

Revista Electrónica Nova Scientia

Rendimiento y calidad de forraje de genotipos
de *Lotus corniculatus* en el Estado de México
Yield and quality of forage from genotypes of
Lotus corniculatus in the State of Mexico

**Dulce Violeta García-Bonilla¹, Juan de Dios Guerrero-
Rodríguez¹, Gabino García-de los Santos² y Sergio Alberto
Lagunes-Rivera¹**

¹Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, Estado de Puebla

²Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México

México

Juan de Dios Guerrero Rodríguez. E-mail: grjuan2000mx@yahoo.com ; rjuan@colpos.mx

Resumen

En México las leguminosas forrajeras más utilizadas para clima templado son las alfalfas y tréboles que, aunque poseen buenas características nutritivas, no se adaptan a todo tipo de suelos y climas, tienen demandas de agua de media a altas y causan timpanismo. Por tal motivo, el presente estudio tuvo como objetivo conocer el potencial agronómico y nutritivo de 12 genotipos de *Lotus corniculatus* L., especie que prospera en condiciones de temporal, en un amplio rango de pH y no causa timpanismo. El experimento se estableció en un suelo arcilloso en Montecillo, Texcoco, Estado de México en un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Se realizaron siete cortes, con una frecuencia de 45 días. Las variables medidas fueron producción de forraje (PF), altura de planta (AP), fibras detergentes neutro y ácido (FDN, FDA), digestibilidad *in vitro* (DIV) y proteína cruda (PC). Para el análisis de digestibilidad y proteína se realizaron mezclas de cortes por estación del año. Los datos fueron analizados como un arreglo de parcelas divididas, donde la parcela mayor fueron los genotipos y como parcela menor los cortes. Las variedades y accesiones mostraron diferencias en PF, FDN, FDA, PC y DIV ($P \leq 0.001$). Se concluye que el *Lotus corniculatus* L., reúne buenas características agronómicas, pues llega a producir en promedio hasta 7,400 kg MS ha⁻¹ al año con porcentajes de digestibilidad hasta del 76 al 79 % y del 18 al 22.6% de proteína cruda. De los 12 genotipos evaluados, se encontró que 10 de ellos tuvieron mayor potencial productivo y de calidad.

Palabras clave: Trébol pata de pájaro, digestibilidad, proteína

Recepción: 07-07-2014

Aceptación: 06-10-2014

Abstract

In Mexico the most widely used forage legumes for temperate climate are alfalfa and clovers, although they have good nutritional characteristics, they are not adapted to all soil types, and climates; additionally they have medium to high water demand and cause bloat. Therefore, this

study aimed to understand the agronomic and nutritional potential of twelve genotypes of *Lotus corniculatus* L., a species that thrives under rainfed conditions in a wide range of pH and does not cause bloat. The experiment was established on a clay soil in Montecillo, Texcoco, State of Mexico under a randomized block design with four replications. Seven cuts were made with a frequency of 45 days. The variables measured were forage production (FP), plant height (PH), neutral and acid detergent fiber (NDF, ADF), in vitro digestibility (IVD) and crude protein (CP). For digestibility and protein analyses, the plant material of several harvests in a season were pooled. Data analysis for the overall harvests were analyzed as a split plot arrangement, where the main plot were the genotypes and the small plot the harvest. The varieties and accessions showed differences in FP, NDF, ADF, CP and IVD ($P \leq 0.001$). It is concluded that *Lotus corniculatus* L., show good agronomic characteristics, producing up to 7,400 kg MS ha⁻¹ on average per year with percentages of digestibility from 76 to 79 % and from 18 to 22.6 % of crude protein. From the 12 genotypes, considering criteria of forage production and quality, 10 showed good performance.

Keywords: birdsfoot trefoil, digestibility, protein

Introducción

Se estima que en México se siembra un total de 1, 549, 949 hectáreas de cultivos forrajeros, con una producción de 18, 569, 831 ton ha⁻¹ anuales (SIAP, 2012). En relación a las leguminosas, la especie forrajera de clima templado más común es la alfalfa (*Medicago sativa* L.) la cual tiene buenas cualidades, pero sus requerimientos de agua son altos (Lloverás, 1999, 156; Medrano *et al.*, 2007, 74). Adicionalmente puede causar timpanismo, derivada de la alta cantidad de proteína foliar que es degradada rápidamente por los microorganismos del rumen (Spangenberg 1999, 9). Una leguminosa perenne poco conocida en México es *el Lotus corniculatus* L., llamada comúnmente “trébol pata de pájaro” (García-de los Santos y Steiner, 2003, 29). Por su origen europeo, esta especie se adapta principalmente a climas templados y fríos, aunque crece también en latitudes tropicales y subtropicales y es apropiada para suelos que van desde arcillosos hasta arenosos, secos e inundados (Jones y Turkington, 1986, 1188; Acuña, 1998, 8). Esta especie tolera pH de 5.5 a 7.5 (Canals *et al.*, 2009), y se adapta a suelos poco fértiles (Striker *et al.*, 2005, 302), condiciones limitativas para el trébol rojo y blanco (Grant, 2009).

Estudios de esta leguminosa sobre la producción y calidad nutritiva han sido reportados por varios autores en diversas partes del mundo. Su producción de forraje puede ir de 4,799 a 13,300 kg de MS ha⁻¹ (Acuña, 1998, 9; Soto *et al.*, 2005, 160; Ramírez-Restrepo *et al.* 2006b, 93; Cárdenas *et al.*, 2007, 652). En cuanto a su calidad nutritiva, se reporta para esta especie concentraciones de proteína cruda entre 14.6 y 28.6 % (Arzani *et al.*, 2006, 130; Fulkerson *et al.*, 2006, 261; Scharenberg *et al.*, 2007, 486). Fulkerson *et al.* (2006, 261) encontraron que *L. corniculatus* contiene el 20.9 % de proteína degradada en rumen superior al óptimo que es del 11 %; además de proteína sin degradar del 77 % en rumen y proteína metabolizable del 10.9 % similares a la alfalfa en un clima templado cálido de Australia. La fibra insoluble en detergente neutro (FDN) se reporta entre 27.4 y 48%, la fibra insoluble en detergente ácido (FDA) entre 22.9 y 29.1 % (Cherney *et al.*, 1988, 230; Arzani *et al.*, 2006, 130; Fulkerson *et al.*, 2006, 260; Scharenberg *et al.*, 2007, 487) y la digestibilidad varía de 61.2 a 71.6 % (Arzani *et al.*, 2006, 130; Ramírez-Restrepo *et al.*, 2006a, 65) y no causa timpanismo (Fay *et al.*, 1992, 13).

Dado que se tiene alta demanda de forraje en diferentes nichos ecológicos, principalmente en los de temporal, en los que existe una amplia variación de tipos de suelos, la gran variación de resultados a nivel internacional y la escasa información que se tiene de esta especie en México

sobre su potencial productivo y calidad nutritiva, se considera importante hacer estudios de esta leguminosa para determinar el potencial de algún genotipo o accesión. Con base en lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar la producción y calidad nutritiva de 12 genotipos de *L. corniculatus* en un suelo arcilloso en condiciones templadas de Montecillo, Texcoco, Estado de México.

Materiales y Métodos

Sitio experimental

El experimento se realizó en Montecillo, Texcoco, Estado de México, ubicado a 19° 28' 4.26" latitud norte y 98° 53' 42.18" longitud oeste, a una altitud de 2,250 msnm. El clima, de acuerdo con la clasificación de García (1987, 53), es templado subhúmedo con lluvias en verano (C(wo)(w)b(i')), con una precipitación media anual de 625 mm, y una temperatura media anual de 15.1 °C. El suelo es de textura arcillosa con un pH de 8.1, y un contenido de materia orgánica de 3.28 % (Rivas *et al.*, 2005, 81).

Material Vegetal

Se utilizaron 12 genotipos de *L. corniculatus* con distintos orígenes geográficos (Cuadro 1), resultado de una selección de un ensayo previo de adaptación establecido por primera vez en el Colegio de Postgraduados en 1997. La semilla original fue proporcionada por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés).

Cuadro 1. Genotipos de *Lotus corniculatus* L., lugar de procedencia y hábito de crecimiento.

Genotipo	Procedencia	Hábito de crecimiento
260012	Brasil	Semi erecto
255301	Francia	Semi erecto
227318	Francia	Semi erecto
188867	Italia	Postrado o rastrero
255305	Italia	Semi erecto
202700	Uruguay	Erecto
226792	Canadá	Semi erecto
232098	Alemania	Postrado o rastrero
Estanzuela Ganador	Uruguay	Erecto
San Gabriel	Uruguay	Erecto
Gran San Gabriel	Uruguay	Erecto
Procedel 804	Uruguay	Erecto

Manejo agronómico

El experimento se estableció en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México, en diciembre del 2007. Los cortes iniciaron cuando la planta tenía 16 meses de edad por los siguientes dos años, siendo el 2009 cuando se comenzaron las mediciones para ésta investigación con carácter exploratorio. Antes de comenzar las mediciones se realizó un corte de homogenización, posteriormente, el primer corte de evaluación se realizó el 26 de Mayo de 2009 y el último el 20 de Febrero de 2010. En total se llevaron a cabo siete cortes, con una frecuencia de 45 días. Esta frecuencia fue seleccionada porque en ella, de acuerdo a Cárdenas *et al.* (2007, 652), es posible encontrar mejores rendimientos y calidad de forraje; adicionalmente, se acerca mucho a los intervalos de corte de alfalfa (*Medicago sativa*).

Variables evaluadas

Se tomó la altura de la planta desde la base hasta su parte más alta antes de cada corte. Para estimar la producción de forraje se cortó la biomasa aérea de dos plantas a una altura de cinco cm del suelo. Esta altura de corte obedeció a que es una especie que tiene una corona pegada al suelo y se conserva suficiente área foliar para el rebrote (Formoso, 1993, 6; Barbazán *et al.*, 2008, 6). El material cortado se colocó en una bolsa de papel, se pesó y se tomó una sub-muestra, la cual fue secada en una estufa de aire forzado (Shel lab, Cornelius, Oregon, USA) a 55 °C, hasta alcanzar un peso constante y con ello determinar la materia seca. Se determinó la cantidad de hoja y tallo, pesando por separado cada fracción y obtener su relación. En cuanto al valor nutritivo del forraje se determinó con los porcentajes de fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, digestibilidad *in vitro* y proteína cruda, para lo cual el material vegetal (hoja y tallo) una vez secado, fue molido a tamaño de partícula de 1 milímetro en un molino ciclónico (FOSS TECATOR, Höganäs, Suiza).

La determinación de la FDN y FDA se hizo por duplicado en un analizador de fibra ANKOM^{200/220}, utilizando los protocolos de ANKOM Technology (ANKOM Technology 2006; 10, 12), excluyendo en FDN las etapas de alfa-amilasa y acetona y en FDA la de acetona.

La digestibilidad *in vitro* se determinó por estación (invierno, primavera, verano y otoño), mediante la técnica de dos etapas pepsina-celulasa (Clarke *et al.* 1982, 148; Jones y Hayward 1975, 712; Klein y Baker 1993, 594). La pepsina (1:10000 de mucosa de estómago porcino) fue disuelta en 0.125N de ácido clorhídrico, a una proporción de 6.66 g litro⁻¹. La celulasa Onozuka

RS de *Trichoderma viride* (≥ 5000 unidades/g de sólido) se disolvió en buffer acetato (4.1 g de acetato de sodio anhidro y 2.9 ml de ácido acético por litro de agua destilada) manteniendo una proporción celulasa: muestra de 1:100 (Clarke *et al.*, 1982, 148). Se utilizó 0.3 g de materia seca por muestra, colocándose por duplicado en bolsas ANKOM F57. Primeramente se realizó la etapa de digestión con pepsina y luego con celulasa, con una duración de 48 horas cada una, en un incubador de agitación orbital (Lumistell ISO-45) a 50 °C y a 80 revoluciones por minuto.

La proteína cruda se determinó con el procedimiento de la AOAC (2000, Método 12.1.07) por micro Kjeldahl, utilizando como catalizador al selenio. Se pesó 1 g de materia vegetal y se colocó en matraz de digestión Microkjeldahl, se añadió un g de selenio y 3 ml de H₂SO₄ concentrado. Se realizó la digestión hasta alcanzar un color verde turquesa. Una vez frío, se retiró y se pasó a destilación enjuagando con pequeñas porciones de agua. Se agregaron 15 ml de NaOH, se volvió a destilar por 7 minutos con 10 ml de ácido bórico en un matraz Erlenmeyer. Finalmente, el destilado se tituló con solución valorada de ácido sulfúrico, tomando la lectura del gasto.

Con base en la DIV y la PC, así como con la producción de materia seca acumulada por genotipo, se estimó la cantidad de materia seca digestible acumulada y la producción de proteína cruda por hectárea.

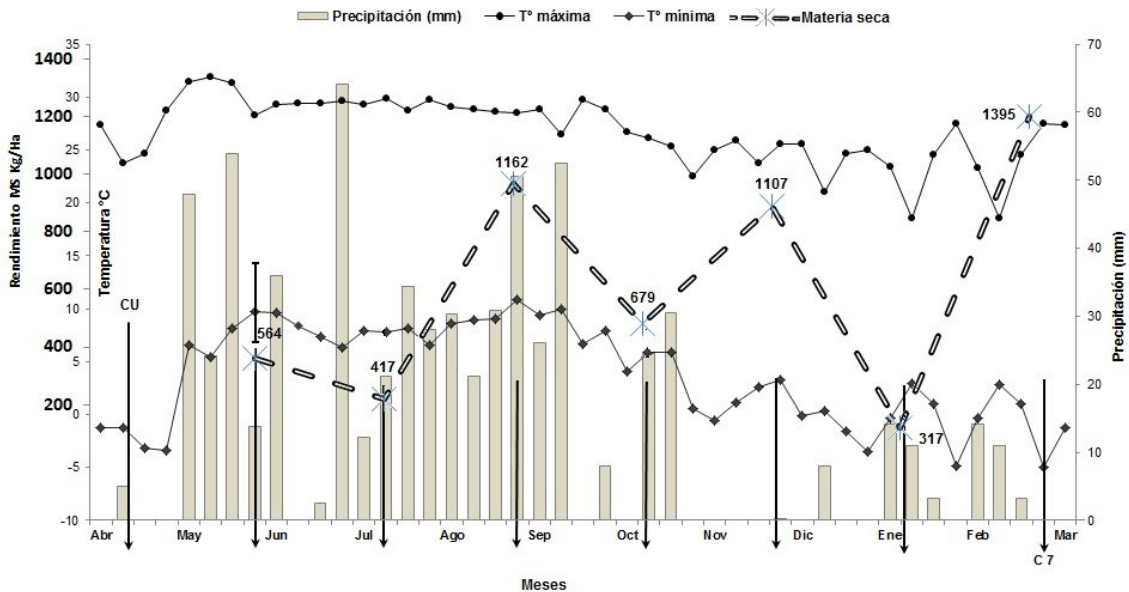
Diseño y unidad experimental

El diseño experimental fue en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental constó de dos surcos de 5 metros de largo y 80 cm de ancho, con plantas separadas a un metro. Dado que se tuvieron medidas repetidas tomadas en el tiempo de las variables PF, AP, FDN, FDA, DIV y, PC, los datos fueron analizados con un arreglo en parcelas divididas, donde la parcela mayor fueron los genotipos y como parcela menor los cortes o estaciones (en el caso de DIV y PC). Para todas las variables evaluadas se hicieron análisis de varianza y para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey con $\alpha = 0.05$, mediante el paquete estadístico SAS versión 9.0 (SAS, 2002). Complementariamente, se realizó un análisis de correlación con todas las variables para ver su grado de asociación.

Resultados

Condiciones climáticas y producción en materia seca por corte

La Figura 1 muestra las condiciones climáticas y la producción global de forraje por corte, durante el tiempo que duró el experimento. Existieron diferencias en la producción de forraje entre cortes ($P < 0.0001$). Temperaturas por arriba de los 22 °C produjeron las mayores cantidades de forraje (cortes 7, 3 y 5). La poca precipitación (20 mm) influyó en la producción de forraje (corte 6). El *Lotus corniculatus* L. resistió las altas temperaturas (32 °C) y temperaturas mínimas de 5 °C.



CU: Corte de uniformidad; C: Corte.

Figura 1. Producción de forraje promedio por corte, temperaturas máximas, mínimas y precipitación registradas de abril de 2009 a febrero de 2010 en Montecillo, Estado de México. La línea vertical en el corte 1 representa la diferencia significativa para cortes.

Comportamiento de altura de planta del *Lotus corniculatus* L por corte.

Existió diferencia de alturas entre cortes ($P < 0.0001$). Las mayores alturas de planta (AP) se registraron con temperaturas máximas de 30 °C y 14 °C de temperaturas mínimas (Figura 2), ejemplo de ello fueron los cortes 2 y 3. Estos resultados muestran que el crecimiento de la planta disminuyó con el descenso de la temperatura aunado a la poca precipitación.

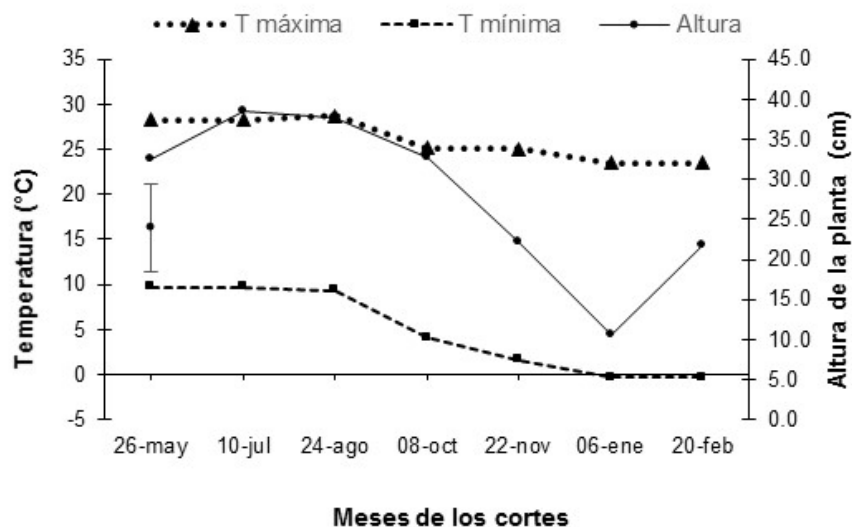


Figura 2. Efecto de la temperatura máximas y mínimas (promedio por mes) sobre la Altura de planta de *L. corniculatus* por corte en Montecillo Texcoco, Estado de México. La barra representa la diferencia mínima significativa entre cortes de acuerdo a la prueba de Tukey.

Cantidad de fibras y relación Hoja/Tallo por corte

Existieron diferencias ($P < 0.0001$) en la relación Hoja/Tallo, FDN y FDA entre cortes (Figura 3). La relación hoja: tallo fue la más contrastante, los valores mayores se encontraron en los cortes 1, 6 y 7. Los valores menores se tuvieron en los cortes 2 al 5, coincidiendo con valores más altos en FDN y FDA. Los cortes 1, 5, 6 y 7 fueron similares en concentración de fibras.

Productividad por genotipo

Existió diferencia en la producción de forraje por genotipo ($P < 0.0001$) y las mayores producciones acumuladas fueron de 7,400 a 7,900 kg ha⁻¹ (Figura 4 y 5). Los genotipos 202700 y Estanzuela ganador produjeron la mayor cantidad de materia seca y, el genotipo 232098 produjo la menor cantidad. La producción acumulada de forraje de *L. corniculatus* puede estar influenciada por el hábito de crecimiento; se aprecia que los genotipos de hábito de crecimiento postrado tuvieron, en global, el rendimiento más bajo. En los cortes 1 y 6 los genotipos tuvieron mayor diferenciación ($P < 0.001$) respecto a los demás cortes.

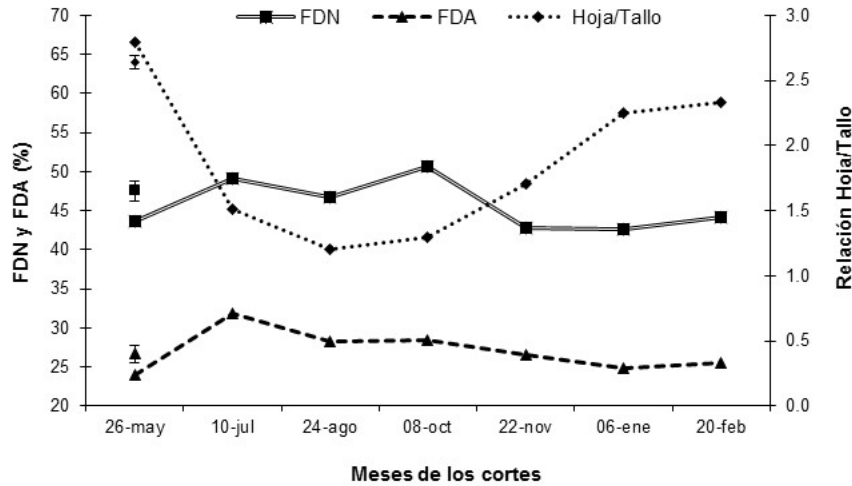


Figura 3. Relación Hoja/Tallo y cantidad de fibras (FDN y FDA) de *L. corniculatus* L. por corte en Montecillo, Texcoco, México. Las barras representan la diferencia mínima significativa de la prueba de Tukey entre cortes.

Los porcentajes de hoja y tallo fueron altos en el genotipo 202700 (Cuadro 2) en relación al genotipo 232098 que produjo muy poca cantidad de hoja y también es de hábito de crecimiento postrado. Los componentes que más influyeron en el rendimiento total fueron la producción de tallo y de hoja, correlacionados en 0.95 y 0.97, respectivamente.

Cuadro 2. Promedio de siete cortes de producción de hoja, tallo y la relación Hoja/Tallo por genotipo.

Genotipo	Forraje (kg ha ⁻¹)	Hoja (kg ha ⁻¹)	Tallo (kg ha ⁻¹)	Hoja/Tallo
202700	1099.7 a	678.3 a	421.4 a	1.7 a
Estanzuela ganador	1057.2 a	608.5 a	448.6 a	1.5 b
Gran San Gabriel	992.1 a	569.9 a	422.2 a	1.5 b
Procedel 804	891.3 a	513.2 a	378.1 a	1.6 b
San Gabriel	812.3 b	492.5 b	319.7 a	1.8 a
255305	748.7 c	487.0 b	261.7 b	2.4 a
260012	807.9 b	469.9 b	338.0 a	1.5 b
227318	717.9 c	456.7 b	261.2 b	2.2 a
226792	698.2 d	447.7 b	250.5 b	2.3 a
188867	627.7 d	409.3 c	218.5 c	2.2 a
255301	641.2 d	383.9 d	257.2 b	2.0 a
232098	566.4 e	345.2 e	221.2 c	1.8 a

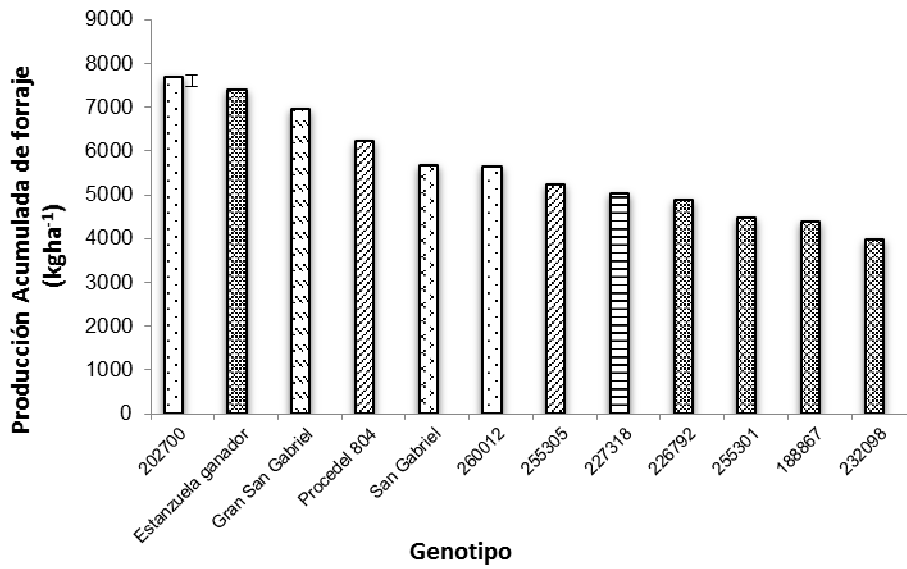


Figura 4. Producción acumulada de forraje (7 cortes) de diversos genotipos de *Lotus corniculatus* L. en Montecillo, Texcoco, Estado de México. La marca entre las dos barras iniciales es la diferencia mínima significativa de la prueba de Tukey.

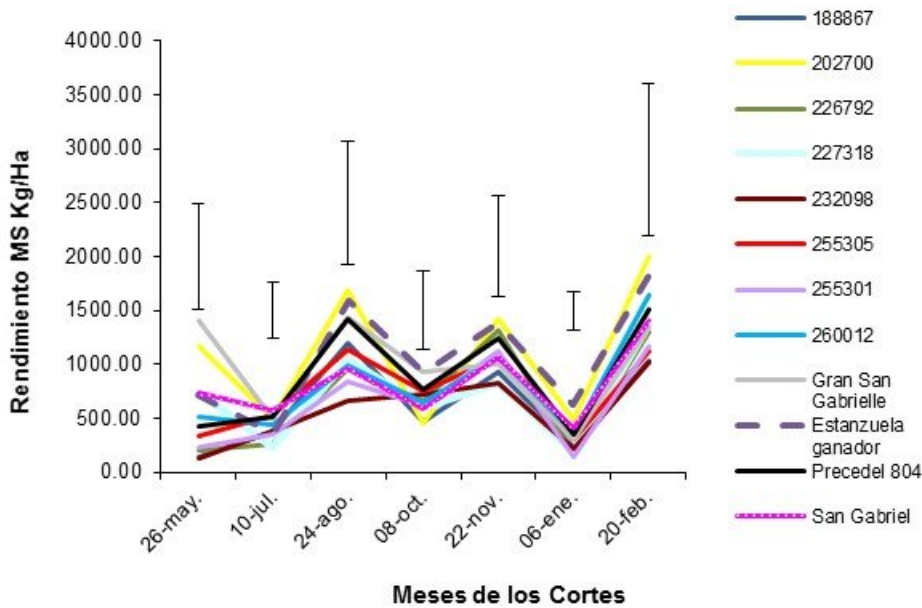


Figura 5. Producción de forraje por genotipo de *Lotus corniculatus* L. en diferentes cortes en Montecillo, Texcoco, Estado de México. Las barras muestran la diferencia mínima significativa de la prueba de Tukey para cada corte.

Valor nutritivo por genotipo

Los genotipos fueron diferentes en DIV ($P < 0.0001$) encontrándose un rango de 3.44 unidades porcentuales entre el más alto y el más bajo (Cuadro 3). En general, sólo Procedel 804 y el 260012 tuvieron los valores bajos.

La concentración de FDN y FDA también fue diferente entre genotipos ($P < 0.01$), y tuvieron un comportamiento un tanto similar a la DIV, en donde el genotipo con menor concentración de fibras fue de los más digestibles y viceversa con el menos digestible. La FDN varió de 42.7 a 48.4 % y la FDA fue de 24.9 a 29.1 %.

En PC las diferencias entre genotipos fue más acentuada ($P < 0.0001$) con un rango de variación de 18.9 a 21.8 % (Cuadro 3). El genotipo 202700 presentó los valores más altos de DIV y de PC y de los valores más bajos de FDN y FDA. El genotipo 232098 presentó similares porcentajes de DIV, FDN, FDA y PC en comparación al 202700; sin embargo, en la cantidad de hoja y tallo fue de los más bajos.

Cuadro 3. Valor nutritivo de 12 genotipos de *Lotus corniculatus* L. en Montecillo Texcoco, México.

Genotipo	DIV (%)	FDN (%)	FDA (%)	PC (%)
227318	79.30 a	42.76 b	24.94 c	21.80 ab
226792	78.61 ab	45.23 ab	26.76 abc	20.98 bcde
188867	77.94 abc	47.34 ab	28.66 a	22.68 a
255301	77.87 abc	45.88 ab	26.87 abc	21.50 abc
255305	77.92 abc	46.91 ab	27.95 ab	20.11 cdef
San Gabriel	77.57 abc	43.81 ab	26.47 abc	21.43 abcd
202700	77.35 abc	43.90 ab	25.15 bc	21.18 abcde
232098	77.27 abc	45.07 ab	26.53 abc	20.66 bcde
Gran San Gabriel	77.01 abc	46.97 ab	27.08 abc	21.22 abcde
Estanzuela ganador	77.00 abc	46.46 ab	27.79 abc	18.89 f
Procedel 804	76.26 bc	48.41 a	29.11 a	19.64 ef
260012	75.86 c	45.79 ab	27.52 abc	19.83 def

DIV: Digestibilidad *In Vitro*, FDN: Fibra Detergente Neutro, FDA: Fibra Detergente Ácido,

PC: Proteína Cruda.

Rendimientos acumulados de Materia seca digestible y proteína cruda por hectárea

Los genotipos aunque fueron diferentes ($P \leq 0.02$) en cantidad de materia seca digestible y proteína cruda por hectárea (Cuadro 4), sólo contrastaron Estanduela ganador y el 232098, siendo la gran mayoría iguales en producción por hectárea.

Cuadro 4. Materia seca digestible y Proteína cruda por hectárea de 12 genotipos de *Lotus corniculatus* L. en Montecillo Texcoco, México.

Genotipo	MS digestible	
	(kg ha ⁻¹)	PC (kg ha ⁻¹)
Estanduela Ganador	8826 a	2148.2 a
202700	7223 ab	1981.5 ab
Gran San Gabriel	7083 ab	1958.9 ab
San Gabriel	6718 ab	1830.2 ab
260012	6419 ab	1675.7 ab
Procedel 804	6203 ab	1598.5 ab
188867	5304 ab	1546.5 ab
227318	5176 ab	1429.4 ab
226792	4926 ab	1318.2 ab
255305	4795 ab	1239.6 ab
255301	4412 ab	1220.5 b
232098	3886 b	1039 b

Discusión

Condiciones climáticas y producción de Materia Seca

El *L. corniculatus* resistió altas temperaturas (32 °C) y temperaturas mínimas de -5 °C. La escasa precipitación fue una limitante en la producción de materia seca y la altura de planta disminuyó cuando las temperaturas fueron bajas. Carter *et al.* (1997, 249), mencionan que las variables que más afectan la producción de forraje son la temperatura y la precipitación; asimismo, Halling *et al.* (2004, 343) encontraron que la producción de esta especie está influenciada por la temperatura media diaria y es factor determinante en el rendimiento de forraje. De acuerdo a Carter *et al.* (1997, 251), el mejor crecimiento del *L. corniculatus* L. se da de los 18 a 25 °C; y su temperatura óptima de crecimiento es por encima de los 22 °C. Esto fue consistente con este experimento, encontrándose el mayor crecimiento del *L. corniculatus* por encima de los 18 °C. Por su parte, Jones y Turkington (1986, 1188), mencionan que las heladas aumentan la mortalidad de plantas

del *L. corniculatus*, lo anterior no se observó en este experimento, pues sólo se redujo la producción más no la supervivencia de la planta, lo que indica que es una especie altamente adaptable.

En relación a la producción acumulada de materia seca en el presente estudio, esta fue de 4,394 a 7,600 kg/ha⁻¹ y un promedio de 7,600 kg/ha⁻¹. La comparación de estos resultados con otros estudios alrededor del mundo se hace difícil por tratarse de condiciones diferentes en términos ambientales y de manejo. Sin embargo, como referencia, se encontraron magnitudes similares a lo reportado por varios autores. Acuña (1998, 9) reporta rendimientos totales (tres cortes) durante un ciclo de producción de 4,799, 6,796 y 7,696 en las variedades Ganador, Quimey y San Gabriel al primer año de establecimiento y en condiciones de riego en Santiago de Chile. Marley *et al.* (2006, 137) mencionan producciones acumuladas de tres cortes de 5,900 a 7,950 kg ha⁻¹ de materia seca durante el primer año de establecimiento de ocho variedades de *L. corniculatus* L. y con 1038 mm⁻¹ de lluvia en Reino Unido. Pecetti *et al.* (2009, 202), obtuvieron producciones medias de materia seca de 6,640 kg ha⁻¹, a través de cuatro años en la variedad Gran San Gabriel en condiciones de pastoreo en Italia.

Otras investigaciones muestran resultados mayores, por ejemplo, Ramírez-Restrepo *et al.* (2006b, 97) mencionan producciones anuales de 8.08 ± 1.51 toneladas (cantidad disponible de forraje para pastoreo en un año) en Nueva Zelanda. Soto *et al.* (2005, 160) encontraron producciones en un sólo corte de 4,600 a 13,300 kg ha⁻¹ en una región de Chile con fertilizaciones de fósforo de 150 kg ha⁻¹. Por su parte, Halling *et al.* (2004, 340) tuvieron producciones anuales en promedio de 8,269 kg ha⁻¹ en 11 variedades de *L. corniculatus*. Scharenberg *et al.* (2007, 486) reportan producciones de 9,210 kg ha⁻¹ en dos cortes (Agosto y Octubre), ambos cortes realizados a 49 días. El primer corte se realizó a una temperatura de 21.8 °C a una precipitación acumulada de 63 mm cuando comenzaba la floración; el segundo corte se realizó con una temperatura de 13.4 °C y 186 mm de precipitación y en plena floración. De acuerdo con Artola (2004, 47) la diferencia en producción de materia seca se debe a la variación de ambientes del lugar de procedencia del material genético y de la constitución genética de los materiales utilizados. Esta información evidencia producciones tan diferentes por genotipos de *L. corniculatus* en diferentes partes del mundo, por tanto, se necesita investigación adicional sobre la producción de cultivares de esta especie en distintos tipos de ambientes en México.

Calidad nutricional del *Lotus corniculatus*

Cantidad de fibras y relación Hoja/Tallo

La calidad nutritiva del *L. corniculatus* no estuvo determinada por la cantidad de hoja y tallo, atribuyéndose más a la variabilidad genética de la especie (McGraw *et al.*, 1989, 1963). Marley *et al.* (2006, 139), reportaron un valor promedio de FDN de 45 %, resultado que coincide con lo encontrado en esta investigación. Porcentajes superiores de FDN fueron encontrados por Cherney *et al.* (1988, 222) quienes mencionaron valores de 50.3 %, lo anterior debido posiblemente a que sólo se realizaron dos cortes al año. Los resultados aquí encontrados, difieren a lo encontrado por Ramírez-Restrepo *et al.* (2004, 92), Ramírez-Restrepo *et al.* (2005, 206), Fulkerson *et al.* (2006, 260), Cárdenas *et al.* (2007, 652) y Scharenberg *et al.* (2007, 486) quienes reportan valores en un intervalo de 27.4 a 37.4 %. Esto posiblemente se debe a la etapa fenológica y a las fechas de realización de los cortes, los cuales fueron en primavera y verano.

En cuanto a FDA los resultados obtenidos en este trabajo fueron similares a los encontrados por otros autores. Acuña (1998, 11), reportó concentraciones de 24.8 a 26 % de FDA en las variedades Quimey, San Gabriel y Ganador, resultados realizados en otoño y obtenidos de un sólo corte. Arzani *et al.* (2006, 130) reportaron concentraciones más altas que alcanzaron el 29 % con cortes realizados después de la floración y cuando el cultivo había alcanzado entre 80 a 90 % de su crecimiento. Otros autores (Cárdenas *et al.*, 2007, 652; Fulkerson *et al.*, 2006, 260; Scharenberg *et al.*, 2007, 486), han obtenido concentraciones de 21, 24 y 23 % de FDA, respectivamente. Las diferencias encontradas en FDN y FDA con otras investigaciones pudieron deberse a que los cortes fueron hechos en diferentes etapas fenológicas, y a que sólo evaluaron uno o dos cortes.

Los valores de FDN, son importantes en la formulación de las raciones, ya que reflejan la cantidad de forraje que el animal puede consumir, y a medida que aumenta su porcentaje, la ingestión de materia seca generalmente disminuye. Para el caso de FDA, esta es importante porque se relaciona con la habilidad del animal para digerir el forraje, y a medida que aumenta el FDA, la digestibilidad del forraje usualmente disminuye. Por tanto, valores de intermedios a bajos son deseables para una mayor ingestión y digestión del forraje.

Valor nutritivo por genotipo

En cuanto a la digestibilidad *in vitro*, los resultados en la presente investigación fueron mayores a los obtenidos por otros autores. Arzani *et al.* (2006, 130); Ramírez-Restrepo *et al.* (2004, 92), reportaron valores de 60 a 66 %, Sölter *et al.* (2007, 381) reportan 64.3 % y Cárdenas *et al.* (2007, 652) de 70 a 74 %. Valores de digestibilidad *in vivo* han sido también reportados por Ramírez-Restrepo *et al.* (2006a, 65) quienes obtuvieron valores de 73 % en estado vegetativo y 62 % en estado maduro. Dado que existen diferencias en épocas, tiempos y frecuencias de corte, se hacen difícil las comparaciones. Sin embargo, en general se observa que para esta especie los valores de digestibilidad son altos.

En cuanto a la concentración de PC, los valores fueron de 22.7 a 18.8 % con las colectas 188867 y Estanzuela Ganador. Porcentajes similares fueron reportados por Marley *et al.* (2006, 140) quienes encontraron concentraciones de 18.5 a 22 % en 13 variedades de *L. corniculatus*. Scharenberg *et al.* (2007, 486) reportaron 20 % de proteína a través de dos cortes realizados a los 49 días, mientras que Acuña (1998, 11) encontró de 15 a 20 % de PC en cuatro variedades. Porcentajes superiores de PC han sido reportados por otros autores (Cárdenas *et al.*, 2007, 652; Fulkerson *et al.*, 2006, 261) en los que se encontró un rango estrecho de 28 a 29 %. Estos datos contrastan con los obtenidos por Arzani *et al.* (2006, 130) y Karabulut *et al.* (2006, 9) quienes reportaron valores de 15 a 17 % de PC. Estas diferencias se podrían explicar probablemente debido a que en estos trabajos mencionados los cortes no fueron hechos a etapas fenológicas constantes, sino que se realizaron antes de alcanzar su total crecimiento, en la etapa de floración y, después de la floración. En general se puede decir que los resultados del valor nutritivo de esta investigación coinciden con lo reportado por otros autores.

Los genotipos que rindieron en promedio más forraje en kg ha⁻¹ por corte fueron el 202700 (1,099.7), Estanzuela Ganador (1,057.2) y Gran San Gabriel (982.6). En cuanto a parámetros de calidad, en estos mismos genotipos los porcentajes de FDA y FDN respectivamente fueron: 25.1 y 43.9, 27.8 y 46.4 y, 26.9 y 46.8, respectivamente (Cuadro 3). Al realizar la evaluación en términos de la cantidad de forraje digestible y cantidad de proteína cruda por hectárea, se observa que la mayoría de los genotipos evaluados (con excepción del 255301 y 232098) pueden tener potencial para su uso en la región probada. Si se considera que los mejores genotipos deben ser aquellos de mayor productividad de forraje pero también los de mejores características de

calidad, entonces para una buena elección de genotipos a considerar en programas de mejoramiento, se deben tomar en cuenta estos dos criterios al mismo tiempo.

Hace falta más investigación para determinar la influencia del estado fenológico del *L. corniculatus* en el valor nutritivo del forraje en diferentes condiciones de clima templado en México. También se requiere más investigación para conocer cómo se comporta esta especie en otros climas templados, otros tipos de suelo y su relación con frecuencias de cortes de más de 45 días y manejando diferentes alturas de corte.

Conclusiones

El *Lotus corniculatus* L. puede ser una opción en la alimentación animal pues reúne buenas características productivas y de calidad. Tiene variabilidad en producción de forraje y llega a tener rendimientos de materia seca de forraje en promedio hasta 7,400 kg ha⁻¹ al año con porcentajes de digestibilidad del 76 al 79 % y del 18 al 22.6 de proteína cruda. De los 12 genotipos evaluados, se encontró que 10 de ellos tuvieron mayor potencial productivo y de calidad.

Agradecimientos

Se agradece al M en C. José de Jesús Mario Ramírez González del INIFAP, Campo Experimental Hueytamalco, Puebla, por las atenciones y apoyo con material de laboratorio. También al C. Ángel Huerta Ballinas, del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, por apoyo en el trabajo de campo.

Referencias

- A.O.A.C. (2000). Official methods of analysis of AOAC International. Vol. 1. 17th edition. Edited by Patricia A. Cunniff. Gaithersburg, USA.
- Acuña, P. H. (1998). Comparación de variedades de tres especies del género *Lotus* (*L. corniculatus* L. *L. Uliginosus* cav. y *L. tenuis* wald et kit). *Agricultura Técnica*, 58, 7-14.
- ANKOM Technology. (2006). Operator's manual ANKOM^{200/220} Fiber Analyzer. ANKOM Technology, Macedon, NY, USA. 27p.
- Artola, A. (2004). *Lotus corniculatus* – Morfología, desarrollo y producción de semillas. <http://www.ciencia.net/VerArticulo/Lotus-corniculatus---Morfologia,-Desarrollo-y-Produccion-de-Semillas?idArticulo=5130>. (Diciembre de 2012).
- Arzani, H., Basiri, M., Khatibi, F. & Ghorbani, G. (2006). Nutritive value of some Zagros mountain rangeland species. *Small Ruminant Research*, 65, 128-135.

- Barbazán, M., Ferrando, M. & Zamalvide, J. (2008). Diagnóstico nutricional de *Lotus corniculatus* L. en suelos de Uruguay. *Informaciones Agronómicas*, 39, 6-13.
- Beuselinck, P. R. & Grant, W. F. (1995). Birdsfoot trefoil. In: Forages. An Introduction to Grassland Agriculture. R. F. Barnes, A. H. Brown, D. J. Crawford (eds.). Iowa State Univ. Press, Ames, Iowa. 5th Ed. Vol. (1): 237-248.
- Canals, R., Peralta, M.J., & Zubiri, E. (2009). *Vicia sativa* L.: Veza No. 2010. p www.unavarra.es/servicio/herbario/pratenses/htm/Vici_sati_p.htm (noviembre de 2010).
- Cárdenas, R. E. A., Carulla, J., Riveros, Á. & Pimentel, J. C. (2007). Evaluación agronómica y productiva de una colección núcleo de variedades comerciales de *Lotus* para clima frío en Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20, 652-653.
- Carter, E. B., Theodorou, M. K. & Morris, P. (1997). Responses of *Lotus corniculatus* to environmental change. I. Effects of elevated CO₂, temperature and drought on growth and plant development. *New Phytologist*, 136(2), 245-253.
- Clarke, T., Flinn, P. C. & McGowan, A. A. (1982). Low-cost pepsin-cellulase assays for prediction of digestibility of herbage. *Grass and Forage Science*, 37, 147-150.
- Cherney, J. H., Johnson, K. D., Volenec, J. J. & Anliker, K. S. (1988). Chemical composition of herbaceous grass and legume species grown for maximum biomass production. *Biomass*, 17, 215-238.
- Fay, J. P., Escuder, C. J., Davies, P. & Cangiano, C. (1992). Empaste (meteorismo espumoso) en bovinos. *Revista del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuaria Balcarce. Boletín Técnico No. 11*, 1-14.
- Formoso, F. (1993). *Lotus corniculatus* I. Performance forrajera y características agronómicas asociadas. Serie Técnica no. 37. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Uruguay. 20 p.
- Fulkerson, W. J., Neal, J.S., Clark, C. F., Horadagoda, A., Nandra, K. S. & Barchia, I. (2006). Nutritive value of forage species grown in the warm temperate climate of Australia for dairy cows: Grasses and legumes. *Livestock Science*, 107, 253-264.
- García, M. E. (1987). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Offset Larios. México. 4^a edición.
- García-de los Santos, G. & Steiner, J. J. (2003). Compatibilidad reproductiva y habilidad de transferencia de genes en *Lotus corniculatus* L. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26(1), 29-35.
- Grant, F. W. (2009). *Lotus corniculatus* No. 2010. http://www.scitopics.com/Lotus_corniculatus.html. (Septiembre de 2010). SciTopics, Canada.
- Halling, M. A., Topp, C. F. E. & Doyle, C. J. (2004). Aspects of the productivity of forage legumes in northern Europe. *Grass and Forage Science*, 59, 331-344.
- Jones, D. I. H. & Hayward, V. M. (1975). The effect of pepsin pretreatment of herbage on the prediction of dry matter digestibility from solubility in fungal cellulase solutions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 26, 711-718.
- Jones, D. A. & Turkington, R. (1986). *Lotus corniculatus* L. *Journal of Ecology*, 74(4), 1185-1212.
- Karabulut, A., Canbolat, O. & Kamalak, A. (2006). The effect of PEG on *in vitro* organic matter digestibility and metabolizable energy of *Lotus corniculatus* L. *Lotus Newsletter*, 36, 7-10.

- Klein, L. & Baker, S. K. (1993). Composition of the fractions of dry, mature subterranean clover digested *in vivo* and *in vitro*. In: Baker, M.J., Crush, J.R., Humphreys, L.R. (Eds.). Proceedings of the XVII International Grasslands Congress. New Zealand Grassland Association. Palmerston North, New Zealand: 593-595.
- Lloverás, J. (1999). El cultivo de la alfalfa y su relación con el medio ambiente. *Pastos*, 29 (2), 145- 167.
- Marley, C. L., Fychan, R. & Jones, R. (2006). Yield, persistency and chemical composition of *Lotus* species and varieties (birdsfoot trefoil and greater birdsfoot trefoil) when harvested for silage in the UK. *Grass and Forage Science*, 61, 134-145.
- McGraw, R. L., Beuselinck, P. R. & Marten, G. C. (1989). Agronomic and forage quality attributes of diverse entries of birdsfoot trefoil. *Crop Science*, 29, 1160–1164.
- Medrano, H., Bota, J., Cifre, J., Flexas, J., Ribas-Carbó, R. & Gulías, J. (2007). Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas*, 43, 63-84.
- Pecetti, L., Annicchiarico, P., Battini, F. & Cappelli, S. (2009). Adaptation of forage legume species and cultivars under grazing in two extensive livestock systems in Italy. *European Journal of Agronomy*, 30, 199-204.
- Ramírez-Restrepo, C. A., Barry, T. N. & López-Villalobos, N. (2006a). Organic matter digestibility of condensed tannin-containing *Lotus corniculatus* and its prediction *in vitro* using cellulase/hemicellulase enzymes. *Animal Feed Science and Technology*, 125, 61-71.
- Ramírez-Restrepo, C. A., Kemp, P. D., Barry, T. N. & López-Villalobos, N. (2006b). Production of *Lotus corniculatus* L. Under grazing in a dryland farming environment. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 49, 89-100.
- Ramírez-Restrepo, C. A., Barry, T. N., López-Villalobos, N., Kemp, P. D. & Harvey, T.G. (2005). Use of *Lotus corniculatus* containing condensed tannins to increase reproductive efficiency in ewes under commercial dryland farming conditions. *Animal Feed Science and Technology*, 121, 23-43.
- Ramírez-Restrepo, C. A., Barry, T. N., López-Villalobos, N., Kemp, P. D. & McNabb, W.C. (2004). Use of *Lotus corniculatus* containing condensed tannins to increase lamb and wool production under commercial dryland farming conditions without the use of anthelmintics. *Animal Feed Science and Technology*, 117, 85-105.
- Rivas, J. M. A., López, C. C., Hernández, G. A. & Pérez, P. J. (2005). Efecto de tres regimenes de cosecha en el comportamiento productivo de cinco variedades comerciales de alfalfa (*Medicago Sativa* L.). *Técnica Pecuaria en México*, 43, 79-92.
- Scharenberg, A., Arrigo, Y., Gutzwiller, A., Soliva, C. L., Wyss, U., Kreuzer, M. & Dohme, F. (2007). Palatability in sheep and *in vitro* nutritional value of dried and ensiled sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus*), and chicory (*Cichorium intybus*). *Archives of Animal Nutrition*, 6, 481-496.
- SIAP. (2012). Resumen nacional pecuario, avance acumulado de la producción pecuaria y resumen nacional producción, precio, valor, animales sacrificados y peso 2010. SAGARPA. Servicio de Información, Agroalimentaria y Pesquera. p. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=346 (Abril de 2012).
- Sölter, U., Hopkins, A., Sitzia, M., Goby, J. P. & Greef, J. M. (2007). Seasonal changes in herbage mass and nutritive value of a range of grazed legume swards under Mediterranean and cool temperate conditions. *Grass and Forage Science*, 62, 372-388.

- Soto, O. P., Janh, B. E., Velasco H. R. & Arredondo, S. S. (2005). Especies leguminosas forrajeras para corte en suelos arcillosos de mal drenaje. *Agricultura Técnica*, 65, 157-164.
- Spangenberg, G. (1999). Application of biotechnology in pasture plant improvement. Utilization of transgenic plants and genome analysis in forage crops, National Grassland Research Institute Working Report (9): 9-24.
- Statistical Analysis System. (2002). User's Guide: Statistics, Version 9.0. SAS Institute, North Carolina, USA.
- Striker, G. G., Insausti, P., Grimoldi, A. A., Ploschuk, E. L. & Vasellati, V. (2005). Physiological and anatomical basis of differential tolerance to soil flooding of *Lotus corniculatus* L. and *Lotus glaber* mill. *Plant and Soil*, 276, 301-311.

