ITEA (1995), Vol. 91A N.º 1, 13-22

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA FRACCIÓN VEGETATIVA DE MAÍCES FORRAJEROS OBTENIDOS POR CRUCE ENTRE POBLACIONES DE ORIGEN TROPICAL Y MATERIAL ADAPTADO

A. Ferret*
J. Plaixats*
E. Albanell*
L. Bosch**
F. Casañas**
A.M.C. Verdu**
F. Nuez***

* Facultad de Veterinaria
U.A.B., 08193 Bellaterra

** Escola Sup. d'Agricultura
Urgell 187, 08036 Barcelona

*** E.S. Ingenieros Agrónomos
Camino de Vera, 46022 Valencia

RESUMEN

Un total de 45 poblaciones de maíz obtenidas mediante el cruce de maíces de origen tropical (material exótico) con las líneas puras Mo17 y B73 (material adaptado) fueron evaluadas con el fin de conocer sus posibilidades como fuente para la obtención de maíces forrajeros.

En una primera experiencia, se estudió la composición química y la digestibilidad de 36 de estas poblaciones, comparándolas con dos híbridos comerciales de referencia. El contenido proteíco de la fracción vegetativa de los semiexóticos (exótico x adaptado) fue superior al de los híbridos de referencia (7,8 % vs 6,8 %), mientras que los híbridos superaron a los semiexóticos en contenido de pared celular (73,1 % vs 68,8 %). A pesar de ello, la digestibilidad de la materia seca fue de 50,1 % para los semiexóticos y de 51,7 % para los híbridos, ya que éstos si bien presentaron un mayor contenido en pared celular, ésta resultó ser más digestible.

En una segunda experiencia, las 9 poblaciones semiexóticas restantes fueron sembradas en tres localidades distintas con el fin de estudiar el efecto localidad sobre los parámetros químicos y de digestibilidad, resultando todos ellos afectados significativamente por este factor de variación a excepción del contenido en pared celular.

Palabras clave: Maíz forrajero, Germoplasma exótico, Composición química, Digestibilidad.

SUMMARY

QUALITY EVALUATION OF STOVER FORAGE MAIZE OBTAINED BY CROSS-ING TROPICAL WITH ADAPTED MATERIAL

Forty-five maize populations obtained by crossing between tropical and adapted materials were evaluated in two experiments to find out their suitability as a source to obtain forage maizes.

In experiment one, the chemical composition and the digestibility were studied in thirty-six populations and compared with two commercial hybrids. The stover protein content of semiexotic materials was higher than the hybrids' (7.8 % vs 6.8 %), whereas the hybrids exceeded the semiexotics in the cell wall content (73.1 % vs 68.8 %). In spite of this, the dry matter digestibility was 50.1 % and 51.7 % for the semiexotic materials and hybrids, respectively, as the hybrids cell wall digestibility was higher than the semiexotics cell wall digestibility.

In experiment two, another nine semiexotic populations were cultivated in three different places to study the environmental effect on chemical composition and digestibility. All the parameters were affected by the location effect except the cell wall content.

Key words: Forage maize, Exotic germplasm, Chemical composition, Digestibility.

Introducción

El uso de maíces de origen tropical (exótico) en zonas de fotoperíodo largo comporta un alargamiento del ciclo de maduración (THOMPSON 1968; IGLESIAS y HALLAUER, 1989), un gran desarrollo vegetativo de la planta (THOMPSON 1968; KING et al., 1972; IGLESIAS y HALLAUER, 1989) y un incremento en la producción total de materia seca (THOMPSON, 1968; KING et al., 1972), aunque con una menor proporción de grano (EFRON y EVERETT, 1969; ALBRECHT y DUDLEY, 1987).

THOMPSON (1968) al evaluar el interés forrajero del material tropical obtuvo una mayor producción de materia seca con los maíces exóticos y semiexóticos (exótico x adaptado) que con los híbridos que usó de referencia. El contenido en proteína bruta de los exóticos fue más bajo que el de los híbridos, mientras que el contenido en fibra bruta fue más elevado.

El alargamiento del ciclo de la planta es una de las causas que en mayor grado dificultan el uso de material de origen tropical en las regiones centroeuropeas (KAAN y DERIEUX, 1986). Las características climatológicas de la cuenca mediterránea hacen que este inconveniente desaparezca y, por ello, que la mezcla de germoplasma exótico con adaptado pueda ser una vía interesante para la obtención de maíces forrajeros.

Un incremento de producción de la fracción vegetativa en una población semiexótica fue puesto ya de manifiesto por FERRET et al. (1990) en la región mediterránea. En otra experiencia CASAÑAS et al. (1991) encontraron que algunas poblaciones semiexóticas no mejoradas producían tanta o más materia seca digestible que los híbridos comerciales usados para la comparación, por lo que ello ofrecía buenas perspectivas para futuros programas de mejora.

Este trabajo tiene por objeto dar información sobre la composición química y la digestibilidad de la fracción vegetativa de diversas poblaciones semiexóticas obtenidas mediante el cruce de material de origen tropical con material adaptado. Además, a través de su comparación con híbridos testigo, se quiere comprobar si las características cualitativas de estos materiales significan un impedimento para su utilización en programas de mejora.

Material y métodos

Las poblaciones exóticas de origen tropical fueron proporcionadas por el CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). Como material adaptado se usaron las líneas puras B73 y Mo17, consideradas como material élite para la obtención de híbridos de maíz de ciclo FAO 700-800. En total se evaluaron, en dos ensayos realizados en dos años consecutivos, 45 poblaciones semiexóticas. Las poblaciones estaban dispuestas en el campo según un diseño de tres bloques al azar.

En el primer ensayo (año 1990) se estudiaron 36 poblaciones semiexóticas con el fin de conocer la composición química y los valores de digestibilidad de la fracción vegetativa de la planta. El cultivo se realizó en Terrassa (Vallés Occidental) en condiciones de regadío y a una densidad de 66.000 plantas/ha. Los híbridos Mo17 x B73 (ciclo FAO 700) y P3183 (ciclo FAO 800) se emplearon como testigos de referencia.

En el segundo ensayo (1991), 9 poblaciones semiexóticas se sembraron en tres localidades distintas: Riudellots (La Selva), Les Franqueses (Vallès Oriental) y Terrassa (Vallès Occidental), con el fin de estudiar el efecto ambiental sobre la composición química y la digestibilidad de la fracción vegetativa. Las condiciones de cultivo fueron las mismas que las citadas en el primer ensayo.

En ambos ensayos, las plantas se cosecharon al detectar mediante muestreo que el grano empezaba a presentar una consistencia dura y se separó la espiga de la fracción vegetativa. La muestra para análisis de la parte vegetativa de la planta se obtuvo después de mezclar submuestras procedentes de los tres bloques, se secó a 60 °C en una estufa de ventilación forzada y se molió posteriormente en un molino para forrajes (1 mm).

El análisis de las muestras se realizó por duplicado. El contenido en materia seca (MS), cenizas (C), N Kjeldhal x 6,25 o proteína bruta (PB) y fibra bruta (FB) se determinó según la metodología Weende (AOAC, 1984). La determinación de la fibra neutro detergente (FND) y de la fibra ácido detergente (FAD) se efectuó según Goering y Van Soest (1970). El contenido en lignina ácido detergente (LAD) se obtuvo mediante tratamiento con H_2SO_4 72 % (GOERING y VAN SOEST, 1970).

La digestibilidad enzimática de la materia seca (DMS) se obtuvo mediante el método propuesto por AUFRÈRE (1982) y la digestibilidad de la pared celular (Dpc) se estimó aplicando la ecuación de STRUIK (1983) propuesta específicamente para la

fracción vegetativa del maíz. La ecuación estima la digestibilidad de la pared celular a través de la digestibilidad de la materia orgánica, calculada a partir de la DMS (AUFRÈRE y DEMARQUILLY, 1989), del contenido en pared celular (FND) y del contenido en cenizas (C).

La matriz de correlaciones entre todas las variables estudiadas, así como la regresión "stepwise" empleando DMS como varible dependiente y FND, FAD, LAD, FB, PB y C como variables independientes, se obtuvieron usando el paquete estadístico BMDP (DIXON et al., 1988). A su vez, la búsqueda del efecto de la localidad sobre los parámetros de calidad se realizó mediante análisis de la varianza, empleando el mismo paquete estadístico y hallando las diferencias entre tratamientos con el empleo del test de la mínima diferencia significativa.

Resultados y discusión

Primer ensayo

Composición química

El Cuadro 1 muestra los valores medios y extremos de la composición química de la fracción vegetativa de las poblaciones semiexóticas y de los híbridos referenciales que se estudiaron en la primera experiencia. Estos valores analíticos están dentro de los rangos publicados por otros autores utilizando materiales comerciales (DEINUM et al., 1983; CAÑAS et al. 1987; ALIBES y TISSERAND 1990).

El promedio de las poblaciones semiexóticas fue un 14,8 % superior en proteína bruta al de los híbridos testigo. Valores proporcionalmente más próximos, entre ambos tipos de materiales, se encontraron en relación al residuo ligno-celulósico, tanto si se considera el valor obtenido mediante la fibra bruta (un 2,5 % superior en los híbridos), como si se utiliza el de fibra ácido detergente (superior también en los híbridos en un 2,3 %).

El contenido total en pared celular (FND) de los materiales semiexóticos fue, en promedio, inferior en un 5,8 % al contenido parietal de los híbridos, probablemente debido a que la translocación de fotosintetizados hacia la espiga está maximizada en los híbridos comerciales. Al estimar por diferencia la composición de la pared celular, se observó que los contenidos en celulosa y hemicelulosas fueron superiores en los híbridos que en los semiexóticos (4,1 % y 7,9 %, respectivamente). Contrariamente, el contenido en lignina de los nuevos materiales es más elevado (10,8 %), siendo a la vez este parámetro el que presenta un nivel de variación más alto (CV = 10,04).

La variabilidad de los valores de fibra detectada con los materiales semiexóticos fue claramente superior a la hallada por CAÑAS et al. (1987) en 32 híbridos comerciales de ciclo FAO comprendido entre 500 y 800. Este hecho es también atribuible a la ya mencionada máxima translocación de fotosintetizados hacia la espiga en los híbridos comerciales.

Los resultados analíticos obtenidos al comparar las medias de los semiexóticos creados con cada una de las dos líneas, no permiten diferenciar las poblaciones semiexóticas originadas con una u otra línea pura, siendo las medias muy similares tanto con Mo17 como con B73 (Cuadro 1).

Digestibilidad

La digestibilidad de la materia seca (DMS) de los semiexóticos fue, en prome-

CUADRO 1
COMPOSICIÓN Y DIGESTIBILIDAD DE LA PARTE VEGETATIVA DE LOS HÍBRIDOS DE REFERENCIA, DEL CONJUNTO DE LAS POBLACIONES SEMIEXÓTICAS Y DE LOS CRUCES ESPECÍFICOS CON CADA LÍNEA (X MO17 Y X B73)

Determinaciones: (% sobre MS)	MS	C	PB	FB	FND	FAD	LAD	DMS	Dpc
– Híbridos:									
Media	93,02	11,61	6,75	35,96	73,07	42,17	5,17	51,71	55,76
Error Standard	0,06	0,20	0,46	0,08	0,63	0,16	0,18	0,35	0,65
P-3183	93,08	11,33	6,10	35,85	73,96	42,39	5,41	52,19	56,67
Mo17xB73	92,96	11,89	7,39	36,07	72,18	41,95	4,92	51,22	54,85
– Semiexóticos:									
Media	92,62	11,15	7,75	35,05	68,81	41,19	5,73	50,08	50,97
Error Standard	0,07	0,18	0,09	0,28	0,45	0,36	0,10	0,60	0,57
Máximo	93,51	13,73	8,90	38,18	73,55	45,13	7,17	60,10	56,87
Mínimo	91,88	9,24	6,31	31,06	61,45	34,88	4,71	40,99	43,44
CV (%)	0,46	9,47	7,14	4,70	3,94	5,23	10,04	7,22	6,71
– x Mo17:									
Media	92,59	10,79	7,70	35,32	68,45	41,28	5,65	50,31	50,78
Error Standard	0,11	0,25	0,17	0,48	0,77	0,62	0,15	0,98	0,90
– x B73:									
Media	92,67	11,50	7,76	34,87	69,33	41,18	5,79	49,66	51,04
Error Standard	0,09	0,23	0,09	0,30	0,48	0,41	0,13	0,74	0,75

dio, un 3,1 % más baja que la digestibilidad de los híbridos. BOSCH et al. (1992) en un estudio realizado con 24 maíces híbridos comerciales de ciclo FAO comprendido entre 600 y 800, encontraron un valor medio de digestibilidad "in vitro" de la materia seca del 53,4 %, con valores extremos (máximo 62,6 y mínimo 43,5) próximos a los hallados en nuestros materiales semiexóticos (Cuadro 1) y con igual rango de variación.

Por su parte, la digestibilidad de la pared celular (Dpc) de los semiexóticos fue un 8,6 % más baja que la de los híbridos de referencia. Este resultado fue concordante con la composición de la pared de ambos tipos de materiales, según se ha comentado en el apartado anterior. Por lo tanto, los híbridos, si bien presentaron un mayor contenido en pared celular, la digestibilidad de la misma fue superior, por lo que finalmente la digestibilidad de la materia seca fue más elevada.

La digestibilidad de la materia seca de la planta entera se estimó a través de las producciones fraccionales de parte vegetativa y de mazorca, de la digestibilidad de la primera fracción obtenida por la técnica enzimática y de la asunción de un valor constante e igual a 83,0 % de digestibilidad en la espiga, según ha sido sugerido por diversos autores (DEMARQUILLY, 1969; DEINUM y BAKKER, 1981). Si los materiales semiexóticos tuvieron un valor de digestibilidad de 62,2 %, la de los híbridos de referencia resultó ser de 70,1 %.

$$\text{Digestibilidad planta entera} = \frac{\text{Producción planta x DMS + Producción mazorca x 0,83}}{\text{Producción planta entera}}$$

CUADRO 2
CORRELACIONES GENOTÍPICAS ENTRE LAS VARIABLES ANALÍTICAS ESTUDIADAS

	DMS	Dpc	FND	FAD	LAD	FB	PB	C
DMS	–							
Dpc	0,84	–						
FND	–0,62	–0,12	–					
FAD	–0,65	–0,29	0,77	–				
LAD	–0,35	–0,19	0,30	0,63	–			
FB	–0,63	–0,25	0,79	0,90	0,49	–		
PB	0,28	0,06	–0,50	–0,28	0,11	–0,27	–	
C	–0,06	0,31	0,41	0,41	0,30	0,40	0,09	–

Valores de r superiores a 0,41 significativos P<0,01; valores comprendidos entre 0,33 y 0,41 significativos P<0,05

Así pues, parece confirmarse también en estos materiales que a través del alargamiento del ciclo y, sobre todo, de la menor proporción de grano como consecuencia del gran desarrollo de la fracción vegetativa, el valor nutritivo disminuye (HEMKEN et al., 1971; PHIPPS, 1975; GALLAIS et al., 1976; BARRIÈRE y TRAINEAU, 1986).

Correlaciones entre variables

Al ser los semiexóticos materiales poco estudiados, puede ser interesante conocer como se estructuran los factores que determinan la digestibilidad de la materia seca de la parte vegetativa. Para ello, se calcularon las correlaciones genotípicas existentes entre todas las variables estudiadas, a través de sus correlaciones fenotípicas medias (Cuadro 2).

Del estudio de estas correlaciones se desprende que la digestibilidad de la pared celular (Dpc) y el residuo ligno-celulósico (FAD) de la propia pared son los factores que en mayor proporción determinan la digestibilidad de la materia seca (coeficientes de correlación de 0,84 y de -0,65, respectivamente).

La búsqueda de un sistema de valoración de la calidad de la planta más útil, por rápido, para el mejorador nos llevó a realizar un análisis de regresión "stepwise" entre la digestibilidad enzimática de la materia seca y las determinaciones analíticas realizadas. El análisis escogió únicamente a la fibra ácido detergente, sin que ninguna otra determinación permita mejorar significativa-

CUADRO 3
COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALORES DE DIGESTIBILIDAD DE LA PARTE VEGETATIVA DE LAS POBLACIONES SEMIEXÓTICAS ESTUDIADAS EN EL SEGUNDO ENSAYO EN FUNCIÓN DE LA LOCALIDAD, INDICANDO PARA CADA PARÁMETRO LA SIGNIFICACIÓN ESTADÍSTICA DE ESTE FACTOR DE VARIACIÓN

Parámetros (sobre MS)	LOCALIDADES		
	Terrassa ($\bar{X}$ ± ES)	Les Franqueses ($\bar{X}$ ± ES)	Riudellots ($\bar{X}$ ± ES)
C	8,77±0,21ab	8,30±0,25a	9,40±0,22b
PB	5,26±0,19a	8,23±0,25b	6,60±0,17c
FB	33,67±0,76a	30,30±0,48b	32,91±0,58a
FND	67,39±1,28a	65,44±0,96a	66,58±0,84a
FAD	40,08±0,97a	35,72±0,51b	38,36±0,62a
LAD	5,64±0,17a	4,89±0,22b	5,10±0,11ab
DMS	46,10±1,01a	51,44±0,80b	48,64±0,82b
Dpc	43,88±0,34a	48,44±0,56b	46,59±0,72b

Medias seguidas por letras distintas son diferentes (P<0,05)

mente la correlación alcanzada (r = -0,65, R.S.D. = ±2,84). La ecuación de regresión definida es la siguiente: DMS = 94,86 - 1,09 FAD

La gran influencia de la digestibilidad de la pared celular en la digestibilidad de la materia seca ha sido también hallada en híbridos comerciales (Bosch et al., 1992), aunque en estos últimos materiales la proporción de pared influye poco en la digestibilidad de la materia seca. Esta discrepancia probablemente sea debida a que en los híbridos comerciales hay una mayor tasa de translocación hacia la espiga. Por último, queremos remarcar la baja correlación existente entre FND y Dpc que coincide con la encontrada igualmente en híbridos comerciales por Bosch et al. (1992).

Segundo ensayo

Influencia de la localidad

El Cuadro 3, por su parte, resume la composición y digestibilidad de los 9 semiexóticos sembrados en las tres localidades en

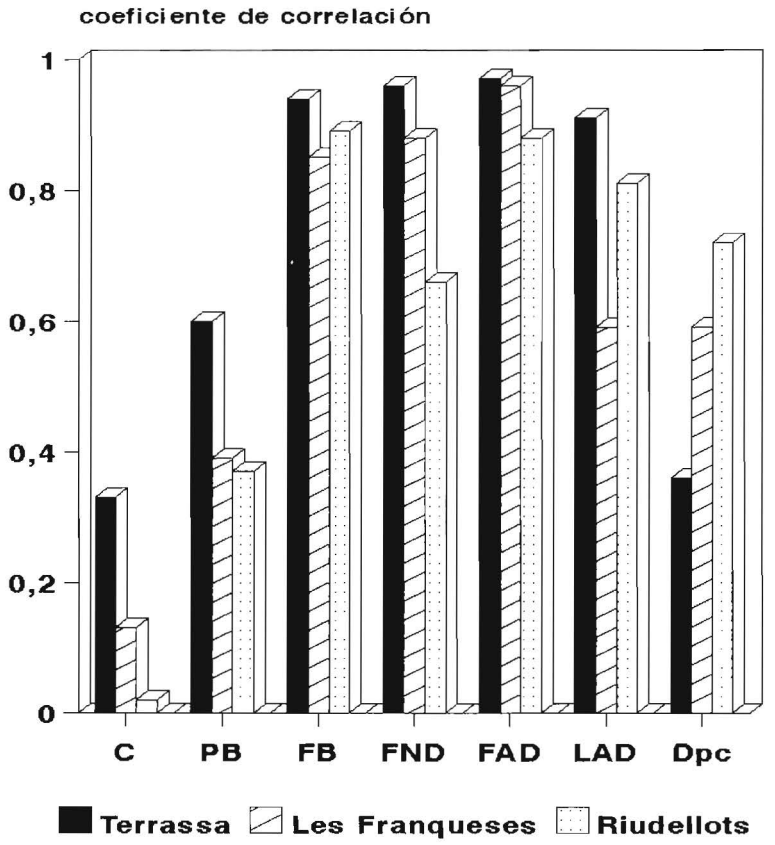


Figura 1. Representación gráfica de los coeficientes de correlación entre la DMS enzimática y las determinaciones analíticas de la fracción vegetativa de los materiales semiexóticos sembrados en tres localidades.

el segundo ensayo. Los valores hallados en las determinaciones están, en líneas generales, entre los márgenes encontrados en el primer ensayo.

Tanto la digestibilidad como los valores analíticos que se estudiaron variaron en función del lugar de siembra. Sólo el contenido en pared celular no se vió afectado por la localidad.

Los parámetros cuyo coeficiente de variación alcanzó resultados extremos fueron los mismos que ya habían respondido así en la primera experiencia. La variabilidad más elevada, en las tres localidades, se halló en los valores de lignina ácido detergente, mientras que la menor variación fue la encontrada para la digestibilidad de la pared celular.

Por último, se obtuvieron las correlaciones entre las determinaciones analíticas y la digestibilidad enzimática de la materia seca en cada una de las tres localidades, confirmándose, en todas ellas, que el residuo ligno-celulósico de Van Soest fue el que presentó un coeficiente de correlación más elevado (Figura 1).

Conclusión

En resumen, resulta interesante constatar que las características analíticas de los materiales semiexóticos evaluados presentan valores que se encuentran dentro de los márgenes hallados en los materiales convencionales. La calidad de la planta de estos materiales no parece pues ser un obstáculo para su incorporación en los programas de mejora de maíz forrajero.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado mediante una subvención de la CICYT (AGR89-0373).

Bibliografía

ALBRECHT B., DUDLEY J.W., 1987. Evaluation of four maize populations containing different proportions of exotic germplasm. Crop Science, 27, 480-486.

ALIBES X., TISSERAND J.L., 1990. Tableaux de la valeur alimentaire pour les ruminants des fourrages et sous-produits d'origine méditerranéenne. IAMZ/ CIHEAM. Options Méditerranéennes. Serie B:Etudes et Recherches, 4, 152 p.

AOAC, 1984. Official Methods of Analysis Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C.

AUFRERE J., 1982. Etude de la prévision de la digestibilité des fourrages par un methode enzymatique. Ann. Zootechnie, 31, 111-130.

AUFRERE J., DEMARQUILLY C., 1989. Predicting organic matter digestibility of forage by pepsin-cellulase methods. Proc. XVI International Grassland Congress, Nice. 877-878.

BARRIERE Y., TRAINEAU R., 1986. Characterization of silage maize: Patterns of dry matter production, LAI evolution and feeding in late and early genotypes. In: Breeding of silage maize. Dolstra and Miedema (editors), Pudoc, Wageningen, 131-136.

BOSCH L., F. MUÑOZ, F. CASAÑAS, E. SANCHEZ, F. NUEZ, 1992. Valoración forrajera de 24 híbridos comerciales de maíz de ciclo largo: parámetros de producción de biomasa y de calidad nutritiva. Invest. Agr.:Prod. Prot. Veg., 7 (2), 129-142.

CAÑAS S., BOSCH L., CASAÑAS F., 1987. Estimación de la digestibilidad en híbridos comerciales de maíz de ciclo largo. ITEA, 72, 33-43.

CASAÑAS F., BOSCH L., FERRET A., VERDU A.M.C., PLAIXATS J., ALBANELL E, NUEZ F., 1991. Optimization of the digestible dry matter yield from semiexotic populations of maize. An. Aula Dei, 20 (3-4), 41-50.

DEINUM B., BAKKER J.J., 1981. Genetic differences in digestibility of forage maize hybrids. Netherland Journal Agricultural Science, 29, 93-98.

DEINUM B., STEG A., HOF G., 1983. Measurement and prediction of digestibility of forage maize in Netherlands. Animal Feed Science and Technology, 10, 301-313.

DEMARQUILLY C., 1969. Valeur alimentaire du maïs fourrage.I. Composition chimique et digestibilité du maïs sur pied. Annales de Zootechnie, 18, 17-32.

DIXON W.J., BROWN M.B., ENGELMAN L., HILL M.A., JENNRICH R.I., 1988. Statistical Software Manual. University of California Press. Berkeley, 1234 pp.

EFRON Y., EVERETT H.L., 1969. Evaluation of exotic germplasm for improving corn hybrids in northern United States. Crop Science, 9, 44-47.

FERRET A., VERDU A.M.C., CASAÑAS F., BOSCH L., NUEZ F., 1990. Improvement in the yield of digestible dry matter in maize using exotic germplasm. Proc. XVth Congress of the Maize and Sorghum Section of EUCARPIA, Baden, Austria, 325-328.

GALLAIS A., POLLACSEK M., HUGUET L., 1976. Possibilités de sélection du maïs en tant que plante fourragère. Annales Amélioration des Plantes, 26, 591-605.

GOERING H.K., VAN SOEST P.J., 1970. Forage Fiber Analysis. ARS, USDA, Agric. Handb. No. 379, Washington DC, 20 pp.

HEMKEN R.W., CLARK N.A., GOERING H.K., VANDERSALL J.H., 1971. Nutritive value of corn silage as influenced by grain content. Journal of Dairy Science, 54, 383-389.

IGLESIAS C.A., HALLAUER A.R., 1989. S2 recurrent selection in maize populations with exotic germplasm. Maydica, 34, 133-140.

KAAN F., DERIEUX M., 1986. Use of exotic maize material and building up of broadly based populations for european breeders. In: Breeding for silage maize. Dolstra and Miedema (ed.). Pudoc, Wageningen, 32-39.

KING C.C., THOMPSON D.L., BURNS J.C., 1972. Plant component yield and cell contents of an adapted and a tropical corn, *Zea mays* L. Crop Science, 12, 446-449.

PHIPPS R.H., 1975. A note on the effect of genotype, density and row width on the yield and quality of forage maize. Journal of Agricultural Science, Cambridge, 84, 567-569.

STRUIK P.C., 1983. The effects of switches in photoperiod on crop morphology, production pattern and quality of forage maize (*Zea mays* L.) under field conditions. Mededelinger Landbouwhogeschool Wageningen, 83, 2, 1-27.

THOMPSON D.L., 1968. Silage yield of exotic corn. Agronomy Journal, 60, 579-581.

(Aceptado para publicación el 30 de enero de 1995)