

# Características agronómicas y químicas importantes en híbridos de maíz para forraje con alto valor energético

## Important agronomic and chemical characteristics in high energy hybrid forage corns

Gregorio Núñez Hernández<sup>a</sup>, Eduardo F. Contreras G.<sup>a</sup> Rodolfo Faz Contreras<sup>a</sup>

### RESUMEN

Los objetivos fueron determinar características agronómicas y químicas para elegir híbridos de maíz para forraje, y desarrollar ecuaciones relacionadas con su valor energético. Se establecieron experimentos en 1997 y 1999. La siembra fue en suelo húmedo y la fertilización fue 180-80-00 de N-P-K; se evaluaron 18 y 15 híbridos de maíz cada año, con una densidad de 80 a 85 mil plantas por hectárea. En los dos experimentos se aplicaron cinco riegos. La cosecha se realizó cuando la línea de leche presentó un avance de 1/3 del grano. El rendimiento promedio de materia seca de los híbridos de maíz en 1997 y 1999, fue  $18.9 \pm 1.4$  y  $19.0 \pm 2.5$  t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. El rendimiento de materia seca se asoció positivamente ( $P < 0.05$ ) con la altura de planta y días a la cosecha sólo en 1999. La energía neta de lactancia, ENI ( $1.4 \pm 0.1$  en 1997 y  $1.4 \pm 0.1$  en 1999 Mcal kg<sup>-1</sup> de materia seca) estuvo asociada ( $P < 0.05$ ) negativamente con los días a la cosecha y positivamente con el porcentaje de mazorca en los dos experimentos. Se determinó que para obtener forraje con alto valor energético ( $> 1.5$  mc cal/ kg de MS de ENI) se requiere utilizar híbridos de maíz que tengan al menos 54 % de mazorca y menos de 50 % de fibra detergente neutra; sólo con esta fibra ( $r^2 = 0.77$ ) se obtuvo una ecuación satisfactoria para el valor energético de híbridos de maíz para forraje con condiciones variables de clima en la región lagunera.

**PALABRAS CLAVE:** *Zea mays* L., Calidad nutritiva, Digestibilidad, Componentes de la fibra.

### ABSTRACT

The objectives of this study were to determine agronomic and chemical characteristics for selecting high energy forage maize, and to generate equations related to forage corn energy value in La Laguna, Mexico. Experiments were carried out in 1997 and 1999. All tests were planted on humid soil and fertilized with 180-80-00 units. Plant density was 80,000 plants per hectare. Eighteen and fifteen hybrids were evaluated each year. Five irrigations were applied in all tests. Harvest was carried out when milk line in the grain advanced 1/3. Experimental design for both experiments was a complete block with four replicates. Average dry matter yield for the evaluated corn hybrids per hectare was  $18.9 \pm 1.4$  and  $19.0 \pm 2.5$  ton ha<sup>-1</sup> in 1997 and 1999 respectively. This yield related positively ( $P < 0.05$ ) to plant height and days to harvest only in 1999. Net energy for lactation, NEI ( $1.4 \pm 0.1$  Mcal kg<sup>-1</sup> Dry Matter in 1997 and  $1.4 \pm 0.1$  Mcal kg<sup>-1</sup> Dry Matter in 1999) was associated negatively ( $P < 0.05$ ) to plant height and days to harvest and positively to ear percentage in both experiments. Only neutral detergent fiber ( $r^2 = 0.77$ ) showed acceptable equations related to net energy for lactation in forage corn hybrids under variable climate of La Laguna.

**KEY WORDS:** *Zea mays* L., Nutritive quality, Digestibility, Fiber components.

### INTRODUCCIÓN

El maíz para forraje tiene alta productividad, contenidos bajos de proteína y minerales y elevado valor energético. En México, los ensilados de maíz

### INTRODUCTION

Forage maize shows high productivity, low protein and minerals contents and high-energy values. In Mexico, forage maize silage shows low net energy

Recibido el 9 de febrero de 2002 y aceptado para su publicación el 14 de octubre de 2002.

<sup>a</sup> Campo Experimental La Laguna. INIFAP Apdo. Postal 247, Torreón, Coah. 27000. forraje@halcon.laguna.ual.mx. Correspondencia y solicitud de separatas al primer autor.

tienen un valor de energía neta de lactancia (ENI) bajo ( $<1.5$  mcal/kg de materia seca) en comparación con ensilados de maíz en Estados Unidos de América y Europa<sup>(1)</sup>. Lo anterior se atribuye a que en el pasado se hizo énfasis, principalmente, en el rendimiento por hectárea en la producción de ensilados de maíz, sin considerar su valor nutritivo, ya que no se disponía de información acerca de la importancia de este aspecto.

Varios autores han indicado diferencias entre híbridos de maíz en los contenidos de proteína, fibra y digestibilidad, tanto de la materia seca como de la fibra<sup>(2)</sup>. El porcentaje de mazorca es una de las características más importantes que determinan el valor energético de los ensilados de maíz. Algunos autores mencionan que la digestibilidad *in vitro*, estuvo relacionada con el índice de cosecha de grano<sup>(3)</sup>; sin embargo, otros investigadores mencionan que el índice de cosecha de grano interacciona con las condiciones ambientales que se presentan cada año cuando crecen las plantas de maíz<sup>(4)</sup>.

Otros estudios también señalan la contribución de las características nutritivas de hojas y tallos, en la digestibilidad de híbridos de maíz; se han indicado diferencias entre genotipos de 26.2 a 65.0 % en la digestibilidad de tallos y de 58.0 a 67.6 % en la de hojas<sup>(5)</sup>. En otro estudio se encontraron variaciones entre genotipos en fibra detergente neutra (FDN) de 57.9 a 65.4 % en hojas y tallos, con incremento en la digestibilidad de la materia seca total, al aumentar la digestibilidad en las hojas y tallos<sup>(6)</sup>. Lo anterior indica gran variabilidad en características agronómicas y químicas, relacionadas con la digestibilidad y con el valor energético de híbridos de maíz para forraje.

En la Región Lagunera, los productores de maíz para forraje disponen de diferentes híbridos de maíz formados originalmente para la producción de grano. Estos híbridos son diferentes por su origen (tropicales o templados), altura y ciclo (días a cosecha) entre otras características agronómicas. Actualmente, no existe información sobre el grado de variación de las características agronómicas y químicas y su relación con el valor energético del

for lactation values (INE) when compared to those in the US and Europe ( $<1.5$  Mcal  $\text{kg}^{-1}$  Dry Matter)<sup>(1)</sup>. This may be due to the fact that in the past, the main emphasis was placed on yield per hectare, not taking into consideration its nutritional value, due to lack of data on the importance of this factor.

Several authors have made reference to differences among hybrids in protein and fiber content and fiber and dry matter digestibility<sup>(2)</sup>. Ear percentage is one of the most important characteristics which determine energy value in maize silage. Some authors indicated that *in vitro* digestibility is related to the grain harvest index<sup>(3)</sup>, however, other authors maintain that the grain harvest index interacts with the current environment when plants develop<sup>(4)</sup>.

Other studies point out a contribution of stem and leaf nutritive quality to total maize digestibility, and of differences between genotypes from 26.2 % to 65 % in stem digestibility and from 58.0 % to 67.6 % in leaf digestibility<sup>(5)</sup>. In another study, variations in neutral detergent fiber (NDF) between genotypes were found, from 57.9 % to 65.4 % in leaves and stems, showing an increase in total dry matter digestibility, reflecting the increase in stover digestibility<sup>(6)</sup>. These studies indicated great variability in chemical and agronomic characteristics related to digestibility and to energy value in maize hybrids used for forage.

In La Laguna, forage maize producers can choose from several maize hybrids originally selected for grain production. These hybrids are different because of their origin (tropical or temperate), height and cycle (days to harvest), among other agronomic characteristics. Currently, no information is available on agronomic and chemical characteristics variability and their relation to energy value of commercial maize germplasm used for forage in La Laguna. This knowledge can be used for selecting maize hybrids for forage, because new hybrids come out every year. The objectives of this study were to determine important chemical and agronomic characteristics associated to forage maize hybrid energy value and to develop equations of variables related to it.

germoplasma comercial de maíz que se utiliza para forraje. Este conocimiento puede ser útil en la elección de híbridos de maíz para forraje, ya que cada año aparecen nuevos híbridos comerciales en la región. Los objetivos de este estudio fueron: determinar características agronómicas y químicas importantes asociadas con el valor energético de híbridos de maíz para forraje, y desarrollar ecuaciones de variables relacionadas al valor energético de híbridos de maíz para forraje.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó una base de datos de dos experimentos realizados en años con condiciones climáticas contrastantes. Los experimentos fueron conducidos en el Campo Experimental La Laguna, en Matamoros, Coah. El Exp 1 se sembró el 26 de abril de 1997 en suelo húmedo, y se evaluaron 18 híbridos: A-7575, C-7990, G-710, G-120, A-7576, D-888, D-848, AS-951, SB-302, A-7597, A-7500, C-398, 3002W, 3066W, 3288W, Delfín, C-805 y C-220. En la siembra se fertilizó con 120-80-00 de N-P-K, posteriormente se aplicaron 60 unidades de nitrógeno en el siguiente riego. La densidad de población fue de 80 mil plantas ha<sup>-1</sup>. Se dieron riegos de auxilio a 33, 51, 72 y 87 días después (dds). La cosecha de cada híbrido se realizó cuando la línea de leche mostró un avance de 1/3 en el grano, que ocurrió de los 85 a 109 dds.

El Exp 2 se sembró en suelo húmedo, el 12 de abril de 1999 y se evaluaron 15 híbridos: SB-304, 3025W, D-881, N-7590, ABT 1017, Pantera, Garst 8325, Ciclón, Garst 8220, ABT 7712, C-908, Garst 8342, ABT 7000Y, 3002W y 3028W. La densidad de población fue de 80 mil plantas ha<sup>-1</sup>. La dosis de fertilización en la siembra fue 120-80-00 unidades de N-P-K; posteriormente se aplicaron 80 unidades de nitrógeno antes del primer riego de auxilio. A los 29, 48, 70 y 84 dds se efectuaron los riegos de auxilio. La cosecha se efectuó cuando el grano presentó un avance de 1/3 de la línea de leche de la punta del grano hacia el olote, lo cual ocurrió de 94 a 108 dds.

El diseño experimental empleado en ambos experimentos fue de bloques al azar con cuatro repeticiones.

## MATERIALS AND METHODS

A database from experiments carried out in years with very different climatic conditions was used. Experiments were carried out in the CE La Laguna, INIFAP, in Matamoros, Coah.

Exp 1 was sown on April 26, 1997 in humid soil and 18 hybrids were evaluated: A-7575, C-7990, G-710, G-120, A-7576, D-888, D-848, AS-951, SB-302, A-7597, A-7500, C-398, 3002W, 3066W, 3288W, Delfín, C-805 AND C-220. Fertilization with 120-80-00 N-P-K units at seeding was performed and 60 nitrogen units were added in the first irrigation after sowing. Plant density was 80,000 pl ha<sup>-1</sup> and plots were irrigated at 33, 51, 72 and 87 days after planting (dap). Harvest for each hybrid was carried out when the milk line in the grain showed a 1/3 progress, that is between 85 and 105 dap.

Exp 2 was sown on April 12, 1999 in humid soil and 15 hybrids were tested, SB-304, 3025W, D881, N-7590, ABT 1017, Pantera, Garst 8325, Ciclón, Garst 8220, ABT 7000Y, 3002W and 3028W. Plant density was 80,000 pl ha<sup>-1</sup> and 120-80-00 N-P-K units of fertilizer were applied at seeding and 80 nitrogen units were added in the first irrigation after sowing. Plots were irrigated at 29, 48, 70 and 84 dap. Harvest for each hybrid was carried out when the milk line in the grain showed a 1/3 progress, that is between 94 and 108 dap.

The experimental design used in both experiments was a complete block with four replicates. Experimental plots were four rows of 8.00 m x 0.76 m, of which 6.00 m in the two center rows were considered to harvest.

Green matter yield per hectare (GMY) was determined by weighing the forage from the harvested plots. Dry matter percentage (DMP) was determined in representative samples for each plot, dried at 100 °C in a forced air stove till constant weight. Dry matter yield per hectare (DMY) was estimated through green forage value and DMP. Plant height was estimated at harvest. Ear percentage (total ear weight/total plant weight) was determined on five plants from each plot<sup>(7)</sup>.

Las parcelas experimentales fueron cuatro surcos de 8.0 x 0.76 m; se consideraron 6 m de largo, de los dos surcos centrales, como parcela útil.

El rendimiento de materia verde por hectárea (RMV) se determinó con el peso verde en las parcelas útiles. El porcentaje de materia seca (PMS) se determinó en muestras representativas de cada parcela, secadas en una estufa de aire forzado a temperatura de 100 °C hasta peso constante. El rendimiento de materia seca por hectárea (RMS) se estimó con el valor de forraje verde y el porcentaje de materia seca. La altura de las plantas se evaluó en la cosecha. El porcentaje de mazorca (olote más grano con respecto al peso de la planta entera), se determinó en cinco plantas seleccionadas al azar en cada parcela<sup>(7)</sup>.

En las muestras colectadas a la cosecha, se determinó el contenido de proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) mediante espectroscopia de reflectancia en el cercano infrarrojo. La concentración de lignina (LDA) se determinó con ácido sulfúrico<sup>(8)</sup>. La digestibilidad *in vitro* (DIV) se determinó mediante la técnica descrita por Goering y Van Soest<sup>(9)</sup>. La concentración de energía neta de lactancia, se determinó con la digestibilidad verdadera *in vitro*<sup>(10)</sup>, empleando el procedimiento descrito por Van Soest para forrajes<sup>(11)</sup>.

Las relaciones entre características agronómicas (altura de planta, días a cosecha, porcentaje de mazorca, rendimiento de materia seca ha<sup>-1</sup>), composición química (PC, FDN, FDA, LDA), digestibilidad *in vitro* y energía neta de lactancia se evaluaron mediante análisis de correlación, regresión lineal simple y covarianza<sup>(12)</sup>.

## RESULTADOS

Se encontró una variación importante en el rendimiento de materia seca por hectárea y en la digestibilidad *in vitro* entre híbridos de maíz disponibles para la producción de forraje. En el Exp 1, los híbridos A-7575, C-7990, G-710 y A-7576 tuvieron rendimientos de materia seca de 21.32, 21.13, 20.72 y 20.44 t ha<sup>-1</sup>, aunque no fueron diferentes a los demás híbridos ( $P > 0.05$ ).

In the collected samples, crude protein content (CP), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) were determined through near infrared reflectance spectroscopy. Lignin content (LC) was determined through sulphuric acid<sup>(8)</sup>. *In vitro* digestibility was determined through the technique described by Goering and Van Soest<sup>(9)</sup>. Net energy concentration was determined through *in vitro* digestibility by the procedure described by Van Soest for forages<sup>(11)</sup>.

Relationship between agronomic characteristics (plant height, days to harvest, ear percentage, dry matter yield per ha), chemical composition (CP, NDF, ADF, LC), *in vitro* digestibility and net energy for lactation (NEI) were assessed through correlation analysis, linear regression and covariance<sup>(12)</sup>.

## RESULTS

Great variation in dry matter yield per hectare and *in vitro* digestibility was found among maize hybrids. In Exp 1 hybrids A-7575, C-7990, G-710 and A-7576 showed dry matter yields per hectare of 21.32 t, 21.13 t, 20.72 t and 20.44 t, although they were not very different from other hybrids ( $P < 0.05$ ). Garst 8285, C-398 and C-7990 showed higher *in vitro* digestibility (IVD) than the other hybrids ( $P < 0.05$ ), with values of 72.1 %, 69.4 % and 68.7 %.

In Exp 2, ABT-1017, D881, 3002W, 3028W, Ciclón, 3025W and SB-304 hybrids showed dry matter yields significantly higher ( $P < 0.05$ ) of 22.08 t, 21.96 t, 21.66 t, 21.06 t, 20.91 t, 20.89 t and 20.50 t per hectare respectively. Hybrids ABT-7712, Garst 8342, N-7590 and Garst 8325 showed 70.9, 69.8, 69.3, and 69.3 % IVD which were higher than those of other hybrids evaluated in this experiment ( $P < 0.05$ ).

Results from both experiments show that those hybrids showing higher DMY were different from those showing greater IVD. In general the average and the variability of most of the agronomic characteristics were very similar in both experiments even though different hybrids were evaluated (Table 1). Dry matter yield per hectare in both years was very similar, but in Exp 2 there were greater differences among hybrids. Ear percentage and days

CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES EN HÍBRIDOS DE MAÍZ PARA FORRAJE

Cuadro 1. Características agronómicas, composición química, digestibilidad *in vitro* y energía neta de lactancia de híbridos de maíz

Table 1. Agronomic characteristics, chemical composition, *in vitro* digestibility and lactation net energy in maize hybrids

	1997 (n=18)				1999 (n=15)			
	Max	Min	Average	SD	Max	Min	Average	SD
DMY, t/ha	21.3	15.7	18.9	1.4	22.1	15.3	19.0	2.5
Plant height, m	2.9	2.4	2.7	0.1	3.0	2.1	2.4	0.3
EP	56.4	30.6	43.3	6.3	53.8	32.9	42.2	6.3
DMP	35.4	25.0	30.5	2.8	35.0	24.4	29.6	3.1
Days to harvest	109	98	104	3.2	108	94	100	5.1
Crude protein, %	9.5	7.9	8.6	0.4	9.4	8.0	8.8	0.5
NDF, %	59.8	44.7	53.8	3.8	63.3	47.7	55.9	4.3
ADF, %	33.7	24.0	29.9	2.6	40.3	27.4	34.2	3.6
LGN, %	6.4	4.5	5.5	0.5	6.8	4.0	5.1	0.9
IVD, %	72.1	63.3	66.3	2.4	70.9	62.6	67.1	2.4
NEI, Mcal kg <sup>-1</sup> DM	1.6	1.3	1.4	0.1	1.5	1.2	1.4	0.1

DMY= dry matter yield; EP= ear percentage; DMP= dry matter percentage; NDF= neutral detergent fiber; ADF= acid detergent fiber; LGN= lignin; IVD= *in vitro* digestibility; NEI= Net energy for lactation; SD= Standard deviation.

Cuadro 2. Coeficientes de correlación entre algunas características agronómicas, químicas, digestibilidad *in vitro* y energía neta de lactancia en híbridos de maíz

Table 2. Correlation coefficients between some agronomic and chemical characteristics, *in vitro* digestibility and net energy for lactation in maize hybrids

	Height	Days	EP	DMP	IVD	NEI	DMY
1997							
Height	-						
Days	0.44	-					
EP	-0.33	-0.54*	-				
DMP	-0.15	-0.49*	0.12	-			
IVD	-0.28	-0.76**	0.65**	-0.25	-		
NEI	-0.24	-0.76**	0.71**	-0.22	0.96**	-	
DMY	0.05	0.06	0.05	0.14	-0.05	0.07	-
1999							
Height	-						
Days	0.91**	-					
EP	-0.83**	-0.83**	-				
DMP	0.23	0.55**	-0.34	-			
IVD	-0.77**	-0.64**	0.79**	-0.14	-		
NEI	-0.89**	-0.73**	0.83**	0.08	0.96**	-	
DMY	0.77**	0.89**	-0.75**	0.60*	-0.66**	-0.70**	-

DMY= dry matter yield; EP= ear percentage; DMP= dry matter percentage; NDF= neutral detergent fiber; ADF= acid detergent fiber; LGN= lignin; IVD= *in vitro* digestibility; NEI= Net energy for lactation.

\* ( $P<0.05$ ); \*\* ( $P<0.01$ ).

Los híbridos Garst 8285, C-398 y C-7990 tuvieron DIV mayores a los demás híbridos ( $P < 0.05$ ) con 72.1, 69.4 y 68.7 %.

En el Exp 2, los híbridos ABT-1017, D-881, 3002W, 3028W, Ciclón, 3025W y SB-304 tuvieron rendimientos de materia seca significativamente superiores ( $P < 0.05$ ) con 22.08, 21.96, 21.66, 21.06, 20.91, 20.89 y 20.50 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Los híbridos ABT-7712, y Garst 8342, N-7590, Garst 8325, tuvieron 70.9, 69.8, 69.3 y 69.3 % de DIV y fueron superiores a los otros híbridos evaluados en este experimento ( $P < 0.05$ ).

Los resultados de los dos experimentos muestran que los híbridos con mayores rendimientos de materia seca por hectárea fueron diferentes a los que tuvieron mayores digestibilidades *in vitro*. En general, la media y variabilidad de la mayoría de las características agronómicas fueron similares a pesar que se evaluaron híbridos diferentes en los dos años de estudio (Cuadro 1). El rendimiento promedio de materia seca por hectárea en los dos años fue similar, pero en 1999 hubo mayor variación entre híbridos. El porcentaje de mazorca y días a la cosecha fueron las características agronómicas más variables en los dos años. La DIV tuvo un intervalo amplio pero con resultados similares en los dos años de estudio. Respecto a la composición química, la FDN fue la característica más variable en los dos experimentos.

La asociación del RMS con variables agronómicas fue diferente entre años. Sólo en 1999, el RMS de los híbridos se asoció positivamente, con la altura de las plantas ( $r = 0.77$ ), días a cosecha ( $r = 0.89$ ) y negativamente con el porcentaje de mazorca ( $r = -0.75$ ). De la misma manera, sólo en este año, el RMS estuvo asociado negativamente ( $P < 0.05$ ) con la DIV y ENI ( $r = -0.66$  y  $r = -0.70$ ) (Cuadro 2).

La concentración de proteína cruda presentó valores típicos para maíz forrajero y una variabilidad similar entre años. Como es normal, la ENI estuvo consistentemente asociada ( $P < 0.01$ ) con la DIV en los dos años. Los análisis de correlación indicaron que las variables agronómicas que más consistentemente se asociaron con la concentración de ENI, fueron de manera negativa los días a

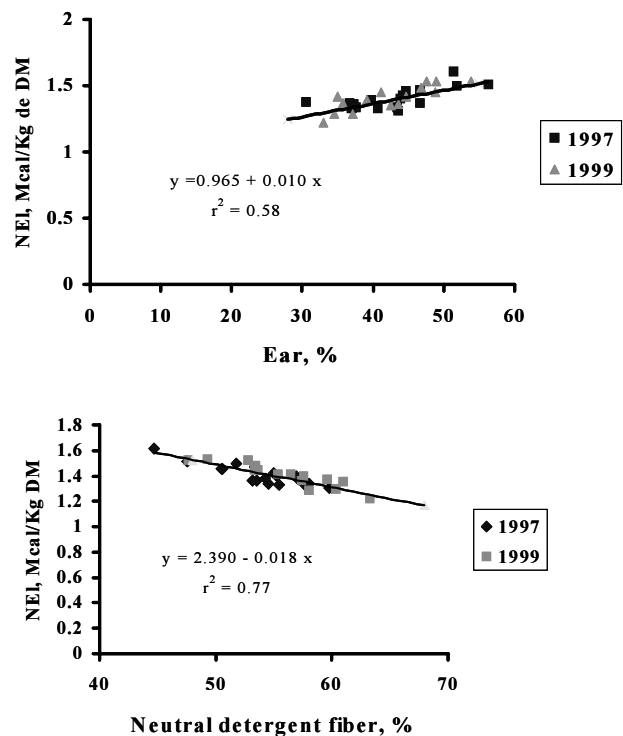
to harvest were the factors which showed more variability in both experiments. IVD showed a wide range but similar results in 1997 and 1999. Related to chemical composition, NDF was the characteristic that showed greater variation in both experiments.

The relationship between DMY and agronomic variables show differences between years. Only for 1999, DMY associated positively to plant height ( $r = 0.77$ ), days to harvest ( $r = 0.89$ ) and negatively with ear percentage ( $r = 0.75$ ). In that year, as well, DMY showed a negative association with IVD ( $P < 0.05$ ) and NEI ( $r = 0.66$  and  $r = 0.70$ ) (Table 2).

Crude protein concentration showed typical values for forage maize and similar variability between years. As expected, NEI was associated consistently

Figura 1. Relación entre el porcentaje de mazorca y la concentración de fibra detergente neutro con la energía neta de lactancia (ENI) en híbridos de maíz para forraje

Figure 1. Relationship between ear percentage and neutral detergent fiber with net energy for lactation (NEI) of hybrid forage corns



cosecha ( $P<0.01$ ) y positivamente el porcentaje de mazorca, mientras que la altura de planta ( $P<0.01$ ) sólo se correlacionó de forma negativa ( $P<0.01$ ) en 1999. Las ecuaciones de regresión lineal simple, entre el PMZ y la ENI en los dos años de estudio fueron similares según los análisis de covarianza (Figura 1).

La energía neta de lactancia estuvo asociada consistentemente de manera negativa ( $P<0.05$ ), con las concentraciones de FDN, FDA y LDA (Cuadro 3). Las ecuaciones entre FDN, FDA y LDA con ENI, fueron similares en 1997 y 1999 (Figuras 1,2); sin embargo, las ecuaciones generales con la FDA o lignina no se consideran satisfactorias, dado su coeficiente de determinación. Por otra parte, la FDN se relacionó más aceptablemente con la ENI a pesar de las condiciones climáticas diferentes en los dos años de estudio. En general, 1997 se caracterizó por ser un año más fresco y con mayor precipitación pluvial que 1999. Dicha variación es importante, ya que algunas de las relaciones descritas son afectadas por factores climáticos (Cuadro 4).

( $P<0.01$ ) with IVD in both years. Correlation analyses showed that agronomic variables associated consistently with NEI concentration were, negatively, days to harvest ( $P<0.01$ ), and positively ear percentage, while plant height showed a negative correlation ( $P<0.01$ ) only in 1999. Linear regression equations, between NEI and PMZ, showed similar results in both years, in accordance with covariance analysis (Figure 1).

Net energy for lactation showed negative association consistently with NDF, ADF and LDA (Table 3). Equations using NDF, ADF or LDA were similar in 1997 and 1999 (Figures 1,2). However, general equations with ADF or lignin cannot be considered satisfactory because of their coefficients of determination. On the other hand, an acceptable relationship was established between NDF and NEI even though climate showed marked differences in both years. In general, 1997 was cooler and rainier than 1999. This is of importance, because some relationships described in this paper can be affected by changes in climate (Table 4).

Cuadro 3. Coeficientes de correlación entre algunas características químicas, digestibilidad *in vitro* y energía neta de lactancia en híbridos de maíz

Table 3. Correlation coefficients between some agronomic and chemical characteristics, *in vitro* digestibility and net energy lactation in maize hybrids

	CP	NDF	ADF	ADL	IVD	NEI
1997						
CP	-					
NDF	-0.07	-				
ADF	-0.01	0.97**	-			
ADL	0.05	0.71	0.68**	-		
IVD	-0.20	-0.72**	-0.70**	-0.85**	-	
NEI	-0.09	-0.88**	-0.86**	-0.86**	-0.96**	-
1999						
CP	-					
NDF	-0.34	-				
ADF	-0.37	0.99**	-			
ADL	-0.35	0.82**	0.84**	-		
IVD	0.54*	-0.77**	-0.78**	-0.59*	-	
NEI	0.49	-0.92**	-0.92**	-0.74**	0.96**	-

CP= Crude protein; NDF= neutral detergent fiber; ADF= acid detergent fiber; ADL= acid detergent lignin; IVD= *in vitro* digestibility; NEI= Net energy for lactation.

\* ( $P<0.05$ ); \*\* ( $P<0.01$ ).

## DISCUSIÓN

Un aspecto importante es que 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. En este estudio el manejo de los híbridos fue lo más uniforme posible dentro y entre experimentos con objeto de evaluar las características de los híbridos evaluados.

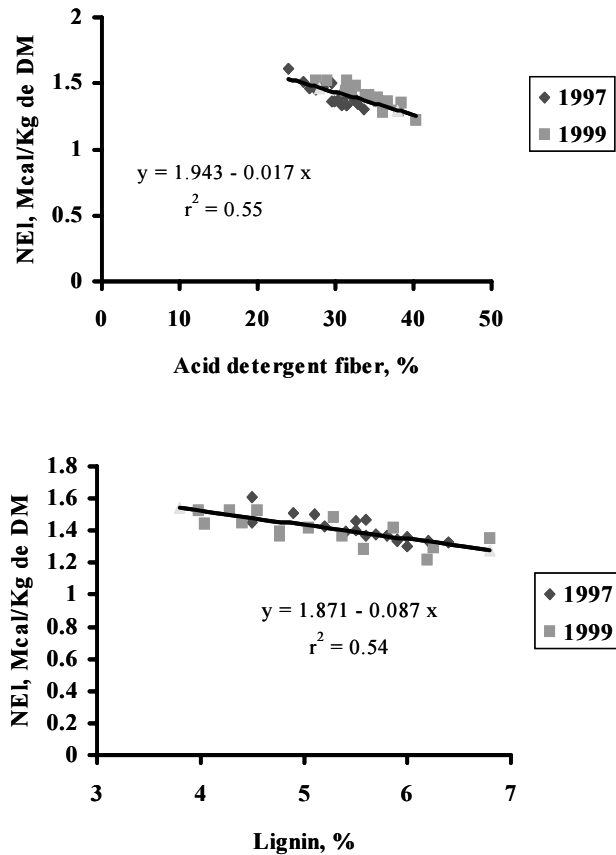
La selección de híbridos de maíz para forraje se lleva a cabo principalmente por su rendimiento de materia seca por hectárea. En este estudio se observó que la relación entre rendimiento y digestibilidad *in vitro* de los híbridos de maíz fue inconsistente, ya que sólo se detectó en 1999. Otros estudios también han indicado correlaciones inconsistentes entre el rendimiento y variables de calidad nutritiva en maíz forrajero<sup>(13)</sup>. Estos resultados indican la conveniencia de conocer tanto el rendimiento como la calidad nutritiva de los diferentes híbridos de maíz para hacer la mejor elección posible, ya que híbridos con menor rendimiento de materia seca por hectárea pero con una alta digestibilidad pueden llegar a tener un mayor potencial para producción de leche por unidad de superficie que híbridos de alto rendimiento y baja digestibilidad<sup>(14)</sup>.

Se considera que la principal variación en el porcentaje de materia seca está asociada con el estado de madurez; sin embargo, al igual que en el presente estudio, se pueden presentar variaciones en el porcentaje de materia seca entre híbridos de maíz y aún en un mismo híbrido a un mismo estado de madurez, señalando que existe una gran variabilidad de la relación entre el avance de la línea de leche en el grano y el porcentaje de materia seca del maíz forrajero, y variaciones de 24 a 38 % de materia seca a un estado de madurez de 1/3 de avance de la línea de leche en el grano, que es una variación similar a la observada en el presente trabajo<sup>(15)</sup>.

El porcentaje de materia seca no estuvo correlacionado significativamente con el RMS, DIV o ENL, con excepción de 1999, cuando se correlacionó positivamente sólo con el RMS. Lo anterior implica que la variación en el porcentaje de materia seca no tuvo influencia en la mayoría

Figura 2. Relación entre la concentración de fibra detergente ácido y lignina con el valor energético de híbridos de maíz para forraje

Figure 2. Relationship between acid detergent fiber and lignine with the energetic value of hybrid forage corns



Cuadro 4. Condiciones climáticas durante el período experimental, en diferentes años en la Región Lagunera

Table 4. Climate variables in the experimental period, for different years in the La Laguna

	1997	1999
Minimum average temperature, °C	17.9	18.6
Maximum average temperature, °C	32.4	35.1
Average temperature, °C	25.2	26.9
Rainfall, cm	64.0	12.1
Evaporation, mm	976	940



de las variables analizadas. Por esta razón no se realizó ningún tipo de ajuste con respecto al porcentaje de materia seca. Por otra parte, la variación en el porcentaje de materia seca dentro de un mismo estado de madurez, sugiere que los productores verifiquen con determinaciones de porcentaje de materia seca el momento de efectuar la cosecha.

Aunque las inconsistencias entre experimentos en las relaciones entre el RMS con altura de planta y días a la cosecha de los híbridos probablemente puedan estar influenciadas por la menor variación de estas características entre híbridos en 1997 en comparación a 1999, existen estudios en que al igual que en 1999, también se encontró una relación positiva entre RMS y altura<sup>(16)</sup>. Por otra parte, las investigaciones sobre diferencias entre híbridos con diferentes ciclos son inconsistentes. Algunas investigaciones no indican diferencias entre híbridos precoces y tardíos<sup>(17)</sup>, pero en otras se indicó que híbridos de maíz con menos días a cosecha (más precoces) tuvieron menos RMS que híbridos más tardíos<sup>(18)</sup>. El mayor RMS de los híbridos de maíz más tardíos y altos, como fue el caso del experimento de 1999, se ha atribuido en otros trabajos a un mayor número de hojas, índice de área foliar y duración de la misma<sup>(4)</sup>. En el presente trabajo, los resultados no son conclusivos en mostrar que híbridos con menor altura y menos días a cosecha necesariamente tengan menor rendimiento de materia seca por hectárea.

Los híbridos precoces (con menos días a la cosecha) tuvieron mayor porcentaje de mazorca, lo cual explica en cierto grado su mayor digestibilidad y ENI. En diversos experimentos se ha observado que las plantas de híbridos precoces tienen mayor producción de mazorca y proporción de grano<sup>(19,20)</sup>. Esta relación negativa entre días a la cosecha y DIV es importante, ya que fue observada en los dos experimentos y concuerda con los resultados de otros autores<sup>(15)</sup>. Por otra parte, se conoce la contribución que también tiene la digestibilidad de hojas y tallos en la digestibilidad de la materia seca total<sup>(5,6)</sup>; sin embargo, no existe información definitiva acerca de diferencias en la digestibilidad de hojas y tallos de híbridos precoces en comparación a híbridos intermedios y tardíos.

## DISCUSSION

An important aspect is that forage yield and hybrid maize energy values can be affected by management factors such as planting date, plant density and maturity, among others. In this study, hybrid management was very uniform within and between experiments so as to assess characteristics of the hybrids being evaluated.

Generally, forage maize hybrids are chosen primarily for their dry matter yield per hectare. In this study the relationship between yield and *in vitro* digestibility in maize hybrids was inconsistent, as it was noticed only in 1999. Other studies have also shown inconsistent correlation between yield and other nutritive variables in forage maize<sup>(13)</sup>. These results indicate that it is necessary to consider dry matter yield and also nutritive quality information when selecting maize hybrids for forage, because hybrids with lower dry matter yield but with greater digestibility could show greater potential for milk production than those with higher dry matter yield but with lower digestibility<sup>(14)</sup>.

It is considered that the main variation in dry matter percentage is associated to maturity; however, as happened in this study, variations in dry matter percentage between maize hybrids can occur, and even within a hybrid at the same state of maturity. There is great variability between the milk line stage of the grain and dry matter percentage in forage maize, and variations between 24 and 38 % in dry matter at a 1/3 advance of the milk line may occur, similar to those observed in this study<sup>(15)</sup>.

Dry matter percentage did not correlate significantly with DMY, IVD or INE, except in 1999, when a correlation with DMY occurred. This means that dry matter percentage variation did not influence most of the variables being analyzed. In this study no corrections or adjustments were necessary due to dry matter percentage. On the other hand, variations in dry matter percentage within a similar state of maturity, signify that producers should check dry matter percentage at harvest.

Although inconsistencies between experiments in the relationships between DMY and plant height and days to harvest in hybrids could be influenced

Por otra parte, la relación entre altura de las plantas y DIV, observada en 1999, se atribuye en parte a que la mayoría de híbridos de porte bajo tuvieron mayor porcentaje de mazorca, como lo indicó el análisis de correlación para ese año; sin embargo, pueden existir otros factores que no fueron considerados en este trabajo, como menos concentración de fracciones fibrosas y grado de lignificación en hojas y tallos.

Con las consideraciones señaladas, este estudio muestra que el contenido de grano es uno de los factores más importantes para obtener forraje de maíz con alta DIV y concuerda con resultados obtenidos en otros estudios, donde el porcentaje de mazorca se relacionó bien con la digestibilidad de ensilados de híbridos de maíz<sup>(21)</sup>. Esta relación se debe a la mayor digestibilidad del grano (88.7 a 93.9 %) en comparación a hojas y tallos (53.0 a 65.1 %)<sup>(7)</sup>. A partir de la ecuación de regresión generada entre el porcentaje de mazorca y la ENI se determinó que para obtener forraje con alto valor energético (>1.5 mcal/ kg de MS de ENI) se requiere utilizar híbridos de maíz que tengan al menos 54 % de mazorca.

La FDA y la lignina son frecuentemente empleados con propósitos de predicción del valor energético de los forrajes<sup>(22)</sup>, debido a que representan los componentes menos digestibles de las paredes celulares; además la lignina es el principal factor que interfiere con la digestión de los otros componentes de las paredes celulares. En este estudio se observó que la relación entre FDA y la ENI no tuvo un buen ajuste cuando se consideran años diferentes, como se aprecia con el bajo coeficiente de determinación. Otros estudios con híbridos de maíz para forraje demostraron que los efectos ambientales modifican la relación entre digestibilidad y FDA, ya que la digestibilidad fue mayor en años húmedos y frescos<sup>(22)</sup>. Los resultados anteriores y los nuestros confirman la especificidad de la relación entre FDA y DIV o ENI, ya que por ser relaciones empíricas pueden variar para condiciones que no son similares<sup>(24)</sup>.

Este trabajo muestra que la FDN se ajustó mejor que la FDA con la ENI según los coeficientes de determinación ( $r^2=0.77$  vs  $r^2=0.55$ ). Con la ecuación de regresión entre FDN y ENI se estimó

by the lower variation observed between hybrids in 1997 when compared to 1999, some studies suggest that there is a positive relationship between DMY and plant height, as was the case in 1999<sup>(16)</sup>. On the other hand, research carried on differences between hybrids with different cycles is inconsistent. Some studies do not indicate differences between late and early hybrids<sup>(17)</sup>, but in other studies, maize hybrids showing less days to harvest (earlier) showed lower DMY than late maturing hybrids<sup>(18)</sup>. A higher DMY in taller and late maturing hybrids, as was the case in 1999, has been attributed in other studies to a higher number of leaves, to a greater foliar area index and a longer growing period<sup>(4)</sup>. In this study, results cannot be considered conclusive in showing that smaller and early hybrids have lower DMY.

Earlier hybrids showed higher ear percentage, which to some extent explain higher IVD and NEI. In several experiments early hybrids have shown higher ear production and grain percentage<sup>(19,20)</sup>. This negative correlation between IVD and days to maturity is important, because it was noticed in both experiments and is in accordance with other authors' results<sup>(15)</sup>. On the other hand, the contribution made by leaf and stem digestibility to total dry matter digestibility has been established<sup>(5,6)</sup>, however, no final information relative to differences in stem and leaf digestibility for early hybrids compared to medium and late maturity hybrids is available.

The relationship between plant height and IVD, as seen in 1999, can be attributed in part to the fact that smaller hybrids showed higher ear percentage, as indicated in that year's correlation analysis. However, other factors not taken into consideration in this study, as fibrous fraction and lignin concentration in stover perhaps could influence results.

Taking into consideration what has been discussed, this study shows that grain content is one of the most important factors for a high IVD in forage maize and these results are in accordance with results obtained in other studies, in which ear percentage showed a positive correlation to hybrid maize silage digestibility<sup>(21)</sup>. This is due to a higher grain digestibility (88.7 to 93.9 %) than that of leaves and stems (53.0 to 65.1 %)<sup>(7)</sup>. Based on the regression equation generated between ear

que para la producción de forraje con 1.5 mcal/kg de materia seca o más, es necesario utilizar híbridos con menos de 50 % de FDN.

En base a otros resultados similares a los obtenidos en el presente estudio y a mejoras en la estandarización en los procedimientos de laboratorio para determinar FDN en los últimos años, se ha venido incrementando el uso de la FDN para fines de predicción de la ENI de los forrajes. Robinson<sup>(25)</sup> sugiere que la razón por la cual, la FDN podría ser mejor para la predicción de la ENI es que representa el total de carbohidratos estructurales de los forrajes mientras que la FDA sólo representa de 70 a 85 % de los mismos.

A pesar de lo anterior, existen factores críticos en el uso de la FDN para la predicción de la ENI como es la variación en su propia digestibilidad. Algunos autores mencionan variaciones de 24.8 a 61.5 % en la digestibilidad de la FDN de híbridos de maíz<sup>(24)</sup>. Lo anterior significa que híbridos con la misma concentración de FDN pueden llegar a tener valores de energía neta de lactancia diferentes debido a que la digestibilidad de la FDN no es la misma.

## CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

Los híbridos de maíz que tuvieron los mayores rendimientos de materia seca por hectárea fueron diferentes a los híbridos con mayor digestibilidad *in vitro*. Se observó de manera consistente que los híbridos con menos días a cosecha y mayor porcentaje de mazorca tuvieron mayor digestibilidad *in vitro* y valor energético, por lo tanto es conveniente considerar estas características en la elección de híbridos comerciales o en futuros programas de mejoramiento genético en maíz forrajero en la región. Los componentes de la pared celular (FDN, FDA y LDA) estuvieron asociados negativamente con la digestibilidad *in vitro* y ENI de los híbridos de maíz. A partir de las ecuaciones de regresión generadas en este estudio, se determinó que para obtener forraje con alto valor energético se requiere utilizar híbridos de maíz que tengan al menos 54 % de mazorca y menos de 50 % de FDN. Con la FDN se obtuvo la ecuación con mejor ajuste al valor energético de híbridos de maíz a través de años; lo cual sugiere su

percentage and NEI, to obtain high energy forage (> 1.5mcal/kg DM NEI) hybrids with an ear content of at least 54 % should be used.

ADF and lignin are frequently used to predict energy value in forages<sup>(22)</sup>, because they represent the least digestible fractions in cell walls, and lignin is the main factor which interferes in digestion of other components. In this study relationship between ADF and NEI did not fit well in different years, as can be appreciated in the low coefficient of determination. Other studies with maize hybrids for forage showed that the environment modifies the relationship between ADF and digestibility, being higher in cool and humid years<sup>(22)</sup>. These results and those obtained in this study confirm the specificity of the relationship between ADF and NEI or IVD, because being empiric relationships they can change when conditions vary<sup>(24)</sup>.

This study shows that NDF fitted better than ADF with NEI in accordance with the determination coefficients ( $r^2=0.77$  vs.  $r^2=0.55$ ). By means of the regression equation between NDF and NEI it was estimated that for production of forage showing 1.5 mcal/kg DM, hybrids containing less than 50 % NDF should be employed.

Based on results similar to those obtained in this study and to improvements in laboratory procedures standardization to determine NDF, the use of NDF to predict NEI in forages has increased. Robinson<sup>(25)</sup> suggests that the reason why NDF could be better to predict NEI in forages is that NDF represents 100 % of all structural carbohydrates while ADF only represents 70 to 85 %.

There are other critical factors that influence the use of NDF to predict NEI, as is the variation of its own digestibility. Some authors mention variations from 24.8 to 61.5 % in NDF digestibility in maize hybrids<sup>(24)</sup>. This means that hybrids showing the same NDF concentration could show different NEI levels owing to different NDF digestibility.

## CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

Maize hybrids showing the higher dry matter yields per hectare were different from those showing the

posible uso alternativo a la FDA como variable para obtener estimaciones de ENI en híbridos de maíz para forraje. Sin embargo, esta relación no considera las diferencias en la digestibilidad de la fibra que pueden existir entre híbridos.

## LITERATURA CITADA

1. Chalupa W. Requerimientos de forrajes de vacas lecheras. Primer Ciclo internacional de conferencias sobre nutrición y manejo. Gómez Palacio, Dgo. LALA. 1995:19-28.
2. Allen M, Ford S, Harrison J, Hunt C, Lauer J, Muck R, Soderlund S. Corn silage production, management and feeding. *Amer Soc Agron* 1995;1-41.
3. Crasta OR, Cox WJ, Cherney JH. Factors affecting maize forage quality development in the northeastern USA. *Agron J* 1997;89:251-256.
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. Lundvall JP, Buxton DR, Hallauer AR, George JR. Forage quality variation among maize inbreds: *In vitro* digestibility and cell wall components. *Crop Sci* 1994;34:1672-1678.
6. Wolf DP, Coors JG, Albrecht KA, Undersander DJ, Carter PR. Forage quality of maize genotypes selected for extreme fiber concentrations. *Crop Sci* 1993;33:1353-1359.
7. Johnson JC, Gates RN, Newton GL, Wilson JP, Chandler LD, Utley PR. Yield, composition, and *in vitro* digestibility of temperate and tropical corn hybrids grown as silage crops planted in summer. *J Dairy Sci* 1997;80:550-557.
8. Van Soest PJ, Robertson JB. Analysis of forage and fibrous foods. Laboratory Manual. Cornell University. 1985.
9. Goering HK, Van Soest PJ. Forage fiber analysis (apparatus, reagents, procedures, and some applications). USDA-ARS Agric. Handbook No. 379;1970.
10. Belyea R, Restrepo R, Martz F, Ellersieck M. Effect of year and cutting on equations for estimating net energy of alfalfa forage. *J Dairy Sci* 1999;82:1943-1949.
11. Van Soest PJ. Laboratory methods for evaluating the energy value of feedstuffs. Estimations of nutritive value from laboratory analysis. *Proc Cornell Nutr Conf Feed Manuf* 1971:106-117.
12. Netter J, Wasserman W, Kutner M. Applied linear regression models. 2<sup>nd</sup> ed. Homewood IL: Irwin Inc; 1989.
13. Coors JG. Findings of Wisconsin corn silage consortium. *Proc Cornell nutrition conference for feed manufacturers*. Rochester, NY. 1996:20-28.
14. González CF, Núñez HG, Peña RA. Rendimiento, calidad y potencial de producción de leche de 21 híbridos comerciales de maíz, en Aguascalientes [resumen]. XXXVIII Reunión nacional de investigación pecuaria. Puebla, México. 2002:88.
15. Lauer J. Corn kernel milk stage and silage harvest moisture. Field crop. University of Wisconsin. 1998:1-4.
16. Schmid AR, Goodrich RD, Jordan RM, Marten GC, Meiske JC. Relationships among agronomic characteristics of corn and sorghum cultivars and silage quality. *Agron J* 1976;68:403-406.
17. Cummins DG, Dobson Jr JW. Corn for silage as influenced by hybrid maturity, row spacing, plant population, and climate. *Agron J* 1973;65:240-243.
18. 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.
19. Cross HZ, Tonyekamen J, and Brun L. Plant density, maturity and prolificacy effects on early maize. *Can J Plant Sci* 1987;67:35-42.
20. Russell JR, Irlbeck NA, Hallauer AR, Buxton DR. Nutritive value and ensiling characteristics of maize herbage as influenced by agronomic factors. *Anim Feed Sci Technol* 1992;38:11-24.
21. Ferret A, Gasa J, Plaixats J, Casañas F, Bosch L, Nuez F. Prediction of voluntary intake and digestibility of maize silages given to sheep from morphological and chemical composition, *in vitro* digestibility or rumen degradation characteristics. *J Agric Sci* 1997;64:493-492.
22. Van Soest PJ. Environmental and forage quality. *Proc Cornell nutrition conferences for feed manufacturers*. Buffalo, NY. 1996:1-6.
23. Undersander D, Mertens DR, Thiex N. Forage analyses procedures. National Forage Testing Association. Omaha, NE. 1993.
24. Weiss WP. Estimating the available energy content of feeds for dairy cattle. *J Dairy Sci* 1998;81:830-839.
25. Robinson PH. Estimating the energy value of corn silage and other forages. *Proc 31<sup>st</sup> California alfalfa symposium*. Modesto, CA. 2001:12-13.

*End of english version*