



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA

**PRODUCCIÓN DE FORRAJE Y EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN
MEDIANTE PASTOREO DE SORGO, ZACATE SUDÁN Y MAÍZ**

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS EN
PRODUCCIÓN ANIMAL**

P R E S E N T A

MARTHA HERNÁNDEZ ORTEGA



Junio de 2005
Chapingo, Estado de México

**PRODUCCIÓN DE FORRAJE Y EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN MEDIANTE
PASTOREO DE SORGO, ZACATE SUDÁN Y MAÍZ**

Tesis realizada por Martha Hernández Ortega bajo la dirección del Comité Asesor
indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el
grado de:

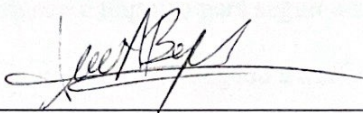
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

DIRECTOR:



Ph. D. Ricardo D. Améndola Massiotti

ASESOR:



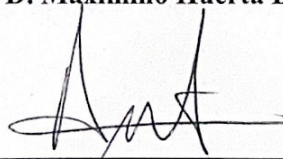
M. C. Juan A. Burgueño Ferreira

ASESOR:



Ph. D. Maximino Huerta Bravo

ASESOR:



Ph. D. Pedro A. Martínez Hernández

A-3224

DATOS BIOGRÁFICOS

DATOS PERSONALES

Nombre: Martha Hernández Ortega

Fecha de nacimiento: 14 de junio de 1977

Lugar de origen: Toluca, Estado de México

Profesión: Médico Veterinario Zootecnista

Cédula profesional: 4077577

2. FORMACIÓN ACADÉMICA

1983-1989 Escuela Primaria “Manuel José Othón”, Villa Cuauhtémoc
Municipio de Otzolotepec, Estado de México.

1989-1992 Escuela Secundaria Oficial No. 31 “Libertad”, Villa Cuauhtémoc
Municipio de Otzolotepec, Estado de México.

1992-1995 Plantel Cuauhtémoc de la Escuela Preparatoria, Universidad
Autónoma del Estado de México; Toluca, Estado de México.

1996-2002 Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad
Autónoma del Estado de México, el Cerrillo Piedras Blancas;
Toluca, Estado de México.

2002-2004 Maestría en Producción Animal en el Departamento de Zootecnia
de la Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de
México.

RESUMEN

Entre septiembre y abril de 2003, se realizaron dos experimentos para evaluar cultivos forrajeros estivales en términos de producción de forraje y eficiencia de cosecha por pastoreo. En el primer experimento se evaluaron cultivares de sorgo (Sumore) forrajero y zacate sudán (Kikapoo); se realizaron tres pastoreos, entre los 58 y 65, a los 115 y a los 146 días después de la siembra. No hubo diferencias entre cultivares en producción neta de forraje. El primer ciclo de pastoreo presentó menor masa de forraje residual ($P<0.05$) y mayor producción neta de forraje y eficiencia de utilización. La proporción de hoja fue mayor ($P<0.05$) en Sumore y en el segundo ciclo de pastoreo. En el segundo experimento, en dos sitios con diferente fertilidad de suelo, se evaluaron dos variedades de maíz, de ciclo precoz e intermedio (San Josecito y San José, respectivamente). El pastoreo se realizó a 73, 79, 86, 91, 96 y 101 días después de la siembra. No hubo diferencias entre variedades en producción neta de forraje. Sin embargo, las mayores ($P<0.05$) masas de forraje ofrecido y residual y producción neta de forraje se presentaron en el sitio con mejores condiciones edáficas, en ese sitio fue menor ($P<0.05$) la eficiencia de utilización. La producción neta de forraje de sorgo forrajero y zacate sudán resultó suficiente para cubrir los requerimientos de forraje durante el verano; sin embargo en las condiciones del presente experimento, la utilización de maíz en pastoreo no constituyó una solución adecuada para el sistema de producción.

Palabras clave: cultivares, ciclos de pastoreo, fechas de pastoreo, masa de forraje ofrecido, masa de forraje residual.

FORAGE PRODUCTION AND UTILIZATION EFFICIENCY UNDER GRAZING OF FORAGE SORGHUM, SUDAN GRASS AND MAIZE

SUMMARY

Forage production and harvest efficiency under grazing of summer forage crops were evaluated in two experiments carried out between September and April 2003. Cultivars of forage sorghum (Sumore) and sudan grass (Kikapoo) were evaluated in the first experiment with three grazing cycles that took place between 58 and 65, at 115 and at 146 days after sowing. Cultivars did not differ ($P>0.05$) in net herbage production. Residual herbage mass was higher ($P<0.05$) in the first grazing cycle, while net herbage production and efficiency of utilization were higher ($P<0.05$). Proportions of leaves were higher ($P<0.05$) in Sumore and in the second grazing cycle. In the second experiment, in two sites differing in soil fertility an early (San Josecito) and an intermediate (San Jose) maize varieties were evaluated. Grazing took place at 73, 79, 86, 91, 96 and 101 days after sowing. Maize varieties did not differ ($P>0.05$) in net herbage production. However, in the site with highest fertility on offer and residual forage masses were higher ($P<0.05$) and efficiency of utilization was lower ($P<0.05$). Net herbage production of forage sorghum and sudan grass were high enough to cover summer forage demands of the system; nonetheless, under the conditions of this experiment the use of maize intended for grazing did not represent an adequate solution for summer forage demands of the system.

Key words: cultivars, grazing cycles, grazing dates, herbage mass on offer, residual herbage mass.

ÍNDICE

DATOS BIOGRÁFICOS	iii
RESUMEN.....	iv
SUMMARY	v
LISTA DE CUADROS.....	viii
FIGURA.....	viii
ABREVIATURAS USADAS	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. ALTERNATIVAS PARA LA ALIMENTACIÓN DEL GANADO LECHERO.....	3
2.1.1 Variaciones en la productividad de las praderas cultivadas.....	3
2.1.2 Ventajas de la utilización de cultivos anuales.....	4
2.2. MAÍZ FORRAJERO.....	4
2.2.1 Importancia del maíz forrajero.....	4
2.2.2 Producción Nacional	5
2.2.3 Producción de forraje.....	6
2.2.4 Composición morfológica.....	8
2.2.5 Contenido nutricional	9
2.2.6 Formas de aprovechamiento.....	11
2.2.7 Producción animal.....	12
2.3. SORGOS FORRAJEROS Y PASTO SUDÁN	12
2.3.1 Importancia del sorgo como cultivo forrajero.....	12
2.3.2 Producción Nacional	13
2.3.3 Producción de forraje.....	13
2.3.4 Composición morfológica.....	15
2.3.5 Contenido nutricional	16
2.3.6 Formas de aprovechamiento.....	16
2.3.7 Producción animal.....	17
2.3.8 Toxicidad.....	18
LITERATURA CITADA	19

3. PRODUCCIÓN DE FORRAJE Y EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN MEDIANTE PASTOREO DE SORGO, ZACATE SUDÁN Y MAÍZ	24
INTRODUCCIÓN.....	24
MATERIALES Y MÉTODOS	25
RESULTADOS.....	32
DISCUSIÓN	41
CONCLUSIONES E IMPLICACIONES	46
LITERATURA CITADA.....	47
ANEXOS	51

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Medias quincenales de insolación, evaporación de tanque y temperatura y precipitación quincenal total, correspondientes al periodo experimental.	26
Cuadro 2. Propiedades físicas y químicas del estrato entre 0 y 30 cm del suelo del área experimental.	27
Cuadro 3. Contenidos de nitrógeno total (Nt) e inorgánico (Ni) en los suelos donde se establecieron los experimentos. Los suelos se muestrearon antes de la labranza.	27
Cuadro 4. Características de producción ¹ de dos variedades de sorgo en tres ciclos de pastoreo.	33
Cuadro 5. Composición morfológica en el forraje ofrecido de dos variedades de sorgo en dos ciclos de pastoreo.	33
Cuadro 6. Densidad de plantas, número de tallos por planta y altura extendida de plantas de dos variedades de maíz en seis fechas de muestreo en diferentes sitios.	35
Cuadro 7. Peso individual de plantas de dos variedades de maíz, en seis fechas de muestreo y dos sitios experimentales.	36
Cuadro 8. Masa de forraje ofrecido, residual, eficiencia de utilización y producción neta de forraje de dos variedades de maíz en seis fechas de muestreo en diferentes potreros.	39
Cuadro 9. Composición morfológica de dos variedades de maíz, en dos sitios entre 43 y 101 días después de la siembra (DDS).	40

FIGURA

Figura 1. Masa de forraje (kg MS ha ⁻¹) de dos variedades de maíz entre 43 y 66 días después de la siembra en dos sitios experimentales (las barras indican error estándar de la media).	37
---	----

ABREVIATURAS USADAS

Abreviatura	Significado
AE	Altura extendida
ASD	Altura de planta sin disturbar
CM	Composición morfológica
DDS	Días después de la siembra
DP	Densidad de plantas
EU	Eficiencia de utilización
MF	Masa de forraje
MFO	Masa de forraje ofrecido
MFR	Masa de forraje residual
MS	Materia seca
NT	Número de tallos
PNF	Producción neta de forraje
PP	Peso promedio por planta
RMS	Rendimiento de materia seca

1. INTRODUCCIÓN

En condiciones de climas templados con inviernos benignos, la producción de leche basada principalmente en la alimentación de las vacas por medio del pastoreo y uso limitado de concentrados y forrajes conservados, requiere estrategias que permitan alcanzar la máxima carga animal posible, ya que con ello se asegura una mayor rentabilidad de la explotación.

Un componente importante de las estrategias diseñadas para mantener la máxima carga animal posible, se basa en la definición de la rotación de praderas y cultivos forrajeros, en términos de proporciones de la superficie y el tiempo en que ésta sea destinada a praderas permanentes, praderas anuales de invierno y maíz para ensilar en verano.

Amendola (2002) propone la sustitución del sistema en el cual 80% de la superficie es utilizada para la producción de pradera permanente (ovillo y raigrás, de cuatro años) entre octubre y abril, por otro con 60% destinado para este fin y el resto para pradera anual de avena-raigrás en invierno y maíz para ensilar en verano. Tal proporción puede lograrse cambiando la duración de las praderas permanentes a tres años y las praderas anuales y maíz para ensilar a una fase de dos años en lugar de uno.

Sin embargo, este cambio podría ocasionar que durante primavera y verano se dedicara una gran proporción de la superficie a maíz para ensilar, lo que a su vez implicaría rendimientos de forraje conservado superiores a la demanda. Por otra parte, la reducción en el área de praderas permanentes, implica un exceso de carga en esta área durante ese periodo. Parte del área bajo cultivos

forrajeros podría ser sembrada con forrajes estivales de alta producción, que al ser cosechados por pastoreo podrían convertirse en el complemento ideal.

Debido a lo anterior, es necesario investigar forrajeras anuales de verano que reúnan condiciones de altas tasas diarias de acumulación de forraje y aptitud para ser explotadas mediante el pastoreo, ya que esta alternativa ha sido poco estudiada en México.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ALTERNATIVAS PARA LA ALIMENTACIÓN DEL GANADO LECHERO

En México se han propuesto sistemas sustentables para la producción de leche, basados en el cultivo de forrajes y su pastoreo como una opción para enfrentar la severa crisis de rentabilidad que ha padecido este sector (Amendola, 2002).

2.1.1 Variaciones en la productividad de las praderas cultivadas

No obstante la importancia de las praderas cultivadas en la producción animal, existen cambios estacionales en la calidad de las especies que las componen, la cual está asociada con los estados fenológicos, vegetativos y productivos de la planta, así como con el estrés ocasionado por la temperatura y humedad (Tainton *et al.*, 1996). Existen además, diferencias estacionales en las tasas de acumulación de forraje; se estima que en las praderas de clima templado en México, aproximadamente dos tercios de la acumulación anual tiene lugar durante primavera y verano (Améndola *et al.*, 2005). Tales variaciones afectan la producción animal, pues la carga óptima que la pradera puede sostener tiene que ser modificada; debido a esto, es necesario explorar alternativas que permitan disminuir dichas variaciones en la producción.

En el sistema lechero especializado, el problema antes planteado se enfrenta mediante rotaciones de alfalfa (con duraciones de aproximadamente tres años), avena y raigrás anual durante otoño e invierno y maíz y sorgo forrajero durante primavera y verano (Améndola *et al.*, 2005).

2.1.2 Ventajas de la utilización de cultivos anuales

Desde hace algunos años, se ha reconocido la importancia de la inclusión de cultivos forrajeros en la alimentación de ganado lechero, ya que cuentan con algunas ventajas, como su rápido rebrote, mayor rendimiento y calidad de forraje, reducción de malezas y uso más eficiente del agua. Ésta última es una característica importante, ya que proporcionan materia seca (MS) de manera rápida en un lapso de tiempo corto, por lo que el terreno queda disponible para otra actividad, dando la oportunidad de diversificar la producción (Wheeler, 1981).

De acuerdo con Wheeler (1981), la altura del dosel de la planta, forma, disposición y orientación de las hojas y el sistema radical genera diferencias, las cuales pueden llegar a producir rendimientos de MS dos a tres veces superiores a las de praderas permanentes. Asimismo, la calidad del forraje, asociada con su digestibilidad y contenido de proteína, es mayor en los cultivos anuales que perennes en el mismo periodo, y permanece más estable conforme incrementa la edad del rebrote.

2.2. MAÍZ FORRAJERO

2.2.1 Importancia del maíz forrajero

El maíz es el recurso renovable más importante del mundo, cada año la mayor parte de los países dedican 1.5 hectáreas de cada cuatro cultivables a su producción, representando 65% del total de granos (maíz, sorgo, cebada, centeno y avena) producidos en el mundo (FIRA, 1998). Además de su importancia para la alimentación humana, en los últimos años el maíz ha sido

utilizado en la alimentación animal, debido a su rendimiento y contenido energético altos (Sprague y Dudley, 1988). El maíz puede llegar a producir hasta 31 ton de MS por hectárea y con una producción promedio de grano cercana a 50% se asegura un contenido alto de energía (Pizarro *et al.*, 2002), pudiéndose aprovechar como una excelente opción para ser usado en sistemas de producción de leche.

2.2.2 Producción Nacional

En México, alrededor de 24 millones de hectáreas son destinadas a la agricultura, de las cuales aproximadamente seis millones son de riego y las restantes de temporal (CEA, 2000), siendo el maíz el producto agrícola más importante, debido a que, además de su influencia social y económica para muchos campesinos, es la base de la alimentación nacional y en los últimos años ha adquirido importancia como cultivo forrajero (Arroyo, 1989).

Su cultivo se extiende a lo largo de todo el territorio nacional, sobre distintos contextos geográficos, ecológicos, técnicos y sociales. México es el centro de origen del maíz y sigue siendo el mayor centro de diversidad de la especie, es el quinto productor a nivel mundial y el cuarto importador de grano (Saad, 2004)

En el periodo comprendido entre 1990 y 2002 la producción de maíz forrajero en el país, tanto en condiciones de riego como de temporal, se incrementó. Por otra parte, la superficie sembrada con maíz forrajero en México durante este periodo, fue mayor en condiciones de temporal (en promedio 12,417 ha

anuales, 16.2% anual) que de riego (en promedio 3,083 ha anuales, 7.4% anual) (SIAP, 2004).

Al considerar estas estadísticas, es necesario excluir el área sembrada con praderas de temporal, ya que esta información subestima dicha superficie. Si se considera el área sembrada con maíz forrajero como proporción del área sembrada con recursos forrajeros (excluyendo praderas de temporal), esta incrementó de 13.5% en 1990 a 18.1% en 2002 (SIAP, 2004).

Con base en las estadísticas presentadas por SIAP (2004) se estima que, sin considerar las praderas de temporal, los cultivos forrajeros más importantes a nivel nacional son alfalfa, maíz, avena y sorgo forrajero, los cuales desde 1990 han ocupado aproximadamente 80% del área sembrada con cultivos forrajeros. En el periodo de 1998 a 2001, el área sembrada con los cultivos forrajeros más importantes de clima templado se incrementó en más de 50% con respecto al área sembrada de 1990 a 1997. Asimismo, con un promedio de 214 mil hectáreas, el maíz ha ocupado $22.4 \pm 0.6\%$ de esa área ($29.1 \pm 1.0\%$ del área de temporal y $14.0 \pm 0.6\%$ del área de riego), ubicándose en tercer lugar después de avena y alfalfa.

2.2.3 Producción de forraje

La producción de MS de un cultivo está directamente relacionada con el aprovechamiento de la radiación solar incidente. Además, para alcanzar los máximos rendimientos en situaciones sin limitaciones ambientales importantes,

los cultivos deben aprovechar en su totalidad la radiación solar disponible durante la etapa inicial de crecimiento (Andrade, 1996).

Las tasas de acumulación de MS de la planta de maíz comprenden dos fases, el crecimiento vegetativo y el desarrollo reproductivo, los cuales a su vez se dividen en varias fases. Dentro del crecimiento vegetativo se encuentran i) la germinación, la cual termina al aparecer la brotación de la tercera hoja y ii) crecimiento vegetativo, en el que ocurren el alargamiento de entrenudos, la emisión de hojas y la formación de raíces adventicias. Las fases de desarrollo reproductivo son i) floración y fecundación que se inicia con el surgimiento de la inflorescencia masculina y termina con la fecundación y ii) formación y maduración del grano, que se caracteriza por la consistencia láctea, pastosa y la maduración completa del grano, así como la senescencia de la planta (Llanos, 1984; Pizarro *et al.*, 2002).

En la literatura existe variabilidad con respecto a los rendimientos de MS, lo cual está en función de las condiciones climáticas, edáficas, variedad, densidad de siembra, momento de cosecha entre otros.

En el cultivo de maíz, la densidad de plantas tiene efectos importantes en la partición de MS entre estructuras vegetativas y reproductivas, es por ello que el ajuste de la densidad de plantas es de gran importancia en este cultivo (Andrade 1996).

Acosta y Mieres (1987) mencionan que con 100 kg de semilla ha^{-1} se pueden lograr rendimientos de 4000 kg MS ha^{-1} en un periodo menor a 50 días; mientras que Núñez *et al.* (2003) obtuvieron un rendimiento promedio

de 18.9 ton MS ha⁻¹ 104 días después de la siembra, en 18 híbridos de maíz, con una densidad de población de 80 000 plantas ha⁻¹.

En función de la duración de su ciclo (número de días entre siembra y cosecha), los cultivares de maíz se clasifican como precoces (entre 100 y 115 días), intermedios (124 a 144 días) y tardíos (aproximadamente 150 días). En México el promedio de rendimientos de maíz forrajero en experimentos es 19 t MS ha⁻¹; es decir, 30% superior que los rendimientos de cultivos comerciales. El rendimiento que se puede esperar con cultivares de ciclo intermedio es aproximadamente 4 t MS ha⁻¹ superior que con cultivares precoces. Ese incremento se origina principalmente de la mayor duración del ciclo, ya que las tasas de crecimiento promedio de ambos tipos de cultivares parecen ser similares y se ubican entre 166 y 194 kg MS ha⁻¹ d⁻¹ (Améndola *et al.*, 2005).

2.2.4 Composición morfológica

La planta de maíz está compuesta por diferentes fracciones morfológicas, las cuales sufren cambios conforme se desarrolla el cultivo; estos cambios están estrechamente asociados con la composición química y, por consiguiente, con la digestibilidad de los componentes morfológicos (Struik, 1983).

Sin embargo, las diferencias morfológicas y calidad nutricional no solo están sujetas a la edad, sino también a otros factores y condiciones, tales como: fecha de siembra, disponibilidad de agua, otras variables climáticas, densidad de plantas y variedad (Struik, 1983 y Graybill *et al.*, 1991).

Se han generado cultivares de maíz con fines diversos como producción de grano o forraje; asimismo, existen cultivares que difieren en la duración del ciclo productivo y composición morfológica. Por tal razón, varios investigadores estudian la proporción de cada uno de los componentes respecto al total de la planta, la cual es diferente de acuerdo con los cultivares, densidades de siembra y principalmente con la etapa fisiológica.

Acosta y Mieres (1987) encontraron variación en la proporción de los componentes de la planta de acuerdo con diferentes densidades de siembra (29, 44, 57 y 103 kg semilla ha⁻¹) y días a la cosecha (49, 63, 77 y 91). En los primeros cortes, el aumento en la densidad dio como resultado un incremento en la oferta total de forraje con mayor proporción de hoja, la proporción de bráctea y mazorca se redujo considerablemente.

Con base en resultados experimentales reportados en memorias de Reuniones de Investigación Pecuaria, Améndola *et al.* (2005) estiman que el contenido promedio de mazorcas en maíz forrajero en México es 42%, fluctuando entre 33 y 47%.

2.2.5 Contenido nutricional

El maíz para forraje, es una fuente importante de energía debido a la proporción de carbohidratos que contiene, los cuales se encuentran distribuidos principalmente en la mazorca, específicamente en los granos y en menor proporción en las hoja.

Los contenidos de proteína de los distintos componentes morfológicos son bajos, en promedio 5.8% para el tallo y hasta 11.5% para la hoja, encontrándose en este intervalo el resto de los órganos. El menor contenido de lípidos se presenta en hojas (1.1%) y el valor mas alto en tallos (4.7%). El maíz se considera deficiente en algunos minerales, en particular el contenido de calcio (Reyes, 1990).

Al estudiar la composición de maíz, Kenzar (1998) encontró que en cada una de las fases de maduración del grano se producen cambios en la composición química de la planta, asociados con cambios en la composición morfológica. Durante el proceso de maduración aumenta el contenido de grano, que es un componente que pierde humedad rápidamente, es rico en carbohidratos y pobre en proteína. Por cada unidad porcentual en el contenido de grano, el contenido de MS aumenta 0.26% y se reducen en 0.12, 0.04 y 0.04 unidades porcentuales los contenidos de fibra cruda, proteína cruda y cenizas respectivamente. La evolución general de la composición está marcada por la traslocación de carbohidratos a la mazorca, que es un componente altamente digestible, como consecuencia de este proceso aumenta la proporción de pared celular en las partes vegetativas de la planta, disminuyendo su digestibilidad.

En México, los contenidos promedio (% de la MS) de Fibra Detergente Neutro, Fibra Detergente Ácido, Proteína Cruda y Digestibilidad *in vitro* en maíz forrajero son 45, 25, 8 y 72% respectivamente; en tanto que el contenido promedio de Energía Neta de Lactación es 1.53 Mcal kg⁻¹ MS (Améndola *et al.*, 2005).

2.2.6 Formas de aprovechamiento

Una de las ventajas adicionales del maíz es la facilidad y confiabilidad con que puede conservarse por medio del proceso de ensilaje, lo que permite mantener la disponibilidad de alimento en el sistema sin que se presenten fluctuaciones estacionales (Amendola, 2002). Por otra parte, sus características permiten que se le utilice proporcionado en verde (picado) o inclusive mediante pastoreo, aunque estas opciones no han sido aún suficientemente evaluadas (Pizarro *et al.*, 2002).

Mieres y Acosta (1987) recomiendan el pastoreo directo del maíz en su estado de grano lechoso temprano, ya que mencionan que aunque no es una práctica frecuente puede ser una buena alternativa dentro de las cadenas de pastoreo, mediante la cual se pueden obtener rendimientos de leche adecuados para la época del año en que se realiza su utilización.

Los beneficios encontrados en el uso del cultivo de maíz como forraje se basan en que: i) el pastoreo del maíz ha mostrado ser un método económico de producir carne y leche; ii) los productores no requieren poseer ni comprar equipos caros o sofisticados y iii) las praderas pueden ser favorecidas al existir la posibilidad de ser rotadas y así recuperar su vigor, destinarlas para la producción de semilla o permitir la acumulación de forraje como reserva en pie para periodos críticos, mientras se pastorea el maíz (Pizarro *et al.*, 2002).

2.2.7 Producción animal

Mieres *et al.* (1985) estimaron la producción diaria de leche y grasa de vacas Holstein pastoreando maíz en dos estados fisiológicos (vegetativo y grano lechoso), utilizando pasto sudán como testigo. De acuerdo con los resultados obtenidos, para los periodos de adaptación y experimental la producción de leche sin corregir por grasa fue mayor en pasto sudán que en los otros tratamientos; sin embargo, al corregir por grasa la tendencia se revirtió, debido a que el porcentaje de grasa producido por el tratamiento del pasto sudán fue menor y no pudo ser compensado por la mayor producción de leche.

2.3. SORGOS FORRAJEROS Y PASTO SUDÁN

El sorgo forrajero [*Sorghum bicolor* (L.) Moench x *Sorghum sudanense*] es una especie de clima cálido con alta productividad de MS, buena capacidad de rebrote y alta eficiencia en el uso del agua (Wheeler, 1980). El sorgo sudán [*Sorghum sudanense* (L.)] es una especie anual, llega a medir tres metros de altura, se desarrolla en diversos tipos de suelo y es resistente a la sequía. Puede rendir hasta cinco cortes, con buena capacidad de rebrote y es eficiente en el uso del agua (FAO, 2001).

2.3.1 Importancia del sorgo como cultivo forrajero

La importancia del sorgo forrajero a nivel mundial se ha visto disminuida en las últimas décadas; de acuerdo con datos de FAO (2001) el área sembrada entre 1980 y 1985 disminuyó drásticamente, ya que de 2.79 millones de hectáreas que fueron sembradas en 1980, llegó a 1.28 millones en 1985, reduciéndose en 0.12 millones de hectáreas anualmente a partir de 1980. En consecuencia, la

máxima producción de sorgo forrajero se registró en este año, posteriormente disminuyó 1.7 millones de toneladas anualmente; en tanto que los rendimientos se han mantenido relativamente estables.

2.3.2 Producción Nacional

De acuerdo con los datos reportados por SIAP (2004) la tendencia del cultivo de sorgo forrajero a nivel nacional se comportó de manera similar a la de maíz forrajero, incrementándose la superficie sembrada a una tasa anual de 10 900 hectáreas de 1995 a 2003. Con respecto al pasto sudán las estadísticas son incompletas, los primeros registros se observan en el año 2000, con 1 880 hectáreas, pasando a 2 402 en 2003, lo cual representó un aumento de 27%. Con base en estas estadísticas, debería considerarse que el pasto sudán aún es un cultivo marginal en México.

El sorgo forrajero es importante en las cuencas lecheras del norte de México debido a que es aproximadamente 30% más eficiente en el uso del agua que el maíz y la producción de forraje durante el verano se distribuye más homogéneamente que la de éste; no obstante, su valor nutritivo es menor que el de otros forrajes cultivados en esas cuencas (Améndola *et al.*, 2005).

2.3.3 Producción de forraje

De acuerdo con la descripción de Núñez y Cantú (2000), en el norte de México y en condiciones de riego, el sorgo forrajero se siembra entre fines de marzo y mediados de abril; la primera cosecha se realiza entre 55 y 60 días después de la siembra y las cosechas siguientes cada 30 a 40 días, cuando inicia la aparición

de espigas; en consecuencia, se practican aproximadamente cuatro cosechas hasta inicios de octubre.

Con el fin de evaluar la producción de MS de sorgo forrajero, Romero *et al.* (2002a) en Buenos Aires, Argentina, evaluaron cuatro tipos de sorgo forrajero cortados en tres estados de desarrollo (temprano o vegetativo; medio o florecido y tardío: grano pastoso-duro). Los rendimientos fueron diferentes en todas los cultivares tardíos, siendo mayor en el primer corte (en promedio 21.06 ton MS ha⁻¹), no así para cultivares de tipo temprano (en promedio 5.44 ton MS ha⁻¹). En este experimento, se observó variación en la producción de MS en función de la variedad y del momento en que se realizó el primer corte, siendo el corte temprano de la variedad fotosensitiva la que produjo rendimientos mayores (7.11 ton MS ha⁻¹) durante el rebrote. En general la producción de los cortes tardíos mostró una marcada superioridad con respecto a los otros.

Flores *et al.* (1984) realizaron un experimento llevado a cabo en el Estado de Sonora, en el cual la densidad de siembra fue de 18 kg de semilla ha⁻¹ con una fertilización presiembra de 250 kg de N y 100 kg de P₂O₅ ha⁻¹. La cosecha se realizó en estado lechoso masoso a una altura de 10 cm sobre el nivel del suelo, obteniendo un rendimiento promedio de 26.66 ton MS ha⁻¹ 111 días después de la siembra, el cual es notablemente superior al compararlo con el obtenido por Romero *et al.* (2002a), tomando en cuenta los días a la cosecha e incluso la suma total de las dos cosechas (primer corte y rebrote).

En un experimento realizado durante dos años en el norte de México en el que se evaluó una variedad de sorgo de nervadura café, utilizando como testigo un

híbrido de *Sorghum bicolor* × *Sorghum sudanense* y realizando cuatro cortes por año, Núñez y Cantú (2000) obtuvieron rendimientos de 15.5 y 12.5 ton MS ha⁻¹ en el sorgo de nervadura café durante el primero y segundo años respectivamente, mientras que el testigo presentó rendimientos de 22.3 y 14.5 ton MS ha⁻¹. Tales diferencias se debieron a que la radiación solar y la temperatura máxima fueron los factores climáticos más variables entre cortes y años.

Con base en resultados experimentales reportados en México, Améndola *et al.* (2005) estiman que el rendimiento promedio es 16.6 t MS ha⁻¹ (aproximadamente 4 t MS ha⁻¹ por cosecha), con contenidos promedio de proteína cruda y Fibra Detergente Ácido de 9.9 y 43.8 % de la MS respectivamente.

2.3.4 Composición morfológica

En un experimento realizado en Argentina, Romero *et al.* (2002c) evaluaron una variedad de sorgo forrajero azucarado a tres momentos de corte y su efecto en la producción y calidad de la planta para producción de ensilado. Se realizaron cortes a los 30, 58 y 111 días después de la siembra; la proporción de hoja fue mayor en la primera fecha de corte (45%), mientras que la proporción de tallo fue mayor en el segundo corte (75%). En el caso de los rebrotes, la cosecha se realizó a los 76 y 48 días después de los cortes temprano y medio, respectivamente, donde la mayor proporción de hoja se obtuvo en el rebrote medio (51%) y la mayor proporción de tallo en el rebrote temprano (59%).

En otro estudio la proporción de hoja y tallo para zacate sudán fue de 43.2 y 56.8%, respectivamente, a los 104 días después de la siembra (Mieres *et al.*, 1985).

2.3.5 Contenido nutricional

La composición nutricional del forraje de sorgo difiere de acuerdo con la variedad, el manejo y su estado de desarrollo. Romero *et al.* (2002a) evaluaron la calidad de cuatro tipos de sorgo forrajero cortados en tres etapas de desarrollo, encontrando que el valor nutritivo de la planta varía entre genotipos y momentos de corte. El contenido promedio de proteína bruta fue mayor en el corte temprano (12.5%) que en el medio (9.1%) y tardío (8.1%). Los valores medios de fibra (FDN y FDA) y de digestibilidad fueron mejores en el corte tardío para el caso de los sorgos azucarados y de nervadura marrón; por el contrario, en los sorgos fotosensitivo y pasto sudán, la digestibilidad disminuyó conforme avanzó la madurez.

La composición morfológica influye en la variación de la calidad nutricional del sorgo. Flores *et al.* (1984) encontraron que el mayor porcentaje de proteína cruda (PC) se concentra en el grano, seguido de la hoja (11.1 y 9.9 %, respectivamente).

2.3.6 Formas de aprovechamiento

Tanto el sorgo como el pasto sudán, tienen diversas formas de aprovechamiento, tales como: picado en verde, pastoreo directo, henificado y ensilado. Debido a la palatabilidad del pasto sudán, es utilizado principalmente

mediante el pastoreo, mientras que los sorgos híbridos son usados generalmente como forraje de corte (Olsen, 2005).

2.3.7 Producción animal

Acosta *et al.* (1984) realizaron un experimento en el cual los tratamientos fueron pasto sudán y maíz, evaluaron la respuesta en producción diaria de leche, leche corregida al 4% de grasa, peso vivo y variaciones en el mismo. No hubo diferencias en leche corregida por grasa y leche sin corregir para los periodos de adaptación y experimental. El tratamiento con pasto sudán fue el único en el que no se registró pérdida de peso.

Mieres *et al.* (1985) evaluaron el pastoreo de maíz (en estado vegetativo y lechoso) y pasto sudán en la producción de leche. Los autores encontraron que la producción de leche sin corregir tendió a ser mayor con pasto sudán que con maíz en cualquiera de los dos estados; sin embargo, al corregir por el contenido de grasa, esta tendencia se revirtió, ya que el porcentaje de grasa producido por el pasto sudán fue menor y no pudo ser compensado por la mayor producción de leche.

De acuerdo con Romero *et al.* (2002b), la producción de leche se incrementa al utilizar ensilado de sorgo forrajero azucarado en dietas tradicionales de invierno, en comparación con animales alimentados con ensilado de maíz, a pesar de que en éste último caso el consumo fue ligeramente superior con respecto al ensilado de maíz.

2.3.8 Toxicidad

El sorgo, el pasto sudán y sus híbridos se clasifican como plantas que producen cianuro, por lo que pueden causar envenenamiento en el ganado en ciertas condiciones. Estas plantas producen durrina (glucósido cianogénico) durante la etapa de crecimiento, los cuales se hidrolizan como resultado de una acción enzimática (emulsina) produciendo ácido cianhídrico (HCN) (Mannetje, 2004).

De acuerdo a Vough y Cassel (2002), en condiciones de estrés para la planta (clima, fertilidad, etapa de crecimiento o algún otro factor que retarde el crecimiento) la concentración de glucósidos puede aumentar. En plantas dañadas por heladas, masticación o pisoteo, la emulsina puede producir más fácilmente grandes cantidades de HCN. El ambiente ruminal contiene una gran cantidad de microorganismos y enzimas y al no haber secreción de ácido clorhídrico (HCl), se favorece la formación del HCN, el cual es absorbido rápidamente al torrente sanguíneo. En los no rumiantes, el HCl secretado en el estómago reacciona con el HCN, produciendo sustancias menos tóxicas (ácido fórmico y cloruro amónico). En la sangre, el HCN se une a la hemoglobina para formar cianoglobina, impidiendo el transporte de oxígeno, una vez que el agente tóxico entra al torrente sanguíneo, la muerte es muy rápida (15 a 20 minutos después de consumir el forraje).

Debido a lo anterior, se recomienda que el pasto sudán sea pastoreado cuando haya alcanzado una altura de 50 cm, mientras que los híbridos de Sorgo y pasto sudán, no deben ser pastoreados antes de alcanzar 70 cm de altura, ya

que presentan concentraciones mayores de HCN que el pasto sudán (Vough y Cassel, 2002).

LITERATURA CITADA

Acosta, Y. y J. Mieres. 1987. Alternativas de uso de maíz para producción de leche. In: Dialogo XIX: Reunión sobre producción y utilización de pasturas para engorde y producción de leche. Programa Cooperativo de Investigación Agrícola del Cono Sur. Molestina, C.J. (Comp.). IICA, Montevideo, Uruguay. pp: 249-250.

Acosta, Y., J. Mieres, H. Durán. 1984. Comparación de Sudangras y maíz para la producción de leche bajo pastoreo. Investigaciones Agronómicas No. 5. pp:75-77.

Amendola, R.D. 2002. A dairy system based on forages and grazing in temperate Mexico. Tesis Doctoral. Wageningen University, Países Bajos. 269 pp.

Améndola, R., E. Castillo, P.A. Martínez. 2005. Country Pasture/Forage Resource Profiles. Mexico. [En línea]. Disponible en <http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGP/AGPC/doc/Counprof/mexico/Mexico.htm> (Revisado el 16 de mayo de 2005).

Andrade, F. 1996. Ecofisiología del cultivo del maíz. DEKALB PRESS. Buenos Aires, Argentina. 292 pp.

Arroyo, G. 1989. La pérdida de la autosuficiencia alimentaria y el auge de la ganadería en México. Universidad Autónoma Metropolitana - Xochimilco. Plaza y Valdés Editores, México D.F., México. 367 pp.

CEA. 2000. Situación actual y perspectiva de la producción de maíz en México 1990-1999. Centro de Estadística Agropecuaria, SAGAR, México D.F., México. pp:10-19.

- FAO. 2001. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Anuario Estadístico de la Producción Mundial. [En línea]. Disponible en <http://www.fao.org> (Revisado el 24 de marzo de 2004).
- FIRA. 1998. Oportunidades de desarrollo del maíz mexicano – Alternativas de competitividad. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. FIRA-Banco de México. México D.F., México. 215 pp.
- Flores L.A., G. Lizárraga, V. Palomino, F.J. Peñuñuri M. 1984. Comparación de diferentes variedades de sorgo y maíz en producción de calidad del forraje verde y ensilado. Técnica Pecuaria de México. Supl. (11). [En línea]. Disponible en <http://patrocipes.uson.mx/patrocipes/invpec/forrajes/F84008.html> (Revisado el 18 de diciembre de 2004).
- Graybill J.S., W.J. Cox, D.J. Otis. 1991. Yield and quality of forage maize as influenced by hybrid, planting date, and planting density. *Agronomy Journal*. 83: 559-564.
- Kenzar W., W. 1998. Uso exitoso del ensilaje de maíz de alta calidad por lecheros del oeste de Estados Unidos. IV Ciclo Internacional de Conferencias sobre Nutrición y Manejo. LALA. Torreón, Coahuila. pp: 9-18.
- Llanos C., M. 1984. El maíz, su cultivo y aprovechamiento. Mundi-Prensa, Madrid, España. 318 pp.
- Mannetje L't. 2004. *Sorghum x drummondii* (Steud.) Millsp. & Chase. [En línea]. Disponible en <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/Gbase/data/pf000494.HTM> (Revisado el 18 de noviembre de 2004).

- Mieres, J.M. y Y.M. Acosta. 1987. Utilización de maíz bajo pastoreo. In: Dialogo XIX: Reunión sobre producción y utilización de pasturas para engorde y producción de leche. Programa Cooperativo de Investigación Agrícola del Cono Sur. Molestina, C.J. (Comp.). IICA, Montevideo, Uruguay. pp: 271-274.
- Mieres, J., Y. Acosta, H. Durán. 1985. Comparación de Sudangras y maíz en dos estados fisiológicos contrastantes para la producción de leche bajo pastoreo. Investigaciones Agronómicas No. 6. pp: 68-71.
- Núñez H., G. y J.E. Cantú B. 2000. Producción, composición química y digestibilidad del forraje de sorgo x sudán de nervadura café en la región norte de México. Técnica Pecuaria México. 38: 177-187.
- Núñez H., G., E.F. Contreras G. y R. Faz C. 2003. Características agronómicas y químicas importantes en híbridos de maíz para forraje con alto valor energético. Técnica Pecuaria México. 41: 37-48.
- Olsen, F.J. The production and management of Sudangrasses in West Virginia. Cooperative Extension Service, Appalachian Center. West Virginia, University. Virginia, USA. Disponible en <http://www.caf.wvu.edu/~forage/library/forglvst/> (Revisado el 22 de enero de 2005).
- Pizarro E.A., R. Vera R., M. Carámbula. 2002. Ensilado de maíz. [En línea]. Disponible en <http://www.pasturasdeamerica.com> (Revisado el 19 de enero de 2005).
- Reyes C., P. 1990. El maíz y su cultivo. D.A.G.T., México D.F., México. 460 pp.
- Romero L., S. Aronna, y E. Comerón. 2002a. El sorgo forrajero, ¿puede ser un sustituto del maíz? [En línea]. Disponible en <http://www.elsitioagricula.com/articulos> (Revisado el 18 de diciembre de 2004).

- Romero L.A., M.S. Aronna, E.A. Comerón, O.A. Quaino. 2002b. Evaluación del silaje de sorgo forrajero azucarado para la producción de leche. 25° Congreso Argentino de Producción Animal. Buenos Aires, Argentina. 2 al 4 de octubre de 2002. [En línea]. Disponible en <http://www.inta.gov.ar/rafaela/info/documentos/anuario2002> (Revisado el 8 de diciembre de 2004).
- Romero, L., O. Bruno, E. Comerón, M. Gaggiotti. 2002c. Efecto del momento de corte sobre la producción y la calidad de un sorgo forrajero azucarado para silaje. [En línea]. Disponible en <http://www.ies21.com.ar/articulos/agro13.doc> (Revisado el 30 de mayo de 2005).
- Saad, I. 2004. Maíz y Libre Comercio en México. Claridades Agropecuarias. 127: 44-48.
- SIAP. 2004. Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera. [En línea]. Disponible en <http://www.siap.sagarpa.gob.mx> (Revisado el 29 de agosto de 2004).
- Sprague G.F. y W. J. Dudley. 1988. Corn and corn improvement. 3th ed. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. 986 pp.
- Struik P., C. 1983. Effect of temperature on development, dry matter production, dry matter distribution and quality of forage maize (*Zea mays* L) an analysis. Wageningen Agricultural University, Department of Field Crops and Grassland Science: Wageningen, Veenman, Netherlands. 41 pp.
- Tainton, N.M., C.D. Morris, M.B. Hardy. 1996. Complexity and stability in grazing systems. In: J. Hodgson and A.W. Illius (eds.) The ecology and management of grazing systems. Cab International. Wallingford, United Kingdom. pp: 275-299.

- Vough, L.R. and E.K. Cassel. 2002. Prussic Acid Poisoning of Livestock: Causes and Prevention. College of Agriculture and Biological Sciences / South Dakota State University/USDA. Disponible en: <http://agbiopubs.sdstate.edu/articles/ExEx4016> (Revisado el 15 de noviembre de 2004).
- Wheeler, J.L. 1980. Increasing animal production from sorghum forage. Food and Agriculture Organization of the United Nations. World Animal Review. 35:13-22.
- Wheeler, J.L. 1981. Complementing grassland with forage crops. In: Grazing Animals. Morley F., H.W. (Ed). Elsevier, Amsterdam. Netherlands. pp:239-260.

3. PRODUCCIÓN DE FORRAJE Y EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN MEDIANTE PASTOREO DE SORGO, ZACATE SUDÁN Y MAÍZ

INTRODUCCIÓN

Es probable que la incorporación de forrajes anuales de verano a los sistemas de producción de leche en pastoreo, permita mantener una alta carga animal sin necesidad de utilizar altas proporciones de forrajes conservados. La fuerte caída en la producción de forraje durante el invierno, es el primer factor que impide mantener una alta carga animal durante el año. La investigación nacional ha explorado la producción de leche en pastoreo de praderas permanentes y anuales de invierno; sin embargo, el pastoreo de forrajeras anuales de verano ha sido poco investigado en condiciones de zonas templadas con inviernos benignos.

Los principales cultivos forrajeros de verano de los sistemas lecheros intensivos son maíz (*Zea mays* L.), sorgos forrajeros híbridos (*Sorghum bicolor* Moench. x *Sorghum sudanensis* Brot.) y zacate sudán (*Sorghum sudanensis* Brot.)⁽¹⁾. Aunque estos cultivos presentan limitantes para ser cosechados por pastoreo, debido a la altura que alcanzan en corto tiempo y su baja resistencia al pisoteo, tienen la ventaja de producir gran cantidad de forraje en periodos cortos con valor nutricional relativamente alto. Con base en lo anterior, los objetivos de la presente investigación fueron determinar la producción de forraje de sorgo, zacate sudán y maíz en etapas tempranas de crecimiento, así como la eficiencia de cosecha del forraje producido por medio de pastoreo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Entre abril y septiembre de 2003 se realizaron dos experimentos en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado a 19° 29' N, 98° 53' O y 2240 msnm⁽²⁾. En uno de los experimentos se evaluó un cultivar de sorgo forrajero y un cultivar de zacate sudán (Experimento 1), mientras que el otro fue un experimento repetido en dos sitios, en el que se evaluaron dos variedades de maíz (Experimento 2a y 2b).

El clima del sitio experimental es templado subhúmedo con lluvias en verano; el promedio de precipitación anual es de 636.5 mm, la temperatura media anual es 15.2 °C, siendo mayo el mes más cálido y enero el más frío⁽²⁾. En el Cuadro 1 se presentan las medias quincenales de datos meteorológicos correspondientes al periodo experimental.

Comparado con los promedios de largo plazo (51 y 53 años para temperatura y precipitación, respectivamente), el periodo experimental fue cálido, ya que las temperaturas medias de abril y mayo y de junio a septiembre fueron 5.0 y 2.3 °C mayores a las medias de largo plazo; la precipitación total del periodo se encontró ligeramente superior (16.6 mm) con respecto a la media de largo plazo; sin embargo, la distribución de la precipitación no fue típica, ya que el comienzo de la estación (abril a julio) resultó relativamente seco (9.9% menor a la media de largo plazo), mientras que el final (agosto y septiembre) se presentó relativamente húmedo (12.5% mayor a la media de largo plazo).

Cuadro 1. Medias quincenales de insolación, evaporación de tanque y temperatura y precipitación quincenal total, correspondientes al periodo experimental.

Quincena	Insolación (h d ⁻¹)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm d ⁻¹)	Temperatura (°C)		
				Media	Máxima	Mínima
16 al 30 de abril	8.7	15.4	7.0	23.1	29.0	10.4
1 al 15 de mayo	8.6	8.4	7.1	24.2	30.5	11.6
16 al 31 de mayo	8.6	7.5	7.0	21.8	27.5	10.5
1 al 15 de junio	4.6	70.0	4.9	20.2	25.7	12.9
16 al 30 de junio	4.1	37.8	3.9	19.1	23.5	12.3
1 al 15 de julio	6.5	44.8	4.4	19.2	24.3	10.5
16 al 31 de julio	5.7	64.5	4.4	18.8	24.7	11.2
1 al 15 de agosto	6.2	112.0	4.3	18.7	24.6	10.0
16 al 31 de agosto	6.1	54.0	3.6	18.6	23.8	11.1
1 al 15 de septiembre	5.5	72.8	4.2	18.9	24.0	12.5

El suelo del área experimental es de origen aluvial y se clasifica como Vertic Argiustoll (correspondiente a Castanozem lúvico), es profundo, de color negro, ligeramente pedregoso, de textura media, con capacidad media de retención de humedad, neutro y medianamente rico en materia orgánica⁽³⁾. En el Cuadro 2 se presentan algunas propiedades físicas y químicas del suelo del área experimental y en el Cuadro 3 los contenidos de nitrógeno previos a la labranza.

Cuadro 2. Propiedades físicas y químicas del estrato entre 0 y 30 cm del suelo del área experimental.

Característica	Valor
pH	6.4
Materia Orgánica (%)	2.4
P (mg kg ⁻¹)	38.0
K (mg kg ⁻¹)	192.0
Arena (%)	42.2
Limo (%)	35.3
Arcilla (%)	22.6
Porcentaje de humedad 0.3 atm	23.9
Porcentaje de humedad 15 atm	10.9

Cuadro 3. Contenidos de nitrógeno total (Nt) e inorgánico (Ni) en los suelos donde se establecieron los experimentos. Los suelos se muestrearon antes de la labranza.

Experimento	Estrato (cm)			
	0-30		30-60	
	Nt (%)	Ni (mg kg ⁻¹)	Nt (%)	Ni (mg kg ⁻¹)
Experimento 1	0.113	35.9	0.097	25.8
Experimento 2 sitio a	0.100	32.3	0.127	34.3
Experimento 2 sitio b	0.100	31.3	0.100	33.8

Experimento 1

El Experimento 1 consistió en la evaluación del sorgo forrajero Sumore (híbrido de cruza trilineal) y del zacate sudán Kikapoo. Esta evaluación se realizó mediante un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones; la unidad experimental fueron parcelas de 180 m².

La siembra se realizó el 22 de abril de 2003 con sembradora mecánica, a densidad de 27.1 y 29.6 kg de semilla ha⁻¹ para Kikapoo y Sumore, respectivamente y surcos de 0.56 m.

A la siembra se fertilizó con 100-60-00 (N-P₂O₅-K₂O) y al inicio del primer rebrote se aplicaron 60 kg N ha⁻¹. Se regó por aspersión a 1, 9, 17, 24 y 38 días después de la siembra (DDS), la lámina total fue 150 mm.

El primer ciclo de pastoreo tuvo lugar entre 58 y 65 DDS, con dos ciclos adicionales a 115 y 146 DDS; la densidad de carga animal fue cuatro vacas por parcela, por un tiempo variable que no superó ocho horas. Durante el pastoreo se observó a los animales y el criterio para decidir la finalización del periodo de ocupación, fue la ausencia de actividad de pastoreo durante un periodo de 30 minutos por parte de todos ellos.

En cada ciclo de pastoreo se determinó el forraje ofrecido (MFO) y residual (MFR) por parcela. En los dos primeros pastoreos MFO y MFR se determinaron por corte a ras de suelo a partir de cinco ubicaciones sistemáticas de una unidad de muestreo de 0.27 m² (0.9×0.3 m). Las muestras de forraje se pesaron en seco (55°C hasta peso constante) para expresar MFO y MFR en base seca.

En el tercer ciclo de pastoreo MFO y MFR se determinaron en forma indirecta por regresión lineal entre altura del dosel y masa de forraje (MF). La ecuación de regresión se desarrolló con la siguiente información de campo: se realizaron 30 mediciones de altura en cada parcela, y en cinco muestras por cultivar se determinó la relación entre altura y MF. Para ello, en fajas de 0.5 m de ancho y 8.2 ± 0.7 m de largo (forraje ofrecido) y 5.8 ± 0.5 m de largo (forraje residual) se midió la altura del dosel en nueve puntos, se cortó el forraje con una podadora a una altura aproximada de 6 cm y luego se cortaron a ras de suelo dos muestras de 30×90 cm ubicadas longitudinalmente en la faja cortada. El forraje se pesó

en fresco y se tomaron submuestras de aproximadamente 500 g, que se secaron hasta peso constante a 55°C en una estufa con circulación forzada de aire; se registró su peso seco y se estimó el contenido de materia seca (MS). Con base en el peso fresco de la muestra y el contenido de MS de la submuestra se estimó la masa de forraje.

La producción neta de forraje (PNF) por potrero se calculó mediante la diferencia de MFO y MFR, en tanto que la eficiencia de utilización (EU) expresó PNF como porcentaje de MFO.

Para determinar la composición morfológica (CM), en el primero y segundo ciclos de pastoreo se cortaron cinco muestras de 0.27 m² a 5 cm del nivel del suelo y se separaron en sus componentes tallo (incluyendo vaina), hoja (lámina foliar) y panoja; posteriormente se secaron a 55°C hasta peso constante.

Para el análisis estadístico se utilizó un modelo de bloques completos al azar, con arreglo de parcelas divididas en el tiempo.

Experimento 2

En el Experimento 2 se utilizó un diseño experimental con parcelas divididas en el tiempo, donde se evaluaron dos variedades de maíz (San José y San Josecito) en seis fechas de cosecha (73, 79, 86, 91, 96 y 101 DDS). Esta evaluación se realizó en dos sitios (potreros: 2a y 2b) que difirieron en la fertilidad del suelo (Cuadros 2 y 3). San Josecito es precoz con 115 a 145 días

a madurez y San José es intermedio con 145 a 175 días a madurez¹. En cada sitio (2a y 2b), el diseño fue bloques al azar con dos repeticiones y unidades experimentales de 117.5 m².

La siembra se realizó el 25 de abril de 2003 con sembradora mecánica. A la siembra se fertilizó con 100-60-00 (N-P₂O₅-K₂O). El riego fue por aspersión a 1, 8, 15, 22 y 36 DDS, la lámina total fue 150 mm.

A los 43, 50, 57 y 66 DDS se determinó la MF de todas las parcelas. Entre los 73 y 101 DDS se determinaron MFO y MFR de las parcelas que fueron pastoreadas; la cosecha se realizó por pastoreo, con una densidad de carga animal de cuatro vacas por parcela, por un tiempo variable que no superó ocho horas. Durante el pastoreo se observó a los animales y el criterio para decidir la finalización del periodo de ocupación, fue la ausencia de actividad de pastoreo durante un periodo de 30 minutos por parte de todos ellos.

MF y MFO se estimaron mediante el producto de densidad de plantas por el peso promedio por planta según se indica en la Ecuación 1.

$$\text{MFO} = \text{DP} \times \text{PP} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

MFO = Masa de forraje ofrecido (kg MS ha⁻¹)

DP = Densidad de plantas de maíz (plantas ha⁻¹)

PP = Peso promedio por planta de maíz (kg MS planta⁻¹)

¹ Dr. Moisés Mendoza, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5 Carretera México-Texcoco, Estado de México.

Para estima DP, se contaron 42 plantas en 14 segmentos de 3m cada uno, localizados en forma sistemática por parcela. La estimación de PP se realizó mediante una técnica indirecta. Esta técnica consistió en determinar con base en datos de 15 plantas de cada variedad y cada fecha de muestreo, la relación entre el peso, la altura, el número de tallos (NT) y DDS; las ecuaciones de calibración se calcularon por regresión mediante el método stepwise⁽⁴⁾.

La altura se midió desde el nivel del suelo de dos formas: i) extendida (AE), en la que se extendieron las hojas de la planta para registrar su altura máxima y ii) sin disturbar la planta (ASD), en este caso se utilizó una regla provista de un dispositivo perpendicular que se desplazaba hacia abajo, registrándose la altura a la que el dispositivo hacía el primer contacto con alguna parte de la planta. Se determinó altura en 42 plantas por parcela (tres plantas de cada uno de los segmentos de 3m usados para determinar DP); en esas mismas plantas se contó NT. Las plantas utilizadas para calcular las ecuaciones de calibración se cortaron a ras de suelo, se pesaron luego de secado a 55°C hasta peso constante.

CM se estimó por medio de separación manual de los componentes morfológicos: hoja, tallo (incluyendo vainas de hojas), inflorescencia masculina, brácteas y mazorca de seis plantas por parcela. Los componentes separados se secaron hasta peso constante a 55°C en una estufa con circulación forzada de aire y luego se registró su peso seco.

Para la estimación de MFR, una vez concluido el pastoreo en 14 muestras de 3 m lineales de surco por parcela se contaron los tallos remanentes y midió su

longitud en tres plantas de cada muestra (42 plantas por parcela). Con base en 86 muestras escogidas para abarcar el intervalo de longitud de los tallos residuales, se generó una ecuación de regresión entre longitud y peso seco de los tallos, esta ecuación se usó para estimar el peso promedio de tallos residuales; MFR se estimó mediante el producto de DP y peso promedio de tallos residuales. PNF se calculó mediante la diferencia entre MFO y MFR, en tanto que la EU expresó PNF como porcentaje de MFO.

Los resultados de DP, AE, NT, PP, MFO, MFR, EU, PNF y CM se analizaron con un modelo mixto que consideró los efectos fijos de fecha, sitio experimental, variedad y sus correspondientes interacciones y los efectos aleatorios de bloque y la interacción bloque×variedad (término de error para los efectos de sitio, variedad y su interacción). Para el análisis de los resultados de MF y CM durante el mes de junio, se utilizó el mismo modelo mixto, pero con mediciones repetidas.

RESULTADOS

Experimento 1

MFO no mostró efecto ($P>0.05$) de variedad ni de ciclo de pastoreo, mientras que MFR, PNF y EU sólo mostraron efecto ($P<0.05$) del ciclo de pastoreo (Cuadro 4). Los resultados de MFO y MFR están relacionados con los obtenidos para PNF y EU; en el segundo ciclo de pastoreo la mayor MFR implicó reducciones en PNF y EU.

Cuadro 4. Características de producción¹ de dos variedades de sorgo en tres ciclos de pastoreo.

Fuente de Variación		MFO (kg MS ha ⁻¹)		MFR (kg MS ha ⁻¹)		PNF (kg MS ha ⁻¹)		EU (%)	
Ciclo	Primero	8149	a	3005	b	5145	a	62.3	a
	Segundo	7117	a	4262	a	2855	b	37.9	b
	Tercero	8176	a	3918	ab	4259	ab	51.5	ab
Variedad	Kikapoo	7838	a	3758	a	4080	a	51.1	a
	Sumore	7791	a	3698	a	4092	a	50.1	a

¹ MFO=Masa de forraje ofrecido; MFR=Masa de forraje residual; PNF=Producción neta de forraje; EU=Eficiencia de utilización.

^{a,b} Medias con una misma literal en cuadro de interacción no difieren (P>0.05).

La proporción de hoja en Sumore fue mayor (P<0.05) que en Kikapoo, mientras que la proporción de hoja en el segundo ciclo de pastoreo fue mayor que en el primero. Debido a que hoja y tallo fueron los componentes dominantes, en la proporción de tallo se presentan resultados opuestos a los obtenidos en hoja. El pastoreo se realizó con el cultivo en estado vegetativo, por lo que la proporción de panoja fue baja y resultó mayor (P<0.05) en Kikapoo (Cuadro 5).

Cuadro 5. Composición morfológica en el forraje ofrecido de dos variedades de sorgo en dos ciclos de pastoreo.

Fuente de variación		Hoja (%MS)		Tallo (%MS)		Panoja (%MS)	
Ciclo	Primero	35.4	b	63.8	a	2.1	a
	Segundo	51.5	a	46.9	b	1.8	a
Variedad	Kikapoo	35.3	b	62.8	a	3.0	a
	Sumore	51.6	a	47.9	b	1.0	b

^{a,b} Dentro de variable respuesta y tratamiento (ciclo y variedad), medias con una misma literal no difieren (P>0.05).

Experimento 2

No se encontraron diferencias significativas (P>0.05) en DP entre variedades; sin embargo, la densidad fue mayor (P<0.05) en 2a (Cuadro 6), el sitio con mejores condiciones edáficas (Cuadros 2 y 3). NT fue mayor (P<0.05) en San Josecito que en San José y en el sitio 2a.

La correlación entre AE y ASD fue positiva; con base en las medias de parcela esa relación se describe con la Ecuación 2.

$$ASD = -10.5 + 0.73AE + 0.0009AE^2, R^2 = 0.99, n = 240, P < 0.001 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

ASD: Altura de la planta sin disturbar

AE: Altura de la planta extendida

Durante el mes de junio, con las plantas en estado vegetativo, ASD fue entre 26 y 30 cm (en promedio 29 cm) menor que AE, a partir del día 79 (10 días después de la aparición de las primeras inflorescencias masculinas) esa diferencia comenzó a reducirse para llegar a ser en promedio 9 cm el día 101. El promedio de coeficientes de variación de ASD fue ligeramente superior al de AE (18.8 y 17.3%, respectivamente). Por otra parte, la determinación de AE fue más sencilla y rápida, es por eso que para la estimación de PP se consideró esta variable.

El análisis de varianza para AE no detectó diferencias ($P > 0.05$) entre variedades. Hubo efectos en la interacción del sitio experimental $\times$ DDS, las alturas máximas se alcanzaron a los 86 y 101 DDS para los sitios 2a y 2b, respectivamente (Cuadro 6).

Cuadro 6. Densidad de plantas, número de tallos por planta y altura extendida de plantas de dos variedades de maíz en seis fechas de muestreo en diferentes sitios.

	Días después de la siembra						Media
	73	79	86	91	96	101	
Variedad:	Densidad de plantas (plantas ha ⁻¹)						
San Josecito	41295	42411	39583	49331	47842	46618	44513 A
San José	41381	50893	48735	49479	52158	43601	47708 A
Sitio:							
2a	50521	53497	55134	59970	57217	52456	54799 X
2b	32155	39807	33185	38839	42783	37763	37422 Y
Media	41338 A	46652 A	44159 A	49405 A	50000 A	45110 A	
Variedad:	Número de tallos por planta						
San Josecito	1.5	1.4	1.6	1.4	1.5	1.4	1.5 A
San José	1.3	1.2	1.4	1.2	1.2	1.4	1.3 B
Sitio:							
2a	1.5 b	1.4 b	1.9 a	1.3 bc	1.5 b	1.5 b	1.5 X
2b	1.3 bc	1.1 c	1.1 c	1.3 bc	1.3 bc	1.2 bc	1.2 Y
Media	1.4 AB	1.3 B	1.5 A	1.3 B	1.4 AB	1.4 AB	
Variedad:	Altura extendida de planta (cm)						
San Josecito	206	222	239	264	268	264	244 A
San José	206	228	254	247	271	270	246 A
Sitio:							
2a	228 de	249 bcd	298 a	285 abc	290 ab	277 abc	271 X
2b	184 e	202 e	195 e	225 de	248 cd	257 abcd	219 Y
Media	206 C	225 BC	247 AB	255 A	269 A	267 A	

a,b,c,d,e Medias con una misma literal en cuadro de interacción no difieren (P>0.05).

A,B Medias con una misma literal en columna no difieren (P>0.05).

X,Y Medias con una misma literal en columna no difieren (P>0.05).

A,B,C Medias con una misma literal en hilera no difieren (P>0.05).

Para cada una de las variedades se calcularon ecuaciones de predicción de PP con AE, NT y DDS como variables independientes, en ambos casos las variables incluidas en las ecuaciones fueron AE al cuadrado, NT y DDS. La comparación entre los coeficientes de ambas ecuaciones reveló que en ningún

caso las diferencias fueron significativas ($P>0.05$), por lo que se calculó una ecuación conjunta (Ecuación 3) para ambas variedades.

$$PP = -29.2 + 0.0016 AE^2 + 7.8 NT + 0.62 DDS, R^2 = 0.83g, ET = 30.8; n = 388 \quad (\text{Ecuación 3})$$

No hubieron diferencias ($P>0.05$) entre variedades para PP (Cuadro 7). La interacción experimento $\times$ DDS fue significativa ($P<0.05$), entre 86 y 96 DDS, PP fue mayor ($P<0.05$) en el sitio 2a, por otra parte, PP no aumentó ($P>0.05$) a partir del día 86 en el sitio 2a, en tanto que en 2b el incremento entre 86 y 101 DDS fue significativo ($P<0.05$).

Cuadro 7. Peso individual de plantas de dos variedades de maíz, en seis fechas de muestreo y dos sitios experimentales.

		Días después de la siembra						Media
		73	79	86	91	96	101	
Variedad:		Peso de plantas (g MS pl ⁻¹)						
San Josecito	96	111	132	150	158	157	134	A
San José	96	115	143	137	159	163	136	A
Sitio:								
2a	111 de	131 bcd	180 a	167 ab	177 a	171 ab	156	X
2b	81 e	95 de	95 de	120 cde	140 bcd	149 abc	113	Y
Media	96 C	113 C	138 B	144 AB	159 A	160 A		

^{a,b,c,d,e} Medias con una misma literal en cuadro de interacción no difieren ($P>0.05$).

^A Medias con una misma literal en columna no difieren ($P>0.05$).

^{X,Y} Medias con una misma literal en columna no difieren ($P>0.05$).

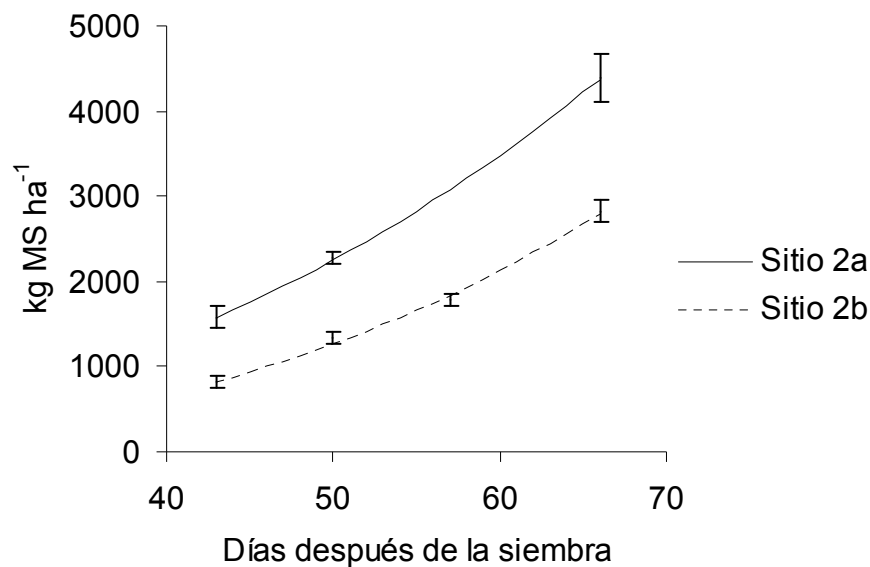
^{A,B,C} Medias con una misma literal en hilera no difieren ($P>0.05$).

Las variedades no difirieron ($P>0.05$) en MFO. Sin embargo, la interacción sitio $\times$ DDS resultó significativa, a partir de 79 DDS. MFO fue mayor en 2a (el sitio con mejores condiciones edáficas).

No se detectaron diferencias ($P>0.05$) en el crecimiento de las dos variedades en estado vegetativo entre los 43 y 66 DDS (durante el mes de junio). Sin

embargo, las masas de forraje en el experimento 2a fueron mayores ($P<0.05$), lo cual se debió al efecto simultáneo de una mayor densidad y peso individual de plantas (Figura 1).

Figura 1. Masa de forraje (kg MS ha^{-1}) de dos variedades de maíz entre 43 y 66 días después de la siembra en dos sitios experimentales (las barras indican error estándar de la media).



La masa de forraje residual se comportó de manera similar a MFO, es decir no hubieron diferencias entre variedades ($P>0.05$) y entre 73 y 96 DDS fue mayor ($P<0.05$) en el sitio 2a (Cuadro 8).

No se observaron diferencias ($P>0.05$) en eficiencias de utilización entre variedades (Cuadro 8). En ambos sitios EU decreció con el tiempo; sin embargo, en 2b fue mayor ($P<0.05$) en todas las fechas, con excepción de 79 y 101 DDS.

Los resultados de producción neta de forraje coinciden con los resultados de las demás variables, no se observaron diferencias ($P>0.05$) entre variedades

(Cuadro 8) y en 2a, el sitio con mejores condiciones edáficas, PNF fue 84% mayor ($P<0.05$). En ambos sitios PNF tendió a aumentar hasta 96 DDS; sin embargo, en el promedio los cambios no fueron significativos ($P>0.05$) a partir de 86 DDS, con un promedio de $4365 \text{ kg MS ha}^{-1}$.

La composición morfológica de maíz no sufrió efectos de variedad o sitio pero fue afectada marcadamente por el efecto de DDS. Si bien las interacciones variedad×DDS y sitio×DDS afectaron la proporción de tallo (Cuadro 9), implicaron diferencias menores respecto al marcado efecto de DDS; en el sitio 2b la proporción de tallo fue algo mayor al inicio pero esta diferencia fue significativa ($P<0.05$) únicamente en la primera fecha y en la variedad San José la proporción de tallo fue algo mayor al final del periodo, pero esta diferencia fue significativa ($P<0.05$) únicamente a 96 DDS. Respecto al efecto DDS, al inicio la relación hoja:tallo tuvo valores cercanos a 1, entre 50 y 57 DDS se produjo un drástico cambio que se reflejó en diferencias ($P<0.05$) en las proporciones de tallo y hoja (Cuadro 9), a raíz de ese cambio esa relación tomó valores cercanos a 0.5 y se mantuvo estable con esos valores hasta el final del periodo experimental. Por otra parte, entre 57 y 73 DDS comenzaron a presentarse estructuras reproductivas, cuya proporción incrementó a razón de 0.4 puntos porcentuales diarios, ese incremento fue a costa de las proporciones de hoja y tallo en partes prácticamente iguales.

Cuadro 8. Masa de forraje ofrecido, residual, eficiencia de utilización y producción neta de forraje de dos variedades de maíz en seis fechas de muestreo en diferentes potreros.

		Días después de la siembra													
		73		79		86		91		96		101		Media	
Variedad:		Masa de forraje ofrecido (kg MS ha ⁻¹)													
San Josecito		3476		5267		5746		7836		8005		6981		6218 A	
San José		2971		6172		7792		7628		8719		6930		6702 A	
Sitio:															
2a		4415 de		7872 bc		9470 ab		10568 a		10930 a		8717 ab		8662 X	
2b		2032 e		3567 de		4068 de		4896 d		5795 cd		5194 cd		4259 Y	
Media		3223 C		5720 B		6769 BC		7732 A		8362 A		6955 BC			
Variedad:		Masa de forraje residual (kg MS ha ⁻¹)													
San Josecito		1003		1739		2127		3309		3407		3036		2437 A	
San José		869		2182		3103		3063		3733		2943		2649 A	
Sitio:															
2a		1429 cd		2881 b		4018 ab		4601 a		4832 a		3768 ab		3588 X	
2b		443 e		1040 d		1212 d		1771 bcd		2307 bc		2211 bc		1497 Y	
Media		936 D		1961 C		2615 BC		3186 A		3570 A		2990 AB			
Variedad:		Eficiencia de utilización (%)													
San Josecito		72.7		67.7		65.1		59.0		58.1		56.5		63.2 A	
San José		73.7		67.0		62.9		61.3		58.1		58.0		63.5 A	
Sitio:															
2a		67.7 b		63.6 b		57.8 c		56.5 d		55.8 d		57.2 cd		59.8 Y	
2b		78.7 a		71.1 b		70.2 b		63.8 b		60.3 bc		57.2 cd		66.9 X	
Media		73.2 A		67.4 B		64.0 C		60.2 D		58.1 D		57.2 D			
Variedad:		Producción neta de forraje (kg MS ha ⁻¹)													
San Josecito		2474		3528		3619		4527		4599		3945		3782 A	
San José		2102		3990		4689		4564		4986		3987		4053 A	
Sitio:															
2a		2986		4991		5452		5966		6097		4949		5074 Y	
2b		1589		2527		2856		3125		3488		2982		2761 X	
Media		2288 C		3759 B		4154 AB		4546 AB		4793 A		3966 AB			

a,b,c,d,e Medias con una misma literal en cuadro de interacción no difieren (P>0.05).

^A Medias con una misma literal en columna no difieren (P>0.05).

^{X,Y} Medias con una misma literal en columna no difieren (P>0.05).

^{A,B,C,D} Medias con una misma literal en hilera no difieren (P>0.05).

Cuadro 9. Composición morfológica de dos variedades de maíz, en dos sitios entre 43 y 101 días después de la siembra (DDS).

Tallo (% de la MS)					
DDS	Variedad		Sitio		Media
	San Josecito	San José	2a	2b	
43	51.7hi	48.1i	56.5bc	43.4d	49.93d
50	50.1hi	46.4i	46.6cd	49.9cd	48.25d
57	67.6a	63.5abc	65.0a	66.1a	65.55a
73	60.2bcdef	60.5abcde	61.8ab	58.9ab	60.35b
79	56.7fgh	56.4gh	57.3bc	55.8bc	56.55bc
86	57.3defgh	58.3defgh	59.5ab	56.1bc	57.80bc
91	63.7ab	62.2abcd	60.2ab	65.7a	62.95a
97	51.5hi	60.0cdefg	57.2bc	54.4c	55.78c
101	54.6h	57.2fgh	56.5bc	55.3bc	55.90c
Media	56.9	57.1	56.3	56.9	

Hoja (% de la MS)					
DDS	Variedad		Sitio		Media
	San Josecito	San José	2a	2b	
43	48.3	51.8	43.5	56.5	50.0a
50	49.8	23.5	53.0	50.3	51.6a
57	32.5	36.3	35.0	33.8	34.4b
73	32.8	37.5	34.3	36.0	35.1b
79	32.0	36.3	32.3	36.0	34.1bc
86	31.0	33.8	30.8	34.0	32.4bc
91	26.8	30.0	31.5	25.3	28.4bc
97	31.3	26.8	24.5	33.5	29.0bc
101	21.0	26.5	24.5	23.0	23.8c
Media	33.9	36.9	34.4	36.5	

Estructuras reproductivas (inflorescencia masculina, mazorca, brácteas, referidos como % de la MS)

DDS	Variedad		Sitio		Media
	San Josecito	San José	2a	2b	
73	8.3	6.6	7.7	7.3	7.5c
79	15.5	9.4	13.2	11.7	12.5b
86	14.7	11.5	11.0	15.2	13.1b
91	13.4	10.4	10.7	13.1	11.9b
97	19.9	15.2	19.5	15.6	17.5a
101	25.0	17.3	19.9	22.5	21.2a
Medias	16.1	11.7	13.7	14.2	

a,b,...,i Medias con una misma literal en columna no difieren ($P>0.05$).

DISCUSIÓN

Experimento 1

No se encontraron diferencias en MFO por efecto de cultivar o ciclo, por lo que las diferencias en MFR tuvieron un efecto marcado en EU y PNF. Considerando las medias de mínimos cuadrados de cultivar y ciclo presentadas en el Cuadro 4, cada incremento de 1 kg MS en MFR implicó reducciones de 0.018 puntos porcentuales en EU ($R^2=0.89$) y 1.6 kg MS en PNF ($R^2=0.86$). Como consecuencia de lo anterior, PNF fue mayor ($P<0.05$) en el primer ciclo que en el segundo. Por lo general, en sorgos forrajeros la PNF del primer ciclo de crecimiento es mayor que en los siguientes ciclos⁽⁵⁾. Durante el pastoreo del primer rebrote de zacate sudán, la mayor parte de tallos que desaparecen son macollos tiernos remanentes del primer pastoreo, mientras que en el segundo rebrote hay una marcada selectividad hacia la hoja, debido a que el tallo es el residuo del pastoreo anterior^(6,7).

Considerando el lapso entre siembra y primer pastoreo, los periodos de descanso y los valores de MFO y MFR (Cuadro 4), se puede estimar que la tasa promedio de acumulación de forraje fue menor en el segundo ciclo de pastoreo que en los otros dos (en promedio 77 en el segundo ciclo vs 129 kg MS ha⁻¹ d⁻¹ en cada uno de los otros dos ciclos). El primer ciclo de pastoreo incluyó la fase de establecimiento, por lo que la alta tasa de acumulación pudo deberse a condiciones climáticas más favorables, ya que en ese periodo se presentó una hora diaria más de insolación y la temperatura media fue mayor en 3°C (Cuadro 1); de acuerdo con lo encontrado en la literatura ^(8,9), los

óptimos térmicos para crecimiento de sorgos son relativamente altos. Tomando en cuenta que no existieron diferencias climáticas importantes entre el segundo y tercer ciclos, la menor tasa de acumulación del segundo ciclo probablemente se debió a la menor MFR del primero ciclo⁽¹⁰⁾.

La alta proporción de hoja encontrada en el presente trabajo (51.6% para Sumore y 35.3% para Kikapoo) pudo estar relacionada con la edad en la cual se realizó la cosecha (58 y 50 DDS para el primer y segundo ciclos, respectivamente), ya que en la literatura se mencionan proporciones de hoja menores. Sin embargo, contra lo esperado⁽¹¹⁾, el mayor contenido de hoja de Sumore frente a Kikapoo no se tradujo en mayores grados de utilización.

Con base en las diferencias en la composición morfológica entre el primer y segundo ciclos de pastoreo (Cuadro 5), se pudo inferir que la proporción de panoja del sorgo probablemente interfirió con la EU en pastoreo en mayor medida que la proporción de tallo. La reducción del periodo de descanso puede ser estrategia para disminuir la proporción de panoja y aumentar así EU, pero esta medida puede incrementar el riesgo de intoxicación por HCN⁽¹²⁾.

Entre la siembra y el tercer pastoreo transcurrieron 146 días, la suma de PNF de los tres ciclos fue 12 259 kg MS ha⁻¹, considerando estas dos cifras el promedio de tasa de acumulación de forraje utilizable fue 84 kg de MS ha⁻¹ día⁻¹, misma que satisface los requerimientos de un sistema donde 60% de la superficie sembrada esté destinada a praderas permanentes y el resto a praderas anuales y áreas de conservación.

Experimento 2

El rendimiento de forraje de los cultivares de maíz es afectado por factores de manejo, entre otros la fecha de siembra, DP y el estado de madurez ⁽¹³⁾. El ajuste de DP es de gran importancia en el cultivo de maíz, ya que influye en la acumulación de forraje y la partición de MS entre estructuras vegetativas y reproductivas⁽¹⁴⁾. La densidad esperada en este trabajo era de aproximadamente 75 000 plantas ha⁻¹; sin embargo esta meta no se alcanzó, especialmente en el sitio 2b, lo cual pudo estar relacionado con el ataque de plagas, principalmente pájaros, y la diferencia en condiciones edáficas (Cuadros 2 y 3).

El intervalo de alturas de plantas que se observó en las dos variedades entre los 73 y 101 DDS fue de 206 a 271 cm, similar a información disponible en la literatura, donde la altura de plantas de maíz varía entre 204 y 264 cm^(15,16), aunque la altura promedio al momento de la cosecha de genotipos evaluados en México en los últimos años es 2.4 ± 0.3 m ⁽¹⁾.

En el sitio con mejores condiciones edáficas la altura de plantas fue mayor que en el otro sitio; sin embargo, hacia el final del periodo experimental estas diferencias fueron menos notorias, por lo que es posible que de haber continuado el experimento, en ambos sitios se habrían alcanzado valores similares.

NT fue mayor en San Josecito que San José; en el caso de estas variedades, esta variable no ha sido previamente reportada. No fue posible contrastar los resultados observados en NT con referencias de la literatura.

Debido a la mayor DP en el sitio 2a y de acuerdo con las que se han indicado para otras gramíneas⁽¹⁷⁾, era de esperarse que en ese sitio se presentaran menores tasas de ahijamiento debido a mayor competencia intraespecífica. Sin embargo, esto no fue así y es probable que este resultado esté asociado a la mayor fertilidad del sitio 2a, ya que en muchas gramíneas el ahijamiento responde positivamente al nivel de nitrógeno⁽¹⁸⁾.

El peso de plantas individuales reflejó diferencias ya discutidas de AE y NT. El mayor PP en el sitio 2a pudo ser producto de mejores condiciones edáficas, ya que al contar con una mayor DP se podría haber esperado menor peso individual⁽¹⁹⁾, lo cual no ocurrió. En el sitio 2a, la curva de desarrollo de PP en función del tiempo presentó las siguientes fases: i) tasas bajas de crecimiento inicial, ii) una fase intermedia donde la tasa de crecimiento fue mayor por el desarrollo de hojas y tallos, y iii) una última fase, en la cual existieron menores tasas de acumulación debido a que comenzó la formación del grano. En el sitio 2b la última fase aún no se presentaba al final del experimento⁽¹⁴⁾.

La mayor producción de MS por hectárea de los cultivares tardíos, puede atribuirse a un mayor número de hojas, índice de área foliar y duración de la misma⁽²⁰⁾. Existe información en la cual se demuestra que variedades precoces tienen menor rendimiento de materia seca (RMS) por unidad de área que variedades con ciclo más largo⁽²¹⁾; sin embargo, en otras investigaciones los resultados no demuestran que variedades con menor altura y menos días a cosecha necesariamente tengan menor RMS por hectárea^(13,22), tal es el caso del presente estudio, aunque debe tomarse en cuenta que la cosecha se realizó

al inicio de la fase reproductiva, lo cual pudo ser la causa de que no se encontraran diferencias en RMS.

En el presente trabajo, se observó que en etapas tempranas (55 a 70 DDS) y AE de plantas entre 100 y 160 cm, EU fue alta, reduciéndose con el aumento en edad y AE de plantas. En el sitio 2a, EU fue menor que en el 2b (a excepción del día 101), lo cual coincide con las diferencias en altura (plantas más altas en el sitio con suelo más fértil). No se encontró diferencia ($P>0.05$) en los coeficientes de regresión entre AE y EU de ambas variedades y sitios; al considerar las medias de EU y AE de las diferentes fechas, se puede constatar que la EU se redujo en 0.25 puntos porcentuales por el aumento de un centímetro en altura de plantas ($R^2=0.98$, $P<0.001$).

Es posible que para un uso más eficiente del maíz en pastoreo, convenga trabajar con genotipos de menor porte. De acuerdo con los resultados obtenidos, ambas variedades deben considerarse altas ya que, como ya se señaló, su altura es mayor a la altura promedio de los genotipos evaluados en los últimos años.

Aunque MFO continuó aumentando después del día 86, PNF no aumentó debido a la reducción en EU. De esta forma, PNF se mantuvo con 4.4 ton MS ha^{-1} entre los 86 y 101 DDS. Considerando que entre la fecha de siembra y la fecha probable de establecimiento de la pradera siguiente (aproximadamente 130 días), la producción diaria de forraje utilizable de ambas variedades sería 33.6 kg MS $ha^{-1} d^{-1}$, lo que resulta insuficiente para cubrir los requerimientos del sistema (60 kg MS $ha^{-1} d^{-1}$). Aún en el sitio con mayor DP y fertilidad del suelo

esta producción fue insuficiente ($43.2 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$). De acuerdo con la literatura, a DP altas existe una respuesta positiva en la acumulación de forraje⁽¹⁹⁾, por lo que las investigaciones futuras deberán enfocarse en estudiar la posibilidad de utilizar niveles mayores de DP y fertilización y variedades de menor porte.

No es posible comparar los resultados de CM obtenidos en el presente trabajo con los de otros autores, ya que la mayoría de esos casos corresponden a etapas fenológicas mucho más avanzadas. Los resultados de reducción de la relación hoja:tallo en la fase vegetativa y más adelante desplazamiento de ambos componentes por estructuras reproductivas coinciden con lo reportado en la literatura⁽²³⁾. En un trabajo realizado en la zona de estudio, se encontró que las proporciones de tallo, hoja y mazorca entre los 84 y 101 DDS, fueron similares a los del presente experimento (68, 32 y 6.6% respectivamente). La menor proporción de mazorca observada en ese experimento probablemente se deba a que en él se incluyeron genotipos tardíos⁽²⁴⁾. Los cultivares precoces presentan mayor proporción de mazorca⁽¹³⁾; sin embargo, en el presente experimento, probablemente debido a lo prematuro de la cosecha, no se encontraron diferencias entre variedades.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

No se detectaron diferencias en la producción neta de forraje entre cultivares de sorgo; sin embargo, la composición morfológica de Sumore fue mejor al presentar una mayor proporción de hoja que Kikapoo. Aunque no hubo diferencias en la eficiencia de utilización entre cultivares, sí la hubo entre ciclos,

siendo ésta mayor en el primero. La producción neta de los tres ciclos de crecimiento, resultó suficiente para cubrir los requerimientos de forraje durante el verano en el sistema. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que la temperatura del periodo experimental fue mayor al promedio de largo plazo de la localidad y pudo resultar particularmente favorable para el crecimiento de este cultivo.

No hubo diferencias entre variedades de maíz en la mayoría de las variables evaluadas. Cuando la altura de maíz fue mayor a 160 cm, la eficiencia de su utilización por medio de pastoreo se redujo. Por otra parte, el promedio de tasa de acumulación de forraje utilizable que se alcanza con esa altura, no es suficiente para cubrir los requerimientos de forraje del sistema de producción. Por lo anterior se concluye que en condiciones como las del presente experimento, la utilización de maíz por medio de pastoreo no constituye una solución adecuada; sin embargo, es necesario evaluar esta opción en condiciones de mayores densidades de plantas, mayores niveles de fertilización y variedades de menor porte.

LITERATURA CITADA

1. Améndola R, Castillo E, PA. Country Pasture/Forage Resource Profiles. Mexico. [En línea]. Disponible en <http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGP/AGPC/doc/Counprof/mexico/Mexico.htm> (Revisado el 16 de mayo de 2005). 2005.
2. García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana) 4^a ed. México, D.F., México: UNAM; 1988. 217 pp.

3. Cachón LEA, Nery GH, Cuanalo de la CEH. Los suelos del área de influencia de Chapingo. Chapingo, México: Secretaría de Agricultura y Ganadería. Colegio de Postgraduados; 1976. 80 pp.
4. SAS®. SAS User's Guide. Statistics (verasion 8 ed.). Cary NC, USA: SAS Inst. Inc. 2001.
5. Romero L, Aronna S, Comerón E. El sorgo forrajero, ¿puede ser un sustituto del maíz? [En línea]. Disponible en <http://www.elsitioagricola.com/articulos/romero/> (Revisado el 18 de diciembre de 2004). 2002.
6. Acosta MY, Mieres JM, Durán H. Comparación de Sudangras y maíz para la producción de leche bajo pastoreo. *Inv Agron* 1984; (5):75-77.
7. Mieres J, Acosta Y, Durán H. Comparación de Sudangras y maíz en dos estados fisiológicos contrastantes para la producción de leche bajo pastoreo. *Inv Agron* 1985; (6):68-71.
8. Kinby JR, Karper RE. Los sorgos para forraje. En: Hughes HD, Heath ME, Metcalfe DS (eds.). *Forrajes*. 2a ed. México, D.F., México: Compañía Editorial Continental; 1981:383-393.
9. Ibar AL. El sorgo: cultivo y aprovechamiento. México, D.F., México: Editia Mexicana; 1984. 161 pp.
10. Hodgson J. Manejo de pastos, teoría y práctica. México D.F., México: DIANA. 1994. 253 pp.
11. Tainton NM, Morris CD, Hardy MB. Complexity and stability in grazing systems. In: Hodgson J, Illius AW (eds.). *The ecology and management of grazing systems*. London, United Kingdom: CAB INTERNATIONAL; 1996:275-299.

12. Vough, L.R. and E.K. Cassel. 2002. Prussic Acid Poisoning of Livestock: Causes and Prevention. College of Agriculture and Biological Sciences / South Dakota State University/USDA. Disponible en: <http://agbiopubs.sdstate.edu/articles/ExEx4016> (Revisado el 15 de noviembre de 2004).
13. Núñez H, Contreras EF, Faz CR. Características agronómicas y químicas importantes en híbridos de maíz para forraje con alto valor energético. *Téc Pecu Méx* 2003; 41(1):37-48.
14. Andrade F. Ecofisiología del cultivo del maíz. Buenos Aires, Argentina: DEKALB PRESS. 1996. 292 pp.
15. Millán AJ, Malavé E. Evaluación de 20 híbridos de maíz blanco (*Zea mays* L.) en Santa Bárbara Estado Monagas. *Nota Técnica Bioagro* 1997; 9(1):26-31.
16. Di-Nucci E, Días MG, Pasinato A. Maíz para Silaje en Entre Ríos. Campaña 32002/03 [En línea]. Disponible en http://www.inta.gov.ar/PARANA/info/documentos/produccion_vegetal/maiz/evaluacion_manejo/maiz_silaje_0203.htm (Revisado el 18 de mayo de 2005). 2003.
17. Bullock JM. Plant Competition and population dynamics. In: Hodgson J, Illius AW (eds.). *The ecology and management of grazing systems*. London, United Kingdom: CAB INTERNATIONAL; 1996:69-100.
18. Robson MJ, Parsons AJ, Williams TE. Herbage production: grasses and legumes. In: Holmes W (ed.). *Grass, its production and utilization*. 2nd ed. Oxford London Edinburgh: The British Grassland Society. 1989:7-88.
19. Acosta Y, Mieres J. Alternativas de uso de maíz para producción de leche. En: *Dialogo XIX. Reunión sobre producción y utilización de pasturas para engorde y producción de leche*. Programa Cooperativo de Investigación Agrícola del Cono Sur. Montevideo, Uruguay. 1987: 248-249.

20. Graybill JS, Cox WJ, Otis DJ. Yield and quality of forage maize as influenced by Hibrid, planting date, and plant density. *Agron J* 1991;83:559-564.
21. Howell TA, Tolk JA, Schneider AD, Evett SR. Evapotranspiration, yield, and water use efficiency of corn hybrids differing in maturity. *Agron J* 1998;90:3-9.
22. Núñez HG, Faz CR, Tovar GMR, Zavala GA. Híbridos de maíz para la producción de forraje con alta digestibilidad en el Norte de México. *Téc Pecu Méx* 2001; 39(2):77-88.
23. Struik PC. Effect of temperature on development, dry matter production, dry matter distribution and quality of forage maize (*Zea mays* L) an analysis. Wageningen, Veenman, Netherlands: Wageningen Agricultural University, Department of Field Crops and Grassland Science; 1983. 41 pp.
24. Manzano LM. Patrón de acumulación de altura y biomasa, de la siembra al corte para ensilado en 11 variedades de maíz [tesis licenciatura]. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo; 2001.
25. Littell RC, Milliken GA, Stroup WW, Wolfinger RD. SAS® System for Mixed Models. SAS Institute Inc. Cary, N. C, USA. 1996. 633 pp.
26. Steel RGD, Torrie JH. Bioestadística: principios y procedimientos. México D.F., México: McGraw-Hill; 1985. 622 pp.

ANEXOS

Modelos usados en el análisis estadístico

Experimento 1

Para el análisis estadístico se utilizó un modelo mixto⁽²⁵⁾ de medidas repetidas en el tiempo en bloques al azar con cuatro repeticiones. Los datos se analizaron por medio del paquete estadístico SAS®⁽⁴⁾ usando el procedimiento PROC MIXED⁽²⁶⁾. El modelo estadístico utilizado fue el siguiente (los efectos aleatorios se indican en cursivas):

$$Y_{ijk} = \mu + V_i + C_j + B_k + V \times B_{ik} + C \times V_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = variable respuesta.

μ = media poblacional.

V_i = efecto de la i-ésima variedad (i = Sumore, Kikapoo).

C_j = efecto del j-ésimo ciclo (j = 1,2,3 para forraje ofrecido, forraje residual, forraje desaparecido y eficiencia de utilización y j = 1,2 para proporción de componentes morfológicos).

B_k = efecto del k-ésimo bloque (k = 1, 2, 3, 4)

$V \times B_{ik}$ = interacción entre la i-ésima variedad y el k-ésimo bloque; término de error para el efecto de variedad.

$C \times V_{ij}$ = interacción entre la i-ésima variedad y el j-ésimo ciclo.

E_{ijk} = error experimental.

El efecto de la interacción variedad $\times$ bloque no fue significativo y por lo tanto, para disponer de una mejor estimación del error experimental, la información se analizó con un modelo que no incluyó ese efecto empleando el procedimiento PROC ANOVA del paquete estadístico SAS®⁽⁴⁾. Se reportan medias de mínimos cuadrados, se indican diferencias significativas en los casos en que

la probabilidad de las diferencias ajustada por la prueba de Tukey⁽²⁶⁾ fue menor a $\alpha = 0.05$.

Experimento 2

Para el análisis estadístico se utilizó un modelo mixto⁽²⁵⁾ de medidas repetidas en el tiempo con dos sitios experimentales, cada uno de ellos en diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones. El análisis se realizó empleando el procedimiento PROC MIXED de SAS®⁽⁴⁾. El modelo estadístico utilizado fue el siguiente (los efectos aleatorios se indican en cursivas):

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + B(S)_{ji} + V_k + S \times V_{ik} + F_l + S \times F_{il} + V \times F_{kl} + S \times V \times F_{ikl} + B \times V(S)_{ijk} + E_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = variable respuesta,

μ = media general,

S_i = efecto del i-ésimo sitio experimental, $i = 1, 2$,

$B(S)_{ji}$ = efecto del j-ésimo bloque anidado en el i-ésimo sitio experimental, $j = 1, 2, 3, 4$

V_k = efecto de la k-ésima variedad $k = 1, 2$,

$S \times V_{ik}$ = efecto de la interacción entre el i-ésimo sitio experimental y la k-ésima variedad,

F_l = efecto de la l-ésima fecha de muestreo, $l = 1, \dots, 9$ para proporción de hoja y tallo y $l = 1, \dots, 6$ para las demás variables.

$S \times F_{il}$ = efecto de la interacción entre el i-ésimo sitio experimental y la l-ésima fecha de muestreo,

$V \times F_{kl}$ = efecto de la interacción entre la k-ésima variedad y la l-ésima fecha de muestreo,

$S \times V \times F_{ikl}$ = efecto de la interacción entre el i-ésimo sitio experimental, la k-ésima variedad y la l-ésima fecha de muestreo,

$B \times V_{jk}$ = efecto de la interacción entre el j-ésimo bloque y la k-ésima variedad, término de error para los efectos S, V y $S \times V$,

E_{ijkl} = error experimental.

Se reportan medias de mínimos cuadrados, se indican diferencias significativas en los casos en que la probabilidad de las diferencias ajustada por la prueba de Tukey⁽²⁶⁾ fue menor a $\alpha = 0.05$.