siembra) en 19.5 hectáreas, para el establecimiento de las praderas. Para ello se seleccionaron varias especies de gramíneas y leguminosas (Cuadro 2). Al sembrar se fertilizó con urea, aplicando 50 unidades de nitrógeno/ha. Esta misma cantidad de nitrógeno se aplicó dos veces por año en mayo-junio y septiembre-octubre, durante todo el periodo de evaluación. Las necesidades de humedad de la pradera fueron cubiertas por medio de riego rodado. El agua se obtuvo del Distrito de Riego "Presa la Concepción" y, en promedio, se otorgaron al CEIEPBC cuatro riegos para el ciclo agrícola otoño-invierno (Cuadro 3).

**Cuadro 1**  
 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS Y EDAFOLÓGICAS DEL  
 CEIEPBC  
 CLIMATIC AND AGRICULTURAL CHARACTERISTICS  
 AT THE CEIEPBC

Coordenadas geográficas	19° 43' latitud norte, 94° 14' longitud oeste	
Altitud	2 450 msnm	
Precipitación pluvial	580.5 mm anuales	
Temperatura (°C)	Mínima	Máxima
Primavera-verano	8.7	24.4
Otoño-invierno	2.4	22.7
Promedio anual	5.5	23.6
Características del suelo		
Textura	*Tierras francas (textura media)	
pH		7.21
Materia orgánica (%)		10.53
Nitrógeno total (%)		0.34

\*Equal amounts of sand, loam and silt.  
 m.a.s.l. = meters above sea level

New Zealand Holstein-Friesian cows was formed. Their average weight was  $480 \pm 25$  kg. These cows were maintained during the three years in which the study was carried out, and were fed on the pasture during the whole productive cycle, except for the use of some supplementary feeding during the dry season. This supplementation consisted of silage or hay that was



**Figura 1.** Precipitación pluvial total para cada mes durante 1995 (---+---), 1996 (---□---) y 1997 (---○---) en el CEIEPBC.  
 Total monthly rainfall during 1995 (---+---), 1996 (---□---) and 1997 (---○---) in the CEIEPBC.

### Ganado utilizado

Con el objeto de evaluar los efectos del pastoreo rotacional en la productividad de la pradera, se formó un grupo de 30 vacas primíparas de la raza Holstein-Friesian Neozelandés, con un peso corporal promedio de  $480 \pm 25$  kg. Estas vacas se mantuvieron durante los tres años que duró el estudio, alimentándose a base de pradera durante todo su ciclo productivo, con excepción del uso de alimento suplementario durante la época de estiaje. El alimento suplementario consistió en forraje henificado o ensilado que se adquirió para este propósito, además de alimento balanceado comercial. En los periodos en que se suministró, éste no rebasó 20% de la dieta total. Debido al uso de suplemento durante el periodo de estiaje, la carga animal fue variable, pero en promedio ésta fue de 3.25 vacas por

**Cuadro 2**  
 DENSIDAD DE SIEMBRA DE LAS ESPECIES Y VARIEDADES EMPLEADAS EN EL ESTABLECIMIENTO DE LA PRADERA DEL CEIEPBC  
 SOWING DENSITY FOR EACH SPECIES AND VARIETY EMPLOYED IN THE ESTABLISHMENT OF THE SWARD  
 PLANTED IN THE CEIEPBC

Especie Species	Variiedad Variety	Semilla (kg/ha) Seed (kg/ha)
Gramíneas		
Ballico perene ( <i>Lolium perenne</i> )	Nui	12
Festuca alta ( <i>Festuca arundinacea</i> )	Barlatra	5
Pasto ovillo ( <i>Dactylis glomerata</i> )	Potomac	8
Leguminosas		
Alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> )	Cuf 101	10
Trébol blanco ( <i>Trifolium repens</i> )	Nativa*	-

\*White clover grows naturally in swards in this area, specially in those containing alfalfa, therefore, it was not considered during the sowing of the sward.

**Cuadro 3**  
**CALENDARIO DE RIEGOS APLICADOS A LA PRADERA EN EL CEIEPBC**  
**IRRIGATION CALENDAR FOR THE CEIEPBC SWARD**

Mes/Month	Ciclos Cycles					
	1994 - 1995		1995 - 1996		1996 - 1997	
	Riegos Irrigation	Fecha Date	Riegos Irrigation	Fecha Date	Riegos Irrigation	Fecha Date
Octubre	1	19/oct/94	1	17/oct/95		
Noviembre	1	13/nov/94	1	24/nov/95	1	17/nov/96
Diciembre	1	23/dic/94	1	05/dic/95		
Enero	1	17/ene/95	1	17/ene/96	1	08/ene/97
Febrero					1	01/feb/97
Marzo			1	13/mar/96	1	14/mar/97

bought for this specific purpose, as well as commercial balanced rations. In those seasons in which the supplementation was administered it never made up more than 20% of the total diet. Due to the use of the supplementary feed during the dry season, the carrying capacity was variable, but on average it was 3.25 cows per ha during the three years of the study. Pasturing was stripe-rotational using temporary electrical fences. On average, the rest period of the sward was 25 days in the spring-summer season, and 45 days in the fall-winter season; while the occupation period consisted of one day.

An ideal pasture height of 15 to 20 cm was fixed when grazing started, while 8 to 12 cm was fixed as the best height at the end of the grazing cycle.<sup>5,29,30</sup> Sampling of the pasture, prior to the animal's use, indicated that these heights corresponded to a mass of forage of 2,800 to 3,200 kg DM/ha before grazing, and 1,300 to 1,600 kg DM/ha after grazing. The amount of DM/cow/day during the lactation period was assigned at 2.5 to 3 times the daily requirement in order to assure the maximum consumption of forage, while during the dry period it was assigned as 1.7 times the daily requirement.<sup>5,29</sup>

### **Pasture's evaluation**

#### **Determination of the herbage mass and the nutritional value of the meadow**

Herbage mass in the sward (kg DM/ha) was determined four times a month during each of the three years of the evaluation (a total of 144 samples). An estimate of the production of DM was carried out combining direct

hectárea durante los tres años de evaluación. El pastoreo fue de tipo rotacional en franjas, usando cercos eléctricos temporales. En promedio el periodo de descanso de los potreros fue de 25 días en el periodo primavera-verano y de 45 días en el otoño-invierno, siendo los periodos de ocupación de los potreros de un día.

Para la utilización de la de pradera se fijó como meta 15 a 20 cm de altura del cultivo al inicio del pastoreo, y de 8 a 12 cm al finalizar el pastoreo.<sup>5,29,30</sup> Muestras previas a la utilización de la pradera con los animales indicaron que estas alturas correspondieron a una masa de forraje de 2 800 a 3 200 kg de MS/ha antes del pastoreo, y de 1 300 a 1 600 kg de MS/ha de forraje residual después de haberse efectuado el pastoreo. La asignación de MS/vaca/día durante la lactancia fue de 2.5 a 3 veces el requerimiento diario, para asegurar un consumo máximo de forraje, mientras que durante el periodo seco la asignación fue de 1.7 veces el requerimiento.<sup>5,29</sup>

### **Evaluación de la pradera**

#### **Determinación de masa de forraje y valor nutritivo de la pradera**

La masa de forraje en la pradera (kg MS/ha) se determinó cuatro veces por mes para cada uno de los años en evaluación (144 muestras en total). La estimación de la producción de MS se efectuó combinando mediciones directas (corte) e indirectas (altura), consideradas como destructivas y no destructivas, respectivamente.<sup>23,25</sup> Para la determinación directa, se recurrió a la técnica del marco metálico descrita por Hodgson,<sup>19</sup> que consiste en cortar la masa de forraje contenida en un marco

sampling (cutting) and indirect sampling (height), considered as destructive and non-destructive techniques, respectively.<sup>23, 25</sup> Direct determination used the metal frame technique described by Hodgson,<sup>19</sup> which consists in cutting the mass of herbage contained within a metal frame measuring 0.25 m<sup>2</sup> which is thrown at random within the confines of the pasture. Before releasing the animals in the new stripe of herbage, the frame was thrown 8 times to obtain an average herbage mass available per ha. The samples of herbage obtained were dried at 95°C/48 h in a forced air oven in order to determine the quantity of DM per ha.

From each of the samples collected for the determination of the herbage mass produced, 200 g of DM were obtained and were used for the proximal chemical analysis.<sup>31</sup> These samples were sent to the Biochemical and Animal Nutrition Department laboratory at the 'Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia' at the UNAM. *In vitro* digestibility of DM was determined using the Tilley and Terry method,<sup>32</sup> and the amount of metabolizable energy of the herbage (MJ/kg DM) was estimated using the values of IVDMD and applying the equations proposed by Geenty and Rattray.<sup>33</sup> In this case, IVDMD was transformed into digestibility of organic matter in dry matter (DOMDM) in the following way:

$$\text{DOMDM (\%)} = - 4.8 + 0.98 (\text{IVDMD}) \dots \text{Equation 1}$$

From Equation 1, the ME was obtained from the sample in the following manner:

$$\text{ME (MJ/kg DM)} = 0.16 (\text{DOMDM}) \dots \text{Equation 2}$$

Both determination of herbage mass and nutritional value of the sward were submitted to an analysis of variance (ANOVA) using the GLM procedure of SAS,<sup>34</sup> with the following model of fixed effects:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + S_j + M_{(j)k} + e_{ijkl} \dots \text{Equation 3}$$

Where:

$Y_{ijkl}$  is the *l* determination of mass of forage (kg DM/ha) or nutritional value of the sward, corresponding to the *i* year of evaluation, carried out in the *k* month, nested within the *j* season of the year,

$\mu$  is the general mean,

$A_i$  is the effect of the *i* year of sampling (*i* = 1995, ..., 1997)

$S_j$  is the effect of the *j* season of the year (*j* = spring, ..., winter)

$M_{(j)k}$  is the effect of the *j* month (*j* = January, ..., December), nested within the *j* season of the year, and

metálico de 0.25 m<sup>2</sup>, lanzado en puntos aleatorios en la pradera. Antes meter los animales a una nueva franja de pradera, se lanzó el marco ocho veces, para obtener un promedio de la masa de forraje ofrecido por ha. Las muestras de forraje obtenidas se secaron a 95°C/48 h en una estufa de aire forzado para la determinación de la cantidad de MS por ha.

De cada una de las muestras colectadas para la determinación de la masa de forraje se obtuvo una porción de 200 g de MS, para el análisis químico proximal,<sup>31</sup> que se enviaron al laboratorio del Departamento de Bioquímica y Nutrición Animal de la FMVZ-UNAM. La digestibilidad *in vitro* de la MS se determinó por el método de Tilley y Terry,<sup>32</sup> y el contenido de energía metabolizable del forraje (MJ/kg de MS) se estimó a partir de los valores de DIVMS usando las ecuaciones propuestas por Geenty y Rattray.<sup>33</sup> En este caso la DIVMS se transformó a digestibilidad de la materia orgánica de la materia seca (DMOMS) de la siguiente manera:

$$\text{DMOMS (\%)} = - 4.8 + 0.98 (\text{DIVMS}) \dots \text{Ecuación 1}$$

A partir de la Ecuación 1 se obtiene la EM de la muestra de la siguiente manera:

$$\text{EM (MJ/kg MS)} = 0.16 (\text{DMOMS}) \dots \text{Ecuación 2}$$

Tanto las determinaciones de masa de forraje como las de valor nutritivo de la pradera se sometieron a análisis de varianza (ANOVA) usando el procedimiento GLM de SAS,<sup>34</sup> con el siguiente modelo de efectos fijos:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + S_j + M_{(j)k} + e_{ijk} \dots \text{Ecuación 3}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = *l*-ésima determinación de masa de forraje (kg de MS/ha) o valor nutritivo de la pradera, correspondiente al *i*-ésimo año de evaluación, efectuada en el *k*-ésimo mes anidado en la *j*-ésima estación del año,

$\mu$  = media general,

$A_i$  = efecto del *i*-ésimo año de muestreo (*i* = 1995, . . . , 1997),

$S_j$  = efecto de la *j*-ésima estación del año (*i* = primavera, . . . , invierno),

$M_{(j)k}$  = efecto del *j*-ésimo mes (*j* = enero, . . . , diciembre), anidado en la *j*-ésima estación del año,

$e_{ijk}$  = error aleatorio (NID (0,  $\sigma_e^2$ )).

Las opciones LSMEANS, STDERR, PDIF y adjust = SCHEFFE, del procedimiento GLM de SAS,<sup>34</sup> se utilizaron para calcular las medias de mínimos cuadrados, sus errores estándar, y las diferencias predichas

$e_{ijk}$  is the random error  $\sim$  NID  $(0, \sigma_e^2)$ .

The LSMEANS, STDERR, PDIFF and adjust = SCHEFFE options of the GLM procedure of SAS<sup>34</sup> were used to calculate the minimum square means, their standard errors, and the predicted differences between the means using the Scheffé multiple comparison test.

### *Relationship between the height of the meadow and the herbage mass*

Of the three years of the study only during 1996, samples were measured for height and dry weight. Information was only registered during three seasons (spring, summer and fall). In total, 59 measurements of height and dry weight were carried out during the year. After obtaining the average height, five 0.25 m<sup>2</sup> quadrants were cut, as described by Hodgson.<sup>19</sup> Cuttings were taken at different heights, which ranged from three to 25 cm. Height was measured in at least 70 random points per ha.

A simple regression model between average height and quantity of DM was adjusted, in order to obtain a predictive equation for the herbage mass based upon the average height. Due to the fact that the samples corresponded to only three seasons of the year, the adjusted data was compared to the following linear regression models: a) adjustment to a common regression line (with the same slope and intercept for the three seasons of the year); b) adjustment to parallel regression lines (with the same slope for each season of the year, but a different intercept); and c) adjustment to regression lines with different slope and intercepts (one for each season of the year). The three adjusted models differ in the number of parameters; in the first case there are two, in the second four, and six in the third one. The three models were adjusted using the GLM procedure of SAS,<sup>34</sup> including a variable indicator for season of the year in the two cases in which the inclusion of this parameter in the model was required.

To determine the best fit equation, the three regression models were compared through sequential tests of F, as described by Snedecor and Cochran.<sup>35</sup> The calculated value of F was obtained using the following equation:

$$F_c = \frac{(\text{SES}_{\text{Reduced model}} - \text{SES}_{\text{Complete model}}) / (\text{DFE}_{\text{Reduced model}} - \text{DFE}_{\text{Complete model}})}{\text{SES}_{\text{Complete model}} / \text{DFE}_{\text{Complete model}}} \dots \text{Equation 4}$$

Where  $\text{SES}_{\text{Reduced model}}$  and  $\text{SES}_{\text{Complete model}}$  are, respectively, the sum of errors squared of the ANOVA for the reduced model (with least of the parameters) and the complete model (with most of the parameters), being compared. Similarly,  $\text{DFE}_{\text{Reduced model}}$  and  $\text{DFE}_{\text{Complete}}$

entre las medias, utilizando la prueba de comparación múltiple de Scheffé.

### *Relación entre altura de la pradera y masa de forraje*

De los tres años que duró la evaluación, únicamente durante 1996 se realizaron mediciones de altura y peso seco de las muestras. Sólo se registró información para tres estaciones del año (primavera, verano y otoño). En total se efectuaron 59 mediciones de altura y peso seco de las muestras de forraje durante el año. Después de obtener la altura promedio, se cortaron cinco cuadrantes de 0.25 m<sup>2</sup>, de acuerdo con lo descrito por Hodgson.<sup>19</sup> Los cortes se realizaron a diferentes alturas que fueron desde los 3 a los 25 cm. La altura se midió en al menos 70 puntos aleatorios por ha.

Se ajustó un modelo de regresión simple entre altura promedio y la cantidad de MS, con el fin de obtener una ecuación de predicción para la masa de forraje a partir de la altura promedio. Debido a que los muestreos correspondieron a tres estaciones del año, se procedió a comparar el ajuste de los datos a los siguientes modelos de regresión lineal: a) el ajuste de una línea común de regresión (misma pendiente e intercepto para las tres estaciones del año); b) el ajuste de líneas de regresión paralelas (misma pendiente para cada estación del año, pero con diferente intercepto), y c) el ajuste de líneas de regresión con pendientes e interceptos diferentes (una para cada estación del año). Los tres modelos ajustados difieren en el número de parámetros, ya que en el primer caso son dos, cuatro en el segundo y seis en el tercero. Los tres modelos se ajustaron usando el procedimiento GLM de SAS,<sup>34</sup> incluyendo una variable indicadora para estación del año en los dos casos que requirieron de la inclusión de ésta en el modelo.

Para determinar la ecuación de "mejor ajuste", los tres modelos de regresión se compararon a través de pruebas secuenciales de F, como lo describen Snedecor y Cochran.<sup>35</sup> El valor calculado de F se obtuvo utilizando la siguiente ecuación:

$$F_c = \frac{(\text{SCE}_{\text{Modelo reducido}} - \text{SCE}_{\text{Modelo completo}}) / (\text{GLE}_{\text{Modelo reducido}} - \text{GLE}_{\text{Modelo completo}})}{\text{SCE}_{\text{Modelo completo}} / \text{GLE}_{\text{Modelo completo}}} \dots \text{Ecuación 4}$$

Donde  $\text{SCE}_{\text{Modelo reducido}}$  y  $\text{SCE}_{\text{Modelo completo}}$  son, respectivamente, las sumas de cuadrados del error del ANOVA para el modelo reducido (el de menos parámetros) y el modelo completo (el de más parámetros), que se estén comparando. Similarmente,  $\text{GLE}_{\text{Modelo reducido}}$  y  $\text{GLE}_{\text{Modelo completo}}$  son grados de libertad del error para los

are the degrees of freedom of error for the respective models. Considering the number of parameters in the adjusted models, the following comparisons were carried out: 2 vs. 4, 2 vs. 6 and 4 vs. 6 parameters. The calculated value of F obtained in each contrast was compared to a table value obtained as follows:

$$F\alpha_{[(DFE_{\text{Reduced model}} - DFE_{\text{Complete model}}), DFE_{\text{Complete model}}]}$$

Where  $\alpha$  (0.01 or 0.05) is the level of probability; the difference  $DFE_{\text{Reduced model}}$  minus  $DFE_{\text{Complete model}}$  and  $DFE_{\text{Complete model}}$  are, respectively, the degrees of freedom in the column and row, that are required to obtain a table value for F.<sup>35</sup> The adjustment for one model was considered significantly higher than the other when  $F_c > F\alpha$ .

### *Determination of growth rates in the sward*

Growth rate (kg/DM/ha/day) was estimated from successive weekly measurements of herbage mass accumulated in the exclusion cages, divided between the days of the measurements. For this purpose, 12 cages measuring 1 m length, 0.5 m width and 0.5 m height were used. These cages were distributed at random in an area assigned for grazing. The procedure consisted in cutting the herbage mass accumulated in two cages each week. With this data, the average growth rate was obtained for each of the months in the three years of the study.

### *Botanical composition*

The botanical composition of the sward was determined through a manual separation of the forage components in a representative sample that was prepared from a mixture of individual samples obtained in each sampling of the sward. During the three years of the study the proportion of grasses and legumes was determined for each of the four seasons of the year. Ten determinations of botanical composition were carried out for each of the seasons.

In order to fulfill the “normal” requirement of the variable response that the ANOVA technique<sup>35</sup> requires, the variable response “percentage of grasses or legumes” was transformed using the angular transformation or arcsine. ANOVA and the multiple means comparison Scheffé test were carried out on the transformed data. Results obtained, expressed as the mean of the square minimums, were retransformed to be expressed in the units of the original variable.

For the botanical composition analysis, the following model of fixed effects was adjusted:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + E_j + S_k + AE_{ij} + AS_{ik} + e_{ijkl} \dots \text{Equation 5}$$

modelos respectivos. Considerando el número de parámetros en los modelos ajustados, se realizaron las siguientes comparaciones: 2 vs 4, 2 vs 6 y 4 vs 6 parámetros. El valor calculado de F obtenido en cada contraste se comparó con un valor de tablas obtenido de la siguiente manera:

$$F\alpha_{[(GLE_{\text{Modelo reducido}} - GLE_{\text{Modelo completo}}), GLE_{\text{Modelo completo}}]}$$

Donde  $\alpha$  (0.01 o 0.05) es el nivel de probabilidad; la diferencia  $GLE_{\text{Modelo reducido}}$  menos  $GLE_{\text{Modelo completo}}$  y  $GLE_{\text{Modelo completo}}$  son, respectivamente, los grados de libertad de la columna y la hilera, que se requieren para obtener un valor de tablas para F.<sup>35</sup> El ajuste de un modelo se consideró significativamente superior al del otro cuando  $F_c > F\alpha$ .

### *Determinación de las tasas de crecimiento de la pradera*

La tasa de crecimiento (kg/MS/ha/día) se estimó a partir de mediciones semanales sucesivas de la masa de forraje acumulada en jaulas de exclusión, divididas entre los días entre mediciones. Para este fin se utilizaron 12 jaulas de 1 m de largo por 0.5 m de ancho y una altura de 0.5 m. Estas jaulas se distribuyeron aleatoriamente en el área destinada al pastoreo. El procedimiento consistió en cortar la masa de forraje a ras del suelo en el momento en que se colocaron todas las jaulas de exclusión. Posteriormente se procedió a cortar el forraje acumulado de dos jaulas cada semana. Con estos datos se obtuvo la tasa de crecimiento promedio para cada una de los meses en los tres años de estudio.

### *Composición botánica*

La composición botánica de la pradera se determinó a través de la separación manual de los componentes del forraje de una muestra representativa que se preparó a partir de la mezcla de las muestras individuales obtenidas en cada muestreo. Durante los tres años que duró la evaluación se determinó la proporción de gramíneas y leguminosas presentes durante las cuatro estaciones del año. En total se hicieron diez determinaciones de composición botánica para cada una de las estaciones del año.

Para cumplir con el requisito de “normalidad” de la variable respuesta que exige la técnica de ANOVA,<sup>35</sup> la variable respuesta “porcentaje de gramínea o leguminosa” se transformó utilizando la transformación angular o arcoseno. El ANOVA y la prueba de comparación múltiple de medias de Scheffé se efectuaron en los datos transformados. Los resultados obtenidos, expresados como medias de mínimos cuadrados, se retransformaron para expresarlos en las unidades de la variable original. Para el análisis



Where:

$Y_{ijkl}$  is the l determination of botanical composition of the sward carried out on the i year of sampling, corresponding to the j season of the year and the k forage species,

$\mu$  is the general mean,

$A_i$  is the effect of the i year of sampling ( $i = 1995, \dots, 1997$ ),

$E_j$  is the effect of the j season of the year ( $j = \text{spring}, \dots, \text{winter}$ ),

$S_k$  is the effect of the k forage species ( $k = \text{grass, legume}$ ),

$AE_{ij}$  is the effect of the interaction between the i year of sampling and the j season of the year,

$AS_{ik}$  is the effect of the interaction between the i year of sampling and the k forage species,

$e_{ijkl}$  is the random error  $\sim \text{NID}(0, \sigma_e^2)$ .

## Results

### **Determination of herbage mass and height of the sward**

In order to determine the relationship between the average height of the sward and the herbage mass, an independent regression line adjustment was required for each season of the year. The linear relationship between the average height of the herbage and the quantity of DM/ha was highly significant for each of the seasons evaluated (Figure 2). On average, each centimeter increase in height corresponded to an increase on herbage mass of 219, 206 and 107 kg of DM in the spring, summer and fall, respectively (Figure 2).

### **Annual production of DM**

Estimated annual production of DM per ha/year was 17.22 tons; 1995 being the year in which more monthly production and daily accumulation of herbage was obtained. This increased production for 1995 could be due to the fact that during that year there was more irrigation (for a total of four) than in 1996 or 1997 (Table 3). There was also a better distribution of rainfall throughout that year than for 1996 or 1997 (Figure 1). In addition, the annual rainfall for 1995 was 694 mm/year, which was higher than the historical average of 629 mm/year during the period of 1991 to 1998.

The seasonal effect was significant, obtaining higher growth rates during the summer (55 kg DM/ha/day) and in the fall (57 kg DM/ha/day), with the lowest being in the winter (34 kg DM/ha/day). During the June to November period, growth rates of 48 to 63 kg of DM per day were obtained, whereas during the winter months (December to February) the lowest production in the year, with a range of 32 to 40 kg of DM per day was found (Table 4). The highest production of DM in these

de composición botánica se ajustó el siguiente modelo de efectos fijos:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + E_j + S_k + AE_{ij} + AS_{ik} + e_{ijkl} \dots \text{Ecuación 5}$$

Donde:

$Y_{ijkl}$  = l-ésima determinación de composición botánica de la pradera efectuada en el i-ésimo año de muestreo, correspondiente a la j-ésima estación del año y a la k-ésima especie forrajera,

$\mu$  = media general,

$A_i$  = efecto del i-ésimo año de muestreo ( $i = 1995, \dots, 1997$ ),

$E_j$  = efecto de la j-ésima estación del año ( $j = \text{primavera, } \dots, \text{ invierno}$ ),

$S_k$  = efecto de la k-ésima especie forrajera ( $k = \text{gramínea, leguminosa}$ ),

$AE_{ij}$  = efecto de la interacción del i-ésimo año de muestreo con la j-ésima estación del año,

$AS_{ik}$  = efecto de la interacción del del i-ésimo año de muestreo con la k-ésima especie forrajera,

$e_{ijkl}$  = error aleatorio  $\sim \text{NID}(0, \sigma_e^2)$ .

## Resultados

### **Determinación de la masa forrajera y la altura de la pradera**

Para determinar la relación entre altura promedio de la pradera y masa de forraje se requirió del ajuste de líneas de regresión independientes para cada estación del año. La relación lineal entre la altura promedio del forraje y la cantidad de MS/ha fue altamente significativa para cada una de las estaciones evaluadas (Figura 2). En promedio, a cada centímetro de incremento en altura de la pradera, correspondió un aumento en la masa de forraje de 219, 206 y 107 kg de MS en primavera, verano y otoño, respectivamente (Figura 2).

### **Producción anual de MS**

La producción estimada de MS por hectárea/año fue de 17.22 toneladas, con 1995 como el año en que se obtuvieron las mayores producciones mensuales y acumulaciones diarias de forraje. Esta mayor producción para 1995 se pudo deber a que en ese año se contó con un riego más (cuatro en total) que para 1996 y 1997 (Cuadro 3). Durante ese año también se contó con una precipitación pluvial mejor distribuida a lo largo del año que para 1996 y 1997 (Figura 1). Adicionalmente, la precipitación pluvial para 1995 fue de 694 mm/año, que fue mayor al promedio histórico de 629 mm/año durante el periodo 1991 a 1998.

El efecto de estación del año fue significativo, obteniéndose las tasas de crecimiento más altas durante el verano (55 kg MS/ha/día) y el otoño (57 kg MS/ha/día), y

months could have been due to a greater availability of both rainwater and irrigation. Most of the rainfall occurs in the June-September period (Figure 1), and the majority of the irrigation was applied during October to November in the studied area (Table 3).

### Annual variation of the botanical composition of the sward

The botanical composition of the sward, throughout the study, was practically the same during the four seasons of the year. Grasses predominated over legumes throughout the year, reaching an average of 63% (Table 5). Perennial rye grass (*Lolium perenne*) and orchard grass (*Dactylis glomerata*) offered the best quality while the tall fescue (*Festuca arundinaceae*) offered the worst. The average contribution of the legumes was 37%, with the white clover dominating the samples, making up to a 70% of the legume component.

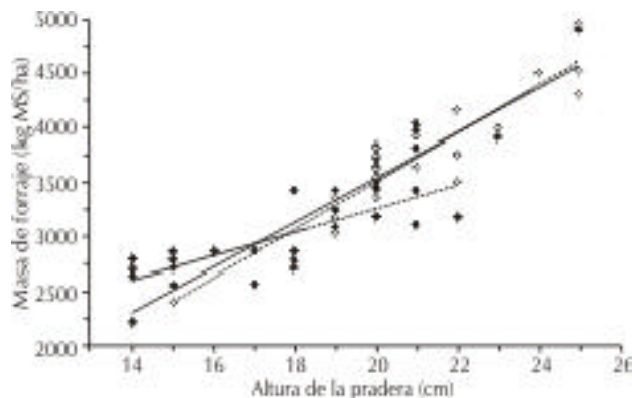
### Nutritional value of the sward

Nutritional value components of the sward (DM, CP and CF) presented differences due to season. Winter samples presented the highest values of DM (26%) and summer and fall samples the lowest (19%). Content of CP was higher in the samples collected during 1995 (20%) then for those collected during 1996 and 1997 (18%). Likewise, CF content for samples in 1995 was higher (21%) than those collected in 1997 (19%). Throughout the year, DM content of the samples varied between 17% (in September and October) and 29% (in January); CP from 17% (in October) to 21% (in February), and CF from 16% (in December) to 22% (in May). In contrast, the content of ashes, ether extract, nitrogen-free extract, and metabolizable energy, as in the in vitro digestibility of DM had practically the same values throughout the different years, seasons and months in which the study was carried out. Throughout the year, IVDMD varied from 60 to 70%, and the content of ME in the forage varied from 8.4 to 10.7 MJ/kg DM (Table 6).

## Discussion

### Relationship between height and herbage mass in the sward

The relationship between height and herbage mass in the sward differed for each season of the year. This agrees with Lucas and Thompson,<sup>26</sup> who suggest evaluating the relationship of height-mass herbage for each season of the year, especially in areas where the climatic conditions are extreme. For the present assay, the availability of water was the most restrictive factor



**Figura 2.** Relación entre altura del forraje en la pradera (cm) y masa de forraje (kg de MS/ha) para primavera (... o;  $Y = -878 (\pm 423) + 219 (\pm 20)$ ;  $r^2 = 87.0$ ;  $CV = 6$ ;  $S^2_{yx} = 220$ ), verano (■;  $Y = -573 (\pm 439) + 206 (\pm 22)$ ;  $r^2 = 77.0$ ;  $CV = 8$ ;  $S^2_{yx} = 275$ ) y otoño (---■;  $Y = 1095 (\pm 485) + 107.4 (\pm 28)$ ;  $r^2 = 60.0$ ;  $CV = 9.2$ ;  $S^2_{yx} = 272$ ), durante 1996 en el CEIEPBC).

Relationship between sward height (cm) and herbage mass (kg/DM/ha) for spring (... o;  $Y = -878 (\pm 423) + 219 (\pm 20)$ ;  $r^2 = 87.0$ ;  $CV = 6$ ;  $S^2_{yx} = 220$ ), summer (■;  $Y = -573 (\pm 439) + 206 (\pm 22)$ ;  $r^2 = 77.0$ ;  $CV = 8$ ;  $S^2_{yx} = 275$ ) and fall (---■;  $Y = 1095 (\pm 485) + 107.4 (\pm 28)$ ;  $r^2 = 60.0$ ;  $CV = 9.2$ ;  $S^2_{yx} = 272$ ), during 1996 in the CEIEPBC.

la más baja durante el invierno (34 kg MS/ha/día). Durante el periodo junio a noviembre se alcanzaron tasas de crecimiento de 48 a 63 kg de MS por día, mientras que durante los meses de invierno (diciembre a febrero) se obtuvieron las producciones más bajas de todo el año, con un rango de 32 a 40 kg de MS por día (Cuadro 4). La mayor producción de MS en estos meses pudo deberse a la mayor disponibilidad de agua tanto de lluvia como de riego. En efecto, para el sitio experimental la mayor cantidad de lluvia se concentra en el periodo junio-septiembre (Figura 1) y la mayoría de los riegos se aplicaron en los meses de octubre a noviembre (Cuadro 3).

### Variación anual en la composición botánica de la pradera

La composición botánica de la pradera fue prácticamente la misma en las cuatro estaciones del año, en los tres años que duró el estudio. Las gramíneas predominaron sobre las leguminosas a través del año, alcanzando en promedio 63% (Cuadro 5). El ballico perenne (*Lolium perenne*) y el pasto ovilla (*Dactylis glomerata*) tuvieron el mayor aporte y la Festuca alta (*Festuca arundinaceae*) el menor. La contribución media de las leguminosas fue de 37%, siendo esta porción dominada por el trébol blanco, que formó 70% del componente leguminoso.

### Valor nutritivo de la pradera

De los atributos de valor nutritivo de la pradera, sólo los contenidos de MS, PC y FC presentaron diferencias debido a estación (MS), año (PC) y mes (MS). Las

**Cuadro 4**  
 MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS ( $\pm$ ERROR ESTÁNDAR) PARA ACUMULACIÓN DIARIA (KG MS/HA) Y PRODUCCIÓN MENSUAL DE FORRAJE (KG MS/HA) PARA LOS EFECTOS DE AÑO, ESTACIÓN Y MES EN EL CEIEPBC  
 MEANS OF SQUARE MINIMUMS ( $\pm$ STANDARD ERRORS) FOR THE DAILY ACCUMULATION (KG MS/HA) AND MONTHLY HERBAGE PRODUCTION (KG MS/HA) FOR YEAR, SEASON AND MONTH EFFECTS AT THE CEIEPBC

<i>Efecto</i>		<i>Acumulación diaria de forraje (kg MS/ha)</i>	<i>Producción mensual de forraje (kg MS/ha)</i>
<i>Effect</i>		<i>Daily herbage accumulation (kg MS/ha)</i>	<i>Monthly herbage production (kg MS/ha)</i>
Año			
	1995	55.2 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>	1 687.0 $\pm$ 28 <sup>a</sup>
	1996	38.4 $\pm$ 0.8 <sup>c</sup>	1 173.0 $\pm$ 25 <sup>c</sup>
	1997	47.2 $\pm$ 0.9 <sup>b</sup>	1 442.0 $\pm$ 29 <sup>b</sup>
Estación			
	Primavera	42.0 $\pm$ 0.8 <sup>b</sup>	1 306.0 $\pm$ 30 <sup>b</sup>
	Verano	54.6 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>	1 675.0 $\pm$ 31 <sup>a</sup>
	Otoño	56.7 $\pm$ 1.0 <sup>a</sup>	1 724.0 $\pm$ 32 <sup>a</sup>
	Invierno	34.3 $\pm$ 0.9 <sup>c</sup>	1 032.0 $\pm$ 30 <sup>c</sup>
Mes			
	Enero	31.7 $\pm$ 0.9 <sup>d</sup>	982.0 $\pm$ 56 <sup>d</sup>
	Febrero	31.7 $\pm$ 1.0 <sup>dk</sup>	887.0 $\pm$ 55 <sup>dk</sup>
	Marzo	38.0 $\pm$ 0.9 <sup>cde</sup>	1 178.0 $\pm$ 54 <sup>cde</sup>
	Abril	41.0 $\pm$ 0.9 <sup>cd</sup>	1 267.0 $\pm$ 56 <sup>cd</sup>
	Mayo	47.5 $\pm$ 0.9 <sup>bc</sup>	1 473.0 $\pm$ 57 <sup>bc</sup>
	Junio	50.0 $\pm$ 0.9 <sup>bc</sup>	1 500.0 $\pm$ 56 <sup>bc</sup>
	Julio	54.3 $\pm$ 0.9 <sup>ab</sup>	1 683.0 $\pm$ 55 <sup>ab</sup>
	Agosto	59.4 $\pm$ 0.9 <sup>ab</sup>	1 841.0 $\pm$ 57 <sup>ab</sup>
	Septiembre	59.4 $\pm$ 0.9 <sup>ab</sup>	1 781.0 $\pm$ 56 <sup>ab</sup>
	Octubre	63.3 $\pm$ 0.9 <sup>ab</sup>	1 963.0 $\pm$ 55 <sup>ab</sup>
	Noviembre	47.5 $\pm$ 0.9 <sup>bc</sup>	1 425.0 $\pm$ 55 <sup>bc</sup>
	Diciembre	39.6 $\pm$ 0.9 <sup>cde</sup>	1 227.0 $\pm$ 57 <sup>cde</sup>
	Total		17 220

<sup>a,b,c,d</sup> Averages with differing lower-case superscripts in the same column during a year, season or month differ significantly ( $P < 0.05$ ; Scheffé).

in the production of forage, given that from the seven irrigations per cycle needed in this type of soil only four were applied in two of the cycles (1994-1995 and 1996-1997), and five in the 1995-1996 cycle (Table 3).

### **Production of dry matter**

The average annual yield obtained during the three years of the present study was 17.22 tons of DM/ha (Table 4). This quantity is comparable to those yields obtained in the most productive areas of New Zealand that contain perennial rye grass and white clover without irrigation.<sup>14, 36, 37</sup> However, this yield is much lower than the 22 tons of DM/ha/year obtained in Chapingo, in the State of Mexico, with similar mixtures to those used in this study.<sup>38</sup> This reduced production

muestras de invierno presentaron los valores más altos de MS (26%) y las de verano y otoño los más bajos (19%). El contenido de PC fue más alto para las muestras colectadas durante 1995 (20%) que para las de 1996 y 1997 (18%). Del mismo modo, el contenido de FC para las muestras de 1995 fue más alto (21%) que el de las colectadas en 1997 (19%). A través del año, el contenido de MS de las muestras de forraje varió entre 17% (septiembre y octubre) y 29% (enero); el de PC de 17% (octubre) a 21% (febrero), y el de FC de 16% (diciembre) a 22% (mayo). En contraparte, los contenidos de cenizas, extracto etéreo, extracto libre de nitrógeno y energía metabolizable, así como la digestibilidad *in vitro* de la MS, fueron prácticamente los mismos a través de los años, estaciones y meses en que se llevó a cabo el estudio. A través del año, la DIVMS varió de 60% a 70%

**Cuadro 5**

MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS ( $\pm$ ERRORESTÁNDAR) PARA COMPOSICIÓN BOTÁNICA DE LA PRADERA A TRAVÉS DEL AÑO PARA LOS EFECTOS DE AÑO Y ESTACIÓN EN EL CEIEPBC  
 SQUARE MEANS MINIMUM ( $\pm$ STANDARD ERROR) FOR THE BOTANICAL COMPOSITION OF THE SWARD THROUGHOUT THE YEAR FOR EFFECTS OF YEAR AND SEASON AT THE CEIEPBC

<i>Efecto</i> <i>Effect</i>	<i>Gramíneas (%)</i> <i>Grasses (%)</i>	<i>Leguminosas (%)</i> <i>Legumes (%)</i>
Año		
1995	62.0 $\pm$ 1.4 <sup>aA</sup>	38.0 $\pm$ 1.3 <sup>aB</sup>
1996	66.0 $\pm$ 1.2 <sup>aA</sup>	34.0 $\pm$ 1.3 <sup>aB</sup>
1997	62.0 $\pm$ 1.4 <sup>aA</sup>	38.0 $\pm$ 1.4 <sup>aB</sup>
Estación		
Primavera	66.0 $\pm$ 1.5 <sup>aA</sup>	34.0 $\pm$ 1.6 <sup>aB</sup>
Verano	61.0 $\pm$ 1.4 <sup>aA</sup>	39.0 $\pm$ 1.5 <sup>aB</sup>
Otoño	64.0 $\pm$ 1.5 <sup>aA</sup>	36.0 $\pm$ 1.4 <sup>aB</sup>
Invierno	62.0 $\pm$ 1.5 <sup>aA</sup>	38.0 $\pm$ 1.4 <sup>aB</sup>

<sup>a</sup> Averages with the same lower-case superscripts in the same column within one year or season are the same ( $P > 0.05$ ; Scheffé).

<sup>A,B</sup> Averages with differing upper-case superscripts in the same row differ significantly ( $P < 0.05$ ; Scheffé).

of DM was primarily due to the reduced growth rates in the swards of the CEIEPBC during the January-September period (Figure 3). Under the conditions of this study, fertilization and irrigation were considered as the main factors involved in the low production of DM during the three years of the study. In fact, while the average fertilization in the Chapingo swards was 90 kg of N y 173 kg of phosphorous ( $P_2O_5$ ) per ha when sowing,<sup>38</sup> in the CEIEPBC only 100 units of nitrogen/ha/year were distributed in two applications, which was probably insufficient to cover nitrogen and phosphorous requirements of the sward. Similarly, irrigation provided during the dry periods was scarce and irregular due to the serious deficiencies in the water supply by the 'Distrito de Riego'. While in the CEIEPBC, on average, only four irrigations per year were applied (Table 3) in Chapingo approximately twelve irrigations were applied in the November-April period of each cycle.<sup>38</sup>

### **Botanical composition of the sward**

The mixture of grasses had the highest percentage in the botanical composition in each of the four seasons of the three years of this study. This result could have been due to the fertilization of the sward which only used nitrogen, as well as to the sowing density that was applied in the mixture of grasses and legumes. In the present study, only 10 kg of commercial alfalfa seeds per ha were sown, while 25 kg per hectare of the mixture of grasses

y el contenido de EM del forraje de 8.4 a 10.7 MJ/kg de MS (Cuadro 6).

### **Discusión**

#### **Relación entre altura y masa forrajera en la pradera**

La relación entre altura y masa de forraje en la pradera difirió para cada estación del año. Esto último concuerda con lo descrito por Lucas y Thompson,<sup>26</sup> quienes sugieren evaluar la relación altura-masa forrajera para cada estación del año, sobre todo en zonas donde las condiciones climáticas sean extremas. Para el presente ensayo la disponibilidad de agua de riego fue el factor más limitante para la producción forrajera, ya que de siete riegos por ciclo que se requieren para este tipo de suelo, sólo se aplicaron cuatro riegos en dos de los ciclos (1994-1995 y 1996-1997) y cinco en el ciclo 1995-1996 (Cuadro 3).

#### **Producción de materia seca**

El rendimiento promedio anual obtenido durante los tres años de evaluación del presente estudio fue de 17.22 toneladas de MS/ha (Cuadro 4). Esta cantidad es comparable a los rendimientos obtenidos en las zonas más productoras de Nueva Zelandia con praderas de ballico perenne y trébol blanco sin irrigación.<sup>14,36,37</sup> Sin embargo, este rendimiento está muy



**Cuadro 6**  
 MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS ( $\pm$  ERROR ESTÁNDAR) PARA VALOR NUTRITIVO DE LA PRADERA A TRAVÉS DEL AÑO PARA  
 LOS EFECTOS DE AÑO, ESTACIÓN Y MES EN EL CEIEPBC  
 SQUARE MEANS MINIMUM ( $\pm$  STANDARD ERROR) FOR NUTRITIONAL VALUE OF THE SWARD THROUGHOUT THE YEAR FOR THE  
 EFFECTS OF YEAR, SEASON AND MONTH AT THE CEIEPBC

<i>Efecto</i>	<i>MS (%)</i>	<i>Cenizas (%)</i>	<i>PC (%)</i>	<i>FC (%)</i>	<i>EE (%)</i>	<i>ELN (%)</i>	<i>DIVMS (%)</i>	<i>EM (MJ/kg MS)</i>
<i>Effect</i>	<i>DM (%)</i>	<i>Ashes (%)</i>	<i>CP (%)</i>	<i>CF (%)</i>	<i>EE (%)</i>	<i>NFE (%)</i>	<i>IVDMD (%)</i>	<i>ME (MJ/kg DM)</i>
<b>Año</b>								
1995	22 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>	3.2 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	20 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	21 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	5.2 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup>	24 $\pm$ 51.0 <sup>a</sup>	64 $\pm$ 1.0 <sup>a</sup>	9.3 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>
1996	23 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>	3.4 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	18 $\pm$ 0.4 <sup>b</sup>	20 $\pm$ 0.4 <sup>ab</sup>	5.8 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup>	121 $\pm$ 49.7 <sup>a</sup>	65 $\pm$ 1.0 <sup>a</sup>	9.7 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>
1997	21 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>	3.2 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	18 $\pm$ 0.4 <sup>b</sup>	19 $\pm$ 0.4 <sup>b</sup>	5.2 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup>	27 $\pm$ 49.3 <sup>a</sup>	67 $\pm$ 1.0 <sup>a</sup>	9.8 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>
<b>Estación</b>								
Primavera	23 $\pm$ 0.6 <sup>b</sup>	3.0 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	18 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	20 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	6.3 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>	42 $\pm$ 71.4 <sup>a</sup>	66 $\pm$ 1.0 <sup>a</sup>	9.7 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>
Verano	19 $\pm$ 0.8 <sup>c</sup>	2.9 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	18 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	21 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>	5.6 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>	40 $\pm$ 57.7 <sup>a</sup>	66 $\pm$ 1.4 <sup>a</sup>	9.9 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>
Otoño	20 $\pm$ 0.7 <sup>c</sup>	3.6 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	18 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	21 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	6.0 $\pm$ 0.8 <sup>a</sup>	40 $\pm$ 46.8 <sup>a</sup>	63 $\pm$ 1.2 <sup>a</sup>	8.8 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>
Invierno	26 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>	3.3 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	20 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>	19 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>	3.7 $\pm$ 1.0 <sup>a</sup>	105 $\pm$ 65.4 <sup>a</sup>	66 $\pm$ 1.5 <sup>a</sup>	10.0 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>
<b>Mes</b>								
Enero	29 $\pm$ 1.3 <sup>a</sup>	4.0 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	19 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>	20 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>	4.0 $\pm$ 1.4 <sup>a</sup>	41 $\pm$ 104.4 <sup>a</sup>	62 $\pm$ 2.3 <sup>a</sup>	9.4 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>
Febrero	26 $\pm$ 1.8 <sup>ab</sup>	3.2 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	21 $\pm$ 1.2 <sup>a</sup>	20 $\pm$ 1.3 <sup>a</sup>	3.5 $\pm$ 2.0 <sup>a</sup>	27 $\pm$ 141.8 <sup>a</sup>	66 $\pm$ 3.0 <sup>a</sup>	10.0 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup>
Marzo	24 $\pm$ 1.0 <sup>a</sup>	3.2 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	20 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup>	17 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup>	7.2 $\pm$ 1.2 <sup>a</sup>	41 $\pm$ 84.2 <sup>a</sup>	66 $\pm$ 1.8 <sup>a</sup>	9.4 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>
Abril	23 $\pm$ 0.9 <sup>ab</sup>	3.2 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	18 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>	20 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>	4.9 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>	40 $\pm$ 68.0 <sup>a</sup>	65 $\pm$ 1.5 <sup>a</sup>	9.6 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>
Mayo	21 $\pm$ 1.1 <sup>b</sup>	2.8 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	18 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup>	22 $\pm$ 0.8 <sup>a</sup>	6.7 $\pm$ 1.2 <sup>a</sup>	40 $\pm$ 89.5 <sup>a</sup>	66 $\pm$ 1.9 <sup>a</sup>	9.9 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>
Junio	19 $\pm$ 0.9 <sup>b</sup>	2.7 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	18 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>	21 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup>	6.3 $\pm$ 1.0 <sup>a</sup>	238 $\pm$ 72.3 <sup>a</sup>	67 $\pm$ 1.6 <sup>a</sup>	10.0 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>
Julio	19 $\pm$ 1.8 <sup>ab</sup>	2.8 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	17 $\pm$ 1.2 <sup>a</sup>	21 $\pm$ 1.3 <sup>a</sup>	5.0 $\pm$ 2.0 <sup>a</sup>	58 $\pm$ 141.8 <sup>a</sup>	65 $\pm$ 3.0 <sup>a</sup>	9.8 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup>
Agosto	19 $\pm$ 1.5 <sup>b</sup>	3.2 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	19 $\pm$ 1.0 <sup>a</sup>	21 $\pm$ 1.0 <sup>a</sup>	5.6 $\pm$ 1.6 <sup>a</sup>	20 $\pm$ 116.0 <sup>a</sup>	66 $\pm$ 2.5 <sup>a</sup>	9.9 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>
Septiembre	17 $\pm$ 1.1 <sup>b</sup>	3.7 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	18 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup>	21 $\pm$ 0.8 <sup>a</sup>	6.8 $\pm$ 1.2 <sup>a</sup>	33 $\pm$ 89.5 <sup>a</sup>	64 $\pm$ 1.9 <sup>a</sup>	9.3 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>
Octubre	17 $\pm$ 1.2 <sup>b</sup>	3.3 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	17 $\pm$ 0.8 <sup>a</sup>	21 $\pm$ 0.8 <sup>a</sup>	6.2 $\pm$ 1.3 <sup>a</sup>	48 $\pm$ 93.6 <sup>a</sup>	60 $\pm$ 2.0 <sup>a</sup>	8.4 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>
Noviembre	26 $\pm$ 1.5 <sup>a</sup>	3.9 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	19 $\pm$ 1.0 <sup>a</sup>	20 $\pm$ 1.0 <sup>a</sup>	4.9 $\pm$ 1.6 <sup>a</sup>	40 $\pm$ 115.6 <sup>a</sup>	64 $\pm$ 2.5 <sup>a</sup>	8.6 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>
Diciembre	23 $\pm$ 1.5 <sup>ab</sup>	2.8 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	19 $\pm$ 1.0 <sup>a</sup>	16 $\pm$ 1.0 <sup>a</sup>	3.7 $\pm$ 1.7 <sup>a</sup>	57 $\pm$ 122.8 <sup>a</sup>	71 $\pm$ 2.6 <sup>a</sup>	10.7 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>

DM = dry matter; CP = crude protein; CF = crude fiber; EE = ether extract; NFE = nitrogen-free extract; IVDMD = *in vitro* dry matter digestibility; ME = metabolizable energy.

<sup>a,b,c</sup> Averages with different superscripts in the same column within a year, season or month, differ significantly ( $P < 0.05$ ; Scheffé).

sown (12 kg of perennial rye grass, 5 kg of tall fescue and 8 kg of orchard grass). As a point of comparison, in swards established with similar species in Chapingo in the State of Mexico, the legume component comprised approximately 60%.<sup>39-41</sup> Sowing densities for these swards were, on average, 15 kg of commercial alfalfa seeds and 24 kg of grass.<sup>30-32</sup> Similarly, the average fertilization in the Chapingo swards was comprised of 200 kg of  $P_2O_5$  and 78 kg of N/ha/year, covered with 434.8 kg of ammonia phosphate (18-46-00).<sup>39-41</sup>

### Nutritional value of the sward

The content of CP, IVDMD and the concentration of metabolizable energy for the sward did not vary significantly during the months of the three years of

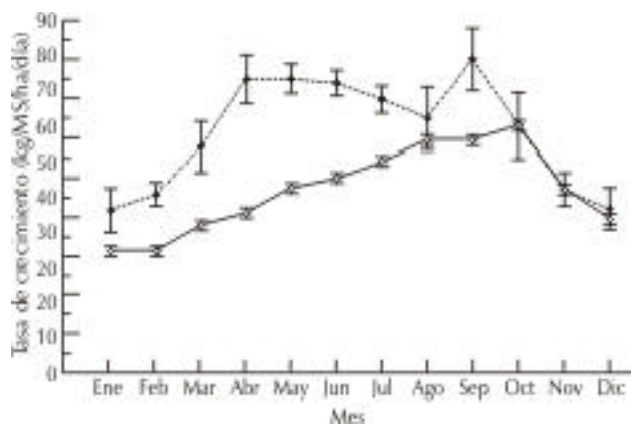
por debajo de las 22 toneladas de MS/hectárea/año obtenidas en Chapingo, Estado de México, México, con asociaciones similares a la del presente estudio.<sup>38</sup> Esta menor producción de MS se debió fundamentalmente a las menores tasas de crecimiento de las praderas del CEIEPBC durante el periodo enero-septiembre (Figura 3). Para las condiciones en que se llevó a cabo este estudio, la fertilización y el riego se consideraron como los principales responsables de la baja producción de MS en los tres años que duró la evaluación. En efecto, mientras que la fertilización promedio en las praderas de Chapingo fue de 90 kg de N y 173 kg de fósforo ( $P_2O_5$ ) por hectárea al momento de la siembra,<sup>38</sup> en el CEIEPBC solamente se aplicaron 100 unidades de nitrógeno/ha/año repartido en dos aplicaciones, lo cual probablemente no fue suficiente para cubrir las necesidades de ni-

this study. The pattern of monthly variation for these three components of nutritional value were very similar to those reported for orchard grass and alfalfa swards in Chapingo.<sup>38</sup> Slight favouring variations regarding CP, ME and IVDMD of the Chapingo swards (Figure 4) could be due to the greater percentage of alfalfa in the botanical composition of the sward, given that, compared to orchard grass, alfalfa has better CP, ME and IVDMD values.<sup>39-41</sup> While the swards in the present study had only 37% of legumes, Chapingo's alfalfa represented approximately 60% of the total herbage.<sup>38,41</sup>

Taking into consideration the findings discussed, it is concluded that under the conditions in which the present study was carried out, the nutritional value, botanical composition and growth pattern of the sward were appropriate for feeding lactating dairy cattle under grazing conditions.

## Acknowledgements

The authors wish to thank the academic personnel of the 'Departamento de Bioquímica y Nutrición' at the 'FMVZ', 'UNAM', as well as the technical staff of the 'Departamento de Registros Meteorológicos' of the 'Comisión Nacional del Agua', for their contributions to the present study.



**Figura 3.** Comparación de las tasas de crecimiento de praderas de alfalfa (*Medicago sativa*) y pasto ovillo (*Dactylis glomerata*) en Chapingo, Estado de México (■) (Sánchez *et al.*<sup>38</sup>), y el presente estudio (●).

Comparison between growth rates in alfalfa swards (*Medicago sativa*) and orchard grass (*Dactylis glomerata*) in Chapingo, Mexico (■) (Sánchez *et al.*,<sup>38</sup> and in the present study (●)).

trógeno y de fósforo de la pradera. Del mismo modo, la irrigación que se proporcionó durante los periodos de sequía fue escasa e irregular debido a serias deficiencias en el abastecimiento del agua por parte del Distrito de Riego. Mientras que en el CEIEPBC sólo se aplicaron en promedio cuatro riegos por año (Cuadro 3), en Chapingo se aplicaron alrededor de doce riegos durante el periodo noviembre-abril de cada ciclo.<sup>38</sup>

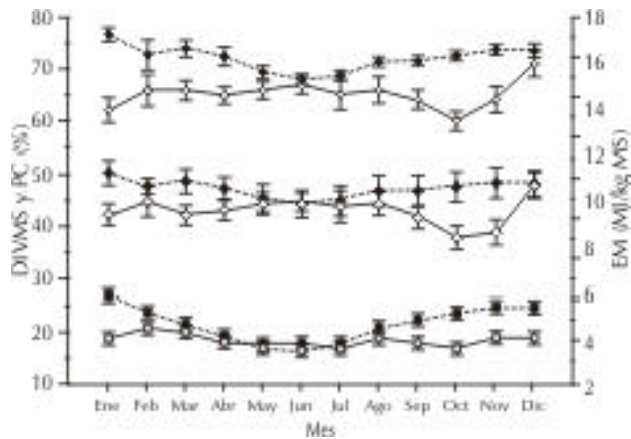
## Composición botánica de la pradera

La mezcla de pastos tuvo la mayor participación porcentual en la composición botánica de la pradera en las cuatro estaciones durante los tres años de evaluación. Este resultado pudo deberse a la fertilización de la pradera únicamente con nitrógeno, y a la densidad de siembra que se utilizó en la mezcla de pastos y leguminosas. En el presente estudio de alfalfa sólo se sembraron 10 kg de semilla comercial por hectárea, mientras que de la mezcla de pastos se sembraron 25 kg (12 de ballico perenne, cinco de festuca alta y ocho de pasto ovillo). Como comparación, en praderas establecidas con especies similares en Chapingo, Estado de México, el componente leguminoso significó alrededor de 60%.<sup>39-41</sup> Las densidades de siembra para estas praderas fueron en promedio 15 kg de semilla comercial de alfalfa y 24 kg de pasto.<sup>30-32</sup> Del mismo modo, la fertilización promedio de las praderas de Chapingo fue de 200 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 78 kg de N/ha/año, cubierto con 434.8 kg de fosfato diamónico (18-46-00).<sup>39-41</sup>

## Valor nutritivo de la pradera

El contenido de PC, la DIVMS y la concentración de energía metabolizable de la pradera no variaron significativamente durante los meses del año para los tres años que duró la evaluación. El patrón de variación mensual para estos tres componentes del valor nutricional de la pradera fue muy similar al descrito para praderas de pasto ovillo y alfalfa en Chapingo, Estado de México.<sup>38</sup> Las ligeras variaciones en PC, EM y DIVMS en favor de las praderas de Chapingo (Figura 4) pudieron deberse a la mayor participación de la alfalfa en la composición botánica de la pradera, ya que, comparada con el pasto ovillo, la alfalfa presenta mayores valores de PC, EM y DIVMS.<sup>39-41</sup> En efecto, mientras que en las praderas del presente estudio el componente leguminoso significó sólo 37% de la mezcla de forraje, en Chapingo la alfalfa significó alrededor del 60% de la mezcla de forraje.<sup>38,41</sup>

Considerando los hallazgos discutidos, se concluye que bajo las condiciones en que se llevó a cabo el presente estudio, el valor nutritivo, la composición botánica y el patrón de crecimiento de la pradera



**Figura 4.** Comparación del valor nutricional del forraje de praderas de alfalfa (*Medicago sativa*) y pasto ovrillo (*Dactylis glomerata*) en Chapingo, Estado de México (Sánchez *et al.*<sup>28</sup>), y el presente estudio [DIVMS (Chapingo, ---■---; presente estudio, —■—); PC (Chapingo, ---■---; presente estudio, —■—); EM (Chapingo, ---■---; presente estudio, —■—)].

Comparison between the nutritional value of the herbage in the alfalfa (*Medicago sativa*) and orchard grass (*Dactylis glomerata*) swards in Chapingo, Mexico (Sanchez *et al.*,<sup>28</sup> and those in the present study [IVDMD (Chapingo, ---■---; present study, —■—); CP (Chapingo, ---■---; present study —■—); ME (Chapingo, ---■---; present study, —■—)].

## Referencias

### References

1. FIRA. Boletín informativo. Producción de leche y carne a bajo costo en Teziutlán, Pue. México (DF): Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura, 1994;260:2-8.
2. Clark DA, Kannegati VR. Grazing management system for dairy cattle. In: Cherney JH, Cherney DJR, editors. Grass for dairy cattle. New York: CAB International, 1998:311-334.
3. Bryant AM. Dairying in New Zealand. In: Baker MJ, editor. Grassland for our world. Wellington (NZ): SIR Publishing, 1993:574-575.
4. Holmes CW. Pasture for dairy cattle. In: Nicol AM, editor. Livestock feeding on pasture. Occasional publication No. 10. Hamilton (NZ): New Zealand Society of Animal Production, 1987:133-145.
5. Holmes CW, Wilson GF. Milk production from pasture. Wellington (NZ): Butterworths of New Zealand Ltd., 1987.
6. Vazquez OP, Smith TR. Evaluation of alternative algorithms used to simulate pasture intake in grazing dairy cows. J Dairy Sci 2001;84:860-872.
7. Dartt BA, Lloyd JW, Radke BR, Black JR, Kaneene JB. A comparison of profitability and economic efficiencies between management-intensive grazing and conventionally managed dairies in Michigan. J Dairy Sci 1999;82:2412-2420.
8. Parker WJ, Muller LD, Buckmaster RD. Management and economic implications of intensive grazing on dairy farms in the northeastern states. J Dairy Sci 1992;75:2587-2597.
9. Sheath GW, Hay RJM, Giles KH. Managing pastures for grazing animals. In: Nicol AM, editor. Livestock feeding on pasture. Occasional publication No. 10. Hamilton (NZ): New Zealand Society of Animal Production, 1987:65-74.

fueron apropiados para la alimentación de bovinos lecheros en pastoreo.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al personal académico del Departamento de Bioquímica y Nutrición de la FMVZ-UNAM, y al personal técnico del Departamento de Registros Meteorológicos de la Comisión Nacional del Agua, por las contribuciones realizadas al presente estudio.

10. Milligan KE, Brookes IM, Thompson KF. Feed planning on pasture. In: Nicol AM, editor. Livestock feeding on pasture. Occasional publication No. 10. Hamilton (NZ): New Zealand Society of Animal Production, 1987:75-88.
11. Nix JS. Economic aspects of grass production and utilization. In: Holmes W, editor. Grass its production and utilization 2nd ed. London (UK): The British Grassland Society, Blackwell Scientific Publications, 1989:214-239.
12. Moore KC. Economics of grass for dairy cattle. In: Cherney JH, Cherney DJR, editors. Grass for dairy cattle. New York: CAB International, 1998:373-391.
13. Buxton, DR, Fales SL. Plant environment and quality. In: Fahey GC, editor. Forage quality, evaluation and utilization. Madison (Ne): University of Nebraska. American Society of Agronomy, 1994:155-199.
14. Korte CJ, Chu ACP, Field TRO. Pasture production. In: Nicol AM, editor. Livestock feeding on pasture. Occasional publication No. 10. Hamilton (NZ): New Zealand Society of Animal Production, 1987:7-20.
15. Holmes W. Grazing management. In: Holmes W, editor. Grass its production and utilization. 2nd ed. London (UK): The British Grassland Society, Blackwell Scientific Publications, 1989:130-171.
16. O'Connor KF. Pasture and soil fertility. In: Langer RHM, editor. Pastures. Their ecology and management. Auckland (NZ): Oxford University Press, 1990:157-196.
17. Parsons AJ, Chapman DF. Principles of grass growth and pasture utilization. In: Cherney JH, Cherney DJR, editors. Grass for dairy cattle. New York: CAB International, 1998:283-309.
18. Cailey JWD, Bird PR. Techniques for measuring pastures. 2nd ed. Victoria, Australia: Pastoral and Veterinary Institute Hamilton, 1996.
19. Hodgson J. Grazing management. Science into practice. London (UK): Longman Group Limited, 1990.

20. Archer S. Assessing and interpreting grass-woody plant dynamics. A functional interpretation. In: Hodgson J, Illius QW, editors. The ecology and management of grazing systems. Wallingford, Oxford (UK): CAB International, 1996:101-134.
21. Hoffman K, Muller LD, Fales SL, Holden LA. Quality evaluation and concentrate supplementation of rotational pasture grazed by lactating cows. *J Dairy Sci* 1993;76:2651-2663.
22. McCormick ME, Ward JD, Redfearn DD, French DD, Blouin DC, Chapa AM, Fernandez JM. Supplemental dietary protein for grazing dairy cows effects on pasture intake and lactation performance. *J Dairy Sci* 2001;84:896-907.
23. Smetham ML. Pasture management. In: Langer RHM, editor. Pastures. Their ecology and management. Auckland (NZ): Oxford University Press, 1990:197-240.
24. Laca EA, Demment MW. Foraging strategies of grazing animals. A functional interpretation. In: Hodgson J, Illius QW, editors. The ecology and management of grazing systems. Wallingford, Oxford (UK): CAB International, 1996:137-158.
25. 't Mannetje, L. Measuring quality of grassland vegetation. In: 't Mannetje L, editor. Measurement of grassland vegetation and animal production. Bulletin 52. Hurlley, Berkshire: Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops, 1978:63-65.
26. Lucas RJ, Thompson KF. Pasture assessment for livestock managers. In: Langer RHM, editor. Pastures. Their ecology and management. Auckland (NZ): Oxford University Press, 1990:241-262.
27. Harmony KR, Moore KJ, George JR, Brummer EC, Russel JR. Determination of pasture biomass using four indirect methods. *Agron J* 1997;89:665-672.
28. García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México (DF): Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, 1981.
29. Holden LA, Muller LD, Fales SL. Estimation of intake in high producing Holstein cows grazing grass pasture. *J Dairy Sci* 1994;77:2332-2340.
30. Gekara OJ, Prigge EC, Bryan WB, Schettini M, Nestor EL, Townsend EC. Influence of pasture sward height and concentrate supplementation on intake, digestibility, and grazing time of lactating beef cows. *J Anim Sci* 2001;79:745-752.
31. A.O.A.C. Official methods of the association of official analytical chemists. 15th ed. Arlington (VA): Association Official Analytical Chemical, 1990.
32. Tilley JMA, Terry RA. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *J Br Grassl Soc* 1963;18:104-111.
33. Geenty KG, Rattray PV. The energy requirements of grazing sheep and cattle. In: Nicol AM, editor. Livestock feeding on pasture. Occasional Publication No. 10. Hamilton (NZ): New Zealand Society of Animal Production, 1987:39-53.
34. SAS. SAS®/STAT Users Guide. Version 6.12. 4th ed. Cary (NC): SAS Institute Inc., 1989.
35. Snedecor GW, Cochran WG. Statistical methods 5th ed. Ames (Io): Iowa State University Press, 1980.
36. Daly GT. The grassland of New Zealand. In: Pastures: Langer RHM, editor. Pastures. Their ecology and management. Auckland (NZ): Oxford University Press, 1990:1-38.
37. Thompson KF, Poppi DP. Livestock production from pasture. In: Langer RHM, editor. Pastures. Their ecology and management. Auckland (NZ): Oxford University Press, 1990:263-283.
38. Sánchez BR, Jiménez FM, Tenorio DG. Parametrización del sistema de producción de leche en pastoreo y su evaluación económica (tesis de licenciatura). Chapingo (Edo. de México) México: Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, 1996.
39. Carrizales GA, Elizarrás VR. Efecto de la asignación de forraje consumido por bovinos en una pradera asociada, gramínea (*Dactylis glomerata*) var. potomac y leguminosa (*Medicago sativa*) var. valenciana (tesis de licenciatura). Chapingo (Edo. de México) México: Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, 1987.
40. Aniano AH, Ayala E JL. Producción de leche bajo pastoreo en una pradera asociada, gramínea (*Dactylis glomerata*) var. potomac y leguminosa (*Medicago sativa*) var. valenciana en Chapingo Estado de México. Primera fase (tesis de licenciatura). Chapingo (Edo. de México) México: Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, 1989.
41. Apaseo RF, Carranza LS, Alemán SS. Producción de leche bajo pastoreo en una pradera de alfalfa (*Medicago sativa*) var. valenciana y orchard (*Dactylis glomerata*) var. potomac. Segunda fase (tesis de licenciatura). Chapingo (Edo. de México) México: Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, 1990.