

Rendimiento y producción de gas *in vitro* de maíces híbridos conservados por ensilaje o henificado

Forage yield, chemical composition and *in vitro* gas production of four corn hybrids preserved as silage or hay

Martina Antolín Domínguez^a, Manuel González Ronquillo^a, Susana Goñi Cedeño^a, Ignacio Arturo Domínguez Vara^a, Cynthia Ariciaga González^a

RESUMEN

Los objetivos fueron determinar el rendimiento, la composición química, así como la fermentación y degradación *in vitro* (DIV) del heno (H) y ensilado (S) de la planta entera de maíz de cuatro variedades (Aspros-721, H-33, VS2000 y Cacahuacintle), las cuales fueron sembradas y cosechadas en el ciclo agrícola primavera-verano 2001; la parcela experimental fue de 256 m², estableciendo una densidad de población de 85,000 plantas por ha, que fueron cosechadas 158 días post siembra, posteriormente una parte fue henificada y la otra ensilada. El diseño experimental fue bloques al azar con arreglo factorial 4x2 de tratamientos (variedad, n= 4 y método de conservación, n= 2), con cuatro repeticiones por tratamiento. La producción de forraje (t MF/ha) fue menor ($P < 0.05$) para Aspros 721 con respecto al resto. En cuanto al contenido de proteína cruda para las diferentes variedades fue de 94.7 g Kg⁻¹ MS en promedio, siendo superior el contenido de fibra neutro detergente (g Kg⁻¹ MS) para el henificado (388.2) con respecto al ensilado (371.4). En cuanto a la producción de gas total (b, ml gas g⁻¹ MS), se observaron diferencias ($P < 0.05$) entre interacciones, siendo Cacahuacintle H y Aspros721 H (225.1 ± 0.5) superiores a Aspros 721 S (195.5); la digestibilidad *in vitro* de la MS, VS2000 fue menor ($P < 0.05$) con respecto al resto.

PALABRAS CLAVE: Ensilado, Heno, Maíz, Producción de gas *in vitro*, Rendimiento.

ABSTRACT

Forage yield, chemical composition and *in vitro* fermentability and degradability were determined for four hybrid corn varieties (Aspros-721, H-33, VS2000 and Cacahuacintle) preserved as hay (H) or silage (S). During the Spring-Summer 2001 agricole cycle, seeds of each variety were sown in a 256 m² experimental parcel at an 85,000 plants/ha density. Samples were harvested 158 d later and preserved as hay or silage. A random block experimental design was applied with a 4x2 factorial arrangement (four varieties x two preservation methods), and four replicates per treatment. Fresh forage yield (t FM/ha) was lowest ($P < 0.05$) for Aspros-721 compared to the other varieties. Average crude protein content among the four varieties was 94.7 g/Kg DM. Neutral detergent fiber (g/Kg DM) content was higher in the corn preserved as hay (388.2) than in that kept as silage (371.4). Total gas production (b, ml gas/g⁻¹ DM) differed ($P < 0.05$) among the variety x method interaction, with the highest (225.1 ± 0.5) in the Cacahuacintle H and Aspros-721 H treatments and lowest (195.5) in the Aspros-721 S treatment. Dry and organic matters *in vitro* digestibility was lowest ($P < 0.05$) in VS2000. Genetic variety did not affect chemical composition or yield, but did affect *in vitro* fermentation and digestibility. The varieties with the best fermentation and digestibility responses are more appropriate for use in hay and silage preservation systems.

KEY WORDS: Silage, Hay, Hybrids corn varieties, *in vitro* gas production, Yield, Chemical composition.

El forraje de maíz es la principal fuente de alimentación del ganado en el centro de México, lo anterior ha conducido a implementar programas

Forage corn is the main feed source for cattle in central Mexico, and programs have been implemented to select for varieties with higher

Recibido el 12 de abril de 2007. Aceptado para su publicación el 12 de mayo de 2009.

^a Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Departamento de Producción Animal. Instituto Literario 100 Ote. Toluca, Estado de México. CP. 5000. Tel: + 52 722 2965548/ Fax: + 52 722 2965549. mrg@uaemex.mx. Correspondencia al segundo autor.

para la elección eficiente de variedades de maíz con mayor valor nutricional.

Estudios realizados con híbridos de maíz^(1,2,3) encontraron diferencias en su contenido de proteína, fibra y digestibilidad. Así mismo, Graybill *et al*⁽⁴⁾, mencionan que la digestibilidad *in vitro* estuvo relacionada con el índice de cosecha de grano, y éste interacciona con las condiciones ambientales.

Dos importantes métodos para conservar los forrajes para rumiantes son ensilado y henificado, y su valor nutricional dependerá del estado de madurez, los procesos mecánicos, y el tamaño de corte^(5,6); sin embargo, su uso está condicionado al nivel de ingestión del forraje, el método de conservación, el contenido en pared celular y la degradabilidad de la misma. La presencia de pared celular en el ensilado de maíz es un elemento que regula el ritmo de ingestión y digestión, siendo una de las principales fuentes de energía para los rumiantes proporcionando sustratos para la síntesis de glucosa⁽⁷⁾.

La técnica de producción de gas *in vitro*⁽⁸⁾, o las modificaciones realizadas por Theodorou *et al*⁽⁹⁾ simulando los procesos digestivos que se generan a partir de la producción microbiana⁽¹⁰⁾, permite conocer la fermentación y degradabilidad del alimento en función de la calidad nutritiva y disponibilidad de nutrientes para las bacterias. Lo anterior permite conocer mejor las características nutricionales de los forrajes, así como su posible utilización para la alimentación de rumiantes.

Los objetivos de este estudio fueron determinar y comparar el rendimiento, composición química, fermentación ruminal y degradación *in vitro* del heno (H) y ensilado (S) de la planta completa de cuatro variedades de maíz híbrido forrajero.

El experimento se realizó en el municipio de Tenango del Valle, Estado de México (19°8'29" N 99° 31'37" O) con lluvias en verano y precipitación pluvial anual de 1,000 a 1,200 mm, clima templado subhúmedo y temperatura media anual de 12 a 14 °C, observándose 29.5 °C como máxima y 5 °C como mínima, con una altura de 2,600 msnm. Se evaluaron las variedades de maíz

nutricional value. Different hybrids have varying protein and fiber contents, and digestibility^(1,2,3). *In vitro* digestibility is linked to the grain harvest index and interrelates with environmental conditions⁽⁴⁾.

Ruminant forages are commonly preserved as either silage or hay. Forage nutritional value depends on maturity at harvest, the mechanical processes used to harvest and cut size^(5,6), although a forage's use is also conditioned by ingestion level, preservation method, cell wall content and degradability. The presence of cell walls in corn silage regulates ingestion and digestion rates, and, because it provides substrates for glucose synthesis, is one of the main energy sources for ruminants⁽⁷⁾.

The *in vitro* gas production technique⁽⁸⁾, or the modifications made by Theodorou *et al*⁽⁹⁾ simulating the digestive processes generated by microbial activity⁽¹⁰⁾, it help us to understand feed fermentation and degradability as a function of nutritional quality and nutrient availability for bacteria. This allows an evaluation of forage nutritional characteristics and their possible use as ruminant feed. The objective of the present study was to determine and compare yield, chemical composition, *in vitro* ruminal fermentation and degradation of total plant hay and silage from four hybrid corn varieties.

The experiment was carried out in Tenango del Valle Municipality (19°8'29"N; 99° 31'37"W), State of Mexico, Mexico. Annual rainfall in this region ranges from 1,000 to 1,200 mm, falling mainly in the summer months, annual mean temperature ranges from 12 to 14 °C (29.5 °C maximum; 5 °C minimum) and altitude is 2,600 m asl. Four corn varieties were evaluated: Aspros-721, H-33, VS2000 and Cacahuacintle. In the year 2001, seeds were sown at an 85,000 plants/ha density in 16 m² experimental units, each consisting of four rows (4 x 0.8 m). Overall area covered by the treatments was 256 m², with a one-meter wide buffer zone around the area. The plants were fertilized with 391 kg urea, 217 kg triple superphosphate and 100 kg potassium chloride per ha⁻¹ (180-100-60 NPK). During the 158-d

Aspros-721, H-33, VS2000 y Cacahuacintle, las cuales se sembraron en el 2001. A la siembra se fertilizó con 391 kg de urea, 217 kg de superfosfato triple y 100 kg de cloruro de potasio por ha⁻¹ (180-100-60 de NPK, respectivamente); La densidad de población fue 85,000 plantas/ha, y cada unidad experimental tuvo una dimensión de 16 m², que a su vez constituyó cinco surcos, cada uno de 4 m lineales por 80 cm de ancho, ocupando una superficie rectangular de 256 m²; se dejó a cada lado un metro para salvaguardar el área experimental. El experimento tuvo una duración de 158 días, durante los cuales se realizaron escardas para el control de malezas, así como la aplicación de herbicidas e insecticidas, al inicio de la siembra con Marvel (Dicamba), a dosis de 1 L/ha y 250 cm³ de surfactante; tres semanas después se asperjó con insecticida Rogor (Dimetoato, dosis 1 L/ha).

Una vez obtenido el estado masoso del grano (158 días post siembra) se realizó un sorteo al azar para la recolección de las variedades, muestreando áreas de 1 m² de cada unidad. Todas las muestras se recolectaron por la tarde⁽¹¹⁾. Las muestras fueron procesadas con una máquina cortadora de forraje que opera a una velocidad de 10,000 rpm, obteniendo un tamaño de partícula de 3 a 5 cm.

En el sitio de corte se tomaron dos muestras, (la primera fue para la realización de henificado), las cuales fueron picadas (10 a 15 mm) y secadas al sol hasta que alcanzaron un 90 % MS; de la otra muestra se elaboraron cuatro micro silos, para ello se colocaron 10 kg, de cada variedad de maíz, en una bolsa negra de polietileno, haciendo un buen compactado y sellado de las mismas; para eliminar la mayoría de oxígeno presente en el forraje se creó un vacío con ayuda de una jeringa de 60 cm.

Por muestreo aleatorio se recolectaron muestras de las cuatro variedades de maíz tomando 2 m² de los cinco surcos que formaron la unidad experimental, para obtener dos muestras de cada repetición con sus respectivos pesos e identificación (n= 32). Se pesaron y se determinó el contenido de MS y humedad para obtener el rendimiento de forraje (t/ha).

Las muestras por triplicado fueron secadas (60 °C, 48 h) y molidas (1 mm de diámetro) para determinar

experimental period, hoeing was done for weed control and herbicides and pesticides applied: Marvel (Dicamba) at 1 L/ha and 250 cm³ surfactant immediately after planting; and Rogor (Dimethoate) at 1 L/ha three weeks later.

When the grain had reached the dough stage (158 d post-sowing), 1 m² areas were randomly selected in each unit for variety collection. All samples were taken in the afternoon⁽¹¹⁾, with a forage cutting machine operating at 10,000 rpm and producing a 3 to 5 cm particle size. Two samples were taken at each cut site, one for hay and another for silage. The hay samples were chopped to 10 to 15 mm in size and dried in the sun until reaching 90 % dry matter (DM) content. The silage samples were processed using micro-silos. Ten kilograms of each variety were placed in separate black polyethylene bags, the contents thoroughly compacted and the bags sealed. A 60 cm³ syringe was used to remove most of the oxygen in the bagged forage and create a vacuum.

Yield and proximate composition were determined using samples of each variety collected from randomly selected 2 m² areas within each experimental unit for a total of two samples per replicate (n= 32). Samples were weighed, and their dry matter (DM) and moisture contents measured to calculate forage yield (t/ha). Organic matter (OM) content was measured by drying (60 °C, 48 h) and milling (1 mm diameter) samples in triplicate. Nitrogen was determined following the Kjeldahl method (Büchi K370), using Cu as a catalyst and multiplying by 6.25 to calculate crude protein (CP) content⁽¹²⁾. An ANKOM fiber digester was used to measure cell wall content, acid detergent fiber (ADF), neutral detergent fiber (NDF), and lignin content, without correcting for ash content⁽¹³⁾. Moisture content of the silage treatments was measured by toluene distillation⁽¹⁴⁾.

In vitro gas production was measured using ruminal fluid taken from two adult (2 yr old), male Rambouillet sheep (45 kg live weight) fitted with rumen fistulas. Sheep were fed a 50:50 alfalfa hay:barley hay diet supplemented with 2 % vitamins and minerals (Multitec Ovinos Malta Cleyton) *ad*

el contenido en materia orgánica (MO). El nitrógeno mediante el método Kjeldahl (Büchi K370), utilizando Cu como catalizador, multiplicando por el factor 6.25 para obtener el contenido de proteína cruda (PC)⁽¹²⁾. El contenido de pared celular: fibra ácido detergente (FAD), fibra neutro detergente (FND) y lignina (Lig) también fueron estimados⁽¹³⁾, sin corrección por cenizas, utilizando un digestor de fibras ANKOM. Se determinó el contenido de humedad de los ensilados mediante destilación por tolueno⁽¹⁴⁾.

Para la técnica de producción de gas *in vitro*, se utilizaron dos ovinos machos adultos (2 años de edad), raza Rambouillet, con un peso vivo de 45 kg, fistulados en rumen, como donadores de fluido ruminal. Los animales recibieron una dieta de 50:50 de heno de alfalfa:henos de cebada y fueron suplementados con 2% de vitaminas y minerales (Multitec Ovinos Malta Cleyton). El alimento se les proporcionó *ad libitum* diariamente a las 0800 y 1600 con acceso libre al agua.

La producción de gas se determinó por el método propuesto por Theodorou *et al.*⁽⁹⁾, para lo cual se utilizaron frascos de 125 ml para cada muestra de forraje de maíz y método de conservación. Por triplicado y en tres series de incubación se introdujeron 0.8 g MS de cada una de las muestras en los frascos, a los cuales posteriormente se les adicionaron 90 ml de solución buffer gaseado con CO₂ y se guardaron en refrigeración (4 °C, 12 h); al día siguiente se tomaron 700 ml de líquido y 300 g aproximadamente de sólido del contenido ruminal. En el laboratorio se filtró a través de cuatro capas de gasa y posteriormente por lana de vidrio, manteniéndose el líquido ruminal a 39 °C que fue gaseado con CO₂, en seguida se adicionó a cada frasco 10 ml de fluido ruminal. Finalmente, los frascos se introdujeron en un baño de agua a 39 °C y se inició el registro de producción de gas utilizando un transductor de presión (DELTA OHM, Manometer, 8804). El volumen de gas producido fue medido a las 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48, 64, 72, 84 y 96 h de incubación. Para correcciones por contaminación con el contenido ruminal se utilizaron tres frascos sin sustrato como blancos; además, se usaron tres frascos con paja de avena como estándar.

libitum at 0800 and 1600 daily, and provided free access to water. Gas production was measured following Theodorou *et al.* method⁽⁹⁾, using one 125 ml flask per treatment (i.e. variety + preservation method), in triplicate and with three incubation series. Briefly, 0.8 g DM of sample were placed in the flask, 90 ml of CO₂ gassed buffer solution added and this mixture stored at 4 °C for 12 h. The following day, 700 ml of ruminal fluid and approximately 300 g of solids were taken from the animals, filtered through four layers of gauze and then through fiberglass, maintaining a constant 39 °C temperature. After filtering, the ruminal fluid was gassed with CO₂ and 10 ml immediately added to each flask. The flasks containing the samples and ruminal fluid were then placed in a water bath at 39 °C and gas production recorded with a pressure transducer (DELTA OHM, Manometer, 8804) in terms of gas volume produced at 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48, 64, 72, 84 and 96 h incubation. Three flasks without substrate were used as blanks to correct for contamination by rumen content and an additional three flasks containing oat hay were used as standards. After the final gas production reading, accumulated gas was released and the fermentation residues in each flask dried at 60 °C for 48 h to calculate disappeared dry matter (DMd), disappeared organic matter (OMd) and relative gas production (RGP, ml gas g⁻¹ disappeared DM)⁽¹⁵⁾. Feed degradability and fermentation were calculated using an equation proposed by Krishnamoorthy *et al.*⁽¹⁶⁾:

$$Pg = b(1 - e^{-ct})$$

Where: Pg= gas production (ml gas g⁻¹ initial DM); b= total gas production (ml gas g⁻¹ initial DM); c= degradation rate over time; t= time (h).

Forage production data were statistically analyzed with a random block design using the four varieties as treatments and with four replicates per treatment. Chemical composition and *in vitro* digestibility data were analyzed with a random block design and a 4x2 factorial arrangement (varieties x preservation methods) and four replicates per treatment. Data were processed with an analysis of variance (ANOVA) and a means comparison done with the

Después del período de incubación (96 h), se liberó el gas acumulado y los residuos de la fermentación de cada frasco fueron secados a 60 °C durante 48 h para calcular la proporción de materia seca (MSd) y orgánica (MOd) desaparecida y la producción de gas relativa (PGR, ml gas g⁻¹ MS desaparecida)⁽¹⁵⁾.

Para estimar la degradabilidad y fermentación de los alimentos se usó la ecuación propuesta por Krishnamoorthy *et al*⁽¹⁶⁾:

$$Pg = b(1 - e^{-ct})$$

Donde: Pg= producción de gas (mL gas g⁻¹ MS inicial); b= producción total (ml gas g⁻¹ MS inicial); c= tasa de degradación con respecto al tiempo; t= tiempo (h).

Los datos de producción de forraje fueron estadísticamente analizados con diseño de bloques al azar, considerando a las cuatro variedades como tratamientos y cuatro repeticiones por tratamiento. Para los datos de composición química y digestibilidad *in vitro* se usó un diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial de 4x2, siendo los factores variedad (4) y método de conservación (2), con cuatro repeticiones por tratamiento. La información fue computada mediante análisis de varianza con el programa SAS⁽¹⁷⁾. Los promedios de cada variable ($P < 0.05$) se compararon con la prueba de Tukey⁽¹⁸⁾.

Tukey test ($P < 0.05$)⁽¹⁸⁾. All analyses were done with the SAS statistical package⁽¹⁷⁾.

Fresh forage production differed ($P < 0.05$) by variety, with Aspros-721 having the lower and VS2000 the highest, although dry forage production did not differ between varieties ($P > 0.05$) (Table 1). In terms of forage yield DM, Aspros-721 produced the most tonnage (209 %) while VS2000 produced the least one. In terms of whole plant chemical composition, only DM content differed ($P < 0.05$)

Cuadro 1. Rendimiento de forraje en fresco (FM) y seco (DM) de diferentes variedades de maíz híbridos (t/ha)

Table 1. Fresh (FM) and dry (DM) forage yield in four corn hybrids (t/ha)

Hybrid	FM	DM
Aspros-721	52.50 ^b	19.94
H-33	73.50 ^{ab}	12.55
VS2000	85.62 ^a	9.53
Cacahuacintle	74.37 ^{ab}	14.94
SME	13.81	4.39

SME=standard mean error.

^{ab}Different letter superscripts in the same column indicate difference ($P < 0.05$).

Cuadro 2. Composición química (g kg⁻¹ MS) de cuatro variedades de maíz conservado por los métodos de ensilado y henificado

Table 2. Chemical composition (g kg⁻¹ DM) of four hybrid corn varieties preserved as silage or hay

Item	Variety (V)				Method (M)		SME	$P <$		
	CCH	H-33	Aspros-721	VS2000	Silage	Hay		V	M	VxM
DM	646.7 ^a	535.7 ^{ab}	652.3 ^a	518.0 ^b	235.3 ^a	912.1 ^b	362.3	*	*	*
OM	939.7	926.5	940.9	936.2	938.5	943.2	6.24	NS	NS	NS
CP	95.3	89.3	94.5	99.5	94.1	95.3	8.19	NS	NS	NS
NDF	363.3	391.0	337.5	427.5	371.4	388.2	37.45	NS	NS	NS
ADF	190.4	246.6	217.0	260.0	209.3	247.7	36.82	NS	NS	NS
Lig	30.5	36.3	29.5	38.8	31.9	35.7	4.79	NS	NS	NS

CCH=Cacahuacintle; V=variety; M=method; VxM=variety x method interaction; DM=dry matter of total fresh matter, determined by distillation for silage⁽¹¹⁾; OM=organic matter; CP=crude protein; NDF = neutral detergent fiber; ADF=acid detergent fiber; Lig=lignin; SME=standard mean error.

^{ab}Different letter superscripts in the same row indicate difference ($P < 0.05$). NS =not significant; * = $P < 0.05$.

La producción de forraje verde (Cuadro 1) fue diferente ($P < 0.05$) entre variedades, siendo Aspros 721 la más baja y VS2000 la más alta; sin embargo, en base seca los forrajes no fueron diferentes ($P > 0.1$). Pero numéricamente Aspros 721 produjo más toneladas de MS (209 %) y VS 2000 fue el que menos produjo. En el Cuadro 2 se presentan los resultados de composición química de planta entera de maíz. Sólo se observaron diferencias ($P < 0.05$) para el contenido de MS del heno vs ensilado, para el resto de las variables no se observaron diferencias ($P > 0.1$) entre variedades ni métodos de conservación.

En el Cuadro 3 se presentan los parámetros de producción de gas *in vitro* obtenidos del ajuste de la incubación. No se observaron diferencias significativas ($P > 0.1$) para la fracción b (ml gas g^{-1} MS) entre variedades de maíz ($259,8 \pm 6.5$), así como para la tasa de degradabilidad (0.0443 ± 0.002); lag time (0.3262 ± 0.099), MSd (72.5 ± 2) y PGR (289 ± 2.1); sin embargo, la MOd fue menor ($P < 0.05$) en VS2000 que el resto de las variedades.

La producción de gas (b) y PGR fueron diferentes ($P < 0.05$) entre métodos de conservación, siendo el heno de maíz superior al ensilado, no

between the hay and silage preservation methods, with no differences for any other variable between varieties or preservation methods (Table 2).

For *in vitro* gas production parameters, no differences ($P > 0.05$) were observed between varieties for the *b* fraction (ml gas g^{-1} DM; $259,8 \pm 6.5$), *c* (0.0443 ± 0.002), lag time (0.3262 ± 0.099), DMd (72.5 ± 2) and RGP (289 ± 2.1) (Table 3). However, OMd was lower ($P < 0.05$) in VS2000 than in the other varieties. Hay forage showed higher ($P < 0.05$) gas production (*b*) and RGP than the silage forage. Gas production (*b*; ml gas g^{-1} DM) in the interactions was higher ($P < 0.05$) in the Aspros-721 H and Cacahuacintle H treatments than in the Aspros-721 S (195.5). In addition, the DMd for Aspros-721 H was different ($P < 0.05$) than for Aspros-721 S and VS2000 H.

In corn, forage production and chemical composition depend on a series of factors, the most significant being genetic variety^(3,19). This factor affects adaptation to the environment, forage production, intake and digestibility, which in turn determine milk or meat production per hectare. No differences in DM production per hectare were observed in the present study, although the Aspros-721 variety

Cuadro 3. Parámetros de producción de gas *in vitro* obtenidos del ajuste de la incubación y digestibilidad de cuatro variedades de maíz conservado por los métodos de ensilado y henificado

Table 3. *In vitro* gas production parameters produced by adjustment of incubation and digestibility in four hybrid corn varieties preserved as silage or hay

Item	Variety (V)				Method (M)			$P <$		
	CCH	H-33	Aspros-721	VS2000	Silage	Hay	SME	V	M	VxM
b	215.73	212.91	210.14	200.58	217.58 ^d	202.10 ^e	2.86	NS	*	*
c	0.0474	0.0428	0.0460	0.0410	0.0457	0.0429	0.0020	NS	NS	NS
Lag Time	0.3363	0.2116	0.4529	0.3042	0.5388	0.1137	0.0670	NS	NS	NS
DMd	73.91	73.44	73.14	69.52	72.52	72.49	0.629	NS	NS	*
OMd	67.72 ^d	68.35 ^d	68.27 ^d	63.34 ^e	67.47	66.37	0.666	*	NS	*
RGP	291.98	290.36	286.86	289.05	300.21 ^d	278.91 ^e	6.72	NS	*	NS

b=total gas production (ml gas g^{-1} incubated DM); c=fermentation time (h^{-1}); Lag time (h^{-1}); DMd=proportion of disappeared DM (mg 100 mg) at 96 h; OMd=proportion of disappeared OM (mg 100 mg) at 96 h; RGP=relative gas production (ml gas g^{-1} disappeared DM).

CCH=Cacahuacintle. SME=standard mean error.

^{d,e}Different letter superscripts in the same row indicate difference ($P < 0.05$). NS=not significant; * = $P < 0.05$.

observándose diferencias ($P > 0.1$) en las interacciones. En las interacciones, la producción máxima de gas (b; ml de gas g^{-1} MS) fue superior ($P < 0.05$) Aspros 721 H y Cacahuacintle H con respecto a Aspros 721 S (195.5) no observándose diferencias ($P > 0.1$) para el resto de las interacciones; para la tasa de fermentación c y lag time no se observaron diferencias ($P > 0.1$) en las interacciones. La MSd Aspros721 H fue diferente ($P < 0.05$) con respecto a Aspros 721 S y VS2000 H.

La producción de forraje (t MS/ha) y su composición química va a depender de una serie de factores, dentro de los más importantes será la variedad genética del maíz^(3,19), que tendrá que ver con su adaptación al medio, su producción de forraje, que finalmente determinará los kilogramos de leche o carne producidos por hectárea, el cual se encuentra relacionado con la ingestibilidad y digestibilidad del mismo. En el presente estudio, aunque no se observaron diferencias estadísticas en cuanto a la producción de materia seca por ha, numéricamente se observa que Aspros 721 fue superior al resto de las variedades, estas diferencias numéricas revelan un efecto interesante en el híbrido, debido a que todas las variedades fueron cosechadas al mismo tiempo, lo cual sugiere que Aspros 721 contiene menos fibra a un estado de madurez similar con respecto a las otras variedades. En algunos trabajos^(19,20) al evaluar diferentes híbridos de maíz, encuentran rendimientos similares (12.9 a 19.9 t/ha MS) a los observados en este estudio; sin embargo, otros investigadores⁽²¹⁾ al evaluar diferentes híbridos de maíz, presentaron valores inferiores (7.2 a 11.6 t/ha MS); lo anterior pudo haber estado influenciado por la densidad de siembra, ya que ellos sembraron densidades que variaron de 45 a 75 mil plantas/ha, debiendo encontrar el equilibrio entre la densidad máxima de plantas, la cual tiene un efecto en el rendimiento. Por otra parte, un incremento en la densidad puede afectar su producción por la aparición de ciertas plagas, como *Fusarium* spp. Así mismo, no muestran la influencia de varios factores que modifican la producción de grano o forraje, como la naturaleza del sitio, efecto estacional y el aporte de agua. En adición, otros investigadores^(19,22) al evaluar variedades de maíz, notaron que existe una

produced more yield tonnage than the other varieties. All the varieties were harvested at the same time, meaning that these numerical differences may indicate that this hybrid contains less fiber than the other varieties at the same maturity stage. In previous research evaluating corn hybrids^(19,20), yields (12.9 to 19.9 t/ha DM) were similar to those observed here, whereas in another study⁽²¹⁾ hybrid yields were lower (7.2 to 11.6 t/ha DM) than produced in the present study. Plant density may have some influence on these discrepancies in yield production; for instance, in these studies density varied from 45,000 to 75,000 plants/ha in an effort to determine optimum plant density. Yield production can be directly affected by plant density since very high densities can have actually lower production by exposing the crop to pests such as *Fusarium* spp. In addition, the above studies do not consider the influence of other factors which can modify grain or forage production, such as site type, season and water supply. Grain and forage production vary between different genetic varieties^(19,22), which coincides with the different forage production levels observed in the present study between the four tested varieties. In hybrids, the relationship between growth season and plant density is not significant, but genetically-controlled hybrids are better able to tolerate higher densities⁽²¹⁾.

Harvest period is the main factor affecting corn nutritional quality in central Mexico⁽²³⁾. The varieties tested here were grown in the 2001 spring-summer agriculture cycle and exhibited characteristics appropriate for fermentation in the silage process. However, production in this region is unpredictable due to environmental factors, a common condition in much of Mexico, where cattle production units are usually located in areas with poor soil quality, low quality forage and low production. Nonetheless, in forage corn hybrids, management factors such as sowing date, plant density and maturity at harvest can also significantly affect forage yield and energy content⁽²⁴⁾. The crude protein (CP) values for the four tested varieties were similar to some previously reported values^(2,23), but lower than those reported for corn silage by Valentin *et al*⁽²⁴⁾ (73 to 99 g PC kg^{-1} DM) and Ballard *et al*⁽¹⁹⁾ (66 - 68 g PC kg^{-1} DM). In the present study, NDF values were similar

amplia variabilidad genética en las producciones de forraje y grano, estos datos coinciden con los de este estudio al observarse diferencias numéricas en la producción de forraje entre las distintas variedades de maíz. Otros autores mencionan⁽²¹⁾ que en híbridos, la relación existente entre la estación de crecimiento y la densidad de plantas no es significativa, pero la tolerancia a una mayor densidad de plantas es una característica de los híbridos genéticamente controlada.

El período de cosecha es el principal factor que afecta la calidad nutritiva del maíz del centro de México⁽²³⁾. En el ciclo agrícola primavera-verano 2001, las variedades de maíz tuvieron características aceptables para llevar una adecuada fermentación en el proceso de ensilaje, aunque la producción en esta región es impredecible por los factores ambientales que prevalecen durante el ciclo agrícola.

En México, gran parte de las unidades de explotación ganadera se encuentran ubicadas en suelos de baja fertilidad, con forrajes de baja calidad y poca producción. Por otro lado, al determinar características agronómicas y químicas para elegir híbridos de maíz para forraje⁽²⁴⁾, se observó que un aspecto importante, como es el rendimiento de forraje y el valor energético de los híbridos de maíz, es afectado por factores de manejo como la fecha de siembra, densidad de plantas y el estado de madurez, entre otros. Asimismo, se han presentado valores^(2,23) de PC similares a ciertas variedades evaluadas en el presente estudio, pero fueron superiores a los obtenidos por Valentin *et al*⁽²⁴⁾ quienes obtuvieron valores para ensilados de maíz de 73 a 99 g PC kg⁻¹ MS y Ballard *et al*⁽¹⁹⁾ con valores de 66 a 68 gPC kg⁻¹ MS. En cuanto a los valores de FND, fueron similares a los obtenidos por otros autores^(2,19,23,25) quienes obtuvieron valores de 375 a 524 g kg⁻¹ MS. Las altas densidades de población de maíz pueden reducir la calidad del forraje, debido al menor contenido de grano; sin embargo, existe una respuesta diferente de acuerdo a las características de los genotipos^(19,26). Peña *et al*⁽²⁷⁾, evaluaron cinco grupos genéticos de maíz forrajero, y obtuvieron valores de FAD mínimos de 258 y máximos de 304 g kg⁻¹ MS, mientras que en otros

to previously reported values (375 to 524 g kg⁻¹ DM)^(2,19,23,25). High plant density can reduce forage quality due to a lower grain content, although this can vary by genotype^(19,26). Acid detergent fiber content in the present results was similar to reported values for corn silage^(2,25), but lower than values reported for five forage corn genetic groups (258 to 304 g kg⁻¹ DM)⁽²⁷⁾.

Chemical composition and gas production values for the four varieties evaluated in the present study were similar to those reported by De Boever *et al*⁽²⁶⁾ in a study of OM fermentation and degradability; however, OM degradability in this study was five points higher than observed here. The higher OM *in vitro* digestibility for the Aspros-721 hybrid compared to the other tested varieties can be attributed to its lower lignin content^(19,28,29), although this variable is also associated with plant height and cob percentage in relation to chemical characteristics. For example, NDF concentrations are negatively correlated to *in vitro* digestibility in corn over a number of years⁽¹⁾.

Dry matter content for the silage treatments was 23.5 %, similar to DM values reported by Ballard *et al*⁽¹⁹⁾, but below the 36 to 40 % reported in other studies^(2,3). This relatively low DM content is most likely due to higher plant moisture content caused by processing into hay and silage immediately after harvest, which allows no time for moisture loss. However, increased DM can be the result of both moisture loss as plants increase in maturity stage, and greater grain proportion, since grain contains less moisture than leaves and stems⁽³⁰⁾. In corn, leaf and stem growth stops before grain production is complete, meaning that grain content continues to increase with maturity stage⁽⁵⁾. Attaining appropriate digestibility values in forage corn consequently depends on striking a balance between decreasing nutritional quality in leaves and stems, and increasing nutritional content in the grain. Wiersma *et al*⁽³¹⁾ state that maximum DM/ha production in corn is reached when harvest occurs at a 50 % advance in grain milkline. Other authors⁽³²⁾ recommend harvest at 28 to 35 % DM to ensure good fermentation during silage, while Peña *et al*⁽²⁷⁾ state that a 35 to 40 % DM is appropriate for corn silage. Based on the above,

trabajos^(2,25) obtienen valores de FAD para ensilados de maíz, similares a los encontrados en el presente estudio.

De Boever *et al*⁽²⁶⁾ evaluaron las características de fermentación y degradabilidad de la MO por producción de gas (PG), encontraron valores similares a los obtenidos en este estudio en cuanto a composición química y PG; para este último encontraron una degradabilidad de la MO, cinco puntos superiores a los nuestros, sin embargo, concluyen que la técnica de PG permite estimar la degradabilidad de la MO entre otros; la mayor digestibilidad *in vitro* de la MO para Aspros 721, puede atribuirse en parte al menor contenido de Lignina^(19,28,29). La digestibilidad *in vitro* también se asoció con la altura de la planta y con el porcentaje de mazorca en relación a características químicas, al trabajar con DIV en maíces⁽¹⁾, se demostró que se correlacionó negativamente con las concentraciones de FND que es más consistente a través de los años. También se ha establecido que el aumento en el contenido de la materia seca se debe tanto a la pérdida de humedad de las plantas al avanzar el estado de madurez, así como al mayor contenido de grano, ya que éste contiene menor humedad respecto a hojas y tallos⁽³⁰⁾. Estudios en maíz indican que la producción de hojas y tallos se detiene primero que la producción de grano, por lo cual el porcentaje de mazorca (contenido de grano) aumenta con el avance del estado de madurez⁽⁵⁾, como consecuencia, se encuentra que la digestibilidad de maíz forrajero depende de que la calidad nutricional de hojas y tallos no disminuya tan drásticamente como para contrarrestar el aumento del contenido y valor nutricional del grano. Wiersma *et al*⁽³¹⁾ mencionan que las máximas producciones de MS/ha en maíz se obtuvieron cuando la cosecha se prolongó hasta que tuvo un avance de 50 % de la línea de leche en el grano. Otros autores⁽³²⁾ recomiendan entre un 28 a 35 % de MS para promover una buena fermentación durante el proceso de ensilaje de maíz. Peña *et al*⁽²⁷⁾ indicaron como contenido adecuado de MS de 35 a 40 % para el ensilaje de maíz, por lo tanto se considera que un estado de madurez de una tercera parte de avance de la línea de leche permite la producción de forraje con mayor digestibilidad *in vitro* y un

harvest when the milkline has reached a third of its total advance provides forage with higher *in vitro* digestibility and sufficient DM percentage to allow fermentation during silage.

The degradation values observed in the present study are similar to those reported for other corn varieties⁽²⁴⁾. Worth noting is that there are reports of hybrids with lower yields (DM/ha) than observed here, but which exhibit high digestibility and net energy for lactation (Mcal Kg⁻¹ DM)⁽²³⁾. These can provide greater potential milk production per surface unit than hybrids with higher yield and lower digestibility. In the present case, for example, VS2000 variety had the highest fresh forage production, but, once corrected for DM content and *in vitro* digestibility, this variety had the lowest production level and digestibility of the four tested varieties.

In comparison with results from *in vitro* and *in sacco* techniques, the present *in vitro* DMd data are similar to some reports (712 to 805 g kg⁻¹ DM)^(2,3) but higher than others⁽²⁴⁾. Overall, the GP technique produces accurate estimates of OM degradation and fermentation.

No differences were observed in terms of yield and chemical composition among the four tested varieties, suggesting that they can be used interchangeably. However, each variety exhibits a different fermentation pattern, with Cacahuacintle H and Aspros-721 H having the highest *in vitro* fermentation values. Differences in digestibility among these hybrids, indicates that genetic variability affects this factor. Considering the present results, the forage corn varieties with the best fermentation and *in vitro* digestibility rates, such as Aspros-721 H, are most appropriate for use in these preservation systems.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank Raúl Martínez Mendoza for assistance in the field work.

End of english version

porcentaje de materia seca adecuado para una buena fermentación durante el proceso de ensilaje; en el presente estudio se obtuvo un 23.5 % de MS para los ensilados, similares a los obtenidos por Ballard *et al*⁽¹⁹⁾, pero inferiores a los obtenidos en otros trabajos^(2,3) (36 a 40 % MS); este mayor contenido de humedad puede deberse a que fueron cortados e inmediatamente picados y ensilados, lo cual no permite una pérdida de humedad.

Al evaluar diferentes variedades de maíz *in vitro* se han encontrado valores similares de degradación a los obtenidos en el presente estudio⁽²⁴⁾, y se menciona a los híbridos⁽²³⁾ con menores rendimientos de MS/ha pero con mayor digestibilidad y contenido en energía neta de lactancia (Mcal Kg⁻¹ MS), y pueden llegar a tener un mayor potencial para producción de leche por unidad de superficie que híbridos de mayor rendimiento y baja digestibilidad, esto es importante señalarlo, debido a que variedades como VS 2000 presentaron una mayor producción de forraje verde, sin embargo, al corregir por el contenido de MS y su digestibilidad *in vitro*, fue el que tuvo una menor producción y digestibilidad con respecto al resto.

En cuanto a los resultados de MSd *in vitro*, estos se compararon con algunos resultados *in vitro* y con la técnica *in sacco*. Investigadores^(2,3) obtuvieron valores similares (712 a 805 g kg⁻¹ MS), a los encontrados en el presente estudio, y superiores a los obtenidos por Núñez *et al*⁽²⁴⁾. En general la utilización de la técnica de PG, permite estimar la degradación de la MO, así como su fermentación.

Al no presentarse diferencias en rendimiento y composición química, todas las variedades son susceptibles de utilizarse indistintamente. Sin embargo, todas las variedades presentan un patrón de fermentación diferente, siendo Cacahuacintle H y Aspros 721 H las que presentan una mayor fermentación *in vitro*. Al observarse diferencias en cuanto a la digestibilidad de los híbridos existentes en el presente estudio indican que la variabilidad genética de las plantas afecta su digestibilidad, por lo que se sugiere que se utilicen aquellas variedades que presentan una mayor fermentación y degradación *in vitro* como Aspros 721 H.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al MVZ. Raúl Martínez Mendoza, por el trabajo desarrollado en campo durante la realización del presente estudio.

LITERATURA CITADA

1. Allen M, Ford S, Harrison J, Hund C, Laver J, Muck R, Suderlund S. Corn Silage production management and feeding. Amer Soc Agron 1995;1-4.
2. Thomas ED, Mandevu P, Ballard CS, Sniffen CJ, Carter MP, Beck J. Comparison of corn silage hybrids for yield, nutrient composition, *in vitro* digestibility, and milk yield by dairy cows. J Dairy Sci 2001;(84):2217-2226.
3. Kennington LR, Hunt CW, Szasz JI, Grove V, Kezar W. Effect of cutting height and genetics on composition, intake, and digestibility of corn silage by heifers. J Anim Sci 2005;(83):1445-1454.
4. Graybill JS, Cox WJ, Otis DJ. Yield and quality of forage maize as influenced by hybrid, planting date, and plant density. Agron J 1991;(83):559-564.
5. Johnson L, Harrison L, Harrison JH, Hunt H, Shinnors K, Doggett CG, Sapiente D. Nutritive value of corn silage as affected by maturity. J Dairy Sci 1999;(82):2813-2825.
6. Andrae JG, Hunt CW, Pritchard GT, Kennington LR, Harrison JH, Kezar W, Mahanna W. Effect of hybrid maturity, and mechanical processing of corn silage on intake and digestibility by beef cattle. J Anim Sci 2001;(79):2268-2275.
7. Miller WJ. Effect of Midrib Allele on maize silage quality and yield. Ed Animal and Dairy Science; Department, University of Georgia; 1999.
8. Menke KH, Steingass H. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. Anim Res Dev 1988;(28):7-12.
9. Theodorou MK, Williams BA, Dhanoa MS, McAllan AB, France J. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. Anim Feed Sci Tech 1994;(48):185-197.
10. Getachew G, Blümmel M, Makkar HPS, Becker K. *In vitro* gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: a review. Anim Feed Sci Tech 1998;(72):261-281.
11. Harensing W, Acole DJ. Avances en la nutrición de los rumiantes. México: Ed Acribia S.A. 1988.
12. AOAC, Official methods of analysis. Helrich editor., 15 th ed. INC. VA, USA: Association of Official Analytical Chemist.1991(2).
13. Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. Methods of dietary fiber neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J Dairy Sci 1991;(74):3583-3597.
14. Tejada I. Manual de Laboratorio para análisis de ingredientes utilizados en la alimentación animal. Ed. Sistema de Educación Continua en Producción animal A.C. México D.F. 1992.
15. González RM, Fondevilla M, Barrios UA, Newman Y. *In vitro* gas production from buffel grass (*Cenchrus ciliaris* L). Fermentation in relation to the cutting interval, the level of

RENDIMIENTO DE MAÍCES HÍBRIDOS

- nitrogen fertilization and the season of growth. *Anim Feed Sci Tech* 1998;(72):19-35.
16. Krishnamoorthy U, Soller H, Menke KH. A comparative study on rumen fermentation or energy supplements in vitro. *L. Anim. Phys Anim Nutr* 1991;(65):28-35.
 17. SAS Statistical Analysis System Institute. User's Guide: Statistics Version 8. Cary, NC. USA.1999.
 18. Steel RGD, Torrie JH. Principles and procedures of statistic a biomedical approach. 2nd ed. New York: Mc Graw Hill Book Co; 1997.
 19. Ballard CS, Thomas ED, Tsang DS, Mandebvu P, Sniffen CJ, Endres MI, Carter P. Effect of corn silage hybrid on dry matter yield, nutrient composition, in vitro digestion, intake by dairy heifers, and milk production by dairy cows. *J Dairy Sci* 2001;(84):442-452.
 20. Akbar MA, Lebzien P, Flachowsky. Measurement of yield and in situ dry matter degradability of maize varieties harvested at two stages of maturity in sheep. *Anim Feed Sci Tech* 2002;(100):53-70.
 21. Sarvari M, Futo Z, Zsoldos M. Effect of sowing date and plant density on maize yields in 2001. *Novenytermeles* 2002;51(3):291-307.
 22. Patil BD, Reddy BB, Gill AS. Evaluation of maize varieties for fodder and grain yield. *Forage Res* 1977;(3):103-106.
 23. Núñez HG, Contreras GEF, 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.
 24. Valentin SF, Williams PEV, Forbes JM, Sauvant D. Comparison of the in vitro gas production technique and the nylon bag degradability technique to measure short- log- term processes of degradation of maize silage in dairy cows. *Anim Feed Sci Tech* 1999;(87):8-99.
 25. Anil L, Park J, Phipps RH. The potential of forage-maize intercrops in ruminant nutrition. *Anim Feed Sci Tech* 2000;(86):157-164.
 26. De Boever JL, Aerts JM, Vanacker JM, De Brabander DL. Evaluation of the nutrition value of maize silages using a gas production technique. *Anim Feed Sci Tech* 2005;(123-124):255-265.
 27. Peña RA, Núñez HG, González CF. Potencial forrajero de poblaciones de maíz y relación entre atributos agronómicos con la calidad. *Téc Pecu Méx* 2002;40(3):215-228.
 28. Oba M, Allen MS. Effects of brown midrib 3 mutation in corn silage on dry matter intake and productivity of high yielding dairy cows. *J Dairy Sci* 1999;(82):135-142.
 29. Oba M, Allen MS. Effects of brown midrib 3 mutation in corn silage on productivity of dairy cows fed two concentrations of dietary neutral detergent fiber: 1. Feeding behavior and nutrient utilization, *J Dairy Sci* 2000;(83):1333-1341.
 30. Xu S, Harrison J, Kezar W, Entrikin N, Loney KA, Riley RE. Evaluation of yield, quality and plant composition of early maturing corn hybrids harvested at three stages of maturity. *Anim Vet Sci* 1995;157-164.
 31. Wiersma DW, Carter PR, Albrechy KA, Coors J, Kernel G. Milkline stage and corn forage yield, quality, and dry matter content. *J Prod Agric* 1993;(6):94-99.
 32. Pinter L, Schmidt J, Jozsa S, Szabo J, Kelemen G. Effect of plant density on the value of forage maize. *Maydica*. 1990;(35):73-79.

