

Potencial forrajero de poblaciones de maíz y relación entre atributos agronómicos con la calidad

Forage potential of some maize populations and relationships between their agronomic characteristics and nutritional quality

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

RESUMEN

Los objetivos del estudio fueron identificar poblaciones de maíz con alta calidad forrajera y determinar el grado de asociación entre variables agronómicas y de calidad nutritiva. Se evaluaron cinco grupos genéticos que integraron 19 poblaciones y seis híbridos comerciales en Pabellón, Ags. y Torreón, Coah., en experimentos de parcelas divididas con tres repeticiones, usando una densidad de población aproximada de 80,000 y 75,000 plantas ha⁻¹ respectivamente. Se evaluó la producción de materia seca (MST), la calidad nutritiva y la producción estimada de leche ha⁻¹. Se detectó interacción ($P < 0.01$) población dentro de grupo x localidad solamente para proporción de materia seca de elote (PROPEL), fibra detergente neutro (FDN) y digestibilidad *in vitro* (DIV); mientras que en grupos hubo significación para todas las variables excepto en fibra detergente ácida (FDA). Los híbridos tuvieron la mayor MST y producción estimada de leche con 20.3 y 12.5 t ha⁻¹ respectivamente; mientras que las poblaciones precoces con germoplasma de valles altos, la mayor calidad nutritiva con 49.7, 26.4 y 72.4 % de FDN, FDA y DIV respectivamente. Las mejores poblaciones en producción y calidad forrajera dentro de grupos fueron: Pob800, Lucio Blanco, Pob42 ETO IL, CPAB3, P3066W F2, A7597F2 y los híbridos Pantera y AS900. Las variables más correlacionadas con la DIV ($P < 0.01$), fueron días al corte, FDN y FDA con coeficientes de -0.74, -0.74 y -0.81 respectivamente; mientras que con producción de leche lo fueron el MST, PROPEL y FDN con coeficientes de 0.78, 0.84 y 0.55 respectivamente.

PALABRAS CLAVE: *Zea mays* L., Digestibilidad *in vitro*, Producción estimada de leche, Interacción genotipo x ambiente, Correlaciones fenotípicas.

ABSTRACT

The purposes of this study were to identify maize populations with high forage quality and to determine associations between agronomic and forage quality variables. Five genetic groups made up by 19 populations and six commercial hybrids were evaluated at Pabellón, Ags., and Torreón, Coah., México, in split plot tests with three replications each and densities of 80,000 and 75,000 plants ha⁻¹ respectively. Dry matter production (TDM), forage nutritive quality and estimated milk production per hectare were assessed. A significant interaction ($P < 0.01$), was detected for populations within groups x locations only for ear dry matter percentage (EDMP), neutral detergent fiber (NDF), and *in vitro* digestibility (IVD); whereas all variables, except acid detergent fiber (ADF) were significant for groups. Hybrids had the highest TDM and estimated milk production with 20.3 and 12.5 t ha⁻¹ respectively; while the earliest populations derived from highland germplasm showed the highest nutritive value with 49.7, 26.4 and 72.4 % of NDF, ADF and IVD respectively. The top populations for forage production and quality within groups were Pop 800, Lucio Blanco, Pop42 ETO IL, CPAB3, P3066WF₂, A7597F₂ and the hybrids Pantera and AS900. Days to harvest, NDF and ADF content, were the variables which showed stronger correlation ($P < 0.01$) to IVD with coefficients of -0.74, -0.74 and -0.81 respectively; while TDM, EDMP and NDF showed more correlation to estimated milk production, with coefficients of 0.78, 0.84 and 0.55, respectively.

KEY WORDS: *Zea mays* L., *In vitro* digestibility, Milk production, Genotype x environment interaction, Phenotypic correlations.

Recibido el 15 de octubre de 2001 y aceptado para su publicación el 22 de febrero 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.

b Departamento Forrajes. Campo Experimental La Laguna. INIFAP.

c Departamento Forrajes. Campo Experimental Pabellón. INIFAP.

INTRODUCCIÓN

El maíz es un cultivo adaptado a una gran diversidad de ambientes; es una especie cuya fotosíntesis se realiza mediante el ciclo de carbono C4 y se caracteriza por tener una alta capacidad de producción de materia seca, que lo hace atractivo como forraje para la producción de leche.

Por lo general, los híbridos forrajeros, son seleccionados arbitrariamente por su capacidad productora de materia seca, y poco interés se ha puesto en mejorar su calidad nutritiva. Los datos indican que existe amplia variabilidad genética en la digestibilidad del rastrojo, grano, tallo y hojas en los híbridos en uso^(1,2), así como en el contenido de FDN de hojas y tallos⁽³⁾, factible de ser explotada genéticamente. Adicionalmente se ha determinado que la variabilidad genética de la digestibilidad es mayor en la parte vegetativa que en el grano^(4,5), de tal manera que la selección por calidad del follaje podría favorecer avances más notables. Hay también ejemplos, en los cuales no se ha encontrado variación genética para digestibilidad del grano, ni de la planta total, ni interacción genética con el ambiente, pero sí diferencias importantes en producción de materia seca total y del follaje⁽⁶⁾.

Con algunas excepciones⁽⁷⁾, la proporción de mazorcas se correlaciona de manera alta y significativa con la digestibilidad de la planta total^(5,8,9), esto significa que la selección de materiales con alta proporción de mazorcas, podría favorecer una mayor calidad forrajera. Al respecto, se ha señalado, que con una proporción de mazorca superior al 54 %, se puede asegurar una digestibilidad *in vitro* mayor de 68 % y una energía neta de lactancia de 1.5 megacalorías o más por kilogramo de materia seca⁽¹⁾; con lo cual se puede incrementar el nivel productivo de las vacas lecheras y reducir sustancialmente el costo de alimentación⁽¹⁰⁾.

Los objetivos del presente trabajo fueron: estudiar en dos localidades la producción y calidad forrajera de cinco grupos de poblaciones de maíz de diferente origen genético, y determinar las relaciones entre las variables que definen la calidad nutritiva del forraje de maíz.

INTRODUCTION

Maize can be grown in diverse environments, its photosynthesis is carried out in the C4 cycle, and because of its great dry matter production capacity is interesting as a forage for milk production.

In general, maize hybrids are chosen arbitrarily owing to their capacity to produce dry matter, and little interest has been shown on their nutritional quality. Available data show a wide genetic variability in stover, grain, stem and leaf digestibility in the hybrids currently used^(1,2), as well as in stem and leaf NDF⁽³⁾, with strong possibilities of being made good use genetically. Besides, several studies have shown that genetic variability for digestibility is higher in stem and leaf than in grain^(4,5), and because of that, progress in selection for forage quality could be remarkable. There are examples of having found no genetic variation for grain digestibility, or for the whole plant, or of genetic interaction with the environment, but, there have been found significant differences for TDM and leaf production⁽⁶⁾. With some exceptions⁽⁷⁾, ear percentage correlates significantly with whole plant digestibility^(5,8,9), this means that if materials with a high ear fraction are selected, they could show higher forage quality. It has been noted in this respect, that an ear percentage of more than 54 % can guarantee a 68 % IVD and a 1.5 Mcal kgDM⁻¹ lactation net energy⁽¹⁾, which could increase milk production and reduce feed costs significantly⁽¹⁰⁾. The goals of this study were to research forage production and nutritional quality in five genetically diverse maize population groups and to determine relationships between those variables which define nutritional quality of maize as a green forage.

MATERIALS AND METHODS

Five maize genetic groups showing differences in earliness, adaptation and production potential, whose description is provided in Table 1, were evaluated in two locations in Mexico showing strong environmental differences, Pabellón, Ags., at 1,929 m above sea level, Lat 22° 10' N, Long 102° 20' W, 475 mm average annual rainfall, 17.5 °C average annual temperature and dry, temperate climate and

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron cinco grupos genéticos con diferencias en precocidad, adaptación y potencial de producción, cuya descripción se presenta a mayor detalle en el Cuadro 1.

El germoplasma se evaluó en dos localidades con marcadas diferencias ambientales: Pabellón, Ags., localizado a 1,879 msnm, a 22° 10' Norte y 102° 20' Oeste, con clima seco templado y temperatura y precipitación pluvial media anual de 17.5 °C y 475

Torreón, Coah., at 1,013 m above sea level, Lat 25° 22' N , Long 103° 32' W, 243 mm average annual rainfall, 20.6 °C average annual temperature and dry, very hot climate. In both locations soils were clay sandy loams with a 6.8 pH in Pabellon and a 7.9 pH in Torreón.

Plantings were made on May 5, 2000 in Torreón and on May 19, 2000 in Pabellon. In both locations a split plot pattern with three replications each was used, in which the plots were the genetic groups and the sub-plots populations without cross effects

Cuadro 1. Grupos genéticos de maíz evaluados en las localidades de Pabellón, Ags, y Torreón, Coah.

Table 1. Maize genetic groups evaluated in Pabellon, Ags, and Torreón, Coah.

Group 1 made up by early maturing populations coming mainly from the highlands:

- 1.- VS-204 (50% Bolita + 50% cónico norteño, adapted to semiarid areas)
- 2.- Pob 903 (Elite lines derived from Population 800)
- 3.- Pob 85 (60% highland + 20% temperate + 20% tropical/subtropical)
- 4.- Pob 902 (Elite lines derived from Population 85)
- 5.- Pob 800 (50% highland + 20% temperate + 20% tropical/subtropical + 10% Europe)

Group 2 made up by intermediate populations of tropical and subtropical origin provided by CIMMYT:

- 6.- Blanco dentado 2 (tropical)
- 7.- Lucio blanco (tropical)
- 8.- Pob 47 templado blanco dentado (subtropical)
- 9.- Pob 34 (subtropical)
- 10.- Pob 44 AED tuxpeño (subtropical)
- 11.- Pob 42 ETO ILL. (subtropical)

Group 3 made up by late maturing populations derived from CIMMYT's subtropical elite hybrids:

- 12.- Comp.Pab-1 (50% Pob 502 + 50% other populations)
- 13.- Comp.Pab-2 (50% Pob 500 + 50% other populations)
- 14.- Comp.Pab-3 (40% Pool 32 + 60% other populations)
- 15.- Comp.Pab-4 (45% Pob 501+ 55% other populations)

Group 4 made up by F2 populations derived from outstanding commercial hybrids:

- 16.- P3288 F2
- 17.- P3066W F2
- 18.- A7597 F2
- 19.- AS910 F2

Group 5 made up by high grain and forage production hybrids:

- 20.- Jaguar
- 21.- Pantera
- 22.- Tornado
- 23.- P3002W
- 24.- AS-31
- 25.- AS900

mm respectivamente; y Torreón, Coah., localizado a 1,013 msnm, a 25° 32' Norte y 103° 32' Oeste, el cual se caracteriza por tener un clima seco muy caluroso, con una temperatura y precipitación pluvial media anual de 20.6 °C y 243 mm, respectivamente. En ambas localidades de estudio el tipo de suelo es de textura migajón arcillo arenoso; mientras que el pH, es de 6.8 en Pabellón y de 7.9 en Torreón.

En Torreón se sembró, el 5 de mayo y en Pabellón, el 19 de mayo de 2000. En ambas localidades, se usó un diseño de parcelas divididas con tres repeticiones; en donde las parcelas fueron los grupos genéticos y las subparcelas las poblaciones sin efectos cruzados, sino con efectos anidados en grupos. La parcela experimental consistió de cuatro surcos de 6.0 m de largo, separados a 0.76 m. En Pabellón se sembró a una distancia entre plantas de 0.16 m dando una densidad de población aproximada de 80,000 plantas ha⁻¹; mientras que en Torreón, se sembró a una densidad de población de 75,000 plantas ha⁻¹. La parcela útil fueron los dos surcos centrales. La fertilización difirió entre localidades de acuerdo a las recomendaciones locales: en Pabellón, se fertilizó en la escarda con el tratamiento 200-80-00 y en Torreón con el tratamiento 200-60-00, 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. En ambas localidades, se deshirió manualmente; adicionalmente en Pabellón, se aplicó atrazina + 2-4D para el control de malezas en una dosis de 1.0 l ha⁻¹. En Pabellón no hubo presencia de plagas que ameritara control químico, mientras que en Torreón, se dieron varias aplicaciones de insecticida para controlar gusano cogollero, araña roja, y diabrotica. En las dos localidades se dieron cinco riegos de auxilio y el de presiembra.

En ambos sitios se realizaron muestreos para la determinación de la calidad del forraje en la etapa en que cada material alcanzó un tercio de la línea de leche en el grano. En Pabellón, se cosecharon 25 plantas con competencia completa para determinar el peso fresco total, de elotes y de las plantas sin elote. 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,

but nested in groups. The experimental plot was of four rows spaced at 0.76 m and of 6.0 m in length. In Pabellón the seeding distance within the furrow was 0.16m for an 80,000 plants ha⁻¹ density while in Torreón seeding density was 75,000 plants ha⁻¹. The two middle rows of each plot were used for harvest. Fertilization was applied in accordance with recommendations for each location, in Pabellón a 200-80-00 dose was applied at hoeing and in Torreón 120 N and 60 P units were applied at planting and 80 N units at hoeing before the first watering, for a 200-60-00 total treatment. In both locations, weeding was done by hand, but in Pabellón 1.0 l ha⁻¹ atrazine + 2-4D were applied for weed control. In this last location no pests which deserved chemical control were found, while in Torreón several sprayings for control of budworms, rootworms and mites were applied. In both locations five waterings were given plus one before sowing. Samples were taken at the one third milky grain stage. In Pabellón, 25 whole plants were harvested to determine whole plant, ears and plants without ears fresh weight. DM percentage was determined from a 10 random plant sampling. Plants minus ears and ears were weighted, chopped and blended separately. From each sample approximately 1 kg was taken, weighted and dried in a heat cabinet at 60°C until constant weight. With these data, ear, stover, and total dry matter production per hectare(TDM) was determined, and based on this, productive efficiency (PE) was calculated by dividing TDM by days elapsed until clipping (DTC) and the ear dry matter proportion (EDMP) by dividing dry matter ear weight by TDM.

Forage nutritional quality was determined in samples ground in a Willey grinder provided with a 1.0 mm diameter mesh. Neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF)⁽¹¹⁾ and *in vitro* digestibility (IVD)^(12,13) of ears and stover were established. With data for ears and stover, those for the whole plant were estimated, by adding values for ear dry matter to those of stover. Finally, milk production in tons ha⁻¹ was calculated through the Milk95 program developed by the University of Wisconsin, which is based on TDM, NDF and crude protein data⁽¹⁴⁾. Crude protein values were considered equal for all treatments (8.5 %). This value is an

se picaron y se mezclaron por separado. 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. Con estos datos, se determinó la producción de materia seca de elotes, de plantas sin elotes (rastrojo) y la producción de materia seca total (MST) por hectárea, con la cual se calculó la eficiencia productiva (EP) dividiendo la MST entre el número de días al corte, y la proporción de elote en base seca (PROPEL), dividiendo el peso seco de elotes entre la MST.

La calidad del forraje se determinó en las muestras molidas en un molino Willey con una malla de 1.0 mm de diámetro. Se determinó el contenido de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácida (FDA)⁽¹¹⁾ y la digestibilidad *in vitro* (DIV)^(12,13) del elote y del rastrojo. Con los datos de cada variable para elotes y rastrojo, se calculó el de la planta total, sumando la proporción correspondiente de la materia seca de elotes con la proporción de materia seca del rastrojo. Finalmente se estimó la producción de leche en toneladas por hectárea (leche), usando el programa milk 95 de la Universidad de Wisconsin, Estados Unidos, el cual usa valores calculados de MST, FDN, DIV y datos de proteína cruda⁽¹⁴⁾. Los valores de proteína cruda, se consideraron similares para todos los tratamientos (8.5 %). Este valor es un dato aproximado del contenido de proteína en maíz y se usó como tal, considerando que existe poca variabilidad en este componente; además, de que así lo indica el programa cuando no se tienen las mediciones correspondientes.

En Torreón se cosecharon todas las plantas de la mitad de los surcos de la parcela útil (30 plantas aproximadamente) para determinar peso fresco, y solamente se muestrearon cinco plantas para determinar la materia seca de la planta total. El proceso de picado, mezclado, secado de las muestras y determinación de la DIV, se hizo de manera similar que en Pabellón; en cambio la FDN y FDA, se midieron con un espectrofotómetro de rayos cercanos al infrarrojo (NIRS) previamente calibrado con las técnicas convencionales.

Se realizó un análisis de varianza combinado por localidades y un análisis de correlación simple para

approximate datum for protein contents in maize, and, taking into account its low variability was used as such. Besides, the program suggests using that value when no readings are available.

In Torreón around 30 plants, were harvested in full to determine fresh weight, and only five plants were used to determine TDM for the whole plant. Sample chopping, blending and drying and determination of IVD was carried out in similar fashion to that of Pabellón, but NDF and ADF, were established with a NIRS calibrated with conventional techniques. A combined variance analysis per location and simple correlation for each variable being studied were carried out. Because of an unbalance between genetic groups owing to a difference in the quantity of populations contained in each one, comparison of previously adjusted averages through minimum squares, was done through the “t” test, taking into account the corresponding specific standard errors. For population comparison inside different groups, the LSD test was used. The Proc mixed procedure of the SAS statistical package was used for analysis⁽¹⁵⁾. A multiple regression test was used to determine the best model to estimate milk production through the R² selection method together with the Mallows CP statistical selection criterion to determine the optimum amount of variables for the model⁽¹⁶⁾.

RESULTS AND DISCUSSION

Climate was different in Pabellón and Torreón in the course of this study. In general Torreón was drier, with less rainfall and hotter than Pabellón, as can be seen in Table 2. In both locations climate was abnormal, as rainfall was lower and temperatures higher than the average, and because of that, results could be different with standard climate conditions. Environments with higher temperatures foster more plant growth and development⁽¹⁷⁾, but can lower forage quality owing to a higher fiber and lignin content⁽¹⁸⁾. Results obtained in this study agree with what has been pointed out by these authors because in Torreón, days to clipping were 23 less on average and biomass accumulation was 30 kg more ha day⁻¹ than in Pabellón, where forage quality was higher as NDF

Cuadro 2. Datos meteorológicos actuales e históricos promedio determinados durante la estación de crecimiento en las localidades de estudio

Table 2. Current and historic meteorological data recorded during the growing season in both locations

	Pabellon		Torreon	
	Current	Historic	Current	Historic
Rainfall, mm	284.0	447.0	154.0	236.0
Maximun temperature, °C	34.5	27.7	36.3	33.0
Minimun temperature, °C	14.7	12.9	16.8	17.0
Mean temperature, °C	24.6	20.5	26.6	25.0

todas las variables del estudio. Debido al desbalance existente entre grupos genéticos por el diferente número de poblaciones contenidos en ellos, la comparación de medias previamente ajustadas mediante mínimos cuadrados, se realizó con una prueba de “t” considerando los errores estándar específicos correspondientes. Para comparar poblaciones dentro de grupos y poblaciones entre grupos diferentes, se utilizó la prueba DMS. Para el análisis se usó el procedimiento Proc mixed del paquete estadístico SAS⁽¹⁵⁾. Se realizó un análisis de regresión múltiple para determinar el mejor modelo para estimación de leche usando el método de selección R² e incluyendo como criterio de selección el estadístico CP de Mallows para determinar el número óptimo de variables en el modelo⁽¹⁶⁾.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las condiciones meteorológicas fueron diferentes entre las localidades de estudio. En términos generales Torreón fue más seco, menos lluvioso y más caluroso que Pabellón (Cuadro 2). En ambas localidades se presentaron precipitaciones mucho más bajas y temperaturas más elevadas que el promedio histórico, por lo cual se puede considerar que el presente, fue un año atípico y que los resultados obtenidos pueden variar en años y condiciones normales. Ambientes con temperaturas más altas propician un crecimiento y un desarrollo más acelerado en el ciclo biológico de los cultivos⁽¹⁷⁾, pero pueden causar disminución en la calidad forrajera debido al aumento en la concentración de fibras y acumulación de lignina⁽¹⁸⁾. Los resultados del presente trabajo concuerdan con lo señalado por

was 3.5 % less and IVD 3.9 % higher. Even though differences appeared in biomass accumulation per day and in nutritional quality between locations, TDM and milk productions were not affected by the environment, as in both locations average yields for these variables were similar (15.8 ± 4.6 t ha⁻¹ and 9.7 ± 3.9 t ha⁻¹ respectively).

Except for NDF, all variables showed significant differences ($P < 0.05$) between groups, and only for NDF an interaction of location x group was detected, which demonstrates that genetic groups showed similar production and nutritional quality behavior in both locations. Group 5, made up by commercial hybrids, was one of the most outstanding. This group was characterized by a higher TDM, biomass accumulation and estimated milk production potential (Table 3). The advantage of this group could be explained in part by heterosis. It should be noted that group 4, made up by F₂ populations of commercial hybrids (very similar to group 5), showed a TDM, biomass accumulation rate and estimated milk production lower than for the preceding group. Group 1, made up by earlier populations, was the less productive, showing a reduced TDM, low EDMP and poor biomass accumulation rate. However, this group showed one of the best nutritional qualities, with lower NDF and ADF content and higher IVD, which allowed for a higher milk production potential similar to those of groups 3 and 4 of later maturing materials and which had higher TDM production in the order of 4.2 t ha⁻¹ and 5.6 t ha⁻¹ respectively.

Group 1 included populations with an important highland germplasm content with moderate suscepti-

estos autores ya que en Torreón donde se registraron las temperaturas más altas, los días al corte (DCOR) se adelantaron en promedio 23 días y se acumularon 30 kg de biomasa más por ha día⁻¹ (EP), mientras que en Pabellón, se tuvo una mayor calidad forrajera con 3.5 % menor en FDN y 3.9 % mayor DIV en los materiales. No obstante que hubo divergencias en la tasa de acumulación de biomasa por día y en calidad nutritiva entre localidades, las producciones de MST y de leche, no se afectaron significativamente por el ambiente; en ambas localidades los rendimientos promedio fueron similares (15.8±4.6 y 9.7±3.9 t ha⁻¹, respectivamente).

Con excepción de la FDN, en todas las variables se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$)

bility to lodging, which helps explain in part the higher digestibility and lower fiber content of these materials. This deduction is supported by studies which indicate that selection for a tougher stalk to increase resistance to the corn borer, gives rise to a significant increase in NDF and ADF content and lignin in stalk and flag leaf^(19,20). Groups 2, 3, and 4 were similar ($P > 0.05$) for all production and nutritional quality variables (Table 3), even though they were made up by different germplasms and biological cycles. Also, no significant differences were observed between these groups and group 5 for NDF and IVD, but, estimated milk production showed significant differences, so a higher TDM in the commercial hybrids was one of the characteristics with stronger influence on milk production.

Cuadro 3. Medias, desviaciones estándar de las variables de producción y calidad forrajera de cinco grupos genéticos de maíz y sus diferencias

Table 3. Means and standard deviations for production variables and forage nutritional quality in five maize genetic groups and their differences

	TDM (t ha ⁻¹)	EDMP (%)	DTC (días)	PE (kg ha ⁻¹ d ⁻¹)	NDF (%)	ADF (%)	IVD (%)	Milk (t ha ⁻¹)
Group								
1	10.8±2.5	32.4±6.3	93± 7	117±28	49.7±3.5	26.4±2.2	72.4±3.7	7.6±2.4
2	15.6±3.9	37.1±7.5	105±12	151±45	51.0±5.0	27.1±2.9	70.5±4.0	9.7± 3.9
3	16.4±3.8	36.8±4.0	120±17	140±43	52.4±2.8	28.7±1.7	69.1±3.1	9.2± 2.7
4	15.0±3.2	35.6±7.8	118±17	127±19	52.0±4.0	28.1±2.6	69.6±3.8	8.8± 3.2
5	20.3±3.3	40.1±7.2	115±15	181±39	50.3±4.5	27.7±2.8	69.3±4.8	12.5±4.6
Differences								
1-2	-4.8**	-4.7*	-12**	-34**	-1.3	-0.8	2.0*	-2.1*
1-3	-5.7**	-4.4*	-27**	-24	-2.7*	-2.4**	3.4**	-1.6
1-4	-4.2**	-3.2	-25**	-10	-2.3*	-1.7**	2.9**	-1.3
1-5	-9.5**	-7.6**	-22**	-63**	-0.6	-1.3*	3.1**	-4.9**
2-3	-0.9	0.4	-15**	10	-1.4	-1.6**	1.4	0.6
2-4	0.6	1.5	-13**	24	-1.0	-0.9	0.9	0.9
2-5	-4.7**	-2.9	-10**	-29*	0.7	-0.6	1.2	-2.8**
3-4	1.5	1.2	2**	14	0.4	0.7	-0.5	0.3
3-5	-3.9**	-3.3	5**	-40**	2.1*	1.0	-0.3	-3.3**
4-5	-5.3**	-4.5*	3**	-53**	1.7	0.4	0.2	-3.7**

TDM= total dry matter, EDMP= ear dry matter percentage, DTC= days to clip, PE= production efficiency, NDF= neutral detergent fiber, ADF= acid detergent fiber, IVD= *in vitro* digestibility, Milk= estimated milk production.

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$.

entre grupos y solamente en el caso de esta misma variable (FDN), se detectó interacción localidad x grupo; lo que indica, que los grupos genéticos tuvieron comportamientos muy similares en producción y calidad nutritiva del forraje en ambas localidades de estudio. El grupo 5, constituido por híbridos comerciales, fue uno de los más sobresalientes; este grupo se caracterizó por tener un mayor MST, mayor EP y mayor potencial estimado para leche (Cuadro 3). La ventaja de este grupo, es en parte explicada por la heterosis manifestada por la condición híbrida de los materiales. Nótese por ejemplo, que el grupo 4, conformado por poblaciones F₂ de híbridos comerciales muy similares al grupo 5, tuvo una EP, MST y una estimación de leche entre 26 y 30 % menor que éste. El grupo 1 constituido por poblaciones precoces, fue el menos productivo, y se caracterizó por tener una MST reducida, baja PROPEL y pobre EP. Este grupo sin embargo, mostró unas de las mejores características en calidad nutritiva, con menores contenidos de fibra (FDN y FDA) y mayor DIV, lo cual dio lugar a producciones estimadas de leche estadísticamente similares a los grupos 3 y 4 de poblaciones más tardías, que tuvieron producciones de MST superiores en 4.2 y 5.6 t ha⁻¹.

El grupo 1 incluyó poblaciones que poseen una alta proporción de germoplasma de valles altos con moderada susceptibilidad al acame; lo que explica en parte la mayor digestibilidad y menores contenidos de fibra de los materiales. Esta deducción se apoya en estudios donde se indica que la selección para mayor dureza del tallo en maíz para incrementar la resistencia al gusano barrenador, da lugar a incrementos significativos en las concentraciones de FDN, FDA y lignina en la hoja bandera y tallo^(19,20). Los grupos 2, 3 y 4, fueron similares ($P > 0.05$) en todas las características de producción y calidad nutritiva (Cuadro 3), no obstante que el germoplasma del cual están constituidos y en ciclo biológico (DCOR) fueron diferentes. Tampoco se observaron diferencias significativas entre estos grupos y el 5 en FDA y en DIV, pero sí en producción estimada de leche, por lo que se deduce, que la mayor producción de materia seca de los híbridos fue una de las características que más influyó en la producción de leche.

The interaction of populations within groups by location was significant ($P < 0.01$) only for NDF, IVD and EDMP, and indicates that certain populations were more affected in their nutritional quality by environmental effects than others. These different responses between populations across locations, were seen only in groups 2, 4 and 5 and only in one or two populations of these groups (data not shown), so it can be inferred that most of the populations showed similar performances across environments. In contrast to this study, several authors^(4,8,21) have shown no interaction years x hybrids or locations x hybrids for NDF and *in vitro* digestibility, even in environments which show clear differences for temperature and soil moisture⁽⁸⁾, reason why these characteristics were considered as consistent across environments.

The effect of populations within groups was significant for almost all of the variables being studied, except for TDM and EDMP. Most of the genetic differences between populations for the characteristics being studied, were obtained in groups 2, 4 and 5 (Table 4). In group 2, maximum significant differences ($P < 0.05$) respectively of 7.1, 4.8, 4.8 % and 4.1 ton ha⁻¹ in NDF, ADF and IVD concentration and estimated milk production were appreciated, in group 4 of 5.0, 4.1, 4.7 % and 3.9 ton ha⁻¹, while in group 5 values were 6.2, 4.3, 8.6 % and 5.7 ton ha⁻¹, respectively. Differences of such magnitudes for the characteristics being studied, are high enough to be of economic significance for milk producers, who normally include between 25 and 50 % of corn silage in their feeding rations⁽⁴⁾ and also adequate as an indicator for selection of high nutritional quality populations. The higher variation in groups 2, 4, and 5 can be explained in part through a high diversity in populations' origin, which include not only tropical and subtropical germplasm but also populations derived from hybrids coming from several companies. In contrast, populations in groups 1 and 3, independently, have a high proportion of common germplasm. Four of the five populations in group 1, have in common at least 50 % of germplasm coming from high valleys and temperate zones, while all populations in group 3 contain 40 % of common subtropical germplasm.

La interacción poblaciones dentro de grupos x localidad, resultó significativa ($P < 0.01$) solamente para PROPEL, FDN y DIV; indicando que hubo poblaciones que se afectaron de manera diferente en su calidad forrajera por el efecto ambiental. Estas respuestas diferentes entre poblaciones a través de localidades, se observaron solamente en los grupos 2, 4 y 5, y en una o dos poblaciones de esos grupos (datos no presentados); por lo que se infiere que la mayoría de las poblaciones tuvieron un comportamiento similar a través de ambientes. A diferencia del presente estudio, varios autores^(4,8,21) han señalado ausencia de interacción años x híbridos o localidades x híbridos para concentración de FDN y digestibilidad *in vitro*; aún en ambientes con diferencias marcadas en temperatura y humedad del suelo⁽⁸⁾; por lo cual consideraron a estos caracteres como consistentes a través de ambientes.

El efecto de poblaciones dentro de grupos resultó significativo para la mayoría de las variables estudiadas, excepto para MST y EP. Las mayores divergencias genéticas entre poblaciones en los caracteres de estudio, se obtuvieron en los grupos 2, 4 y 5 (Cuadro 4). En el grupo 2, se observaron diferencias significativas máximas ($P < 0.05$) de 7.1, 4.8, 4.8 % y 4.1 t ha⁻¹ en la concentración de FDN, FDA, DIV y producción estimada de leche respectivamente; en el grupo 4, de 5.0, 4.1, 4.7 % y 3.9 t ha⁻¹; mientras que en el grupo 5, de 6.2, 4.3, 8.6 % y 5.7 t ha⁻¹, respectivamente. Diferencias de estas magnitudes en los caracteres mencionados, son suficientemente altas para ser de importancia económica para los productores de leche, quienes incluyen de 25 a 50 % de silo de maíz en la ración alimenticia⁽⁴⁾, y suficiente como indicador para seleccionar poblaciones de alta calidad nutritiva. La mayor variación de los grupos 2, 4 y 5, se explica en parte por la mayor diversidad en la formación y origen de las poblaciones, ya que involucran germoplasma tanto de origen tropical como subtropical y poblaciones originadas de híbridos de diferentes compañías. En contraste, las poblaciones de los grupos 1 y 3, tienen independientemente, una alta proporción de germoplasma en común. Cuatro de las cinco poblaciones del grupo 1, tienen al menos 50 % de germoplasma de valles altos y de zonas templadas muy similar entre sí; mientras que todas

Even though the similarities in these groups, some populations showed a better trend towards production and nutritional quality than others, which makes selection on these traits feasible.

Outstanding populations within groups for production and nutritional quality, and especially for estimated milk production were P800 C5 in group 1, Lucio Blanco and P42 ETO IL in group 2, CPAB-3 in group 3, P3066WF2 and A7597F2 in group 4 and Pantera and AS900 hybrids in group 5 (Table 4). These populations showed the better tendencies within their groups for most of the characteristics being evaluated, and even though some of them were not as productive as the outstanding populations in other groups, selection within groups allows to assure the presence of different germplasms for genetic improvement in different and more specific adaptation regions, besides being able to act as a source of donors for nutritional quality. In a later stage, it should be necessary to perform a genetic study in the outstanding populations to identify heterotic groups of high nutritional quality to guarantee a significant progress in a hybrid development program.

In general, agronomic characteristics variation and nutritional quality in populations was high (Table 4). TDM fluctuated from 9.8 to 22.4 ton ha⁻¹, NDF from 47.5 to 54.9%, ADF from 25.0 to 30.4%, EDMP from 29.8 to 44.1 % and IDV from 65.7 to 74.3 % and estimated milk production from 6.7 to 15.5 ton ha⁻¹. The higher TDM and estimated milk productions corresponded to the hybrids and the lower to the earliest populations. In other studies^(4,8,21), differences in the range of 3.0 to 10.0 % for NDF and of 2.7 to 6.0 % for IDV are mentioned, which are similar or less than those shown here, but, in populations selected for fiber content⁽³⁾ and in commercial hybrids⁽²²⁾, fiber contents very similar to those mentioned in this study were found, although showing a higher digestibility (>4 %) than the best population in this study.

In previous studies carried out at Pabellón (not published) and other carried out in Torreón⁽¹⁾, TDM yields 20 ton ha⁻¹ or more for commercial hybrids are mentioned. These results are similar to those

Cuadro 4. Medias de producción y calidad forrajera de poblaciones de maíz en promedio de localidades

Table 4. Mean production and nutritional forage quality for maize populations averaged by locations

Population	TDM (t ha ⁻¹)	EDMP (%)	DTC (days)	PE (kg ha ⁻¹ d ⁻¹)	NDF (%)	ADF (%)	IVD (%)	Milk (t ha ⁻¹)
Group 1								
VS204-C2	10.1	31.9 ab	87 b	116	47.8	25.4	73.4	7.7
P903-C0	9.8	29.8 b	94 a	105	50.1	26.7	72.9	7.0
P85-C4	10.6	32.6 ab	94 a	112	49.7	25.8	71.8	7.2
P902-C0	10.7	32.8 ab	93 a	115	51.2	27.3	71.4	7.0
P800-C5	12.8	35.0 a	95 a	136	49.8	26.6	72.7	9.0
Group 2								
Blanco D2	15.4	34.9 bc	111 a	140	54.8 a	29.8 a	66.9 b	7.2 b
Lucio Blco	15.6	37.7 ab	98 d	162	48.9 c	26.4 bc	71.7 a	11.3 a
P47 T-BD	15.8	38.2 ab	99 d	163	50.5 b	26.3 bc	71.4 a	10.1 ab
P34	15.3	32.0 c	102 c	151	52.9 ab	28.1 ab	71.0 a	9.2 ab
P44AED-T	15.7	39.2 ab	111 a	142	51.0 bc	27.1 bc	70.2 a	9.2 ab
P42 ETO-I	15.6	40.9 a	107 b	147	47.7 c	25.0 c	71.6 a	11.3 a
Group 3								
CPAB-1	14.8	35.5	122 a	122	52.6	28.8	69.6	8.3
CPAB-2	14.9	34.6	119 b	127	53.1	29.8	68.7	7.9
CPAB-3	17.8	38.3	117 b	156	51.7	28.1	70.1	10.7
CPAB-4	18.3	38.8	122 a	157	52.2	28.3	67.9	9.7
Group 4								
P3288F2	13.8	35.1 ab	121 a	113	54.9 a	30.4 a	67.7 b	6.7 c
P3066WF2	15.4	37.2 a	109 b	140	49.9 b	27.3 b	72.4 a	10.6 a
A7597F2	16.1	38.0 a	122 a	132	50.2 b	26.3 b	69.6 ab	10.1 ab
AS910F2	14.6	32.1 b	120 a	121	52.8 ab	28.3 ab	68.6 b	7.9 bc
Group 5								
Jaguar	19.2	44.1 a	113 c	174	47.7 cd	25.8 b	70.7 b	13.4 abc
Pantera	22.4	41.2 ab	117 b	197	9.3 bcd	27.6 ab	69.6 b	14.2 ab
Tornado	20.1	39.6 abc	121 a	167	51.2 abc	28.7 a	65.7 c	10.5 cd
P3002W	19.8	36.1 c	113 c	177	53.7 a	29.7 a	66.9 bc	9.8 d
AS-31	20.6	38.2 bc	117 b	178	52.3 ab	28.9 a	68.8 b	11.6 bcd
AS-900	19.6	41.1 ab	106 d	187	47.5 d	25.4 b	74.3 a	15.5 a

abcd Different literals for populations within groups for each variable show differences ($P < 0.05$). Averages without literal within groups show no differences ($P > 0.05$).

TDM= Total dry matter, EDMP= Ear dry matter percentage, DTC= Days to clip, PE= Production efficiency, NDF= Neutral detergent fiber, ADF= Acid detergent fiber, IVD= *In vitro* digestibility, Milk= Estimated milk production.F

las poblaciones del grupo 3, están formadas con 40 % de germoplasma subtropical semejante. No obstante, hubo poblaciones que mostraron mejores tendencias en producción y calidad nutritiva que otras, factibles de ser seleccionadas.

Entre las mejores poblaciones dentro de los grupos se destacaron por la producción y calidad y especialmente por la producción estimada de leche, la población P800 C5 del grupo 1, Lucio Blanco y P42 ETO IL del grupo 2, CPAB-3 del grupo 3, P3066WF2 y A7597F2 del grupo 4 y los híbridos Pantera y AS900 del grupo 5 (Cuadro 4). Estas poblaciones tuvieron las mejores tendencias dentro de grupos en la mayoría de las características evaluadas y aunque algunas de ellas no fueron igualmente productivas a poblaciones sobresalientes de otros grupos, la selección dentro de grupos permite asegurar la presencia de germoplasma diferente para fines de mejoramiento genético en regiones y áreas de adaptación distintas y más específicas; además de que pueden servir como fuentes donadoras de calidad nutricional. En una etapa posterior, sería recomendable realizar un estudio genético entre las poblaciones sobresalientes para identificar grupos heteróticos de alta calidad nutritiva con el fin de asegurar avances significativos en la generación de híbridos.

En general, la variación de las características agrónomicas y de la calidad nutritiva de las poblaciones sin considerar grupos, fue alta (Cuadro 4). La MST, fluctuó de 9.8 a 22.4 ton ha⁻¹, la PROPEL de 29.8 a 44.1 %, la FDN de 47.5 a 54.9 %, la FDA, de 25.0 a 30.4 %, la DIV de 65.7 a 74.3 % y la producción estimada de leche de 6.7 a 15.5 t ha⁻¹. Las producciones de MST y leche más altas fueron obtenidas por los híbridos y las más bajas por las poblaciones precoces. En otros estudios^(4,8,21), se mencionan diferencias entre híbridos del orden de 3.0 a 10.0 % en la concentración de FDN y de 2.7 a 6.0 % en DIV, las cuales son comparables o menores que las obtenidas aquí; en cambio, en poblaciones seleccionadas por diferencias en contenido de fibra.⁽³⁾ y en híbridos comerciales⁽²²⁾, se encontraron contenidos de fibra muy similares a los aquí indicados, pero superiores en digestibilidad en más de 4 % comparado con la mejor población del estudio.

shown in the present study for hybrids, but significantly higher than those of the early maturing populations, which averaged 10.8 ton ha⁻¹ of TDM; production that can be considered low for temperate environments such as Torreón or Pabellón. Use of early material could be justified only if other comparative advantages were obtained, such as a higher production efficiency per time unit or per water consumption unit. In this study, only population 800 C5, showed a production efficiency and an estimated milk production similar to that of later maturing outstanding populations in groups 2, 3 and 4, which makes it an attractive source of germplasm for future high nutritional quality genetic improvement projects.

Phenotypic correlation analyses between agronomic and nutritional quality variables are shown in Table 5. Fiber content (ADF and NDF), correlations with TDM and days to clip (DTC) were significant ($P < 0.01$) and negative for IVD. These results show that the earlier maturing populations with lower dry matter production and fiber content possess higher digestibility. Negative correlations between fiber content and digestibility are common^(3,4,8) which suggests a possible use of these variables as indicators for maize nutritional quality. At times, determination of digestibility is difficult, requiring more time and fistulated animals and of course higher costs than for ADF and NDF analysis. Negative correlations ($r = -0.58$ and -0.73) between TDM and IVD were found also by Barrière *et al*⁽²³⁾.

Grain is the most digestible part of the maize plant. Therefore, it is expected that a high EDMP value, as an indicator for grain production should show strong linkage to IVD. In this study EDMP did not show correlation with IVD, which could be partly explained by different maturity of the genetic materials being assessed and to the inclusion of hybrids and populations. Usually hybrids are more productive than populations and show a higher grain/plant ratio. On the other hand, late maturing genotypes, in general show a higher TDM and in some instances, a low grain/plant ratio⁽²²⁾. Hence, it should be expected that late maturing genotypes show a higher fiber content and less digestibility relative to early maturing material. In studies in

En trabajos anteriores realizados en Pabellón (no publicados) y algunos realizados en Torreón⁽¹⁾ se mencionan rendimientos de más de 20 t ha⁻¹ de materia seca con híbridos comerciales. Estos resultados son similares a los obtenidos aquí con el grupo de híbridos; pero muy superiores a los rendimientos de las poblaciones del grupo precoz con promedio de 10.8 t ha⁻¹, los cuales se consideran bajos para ambientes templados como Pabellón o cálidos como Torreón. El uso de material precoz, se justificaría en estas regiones siempre que se tuvieran otras ventajas comparativas, tales como una mayor eficiencia productiva por unidad de tiempo o por unidad de agua consumida. En el presente estudio, solamente la población 800 C5, tuvo una eficiencia productiva y una producción de leche estimada muy similar a poblaciones sobresalientes más tardías de los grupos 2, 3 y 4, lo cual la hace deseable como fuente de germoplasma donadora para futuros proyectos de mejoramiento genético de alta calidad forrajera.

El análisis de correlaciones fenotípica entre variables de calidad nutricional y agronómicas se presenta en el Cuadro 5. En él se observa que los contenidos de fibra (FDN y FDA), MST y DCOR, correlacionaron significativamente ($P < 0.01$) y de forma negativa con la digestibilidad *in vitro*. Estos

which genotype maturity variation of magnitude has been evaluated, similar results to those obtained in this study were found^(24,25). Dhillon *et al.*⁽⁷⁾ found low correlation ($r = -0.39$) between ear percentage and forage digestibility, but other authors^(8,9,26) found significant correlations (r between 0.63 and 0.79) between harvest index and total plant digestibility.

TDM, EDMP, NDF and PE correlated significantly ($P < 0.01$) with estimated milk production data. ADF and IVD were not associated with milk production (Table 5), but the best model for milk production was made up by TDM, IVD and NDF which showed $R^2 = 0.98$. These significant correlations show the importance of dry matter production and nutritional quality of maize silage for milk production per area unit⁽²⁷⁾.

CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

The results obtained show differences in forage production and nutritional quality between the maize genetic groups being studied. Hybrids as a group show higher EDMP and TDM and estimated milk production, and the early maturing group made up with highland germplasm, shows higher nutritional quality in terms of fiber content and digestibility.

Cuadro 5. Coeficientes de correlación entre características agronómicas y de calidad nutritiva de 25 poblaciones de maíz evaluadas en Torreón y en Pabellón

Table 5. Correlation coefficients between nutritional quality and agronomic characteristics for 25 maize populations assessed in Torreón and in Pabellón

	TDM	EDMP	DTC	PE	NDF	ADF	IVD
EDMP	0.79**						
DTC	0.65**	0.44*					
PE	0.91**	0.77**	0.29				
NDF	0.02	-0.38	0.47*	-0.22			
ADF	0.24	-0.20	0.59**	0.02	0.93**		
IVD	-0.44*	-0.11	-0.74**	-0.15	-0.74**	-0.81**	
Milk	0.78**	0.84**	0.22	0.87**	-0.55**	-0.36	0.18

TDM= Total dry matter, EDMP= Ear dry matter percentage, DTC= Days to clip, PE= Production efficiency, NDF= Neutral detergent fiber, ADF= Acid detergent fiber, IVD= *In vitro* digestibility, Milk= Estimated milk production.

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$.

resultados indican que materiales más precoces con menor producción de materia seca y menor contenido de fibras, tienen mayor digestibilidad. Las correlaciones negativas entre fibras y digestibilidad son comunes en la literatura^(3,4,8) y sugieren que estas variables pueden usarse como indicadores de la calidad nutritiva del maíz. En ocasiones la determinación de la digestibilidad es más difícil, requiere de más tiempo, animales fistulados y mayor costo que las determinaciones de FDN y FDA. Correlaciones negativas ($r = -0.58$ y -0.73) entre MST y DIV fueron determinadas también por Barriere *et al.*⁽²³⁾

El grano, es la parte de la planta más digestible en maíz; por consiguiente, se esperaría que la proporción de materia seca del elote (PROPEL), por ser un indicador de la producción de grano tuviera una alta asociación con la DIV. En el presente estudio, la PROPEL no se correlacionó con la DIV, lo cual puede ser explicado en parte por las diferencias en madurez entre grupos genéticos y por la inclusión de híbridos y poblaciones. Los híbridos regularmente son más productivos que las poblaciones y con mayor relación grano-follaje; por otra parte, genotipos tardíos, por lo general tienen mayor rendimiento de materia seca y en algunos casos baja relación grano-follaje⁽²²⁾. En consecuencia, genotipos más tardíos tienden a producir mayor contenido de fibras y menor digestibilidad respecto a genotipos precoces. En estudios donde se han evaluado genotipos con variaciones importantes en precocidad, se encontraron resultados muy similares a los del presente trabajo^(24,25). Dhillon *et al.*⁽⁷⁾ encontraron una correlación baja ($r = -0.39$) entre la proporción de mazorcas y la digestibilidad del follaje. En cambio otros investigadores^(8,9,26), indican correlaciones significativas entre el índice de cosecha y la digestibilidad de la planta total, con coeficientes que fluctuaron entre 0.63 y 0.79.

MST, PROPEL, EP y el FDN, correlacionaron significativamente ($P < 0.01$) con los datos estimados de producción de leche. La FDA y la DIV en cambio, no estuvieron asociadas con la producción de leche (Cuadro 5) pero se observó que el mejor modelo para producción de leche estuvo constituido

Populations showing acceptable characteristics for production and nutritional quality were found within groups which makes them attractive as a germplasm source. Some of these populations are 800 C5, Lucio Blanco, POB42 ETO IL, CPAB3, P3066WF2 A7597F2 and the hybrids pantera and AS900. ADF and NDF content were the variables more closely associated with IVD, while TDM, EDMP, PE and NDF content were those associated with estimated milk production. That is why, for forage maize material development, it should be taken into account variables of dry matter production as well as nutritional quality. It should be ratified that the study of the performance of these materials is limited to only one season and that its behavior can change in successive years, owing to different climate conditions and management practices.

ACKNOWLEDGEMENTS

Special thanks to CONACYT for supporting project I32931-B, on which this paper is based.

End of english version

por las variables MST, FDN y DIV con una $R^2 = 0.98$. Estas correlaciones significativas señalan, la importancia que tiene la producción de materia seca y la calidad nutritiva del ensilado de maíz en la producción estimada de leche por hectárea⁽²⁷⁾.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

Los resultados indican, que existen diferencias en la producción y calidad nutritiva del forraje entre los grupos genéticos de maíz evaluados, de entre los cuales sobresale el grupo de híbridos por la mayor MST, PROPEL y producción estimada de leche, y el grupo precoz con germoplasma de valles altos por la mayor calidad forrajera en términos de contenidos de fibra y digestibilidad. Dentro de grupos, hubo poblaciones con características aceptables en producción y calidad forrajera que las hace deseable como fuentes de germoplasma donadora; destacando, la población 800 C5, Lucio

Blanco, Pob42 ETO IL, CPAB3, P3066WF2, A7597F2 y los híbridos Pantera Y AS900. Los contenidos de FDN y FDA fueron las variables más relacionadas con la DIV; mientras que la producción de MST, PROPEL, EP y el contenido de FDN lo fueron con la producción estimada de leche; por lo cual, en la formación de materiales de maíz para forraje se deben considerar tanto las variables de producción, como las de calidad nutritiva. Cabe aclarar, que el desempeño de los materiales se limita a un solo año de estudio y que su comportamiento puede variar en años con cambios notables en las condiciones meteorológicas y de manejo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo brindado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología al proyecto I32931-B, del cual se derivó el presente escrito.

LITERATURA CITADA

- Núñez HG, Contreras F, Faz R, Herrera R. Selección de híbridos para obtener mayor rendimiento y alto valor energético en maíz para ensilaje. En: Componentes tecnológicos para la producción de ensilados de maíz y sorgo. SAGAR-INIFAP-CIRNOC-CELALA 1999:2-5.
- 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.
- Wolf DP, Coors JG, Albrecht KA, Undersander DJ, Carter PR. Forage quality of maize genotypes selected for extreme fiber concentrations. *Crop Sci* 1993a;(33):1353-1359.
- 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.
- 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.
- Ruggero B, Bertola LM. Selección de probadores para aptitud forrajera en maíz (*Zea mays* L.) [resumen]. Memorias XVIII congreso nacional de fitogenética 2000:251.
- Dhillon, BS, Paul Chr, Zimmer E, Gurrath PA, Klein D, Pollmer WG. Variation and covariation in stover digestibility traits in diallel crosses of maize. *Crop Sci* 1990;(30):931-936.
- 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(Suppl 1):221.
- 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.
- Herrera SR. La importancia de los maíces y sorgos mejorados para la producción de ensilaje. En: Componentes tecnológicos para la producción de ensilados de maíz y sorgo. SAGAR-INIFAP-CIRNOC-CELALA 1999:47-52.
- Van Soest PJ. Nutritional ecology of the ruminant. Corvallis, Oregon, USA: O and B books, Inc; 1982.
- Tilley JMA, Terry RA. A two-stage technique for the in vitro digestion of forages. *J Brit Grassland Soc* 1963;18:104-111.
- Goering HK, Van Soest PJ. Forage fiber analysis (apparatus, reagents, procedures, and some applications). USDA-ARS Agric 1970; Handbook No. 379.
- Undersander DJ, Howard WT, Sahver RD. Milk per acre spreadsheet for combining yield and quality into a single term. *J Prod Agric* 1993;(2):231-235.
- Littell RC, Milliken GA, Stroup WW, Wolfinger RD. SAS System for mixed models. Cary NC, USA: Books by users; 1996.
- Freud RJ, Littell RC. SAS System for regression. 2nd edition. Cary NC, USA:SAS Inst. Inc; 1991.
- Henderson MS, Robinson DL. Environmental influences on fiber component concentrations of warm-season perennial grasses. *Agron J* 1982;(74):573-579.
- Núñez HG, Cantú BJE. Producción, composición química y digestibilidad de forraje de sorgo x sudán de nervadura café en la región norte centro de México. *Téc Pecu Méx* 2000;(3):177-188.
- 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.
- Coors JG. Nutritional factors related to European corn borer resistance in maize. In: Wilkinson D editor. Proc 42nd Annu. Corn and Sorghum Res. Conf., Chicago, IL. Washington DC: American Seed Trade Assoc. 1988:76-88.
- 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.
- Coors JG, Albrecht KA, Bures EJ. Ear-fill effects on yield and quality of silage corn. *Crop Sci* 1997;(37):243-247.
- Barriere Y, Hebert Y, Julier B, Young E, Furstoss V. Genetic variation for silage and NIRS traits in a half-diallel design of 21 inbred lines of maize. *Maydica* 1993;(38):7-13.
- Russell JR, Irlbeck NA, Hallauer AR, Buxton DR. Nutritive value and ensiling characteristics of maize herbage as influenced by agronomic factors. *Anim Feed Sci Tech* 1992;(38):11-24.
- Argillier O, Hébert Y, Barrière Y. Relationships between biomass yield, grain production, lodging susceptibility and feeding value in silage maize. *Maydica* 1995;(40):125-136.
- Crasta OR, Cox WJ, Cherney JH. Factors affecting maize forage quality development in the northeastern USA. *Agron J* 1997;(89):251-256.
- Cox WJ, Cherney DR, Hanchar JJ. Row spacing, hybrid, and plant density effects on corn silage yield and quality. *J Prod Agric* 1998;(1):128-134.