

Importancia de la planta y el elote en poblaciones de maíz para el mejoramiento genético de la calidad forrajera

Importance of the stover and ear of corn populations in the genetic improvement of forage quality

Alfonso Peña Ramos^a, Gregorio Núñez Hernández^b, Fernando González Castañeda^a

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue determinar la calidad forrajera de la planta sin elote (PSE), elote y planta completa (PC) de cinco grupos de poblaciones de maíz constituidos con germoplasma de valles altos, subtropical, tropical, híbridos F1 y generaciones F2 de híbridos. El material se evaluó en Pabellón, Ags., con un diseño en parcelas divididas con tres repeticiones, donde las parcelas fueron los grupos y las subparcelas las poblaciones dentro de grupos. El grupo de poblaciones precoces de valles altos, presentó la mayor calidad forrajera de la PC y de la PSE ($P < 0.05$), con una digestibilidad *in vitro* (DIV) de 75.4 y 72.0 % respectivamente, comparado con un 71.2 y 64.8 % en promedio de otros grupos. En tres de los grupos se detectaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre poblaciones en contenido de fibra detergente neutro (FDN) y ácido (FDA), contenido de lignina (LIG) y DIV; las mayores divergencias se determinaron en la PSE y prácticamente no se observó variación en el elote. Las diferencias en la DIV de estos grupos en la PSE variaron de 9.4 a 14.6 %; mientras que en el elote variaron de 2.9 a 6.1 %. Altas correlaciones ($P < 0.01$) se determinaron entre la DIV de la PC y todas las características de la PSE (-0.85, -0.84, -0.84 y 0.93 para FDN, FDA, LIG y DIV respectivamente) pero no con las características del elote, sugiriendo que la selección por calidad de la planta sin elote sería más eficiente para seleccionar para mayor calidad forrajera de la planta completa.

PALABRAS CLAVE: *Zea mays* L., Digestibilidad *in vitro*, Fibra detergente neutra, Fibra detergente ácida, Lignina.

ABSTRACT

Forage quality for whole plant, stover, and ear was investigated in five corn population Groups consisting of highland, tropical and subtropical germplasm, F1 hybrids and F2 hybrid generations. The experimental material was evaluated in Aguascalientes, Mexico, in a split plot experiment with three replications, in which plots were Groups and subplots populations within Groups. The earliest group of highland populations had the highest whole plant and stover forage quality ($P < 0.05$). *In vitro* digestibility (IVD) for this group was 75.4 % for the whole plant and 72.0 % for stover, compared to an average of 71.2 % whole plant and 64.8 % stover digestibility for all other groups. Three of the groups had significant differences between populations ($P < 0.05$) for neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), lignin (LIG), and IVD. The largest differences were recorded in the stover, with almost no variation observed in the ear. Stover IVD differences ranged from 9.4 to 14.6 %, while ear IVD differences ranged from 2.9 to 6.1 %. High correlation coefficients ($P < 0.01$) were determined between whole plant IVD and all stover forage quality characteristics (-0.85, -0.84, -0.84 and 0.93 for NDF, ADF, LIG, and IVD, respectively), but none were present for ear forage quality characteristics. The results suggest that selection for stover nutritional quality is a more effective way of improving whole plant nutritional value than selection for grain nutritional quality.

KEY WORDS: *Zea mays* L., *In vitro* digestibility, Neutral detergent fiber, Acid detergent fiber, Lignin.

La digestibilidad del maíz está influenciada por el contenido de grano presente y por la calidad nutritiva de la planta sin elote^(1,2). Por lo general, se considera que híbridos altamente productores de

Corn digestibility is influenced by grain content and stover nutritional quality^(1,2), and high grain producing hybrids are also generally considered the best for forage quality^(3,4,5). High correlations

Recibido el 7 de noviembre de 2001 y aceptado para su publicación el 4 de julio de 2002.

a Departamento Maíz. Campo Experimental Pabellón. INIFAP. Silos No. 206 entre Agricultura y Trojes, Fracc. Lomas Campestre II, 20119, Aguascalientes, Ags. apena@pabellon.inifap.conacyt.mx. Correspondencia y solicitud de separatas al primer autor.

b Departamento Forrajes. Campo Experimental La Laguna. INIFAP

grano son también los mejores en calidad forrajera^(3,4,5). Altas correlaciones han sido mencionadas entre el índice de cosecha y los contenidos de fibra y digestibilidad⁽⁶⁾; y no menos importante ha sido la contribución de la proporción de mazorcas en base seca sobre el contenido de energía metabolizable en un gran número de híbridos de maíz evaluados⁽⁵⁾.

El contenido de fibra de la planta total y especialmente el contenido de fibra detergente neutra (FDN) de la planta sin elote ha sido considerado igual de importante que el contenido del grano, en la calidad del forraje del maíz⁽²⁾. La digestibilidad de la planta sin elote en algunas fuentes de germoplasma también presenta una alta contribución a la digestibilidad de la planta total, incluso superior a la aportada por la proporción de mazorcas o el rendimiento de grano^(1,7). Altos coeficientes de correlación con valores mayores de 0.85 han sido determinados entre la digestibilidad de la planta total y la digestibilidad de la pared celular (FDN) de la planta sin elote⁽¹⁾ comparado con valores cercanos a 0.45 entre la digestibilidad de la planta total y la proporción de mazorcas⁽⁸⁾. Los resultados de Wolf *et al.*⁽⁹⁾, remarcan la importancia de la calidad de la planta sin elote como uno de los factores que más contribuyen a incrementar la calidad nutricional de la planta total.

Un alto porcentaje de mazorcas o un alto índice de cosecha favorecen incrementos en la calidad nutritiva del forraje; sin embargo, en algunos casos también se relacionan negativamente con la digestibilidad de la planta sin elote^(10,11). De los estudios anteriores y la divergencia en los resultados, se puede deducir que el mejoramiento genético para incrementar la calidad forrajera del maíz, dependerá de la composición de tallos y hojas, de su digestibilidad y del grado de contribución de estos a la planta total en las poblaciones base de estudio.

Por lo general, la variabilidad genética de la digestibilidad es mayor en la parte vegetativa que en el grano^(5,6), de tal manera que la selección por calidad de la planta sin elote podría favorecer avances más notables. Hay también ejemplos, en los cuales no se ha encontrado variación genética

have been reported between harvest index, fiber contents and digestibility⁽⁶⁾. The contribution of ears in dry base on metabolizable energy content is also significant in a large number of corn hybrids⁽⁵⁾.

Whole plant fiber content, and especially stover neutral detergent fiber (NDF) content is considered as equal in importance to grain content in overall corn forage quality⁽²⁾. In some sources of germplasm, stover digestibility also makes a significant contribution to whole plant digestibility, even higher than that contributed by ear proportion or grain yield^(1,7). High correlation coefficients (> 0.85) have been reported between whole plant digestibility and stover cell wall digestibility (NDF)⁽¹⁾, in comparison to lower values (0.45) for whole plant digestibility and ear proportion⁽⁸⁾. Results of Wolf *et al.*⁽⁹⁾, emphasize the importance of stover nutritional quality as one of the factors that contributes most to increasing whole plant nutritional quality. High ear percentage or a high harvest index favor increases in forage nutritional quality, though they can be negatively related to stover digestibility^(10,11). Based on these studies and their divergent results, it can be deduced that genetic improvement for corn forage quality depends on stalk and leaf composition, their digestibility, and the degree to which they contribute to the whole plant in base study groups.

Genetic variability is generally greater in the vegetable portion of corn than in the grain^(5,6), such that selection for stover quality could lead higher advances in the improvement of corn whole plant nutritional quality. There are also examples in which no genetic variation has been found in grain or whole plant digestibility, but there have been significant differences in total dry matter and stover production⁽¹²⁾.

Corn populations in Mexico likely have variation in chemical composition, grain and stover digestibility that can be used in genetic improvement and hybridization for high nutritional quality forage. No information currently exists in Mexico, however, on the forage quality of corn populations, despite the importance of corn forage in the national milk

para digestibilidad del grano, ni de la planta total, pero sí diferencias importantes en producción de materia seca total y de la planta sin elote⁽¹²⁾. En México, es posible que exista variabilidad en la composición química y digestibilidad de grano y planta sin elote en poblaciones de maíz, que pueda ser empleada en programas de mejoramiento genético e hibridación para forraje con alta calidad nutritiva. Sin embargo, actualmente no existe en el país información sobre la calidad forrajera de poblaciones de maíz a pesar de la importancia del forraje para la industria lechera nacional.

Los objetivos del presente trabajo fueron: determinar la calidad forrajera de diferentes grupos de poblaciones de maíz, y evaluar la contribución de la calidad de la planta sin elote y del elote en la calidad de la planta total del maíz.

El germoplasma evaluado consistió de cinco grupos de poblaciones con diferencias en precocidad, adaptación y potencial de producción: El Grupo 1 estuvo constituido por cinco poblaciones precoces con germoplasma de valles altos y zonas templadas; el Grupo 2, por seis poblaciones de ciclo intermedio de origen tropical y subtropical provenientes del Centro Internacional de Mejoramiento para el Maíz y Trigo (CIMMYT); el Grupo 3, por cuatro poblaciones tardías e intermedias derivadas de híbridos sobresalientes de origen subtropical del CIMMYT; el Grupo 4, por cuatro poblaciones F₂ derivadas de híbridos comerciales adaptadas a la región norte centro de México, y el Grupo 5, por seis híbridos comerciales F₁ sobresalientes por su producción de forraje en otros años de evaluación.

El germoplasma se evaluó en terrenos del Campo Experimental Pabellón, Ags., del INIFAP, localizado a 1879 msnm, a 22° 10' Norte y 102° 20' Oeste, y caracterizado por tener clima seco templado. El experimento se sembró el 19 de mayo de 2000, bajo un diseño en parcelas divididas con tres repeticiones, en el cual, las parcelas fueron los grupos y las subparcelas las poblaciones anidadas en los grupos, pero sin interacción grupos x poblaciones. La parcela experimental consistió de cuatro surcos de 6.0 m de largo, separados a 0.76 m. La siembra se realizó manualmente a una distancia

industry. In an effort to address this lack of information, this study focuses on determining the forage quality of five different corn population groups and evaluating the contribution of stover and ear quality to corn whole plant quality.

Germplasm was evaluated for five corn population groups exhibiting differences in maturity, adaptation and dry matter production. Group 1 consisted of five early populations with germplasm from high land and temperate zones. Group 2 consisted of six populations intermediate in maturity from tropical or subtropical zones acquired from the Centro Internacional de Mejoramiento para el Maíz y Trigo - CIMMYT. Group 3 included four late to intermediate populations derived from outstanding subtropical hybrids from the CIMMYT. Group 4 included four F₂ populations derived from commercial hybrids adapted to north central part of Mexico. Finally, Group 5 consisted of six F₁ hybrids outstanding for their forage production during previous years of evaluation.

Germplasm evaluation was carried out at the Pabellón Experimental Station of the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias - INIFAP, in Aguascalientes, Mexico, located at 1879 masl, 22° 10' North and 102° 20' West, in a dry temperate climate. The experiment was established on 19 May 2000 using a split plot experimental design with three replications. In this scheme, plots were the Groups and the subplots were the populations nested within the Groups, but without a Group x population interaction. Each experimental plot consisted of four rows, 6 m long and 0.76 m apart. Planting was done manually with plants placed 0.16 m apart, leading to a population density of 80,000 plants ha⁻¹. Plants were fertilized with a 200-80-00 treatment, applying 120 nitrogen units and all 80 phosphorous units at the time of planting and the remaining 80 nitrogen units during weeding and before the first auxiliary irrigation. Herbicide and hand labor was used to control weed species. The experiment was irrigated once before planting, with five auxiliary irrigations thereafter.

Forage quality was determined when each material reached a third of the milk line in the grain.

entre plantas de 0.16 m dando una densidad de población aproximada de 80,000 pl ha⁻¹. Se fertilizó con el tratamiento 200-80-00 aplicando 120 unidades de nitrógeno y todo el fósforo en la siembra, y el resto del nitrógeno en la escarda antes del primer riego de auxilio. Durante el desarrollo del cultivo, se deshierbó manualmente, se aplicó herbicida para el control de malezas y se dieron cinco riegos de auxilio y el de presiembra.

La calidad del forraje se determinó en la etapa en que cada material alcanzó un tercio de la línea de leche en el grano. La época de corte promedio fue a los 98, 115, 136, 133 y 128 días después de la siembra para los grupos 1 a 5 respectivamente. Se determinó el peso fresco de elotes y de plantas sin elotes en una muestra de 25 plantas con competencia completa por parcela, cosechadas de los dos surcos centrales. El porcentaje de materia seca se determinó de una muestra de 10 plantas tomadas al azar. Las plantas sin elote y los elotes se pesaron, se picaron y se mezclaron por separado. Para determinar la materia seca parcial, de cada muestra, se tomó una submuestra de aproximadamente un kilogramo, se pesó y posteriormente se secó en una estufa de aire forzado a una temperatura de 60 °C hasta alcanzar peso constante⁽¹³⁾. Con estos datos, se determinó la producción de materia seca de elotes y de la planta sin elote, y con la suma de ellos, el de la producción de materia seca total (MST) por hectárea, con la cual se calculó la proporción de elote (PE) en base seca, dividiendo el peso seco de elotes entre MST.

El contenido de lignina para elotes y plantas sin elotes se determinó mediante el método del ácido sulfúrico al 72 %, el contenido de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y la digestibilidad *in vitro* (DIV) usando los procedimientos descritos por Goering y Van Soest⁽¹⁴⁾. Con los datos de la DIV para elotes y plantas sin elotes, se calculó el de la planta total sumando la proporción de la DIV correspondiente a la materia seca de elotes con la proporción de la DIV de la materia seca de la planta sin elote.

Se realizó un análisis de varianza y un análisis de correlación simple para todas las variables del

Average harvest was at 98 days for Group 1, 115 days for Group 2, 136 days for Group 3, 133 days for Group 4 and 128 days for Group 5. Fresh ear and stover weights were determined from a sample of 25 plants with complete competence per plot, and harvested from the two central rows. Dry matter content was determined from a sample of 10, randomly chosen plants. Stovers and ears were weighed, cut and mixed separately. From each sample, an approximately 1 kg subsample was weighed and then dried in a forced air oven at 60 °C until constant weight⁽¹³⁾. These data were used to calculate stover and ear dry matter production. The sum of these was then used to determine total dry matter (TDM) per hectare, and then the ear proportion (EP) in dry base, dividing ear dry weight by TDM.

Stover and ear lignin content was determined using the 72 % sulfuric acid method. Neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), and *in vitro* digestibility (IVD) were calculated with procedures described by Goering and Van Soest⁽¹⁴⁾. Using ear and stover IVD data, whole plant IVD was calculated by adding the ear dry matter IVD proportion to the stover dry matter IVD proportion.

Analyses of variance and simple correlation analyses were done for all study variables using the Proc mixed procedure of SAS⁽¹⁵⁾. Comparison of means was done with the Duncan test. Analysis of variance by group was also done to determine the genetic variation coefficients for each variable, which were calculated using the ratio square root of the populations mean square to the mean x 100.

Weather conditions for the study location were within normal values, with the exception of precipitation, which was only 285 mm compared to the 350 mm recorded average. This variation was compensated for with irrigation. Average minimum temperature was 14.7 °C and average maximum temperature was 34.5 °C.

The analyses of variance showed significant differences between groups for most of the studied variables. For populations within Groups, significant differences were seen in all whole plant and in all stover quality traits, though none were present for

estudio utilizando el procedimiento “Proc mixed” del paquete estadístico SAS⁽¹⁵⁾. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Duncan. También se realizaron análisis de varianza por grupo para determinar los coeficientes de variación genéticos de cada variable; los cuales fueron calculados como el cociente de la raíz cuadrada del cuadrado medio de poblaciones entre la media x 100.

Las condiciones climáticas para la localidad de estudio, estuvieron dentro de lo normal, excepto la precipitación pluvial, la cual registró solamente 284 mm comparada con 350 mm que se registran en promedio; sin embargo, esta variación se corrigió con el riego. La temperatura promedio mínima y máxima fue de 14.7 y 34.5 °C respectivamente.

En los análisis de varianza, se detectaron diferencias significativas para grupos en la mayoría de las variables estudiadas, y para poblaciones dentro de grupos las hubo en los caracteres de calidad de la planta total y en todos los de la planta sin elote, pero no en los caracteres de calidad del elote, donde solamente se detectaron diferencias en el contenido de FDN (Cuadro 1). La ausencia de significación para la variable DIV del elote, coincide con los datos obtenidos en un estudio con cruza dialélicas⁽¹²⁾ y sugiere que existe una menor variación genética en esta variable. En general, se aprecia (con excepción de la DIV), que los coeficientes de variación determinados en las características de calidad del elote fueron mayores

ear quality characteristics, which only had differences in NDF content (Table 1). The lack of significant differences for the ear IVD variable coincides with data from a diallelic cross study⁽¹²⁾, and suggests that there is less genetic variation in this variable. With the exception of IVD, the ear quality traits variation coefficients were generally higher than those for the stover, indicating a higher sampling error. This was especially the case for the LIG variable, which could influence the absence of statistical significance. High LIG variation coefficients could also indicate that there were differences in maturity at harvest between the populations of the different Groups. Dry matter varied from 29.6 % in Group 2 to 32.2 % in Group 3.

To provide a more detailed explanation of variation between the groups, the genetic variation coefficient was determined for each group of populations (Table 2). Generally, there was acceptable genetic variation in most of the studied variables for whole plant, stover and ear. The least amount of variation for populations within groups was seen for the IVD variable, especially in the ear, which partially explains why no significant differences were detected for this variable. Variation in NDF and ADF content was generally higher in the ear than the stover, while LIG content variation was similar for both portions of the plant, with the exception of Group 1. These results suggest the need to increase sample size, or the number of replications, to detect any significant

Cuadro 1. Significancia estadística de los análisis de varianza para caracteres de calidad forrajera de la planta total, de la planta sin elote y del elote

Table 1. Statistical significance of variance analysis for corn whole plant, stover and ear forage quality

	Whole plant		Stover				Ear			
	EP	IVD	NDF	ADF	LIG	IVD	NDF	ADF	LIG	IVD
Group	ns	**	**	**	**	**	*	*	*	ns
Pop (Grp)	**	**	**	**	**	**	*	ns	ns	ns
VC, %	9.0	3.7	4.2	5.9	14.2	5.6	11.1	15.4	21.8	3.8

EP= Ear proportion in dry base; IVD= *In vitro* digestibility; NDF= Neutral detergent fiber; ADF= Acid detergent fiber; LIG= Lignin; Pop= Population; VC= Variation coefficient.

* ($P<0.05$), ** ($P<0.01$); ns= non significant.

Cuadro 2. Coeficientes de variación genética para caracteres de calidad forrajera de poblaciones dentro de grupos (%)
 Table 2. Genetic variation coefficients for forage quality characteristics within groups (%)

Group	Whole plant		Stover				Ear			
	EP	IVD	NDF	ADF	LIG	IVD	NDF	ADF	LIG	IVD
1	16.7	2.2	5.2	5.4	8.5	0.7	17.1	21.0	29.3	4.1
2	13.1	11.6	11.3	14.2	29.0	14.2	7.6	18.4	24.7	7.4
3	14.1	4.7	4.7	5.7	12.2	6.1	15.0	12.3	6.0	2.6
4	23.9	6.0	11.1	13.4	24.1	11.2	19.8	28.4	20.9	4.4
5	14.8	7.7	9.1	14.6	29.9	14.0	18.6	19.4	28.3	2.2

EP = Ear proportion in dry base; IVD = *In vitro* digestibility; NDF = Neutral detergent fiber; ADF = Acid detergent fiber; LIG = Lignin.

que en los de la planta sin elote, indicando que hubo mayor error de muestreo; especialmente en la variable LIG, lo cual pudo influir en la ausencia de significación estadística. Los altos coeficientes de variación para LIG pueden indicar también, que hubo diferencias en el estado de madurez al corte entre las poblaciones de los diferentes grupos; el contenido de materia seca varió de 29.6 % en el Grupo 2, a 32.2 % en el Grupo 3.

Con el objeto de explicar con mayor detalle la variación dentro de grupos, se determinó el coeficiente de variación genética para cada grupo de poblaciones (Cuadro 2). En términos generales se observó que hubo variación genética aceptable en la mayoría de las variables estudiadas tanto de la planta total, planta sin elote y elote. La menor variación para poblaciones dentro de grupos se observó en la variable DIV y especialmente en el elote; lo que explica en parte que no se hayan detectado diferencias significativas en esta variable. La variación para el contenido de fibras FDN y FDA, fue en general mayor en el elote que en la planta sin elote; mientras que la variación en el contenido de LIG con excepción del Grupo 1, fue muy similar en ambas partes de la planta. Estos resultados sugieren la necesidad de incrementar el tamaño de muestra o el número de repeticiones en las determinaciones del contenido de fibras y lignina del elote para detectar diferencias significativas.

La comparación de la calidad forrajera mostró, que el Grupo 1, tuvo la mayor digestibilidad *in vitro*

differences when determining corn ear fiber and lignin contents.

Comparison of forage quality showed that Group 1 had the highest whole plant IVD, with values almost 4 % above all the other groups (Table 3). This group also had the highest stover nutritional quality, with lower NDF, ADF, and LIG values, and higher IVD values than the other groups. From this it can be deduced that stover quality significantly contributes to a high whole plant forage quality. Group 1 included populations with a high proportion of highland germplasm, with moderate lodging susceptibility, which is associated with high forage quality^(16,17). The present results show this group to have a lodging incidence of 10.5 %, followed by Group 2 with 8.5 %, and values near zero in the remaining groups. Other studies, however, suggest that corn forage quality can be improved, without sacrificing resistance to lodging⁽⁷⁾. Nonetheless, forage quality for Group 5, consisting of commercial hybrids for grain production, was no different than that for Groups 2, 3 and 4, consisting of populations and advanced generations of commercial hybrids. This means that improvement for greater grain production does not guarantee that the resulting hybrids will also have higher forage quality, as has been suggested by some researchers^(5,6).

The ear forage quality exhibited a different tendency than for the stover. All groups had statistically similar ear IVD, and only Group 2 had a moderately

Cuadro 3. Características forrajeras en base seca, de la planta total, de la planta sin elote y del elote de cinco grupos de poblaciones de maíz (%)

Table 3. Forage characteristics in dry base for corn whole plant, stover and ear in five population Groups (%)

	Group				
	1	2	3	4	5
Whole plant					
EP	29.5 a	32.0 a	36.4 a	34.7 a	35.0 a
IVD	75.4 a	71.4 b	70.9 b	71.7 b	71.0 b
Stover					
NDF	56.6 c	62.1 b	66.2 a	65.6 a	64.8 a
ADF	30.9 c	33.9 b	36.8 a	37.0 a	36.7 a
LIG	4.9 c	5.8 b	6.2 ab	6.4 ab	6.6 a
IVD	72.0 a	67.1 b	63.7 b	64.9 b	63.6 b
Ear					
NDF	33.4 ab	37.8 a	32.1 b	28.9 b	29.7 b
ADF	14.0 ab	16.0 a	14.4 ab	12.5 b	12.5 b
LIG	1.3 ab	1.6 a	1.5 a	1.2 b	1.2 b
IVD	82.8 a	80.6 a	83.3 a	83.8 a	84.4 a

EP= Ear proportion in dry base; IVD= In vitro digestibility; NDF= Neutral detergent fiber; ADF= Acid detergent fiber; LIG= Lignin.

abc Means with different letter superscripts within the same variable are significantly different ($P<0.05$).

de la planta total, superando a los otros grupos en cerca de 4.0 % (Cuadro 3); mostró también la mayor calidad nutritiva de la planta sin elote con menores contenidos de FDN, FDA y LIG y mayor DIV, de donde se deduce que en este grupo, la calidad de la planta sin elote contribuye de manera importante a una alta calidad forrajera de la planta total. El Grupo 1 incluyó poblaciones que poseen una alta proporción de germoplasma de valles altos con moderada susceptibilidad al acame, la cual se ha considerado asociada con alta calidad forrajera^(16,17). Los datos del presente trabajo indican que este grupo tuvo una incidencia de acame de 10.5 %, seguido del Grupo 2, con 8.5 % y el resto con incidencias de acame cercanas a cero. Otros estudios indican sin embargo, que es posible mejorar la calidad forrajera del maíz, sin sacrificar resistencia al acame⁽⁷⁾. El Grupo 5, no obstante que estuvo constituido por híbridos comerciales sobresalientes en producción de grano, no fue diferente en calidad forrajera a los Grupos 2, 3 y

lower forage quality than the other groups, with higher NDF, ADF and LIG contents.

Forage quality (higher IVD, lower NDF, ADF and LIG) in all groups of populations was notably higher in the ear than in the stover (Table 3). However, because of their low EP (29.5 to 36.4 %) the contribution of stover nutritional quality to whole plant quality was greater than that of the ear. This was especially the case in Group 1, which exhibited higher stover quality and a moderately lower EP than the other groups.

There were inter-population differences ($P<0.05$) in the ear dry matter proportion (EP) in all the Groups (Table 4). Only Groups 2, 4 and 5 had significant variations in whole plant IVD and in all stover forage quality characteristics; whereas for the corn ear there were only differences in NDF and only among populations of Groups 4 and 5. The maximum differences ($P<0.05$) for stover IVD

Cuadro 4. Valores extremos de medias ajustadas de la calidad forrajera de la planta total, planta sin elote y del elote de poblaciones de maíz dentro de grupos (%)

Table 4. Extreme values of adjusted means for corn whole plant, stover and ear forage quality from populations within each Group (%)

	Whole plant		Stover				Ear			
	EP	IVD	NDF	ADF	LIG	IVD	NDF	ADF	LIG	IVD
Group 1										
maximum	33.7 ^a	77.0	58.6	31.8	5.0	72.3	36.4	15.6	1.5	85.9
minimum	26.3 ^b	74.4	55.0	29.5	4.8	71.7	32.8	13.5	1.0	80.6
Group 2										
maximum	35.9 ^a	75.6 ^a	67.9 ^a	37.6 ^a	7.1 ^a	72.6 ^a	39.7	17.7	1.9	85.7
minimum	29.4 ^b	65.2 ^b	58.2 ^b	31.7 ^b	4.8 ^b	58.0 ^b	35.2	13.7	1.3	79.6
Group 3										
maximum	39.7 ^a	73.5	67.6	38.2	6.8	67.0	34.9	15.7	1.6	84.7
minimum	32.5 ^b	68.8	63.6	35.2	6.1	62.3	28.6	13.4	1.5	82.0
Group 4										
maximum	39.0 ^a	74.5 ^a	68.4 ^a	40.4 ^a	7.7 ^a	71.1 ^a	32.4 ^a	14.9	1.3	86.4
minimum	28.0 ^b	68.7 ^b	59.3 ^b	33.5 ^b	5.5 ^b	61.7 ^b	24.6 ^b	10.0	1.0	81.3
Group 5										
maximum	37.5 ^a	76.4 ^a	68.0 ^a	39.5 ^a	7.6 ^a	73.4 ^a	34.9 ^a	14.5	1.5	85.7
minimum	30.5 ^b	66.8 ^b	58.5 ^b	30.9 ^b	4.5 ^b	59.2 ^b	26.2 ^b	11.0	1.1	82.8
SE	1.73	1.53	1.59	1.22	0.50	2.15	2.11	1.29	0.19	1.82

EP= Ear proportion in dry base; IVD= *In vitro* digestibility; NDF= Neutral detergent fiber; ADF= Acid detergent fiber; LIG= Lignin.

ab Means with a different letter superscript for each variable within Groups are significantly different ($P < 0.05$). max= maximum; min= minimum; SE= Standard error.

4, constituidos por poblaciones y generaciones avanzadas de híbridos comerciales, lo que significa que el mejoramiento para mayor producción de grano *per se*, no garantiza que los híbridos tengan mayor calidad forrajera, como lo sugieren algunos investigadores^(5,6). Respecto a la calidad del elote, los resultados mostraron una tendencia diferente a la obtenida en la planta sin elote; aquí, todos los grupos tuvieron una DIV estadísticamente similar, y solamente el Grupo 2, tuvo una calidad forrajera moderadamente inferior al resto de los grupos con mayores contenidos de FDN, FDA y LIG.

En todos los grupos de poblaciones la calidad forrajera (mayor DIV y menor FDN, FDA y LIG) fue notablemente mayor en el elote que en la planta sin elote (Cuadro 3); sin embargo, como la PE fue baja (29.5 a 36.4 %), la contribución de la calidad

among populations were 14.6 % for Group 2, 9.4 % for Group 4 and 14.2 % for Group 5, while differences in ear IVD were only 6.1 % (Group 2), 5.1 % (Group 4), and 2.9 % (Group 5) ($P < 0.05$). The greatest variation in forage quality was observed in the stover, which appears to be the main contributor to the significant variation observed in whole plant IVD. Differences within the populations of each Group followed the same tendency in both. These results suggest that selection for stover forage quality would be more effective for attaining greater genetic advances than selecting for ear quality or whole plant quality.

Greater genetic variability in digestibility in the vegetal versus the grain portion of corn has been reported by other researchers^(5,6). There are also examples in which no genetic variation was found

nutritiva de la planta sin elote sobre la calidad de la planta total, fue mayor respecto a la contribución del elote; especialmente en el Grupo 1, en el cual se tuvo la mayor calidad de la planta sin elote y una PE moderadamente inferior al resto.

En el Cuadro 4, se muestra que en todos los grupos hubo diferencias entre poblaciones ($P < 0.05$) en la proporción de la materia seca de elote (PE); también se observa, que solamente los Grupos 2, 4 y 5 tuvieron variaciones significativas en la DIV de la planta total y en todos los caracteres de la calidad forrajera de la planta sin elote; mientras que en el elote solamente hubo diferencias en la FDN y únicamente entre poblaciones de los Grupos 4 y 5. Las diferencias máximas ($P < 0.05$) en la DIV de la planta sin elote entre las poblaciones de los Grupos 2, 4 y 5 fueron de 14.6, 9.4 y 14.2 % respectivamente; mientras que para la DIV del elote, las diferencias fueron de sólo 6.1, 5.1 y 2.9 % ($P < 0.05$). La mayor variación de la calidad forrajera observada en la planta sin elote, parece ser el principal contribuidor de la variación significativa determinada en la DIV de la planta

for grain or whole plant digestibility, but significant differences were seen in dry matter and stover production⁽¹⁸⁾. High forage quality, but with lower genetic variation in stover characteristics, has also been found in a series of low inbreeding corn lines and in a group of test crosses⁽⁹⁾. Hybrid studies have shown variations in stover digestibility of 66.0 to 69.7 %⁽¹⁷⁾, while in the present study this ranged more widely from 59.2 to 73.4 %. A populations study recorded ADF fluctuating from 34.2 to 41.1 %⁽¹⁹⁾, which is similar to the values in the present study, which ranged from 29.5 a 40.4 % (Table 3). The results show wide genetic variation in forage quality between the evaluated populations, which can be used immediately to begin effective genetic improvement programs.

The analysis demonstrated that EP was not correlated to whole plant IVD or with ear digestibility. It was, however, positively correlated to stover fiber and lignin content and negatively correlated to stover digestibility and ear fiber contents (Table 5). These data show that the larger the ear proportion the more stover fiber and lignin

Cuadro 5. Coeficientes de correlación para características de calidad forrajera de la planta total, de la planta sin elote y del elote de 25 poblaciones de maíz

Table 5. Correlation coefficients for corn whole plant, stover and ear forage quality characteristics for 25 populations

	EP	Stover				Ear			
		NDF	ADF	LIG	IVD	NDF	ADF	LIG	IVD
Whole plant:									
IVD	-0.26	-0.85**	-0.84**	-0.84**	0.93**	0.00	-0.01	-0.26	0.40*
Stover:									
NDF	0.58**		0.96**	0.85**	-0.94**	-0.32	-0.23	0.08	0.01
ADF	0.57**			0.91**	-0.94**	-0.38	-0.28	0.00	0.02
LIG	0.52**				-0.92**	-0.29	-0.25	0.01	-0.04
IVD	-0.54**					0.30	0.25	-0.09	0.06
Ear:									
NDF	-0.63**						0.93**	0.69**	-0.61**
ADF	-0.62**							0.79**	-0.56**
LIG	-0.20								-0.46*
IVD	0.39								

EP= Ear proportion in dry base; IVD= *In vitro* digestibility; NDF= Neutral detergent fiber; ADF= Acid detergent fiber; LIG= Lignin..

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

total, toda vez que las diferencias entre poblaciones dentro de grupos siguieron la misma tendencia en ambos. Estos resultados sugieren que la selección por calidad forrajera de la planta sin elote sería más efectiva para lograr mayores avances genéticos, que seleccionando por calidad del elote o usando la planta total. Mayor variabilidad genética de la digestibilidad de la parte vegetativa del maíz respecto al grano, ha sido documentada en otros estudios^(5,6). Hay también ejemplos, en los cuales no se ha encontrado variación genética para digestibilidad del grano, ni de la planta total, pero sí diferencias importantes en producción de materia seca total y de la planta sin elote⁽¹⁸⁾. Alta calidad forrajera, pero con menor variación genética para características de la planta sin elote fueron encontradas también en una serie de líneas de maíz de baja endogamia y en un grupo de cruza de prueba⁽⁹⁾. En trabajos con híbridos, se han indicado variaciones en la digestibilidad de la planta sin elote de 66.0 a 69.7 %⁽¹⁷⁾, mientras que en un estudio con poblaciones, la FDA fluctuó de 34.2 a 41.1 %⁽¹⁹⁾. Los valores obtenidos aquí para estas variables sin considerar grupos, variaron de 59.2 a 73.4 % y de 29.5 a 40.4 % respectivamente (Cuadro 3). En general, los resultados indican que existe amplia variación genética para calidad forrajera entre las poblaciones evaluadas, que puede usarse en forma inmediata para iniciar programas de mejoramiento genético efectivos.

Los análisis, mostraron que la PE, no se correlacionó con la DIV de la planta total, ni con la digestibilidad del elote, pero sí positivamente con los contenidos de fibra y lignina de la planta sin elote, y negativamente con la digestibilidad de la planta sin elote y con los contenidos de fibra del elote (Cuadro 5). Estos datos muestran en parte, que a mayor proporción de elote, la concentración de fibras y lignina en la planta sin elote se incrementan, mientras que en el elote se reducen; es decir, que existe un efecto opuesto entre la calidad del elote y la calidad de la planta sin elote cuando suceden incrementos en la proporción de elote en la planta. Los resultados coinciden en parte con otros estudios, en los cuales se ha encontrado correlación negativa entre la digestibilidad de la planta sin elote y el índice de

concentración increase, while the same values decrease in the ear. In other words, there is an inverse effect between ear quality and stover quality when plant ear proportion increases. These results coincide with those from studies in which a negative correlation between stover digestibility and harvest index was found^(10,11), though there are cases in which there is no correlation⁽¹⁾. Still other studies report a high association between whole plant digestibility and harvest index^(3,6), which differs from the results reported here.

Highly significant correlations were seen between total dry matter digestibility and all the stover quality variables. These correlations were negative for fiber and lignin (-0.84 average), and positive for digestibility (0.93). In contrast, there were no correlations between total dry matter digestibility and ear quality variables, except for digestibility, which was very low (0.40). Vattikonda *et al.*⁽¹⁾ report high correlations between stover and whole plant digestibilities ($r = 0.70$ and 0.80), though not of the same magnitude as seen in the present study. There were also reports of significant, but lower, correlation coefficients between stover quality and whole plant digestibility found in a series of corn test crosses, but not in a Group of evaluated strains⁽⁹⁾.

From these results it can be deduced that the stover is the main component favoring forage quality in the study materials. Consequently, it can be expected that selection for greater nutritional quality in the studied populations would be better served by giving more weight to stover quality. In fact, this improvement focus agrees with some European programs that have expended the greatest effort precisely in improving stover digestibility results, with positive results⁽⁸⁾.

From the significant correlation coefficients shown in Table 5, it can be deduced that stover nutritional quality is independent from ear quality. High, significant correlations were observed separately within stover variables and within ear variables in all cases, with the stover correlations being higher than ear correlations. No stover variable correlated with an ear variable in any of the cases. This

cosecha^(10,11), aunque también hay casos donde no hubo correlación⁽¹⁾. Otros reportes mencionan la existencia de una alta asociación entre la digestibilidad de la planta total y el índice de cosecha^(3,6), lo cual difiere con lo aquí obtenido.

Altas correlaciones significativas se observaron entre la digestibilidad de la materia seca total y todas las variables de calidad de la planta sin elote. Estas correlaciones fueron negativas para fibras y lignina (-0.84 en promedio) y positiva para digestibilidad (0.93); en cambio no hubo correlación entre la digestibilidad de la materia seca total y las variables de calidad del elote, excepto con la digestibilidad pero muy baja (0.40). Vattikonda *et al.*⁽⁴⁾ encontraron también altas correlaciones entre la digestibilidad de la planta sin elote y de la planta total ($r= 0.70$ y 0.80), pero no de la misma magnitud a las observadas en el presente estudio. Otros coeficientes de correlación significativos pero inferiores, fueron determinados entre las mismas variables de calidad de la planta sin elote y la digestibilidad de la planta total en una serie de cruza de prueba en maíz, pero no en un grupo de líneas evaluadas *per se*⁽⁹⁾. De estos resultados se deduce, que la planta sin elote es el principal componente que favorece la calidad del forraje en los materiales de estudio. Como consecuencia, podría esperarse que la selección para mayor calidad nutritiva en las poblaciones estudiadas, sería más ventajosa dando mayor peso a la calidad de la planta sin elote. Este enfoque concuerda con algunos programas en Europa, donde han orientado su mayor esfuerzo precisamente, en el mejoramiento de la digestibilidad de la planta sin elote con resultados positivos⁽⁸⁾.

De los coeficientes de correlación significativos observados en el Cuadro 5, se desprende que la calidad nutritiva de la planta sin elote es independiente de la calidad del elote. En todos los casos se tuvieron correlaciones altas y significativas entre variables de la planta sin elote y del elote por separado (más altas en la planta sin elote que en el elote), y en ningún caso, una variable de la planta sin elote se correlacionó con una del elote. Estos resultados sugieren que para identificar poblaciones de alta calidad forrajera con fines de mejoramiento,

suggests that the stover and ear need to be studied independently to identify high forage quality populations for use in genetic improvement.

In conclusion, only Group 1, consisting of earliest populations with highland germplasm, had forage quality levels above those of the other four Groups, which was mainly the result of higher stover forage quality. Stover quality exhibited greater genetic variation than corn ear quality and was tightly correlated with whole plant *in vitro* digestibility. Based on this, it can be concluded that selection for high stover quality genotypes would be more advantageous for improving the quality of new corn materials. Also, high correlations were present, independently, between stover forage quality variables and between ear forage quality variables, but there were no observed correlations between stover and ear quality variables. This indicates that stover quality is independent of ear quality.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to thank the CONACYT for funding the I32931-B Project, within which this study was carried out.

End of english version

es necesario estudiar la planta sin elote y el elote de forma independiente.

Se concluye que solamente el Grupo 1, constituido por poblaciones precoces con germoplasma de valles altos, presentó niveles de calidad forrajera superiores a los otros grupos, dada principalmente por una mayor calidad forrajera de la planta sin elote. La calidad de la planta sin elote, presentó mayor variación genética que el elote y se correlacionó estrechamente con la digestibilidad *in vitro* de la planta total; de ahí que se considere que la selección de genotipos por alta calidad de la planta sin elote, sería más ventajosa para mejorar la calidad de nuevos materiales de maíz. Se

detectaron altas correlaciones entre variables de calidad forrajera de la planta sin elote y del elote independientemente, pero no se observaron correlaciones entre variables de calidad de la planta sin elote con las del elote, indicando que la calidad de la planta sin elote es independiente de la del elote.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo brindado por el CONACYT al proyecto I32931-B, del cual surgió el presente estudio.

LITERATURA CITADA

1. Vattikonda MR, Hunter RB. Comparison of grain yield and whole-plant silage production of recommended corn hybrids. *Can J Plant Sci* 1983;(63):601-609.
2. Hunt CW, Kezar W, Hinman DD, Vinande R. Yield, chemical composition and ruminal fermentability of corn whole plant, ear and stover as affected by hybrid. *J Prod Agric* 1992;(5):286-290.
3. Allen M, O'Neil KA, Main DG, Beck J. Relationship among yield and quality traits of corn hybrids for silage. *J Dairy Sci* 1991;74(Supl 1):221.
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. Geiger HH, Seitz G, Melchinger AE, Schmidt GA. Genotypic correlations in forage maize I. Relationships among yield and quality traits in hybrids. *Maydica* 1992;(37):95-99.
6. Cox WJ, Cherney JH, Cherney DJR, Pardee WD. Forage quality and harvest index of corn hybrids under different growing conditions. *Agron J* 1994;(86):277-282.
7. Wolf DP, Coors JG, Albrecht KA, Undersander DJ, Carter PR. Agronomic evaluations of maize genotypes selected for extreme fiber concentrations. *Crop Sci* 1993;(33):1359-1365.
8. Deinum B, Bakker JJ. Genetic differences in digestibility of forage maize hybrids. *Neth J Agric Sci* 1981;(29):92-98.
9. 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.
10. Fairey NA. Influence of population density and hybrid maturity on productivity and quality of forage maize. *Can J Plant Sci* 1982;(62):427-434.
11. Dhillon BS, Paul Chr, Zimmer E, Gurrath PA, Klein D, Pollmer WG. Variation and covariation in stover digestibility traits in diallele crosses of maize. *Crop Sci* 1990;(30):931-936.
12. Ruggero B, Bertola LM. Selección de probadores para aptitud forrajera en maíz (*Zea mays* L.) [resumen]. *Memorias XVIII Congreso nacional de Fitogenética*. 2000:251.
13. Undersander D, Mertens DR, Thiex N. Forage analysis procedures. *National Forage Testing Association* 1993.
14. Goering HK, Van Soest PJ. Forage fiber analysis (apparatus, reagents, procedures, and some applications). *USDA-ARS Agric*. Washington, DC. Handbook No. 379, 1970.
15. Littell RC, Milliken GA, Stroup WW, Wolfinger RD. SAS system for mixed models. Cary, NC, USA. Books by Users. 1996.
16. Buendgen, MR, Coors JG, Grombacher AW, Russell WA. European corn borer and cell wall composition in three maize populations. *Crop Sci* 1990;(30):505-510.
17. Coors JG, Albrecht KA, Bures EJ. Ear-fill effects on yield and quality of silage corn. *Crop Sci* 1997;(37):243-247.
18. Lundvall JP, Buxton DR, Hallauer AR, George JR. Forage quality variation among maize inbreds: In vitro and cell wall components. *Crop Sci* 1994;(34):1672-1678.
19. Moreno-González J, Martínez I, Brichette I, López A, Castro P. Breeding potential of European flint and U.S. corn belt dent maize populations for forage use. *Crop Sci* 2000;40:1588-1595.