

# BLAT DE MORO FARRATGER EN ZONES TEMPERADES-SUAUS: ESTRATÈGIES DE MILLORA GENÈTICA PER A UN FUTUR PRÒXIM

F. Casañas, L. Bosch, E. Sánchez, A. Almirall.  
Departament d'Agronomia.  
J. Valero. Departament d'Enginyeria Rural.  
*Escola Superior d'Agricultura de Barcelona*  
F. Nuez. Departament de Biotecnologia.  
*Escola Tècnica Superior d'Enginyers Agrònoms de  
València*

## Resum

El blat de moro farratger adaptat a zones temperades-suaus, com Catalunya, hauria de: (i) maximitzar les produccions de gra i de part vegetativa; (ii) tenir una proporció de gra que assegurés aproximadament un 35 % de matèria seca en ser ensilat; (iii) maximitzar la digestibilitat de la part vegetativa; i (iv) no presentar "persistència verda", per afavorir la collita primerenca. Amb l'objectiu final d'obtenir híbrids, se suggereix tant l'obtenció de línies pures farratgeres, a partir exclusivament de material adaptat, com la introducció de material exòtic. La millora de les produccions, especialment la producció de part vegetativa, sembla un objectiu realista, ja que es poden esperar progressos aprofitant l'heretabilitat i l'heterosi dels caràcters implicats. Els avenços en la digestibilitat de la part vegetativa semblen més difícils d'aconseguir, atesa la baixa heretabilitat dels seus components. L'absència d'heterosi en aquests caràcters obligaria a fer una selecció dins de les poblacions. En aquest sentit, la selecció per digestibilitats superiors de la paret cel·lular és el millor camí per millorar la digestibilitat de la part vegetativa. Per tal de maximitzar la producció de matèria seca digestible total, els components més importants que cal millorar són les produccions de gra i de part vegetativa. Tot i així, tenint en compte que aquesta maximització no es pot aconseguir baixant indefinidament la digestibilitat total de la planta, s'han d'establir els límits més enllà dels quals la digestibilitat total i la de la part vegetativa afecten el rendiment dels animals. Només per mitjà d'aquests estudis serà possible elaborar un ideotip útil, més enllà de les especulacions acadèmiques.

## Mots clau

Blat de moro farratger, digestibilitat, producció, millora genètica, germoplasma.

## Resumen

El maíz forrajero adaptado a zonas templadas-suaves, como Catalunya, debería: (i) maximizar las producciones de grano y parte vegetativa; (ii) tener una proporción de grano que asegurara aproximadamente un 35% de materia seca en el momento del ensilado; (iii) maximizar la digestibilidad de la parte vegetativa, y (iv) no presentar "persistencia verde", para favorecer la cosecha temprana. Con la intención final de obtener híbridos, se sugiere, tanto la obtención de líneas puras forrajeras a partir exclusivamente de material adaptado, como la introducción de material exótico. La mejora de la producción, especialmente la de la parte vegetativa, parece un objetivo realista, ya que pueden esperarse buenos progresos aprovechando la heredabilidad y la heterosis de los caracteres implicados. Los avances en la digestibilidad de la parte vegetativa parecen más difíciles de conseguir, dada la baja heredabilidad de sus componentes. La ausencia de heterosis en estos caracteres obligaría a seleccionar dentro de poblaciones, siendo la selección para digestibilidades superiores de la pared celular, el mejor medio para mejorar la digestibilidad de la parte vegetativa. Con el fin de maximizar la producción de materia seca digestible total, los principales componentes por mejorar son las producciones de grano y parte vegetativa. Sin embargo, ya que esta maximización no debe conseguirse disminuyendo indefinidamente la digestibilidad total de la planta, deben establecerse los límites a partir de los cuales las digestibilidades total y de la parte vegetativa afectan al rendimiento de los animales. Únicamente mediante estos estudios será posible elaborar un ideotipo útil, más allá de las especulaciones académicas.

## Palabras clave

Maíz forrajero, digestibilidad, producción, mejora genética, germoplasma

## Abstract

Forage maize adapted to mild-temperate zones, like Catalonia, should: (i) maximise ear and stover yields, (ii) have a proportion of grain that ensures a percentage of dry matter of approximately 35% at silage, (iii) maximise the digestibility of the stover, and (iv) not be stay-green to favour early harvesting. With the final aim of obtaining hybrids, it is suggested either to achieve forage inbreds only from adapted materials or to introduce exotic material into the process. Improved yields, especially stover yields, seem a realistic objective, as much progress could be expected by taking advantage of the heritability and heterosis of the traits involved. Advances in stover digestibility seem more difficult to achieve, owing to the low heritability of its components. The lack of heterosis in these traits would require selection within populations. Intrapopulation selection for increased digestibility of the cell wall content is probably the best way to improve stover digestibility. In order to maximise the total digestible dry matter yield, the most important components to improve are stover and grain yield. However, as this maximisation cannot be achieved at any cost (whole-plant digestibility cannot drop below a certain level to favour high yields), the limits of stover and whole-plant digestibility, significantly affecting animal performance, need to be established. Only through these studies will it be possible to construct a useful ideotype which goes beyond academic speculation.

## Key words

Forage maize, digestibility, yield, breeding, germplasm.

## Introducció

### Importància del blat de moro farratger en les zones temperades-suaus

Aquestes zones són àrees no tropicals amb temperatures moderades durant un llarg període de l'any i amb prou disponibilitat d'aigua per al desenvolupament del blat de moro. Al llarg del període favorable per al creixement de la planta, aquestes regions tenen més hores de llum que les regions tropicals. Com que el blat de moro farratger es recull abans que el gra hagi assolit la maduresa fisiològica, en aquestes àrees es pot utilitzar germoplasma tardà o ultratardà (FAO 800 o més llarg). Les comarques catalanes abans esmentades, algunes zones d'Andalusia i la part baixa de la vall del Roine serien exemples propers d'aquests ambients. Per tant, es necessiten materials específics adaptats a aquestes regions i l'obtenció no té per què seguir els mateixos camins que en les regions fredes. De fet, l'establiment de quotes lleteres en alguns països industrialitzats i la creixent influència dels moviments conservacionistes probablement afavoriran tant el reciclatge in situ dels subproductes de les explotacions lleteres, com un canvi en la política agropecuària, orientada a reduir la quantitat d'aliment concentrat que es dona als animals en benefici d'un increment del farratge.

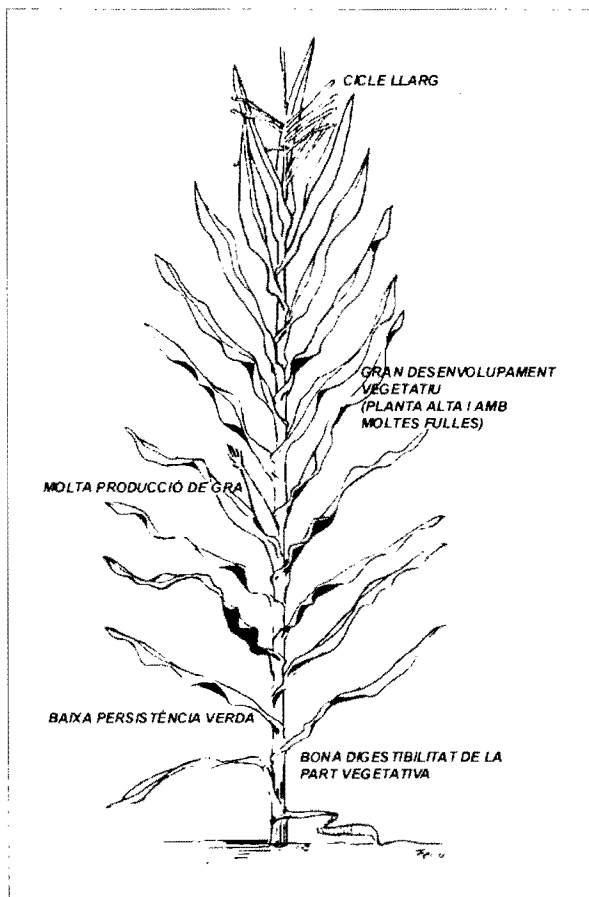
### El blat de moro farratger per a les zones temperades-suaus

Des que es va veure clar que el blat de moro farratger primerenc havia de ser diferent del destinat a produir gra, s'han planejat i executat diverses estratègies per tal d'obtenir-ne (GUNN, 1978; GALLAIS *et al.*, 1981; PINTER, 1986). Actualment, sembla que hi ha consens en el fet que s'ha de maximitzar la producció de matèria seca digestible total per hectàrea, però amb les restriccions següents: a) el percentatge de matèria seca en el moment de la collita ha d'estar comprès entre el 30 i el 37 % per tal d'assegurar una bona conservació i ingestió (MESNIL, 1990; ZIMMER, 1990; BARRIÈRE *et al.*, 1996); i b) s'ha d'assolir una certa quantitat de gra per tal d'assegurar nivells acceptables de digestibilitat i de transformació en llet o carn per part de l'animal, ja que el gra és més digestible que la part vegetativa. D'altra banda, no disposem de proves concloents que determinin l'interval de digestibilitats dins del qual el blat de moro pot ser usat com a

menjar per als remugants, encara que probablement s'ha sobrevalorat la importància de la proporció de gra en l'ensitjat. A més, les prediccions basades en la digestibilitat i la ingestió sovint no es corresponen amb els resultats obtinguts quan se'n valora la transformació en llet, amb la qual cosa, dins de certs intervals de digestibilitat, no hi ha diferències pel que fa a la transformació (GALLAIS *et al.*, 1975; BARRIÈRE i ÉMILE, 1990; ÉMILE i BARRIÈRE, 1992; BARRIÈRE *et al.*, 1995). Amb tot, les dades experimentals obtingudes fins ara assenyalen que la mínima proporció acceptable de gra estaria al voltant del 40 % (MESNIL, 1990; BARRIÈRE *et al.*, 1996; BARRIÈRE i ÉMILE, 1990).

Totes aquestes característiques també haurien de ser presents en un blat de moro ideal cultivat en zones temperades-suaus, tot i amb algunes diferències importants respecte del material primerenc. Per exemple, un dels principals problemes a les regions fredes (amb un període lliure de gelades curt o molt curt) és assolir una proporció suficient de matèria seca per assegurar un bon ensitjament; en canvi, a les regions temperades, tenim temps de sobres per permetre la maduració de la planta. En tractar-se, doncs, de situacions diferenciades, proposem les característiques següents com les més importants per definir un blat de moro farratger adaptat a zones temperades-suaus (figura 1):

- Producció de panotxa i de part vegetativa maximitzades. Es pot assolir parcialment ajustant al màxim el cicle de la planta al període lliure de gelades, tenint en compte la forta correlació genètica que hi ha entre cicle i producció. Anem, doncs, cap a blats de moro de cicle llarg o molt llarg (FAO 900-1000).
- Proporció de gra suficientment elevada per assolir un percentatge de matèria seca d'un 35 % en el moment d'ensitjar, i per obtenir una digestibilitat global prou alta que mantingui els nivells de producció de l'animal. Com que no totes les espècies animals obtenen el mateix profit del farratge (BARRIÈRE *et al.*, 1995; PEX *et al.*, 1996; SCHWARZ *et al.*, 1996), seria convenient d'establir diversos models de planta en funció de l'espècie animal.
- Digestibilitat de la part vegetativa de la planta maximitzada per tal d'afavorir la digestibilitat de la planta sencera.
- Baixa persistència verda del material. La persistència verda es considera un caràcter positiu en els materials primerencs ja que incre-



**Figura 1.** Ideotip de blat de moro farratger per a les zones temperades-suaus. Es caracteritza perquè té: i) produccions de panotxa i part vegetativa maximitzades, ajustant al màxim el cicle de la planta al període lliure de gelades; ii) una proporció de gra suficientment elevada per assolir un 35 % de matèria seca en el moment d'ensitjar; iii) digestibilitat de la part vegetativa maximitzada; i iv) baixa persistència verda de la planta.

menta la producció i fa la collita més senzilla. En canvi, en els materials tardans i ultratardans, representa un inconvenient, ja que aquests tenen un índex de collita (proporció de panotxa respecte de la producció total de la planta) més baix que els primerencs. Per tant, el factor persistència verda per a materials ultratardans retardaria molt el moment de la collita si es pretén assolir el percentatge òptim de matèria seca per ensitjar.

### **La situació actual**

De moment, el blat de moro farratger utilitzat en moltes zones temperades-suaus és de cicle una

mica més llarg que l'utilitzat per a gra, quan se'n troba de disponible al mercat. Per exemple, a Catalunya, es fan servir cicles FAO 700-800 perquè no n'hi ha de més tardans, sembrats a una densitat lleugerament més elevada, que els que són per a gra. Seguint la tendència establerta en materials primerencs, les cases productores de llavors han començat recentment a informar en els seus catàlegs del desenvolupament de la part vegetativa i de la persistència verda de la planta, però encara no ho fan sobre la composició química de la part vegetativa o l'índex de collita.

Tenint present l'ideotip proposat anteriorment, el procediment utilitzat pels agricultors per tal de maximitzar la producció de matèria seca digestible total és poc eficient. Hi ha, per tant, encara molts camps per investigar pel que fa als materials tardans. És en aquest context que volem fer alguns suggeriments per avançar en l'obtenció de nous materials farratgers adaptats a les zones temperades-suaus.

### **Característiques genètiques dels caràcters responsables de la producció de matèria seca digestible total**

Com s'ha apuntat anteriorment, la idea que s'han d'obtenir varietats específicament farratgeres per al blat de moro primerenc està àmpliament acceptada (ZIMMER, 1990; BARRIÈRE *et al.*, 1996). Això ha portat a considerar la digestibilitat de la part vegetativa com un criteri per a la inscripció d'híbrids farratgers en els catàlegs oficials d'alguns països europeus (ARGILLIER i BARRIÈRE, 1996). En regions de clima més suau, persisteix la controvèrsia (CARTER *et al.*, 1992) i encara es posa molt d'èmfasi en la proporció de gra en l'ensitjat (COX *et al.*, 1994), tot i que de mica en mica es va prestant més atenció a la producció i a la digestibilitat de la part vegetativa (BOSCH *et al.*, 1992; CUOMO *et al.*, 1998). Ens convé, per tant, repassar les característiques genètiques dels caràcters implicats en la producció de matèria seca digestible total, en el germoplasma que ens pot ser útil, per veure quines expectatives hi ha de millorar-los.

La producció de matèria seca digestible total és el resultat de l'equació producció de panotxa x digestibilitat de la panotxa + producció de part vegetativa de la planta x digestibilitat de la part vegetativa de la planta. Atès que la digestibilitat

de la panotxa presenta poca variació (DEINUM i BAKKER, 1981), fins i tot en un ventall considerable de contingut de matèria seca (DEMARQUILLY, 1969; AERTS *et al.*, 1976; WHITE i WINTER, 1980), ens queden tres components per millorar, tenint presents en tot moment les restriccions abans esmentades sobre els mínims de: digestibilitat total de la planta, percentatge de matèria seca i proporció de gra.

És evident que la millora en la producció de gra i de part vegetativa de la planta s'ha de basar en l'explotació de l'heterosi per mitjà d'híbrids. En canvi, els caràcters que determinen la qualitat nutritiva de la part vegetativa no mostren heterosi (DOLSTRA i MIEDEMA, 1990; SEITZ i GEIGER, 1990) i la seva millora únicament es pot aconseguir per mitjà de la selecció dins de les poblacions.

Tenint en compte les característiques de les zones temperades-suaus, hi ha una notable diversitat de materials que poden ésser emprats;

a més del germoplasma cultivat típicament en aquestes àrees (que anomenarem adaptat), també podem utilitzar material tropical (que anomenarem exòtic). El material exòtic presenta greus dificultats d'adaptació a les zones fredes i sovint no arriba a florir com a conseqüència del canvi en el fotoperíode (KAAN i DERIEUX, 1986). En canvi, l'allargament del cicle (com a resposta a fotoperíodes llargs en les zones temperades-suaus), amb el gran desenvolupament vegetatiu que comporta, pot ser avantatjós (CUOMO *et al.*, 1998) (fotografies 1 i 2). Això és especialment favorable quan el germoplasma exòtic es combina amb materials adaptats (BOSCH *et al.*, 1994) (fotografies 3 i 4). Fins ara, però, amb aquest tipus de cultiu, no s'han aconseguit increments significatius en la producció de gra (HOLLEY i GOODMAN, 1988; HALLAUER, 1990; POLLAK, 1991).

Un recull del germoplasma utilitzable per obtenir blat de moro farratger adequat a les



**Fotografia 1.** El material exòtic (tropical) cultivat al nostre país presenta un gran desenvolupament vegetatiu. El cicle, però, arriba a ser molt llarg com a conseqüència de l'allargament del fotoperíode respecte del de la seva zona d'origen, la qual cosa, en algunes varietats, compromet fins i tot l'obtenció de llavor.



**Fotografia 2.** L'alçada de les plantes exòtiques en fa molt difícil la manipulació, i per tant, per fer els encreuaments controlats, cal utilitzar escales o bastides.



Fotografia 3.- El blat de moro semiexòtic, que resulta d'encreuar material exòtic x adaptat, presenta un desenvolupament vegetatiu i un cicle una mica inferiors als dels pares exòtics, mentre que la seva producció de gra és superior a aquests.

**Fotografia 4.** El germoplasma adaptat (a la dreta de la fotografia) té un desenvolupament vegetatiu inferior al del material semiexòtic, de cicle una mica més llarg (esquerra de la fotografia). Malgrat això, les poblacions d'elit de material adaptat produeixen més gra que les poblacions semiexòtiques, escassament millorades.



zones temperades-suaus ha d'incloure, doncs, material adaptat tardà, material exòtic i material semiexòtic (encreuament entre material exòtic i adaptat).

### 1. Germoplasma adaptat

Les varietats de pol·linització lliure que s'han utilitzat per desenvolupar les línies pures adaptades d'elit per a producció de gra han estat poc considerades des del punt de vista farratger (producció de part vegetativa i característiques nutricionals de la part vegetativa). En canvi, hi ha moltíssima informació disponible referent a la producció de gra, l'altre component bàsic que determina la producció de matèria seca digestible total.

#### *Producció de part vegetativa i la seva digestibilitat.*

La poca informació de què es disposa sobre el primer cas fa referència a les varietats BS13(S2) C4 i Lancaster Surecrop, totes dues obtingudes als EUA a partir de material autòcton. Un estudi comparatiu entre aquestes varietats (FERRET *et al.*, 1991) mostra que la Lancaster té un cicle més curt que la BS13(S2)C4, però les plantes Lancaster són més grans, i tant la seva producció de gra com la de part vegetativa són més elevades (taula 1). Per la seva banda, la població BS13(S2) C4 té una part vegetativa de la planta més digestible, menys variabilitat per a tots els caràcters

**Taula 1.** Comparació de valors fenotípics mitjans entre les poblacions Lancaster i BS13(S2)C4 (FERRET *et al.*, 1991)

	Lancaster	BS13(S2)C4	Test de Student
	x±s.d.	x±s.d.	p≤
Dies a floració masculina	62,92±0,37	67,93±0,30	0,01
Producció de part vegetativa (g/planta)	158,46±5,81	127,85±4,31	0,01
Digestibilitat de la part vegetativa de la planta (%)	47,98±0,66	52,34±0,49	0,01
Producció de matèria digestible de la part vegetativa (g/planta)	76,02±2,54	66,91±1,82	0,05

estudiats i una producció de matèria seca digestible total més baixa (taula 1).

També tenim informació sobre l'estructura dels caràcters quantitius implicats en la producció de farratge de la varietat Lancaster. L'heretabilitat de la producció de part vegetativa oscil·la entre 0,14 (ALMIRALL *et al.*, 1996) i 0,59 (FERRET *et al.*, 1991), la de la digestibilitat de la part vegetativa entre 0,21 i 0,23 (ALMIRALL *et al.*, 1996), la de la fibra neutra detergent entre 0,32 (FERRET *et al.*, 1991; ALMIRALL *et al.*, 1996) i 0,37 (ALMIRALL *et al.*, 1996), la de la digestibilitat del contingut de paret cel·lular entre 0,27 i 0,47 (ALMIRALL *et al.*, 1996), i la de la producció de matèria seca digestible total entre 0,22 i 0,26 (ALMIRALL *et al.*, 1996). Veiem, doncs, que teòricament tots aquests caràcters haurien de respondre a la selecció, ja que les poblacions tenen una abundant variabilitat fenotípica per a ells.

### Producció d'espiga

Com dèiem abans, la informació sobre la producció de gra és molt més abundant. Així, mentre FERRET *et al.* (1991) troben una heretabilitat de la producció de panotxa de 0,30, en la varietat Lancaster recol·lectada en l'estadi òptim per ensitjar, ALMIRALL *et al.* (1996) troben heretabilitats de 0,21 i 0,29 per a la mateixa varietat i en les mateixes condicions de collita. S'han fet nombroses estimacions d'heretabilitat en varietats de cicle mitjà-tardà recollides amb el gra completament madur. HALLAUER i MIRANIDA (1981), resu-

mint clades de molts autors, esmenten heretabilitats compreses entre 0,17 i 0,89 per a la producció de gra (depenent dels assaigs i dels mètodes d'estimació utilitzats) en la varietat Iowa Stiff Stalk Synthetic. Per a les varietats Krug Yellow Dent i Hays Golden, LINDSEY *et al.* (1962) constaten un predomini de la variància genètica additiva per sobre de la variància genètica dominant; en les varietats Golden Republic i Barber Reid (COMPTON *et al.*, 1965), Jarvis i Indian Chief (EBERHART *et al.*, 1966), i Minnesota Synthetic 3 (SENTZ, 1971), s'han obtingut resultats semblants, senyal que existeixen heretabilitats significatives, tot i que la producció de gra presenta una variància ambiental considerable. Si l'heretabilitat estimada per a la producció de gra madur en les varietats esmentades fos similar a l'heretabilitat de la producció de gra recollit per a farratge, s'hauria d'esperar una resposta generalitzada a la selecció per aquest caràcter en les varietats de pol·linització lliure i de cicle llarg, la qual cosa hauria de conduir a un increment de la producció de matèria seca digestible total.

### 2. Germoplasma exòtic i semiexòtic

L'interès a introduir material exòtic en zones temperades per eixamplar la base genètica dels materials correntment utilitzats va començar els anys cinquanta (BROWN, 1953; BRUCE i LINDSTROM, 1954; WELLHAUSEN, 1956; KRAMER i ULLSTRUP, 1959). En canvi, els estudis destinats a avaluar aquests materials per a farratge no van començar fins al 1968 (THOMSON, 1968). Més recentment aquests materials han estat proposats com a candidats per ser cultivats a la regió de "Coastal Plain", al sud-est dels EUA (CUOMO *et al.*, 1998; WIDSTROM i YOUNG, 1980; WIDSTROM *et al.*, 1996), i en climes mediterranis suaus (BOSCH *et al.*, 1994).

### Producció de part vegetativa i digestibilitat

Sabem molt poc sobre la variació genètica tant per a la producció com per a la digestibilitat de la part vegetativa de la planta en poblacions exòtiques i semiexòtiques. De fet, s'han trobat diferències importants del valor fenotípic mitjà d'ambdós caràcters entre poblacions semiexòtiques (BOSCH *et al.*, 1994). Pel que fa a la variació dins de la població, MAS *et al.*, (1998) troben, en el semiexòtic Mo17 x Across 8443 La Posta, heretabilitats de 0,44 per a la producció de part vegetativa de la planta, 0,09 per a la fibra neutra

detergent de la part vegetativa de la planta, 0,13 per a la digestibilitat de la part vegetativa de la planta, 0,15 per a la digestibilitat del contingut de paret cel·lular de la part vegetativa de la planta, i 0,21 per a la producció de matèria seca digestible total.

### *Producció de panotxa*

Com en el cas de les poblacions adaptades, la producció de gra és l'aspecte que ha estat més investigat. SUBANDI i COMPTON (1974) estudien la variabilitat de la població formada per la varietat canadenca Gaspé, encreuada amb tres varietats sud-americanes (ETO, Nariño 330, Perú 330). Després d'un lleuger procés de selecció per adaptar el material a les condicions ambientals de Nebraska, l'estimació de les variàncies de la nova població dona valors superiors de la variància genètica additiva sobre la dominant, per a la producció d'espiga. En canvi, MAS et al. (1998), en la població Mo17 x Across 8443 La Posta, collida en el moment òptim per ensitjar, troben una heretabilitat de 0,09 per a la producció d'espiga, amb una variància genètica additiva quasi nul·la. ALBRECHT i DUDLEY (1987a; 1987b) descobreixen que la barreja de materials exòtics i adaptats incrementa la variabilitat genètica per la producció. De manera semblant, IGLESIAS i HALLAUER (1988) obtenen una bona resposta de la selecció per producció de gra en els primers cicles de selecció en una població formada per un 50 % de material exòtic i un 50 % de material adaptat.

## **Mètodes de millora**

Un cop vistes les característiques del germoplasma que ens pot ser útil, donem ara un cop d'ull als mètodes de millora genètica que podem fer servir per obtenir blat de moro farratger adaptat a les zones temperades-suaus.

### **1. Millora de poblacions adaptades**

El punt de partida més lògic serien les varietats que han estat utilitzades amb èxit per produir línies pures destinades a l'obtenció d'híbrids productors de gra. Tenint en compte que el gra és un component important del blat de moro farratger, la selecció per caràcters farratgers en varietats com ara Iowa Stiff Stalk Synthetic o Lancaster Surecrop permetria l'obtenció de línies

pures superiors, molt probablement enriquides amb gens afavoridors de la producció de gra. En la varietat Lancaster, FERRET *et al.* (1991) estimen, per a cada cicle de selecció i unitat d'intensitat de selecció aplicada, un increment del 15 % en la producció de part vegetativa de la planta, del 9 % en la producció de gra i del 3 % en la fibra neutra detergent de la part vegetativa de la planta. En la mateixa varietat, ALMIRALL *et al.*, (1996) calculen, per a cada cicle de selecció i unitat d'intensitat de selecció aplicada, un increment del 4-6 % en la producció de part vegetativa de la planta, del 7-9 % en la producció de gra, de l'1,7-2,6 % en la digestibilitat de la part vegetativa de la planta, del 2,4-2,6 % en la fibra neutra detergent de la part vegetativa de la planta, del 3-6 % en la digestibilitat del contingut de paret cel·lular, i del 6-7 % en la producció de matèria seca digestible total. Els caràcters implicats en la qualitat nutritiva de la part vegetativa de la planta tenen les respostes estimades a la selecció més baixes en ambdós estudis, i com ja s'ha dit abans, no mostren heterosi. Aquests caràcters tenen l'inconvenient afegit de ser difícils de mesurar, la qual cosa complica el treball amb un nombre elevat de plantes. A més, com quan es fa la selecció per producció, aquests caràcters s'han de mesurar una vegada s'han collit les plantes, amb la qual cosa és impossible encreuar les millors plantes, perquè quan floreixen no se sap encara quines són les millors. Per això és molt important trobar caràcters que tinguin bones correlacions genètiques additives amb la producció de matèria seca digestible total (a través d'un o més dels seus components), i que es puguin mesurar fàcilment abans de la floració. Les correlacions genètiques additives entre alguns caràcters morfològics de la planta i la producció de matèria seca digestible total fan recomanable la selecció indirecta per mitjà d'aquests caràcters, i en aquest sentit són especialment importants el diàmetre de la base de la tija i l'alçada de la planta (ALMIRALL *et al.*, 1996). L'eficàcia de la selecció per diàmetres gruixuts, com a sistema per incrementar la producció de matèria seca digestible total, s'ha assajat en successius cicles de selecció en la varietat Lancaster, i s'ha assolit un increment del 23,5 % després de cinc cicles de selecció per diàmetre gruixut (CASANAS *et al.*, 1998). No s'han trobat caràcters morfològics genèticament correlacionats amb els caràcters implicats en la qualitat nutritiva de la

part vegetativa de la planta (FERRET *et al.*, 1991; ALMIRALL *et al.*, 1996; DOLSTRA *et al.*, 1987). Per tant, l'increment de la producció de matèria seca digestible total s'assoleix, en primer lloc, mitjançant l'increment de les produccions, tant de panotxa com de la part vegetativa de la planta. Cal observar que una conseqüència de la selecció per diàmetre gruixut és un allargament del cicle de la planta, ja que el gruix de la tija té una correlació genètica additiva amb la precocitat. Aquesta correlació, però, no és tan forta com la que hi ha entre l'alçada de la planta i la precocitat (ALMIRALL *et al.*, 1996), de manera que la selecció per planta gruixuda augmenta la producció modificant menys el cicle del que ho faria la selecció per alçada. En tot cas, l'allargament del cicle associat a produccions superiors no és un problema en el tipus d'ambient que ens ocupa, si partim de poblacions de tipus adaptat, ja que aquestes rarament exhaureixen tot el període vegetatiu possible.

En les poblacions nord-americanes de cicle llarg, la selecció per producció de gra s'ha dut a terme amb èxit i s'han obtingut línies pures (destinades a obtenir híbrids) a partir de poblacions base. Després s'ha dut a terme, en aquestes mateixes poblacions base, una selecció recurrent per aptitud combinatòria, per tal d'obtenir línies pures superiors. L'evidència més aclaparadora del progrés aconseguit és que un gran nombre de les línies d'elit que formen part dels millors híbrids comercials han estat obtingudes dins d'aquestes poblacions base, i el rendiment dels nous híbrids continua creixent (RUSSELL, 1984; RUSSELL, 1993). La mateixa estratègia es podria utilitzar ara per a la selecció de blat de moro farratger. A més, tenint en compte que la producció de panotxa està molt correlacionada amb la producció de part vegetativa de la planta (FERRET *et al.*, 1991; ALMIRALL *et al.*, 1996), la selecció per gra dins d'una població ha d'haver arrossegat fins ara i continuarà arrossegant en el futur un increment favorable en la producció de part vegetativa de la planta.

Resumint, doncs, la poca influència dels caràcters nutritius de la part vegetativa de la planta en la producció de matèria seca digestible total (FERRET *et al.*, 1991; ALMIRALL *et al.*, 1996) i la dificultat de mesurar-la, fa recomanable intentar d'incrementar, en primer lloc la producció de panotxa, després la producció de part vegetativa de la planta, i finalment la qualitat nutritiva de la

part vegetativa de la planta. Des d'un punt de vista pràctic, sembla raonable, com ja hem comentat anteriorment, utilitzar la selecció indirecta per incrementar les produccions i posposar la millora de la qualitat nutritiva de la part vegetativa de la planta. La selecció recurrent per aptitud combinatòria se'ns presenta com el mètode més eficient per avançar en l'obtenció de línies pures farratgeres partint exclusivament de materials adaptats. La utilització de només aquest germoplasma evita tot el procés d'adaptació i garanteix que es comenci amb poblacions ja molt millorades per a la producció de gra, fet que, com s'ha assenyalat, no és incompatible amb una producció elevada de la part vegetativa de la planta.

## 2. Millora de poblacions exòtiques i semiexòtiques

Diversos investigadors han recomanat l'ús de material exòtic per incrementar la variabilitat del germoplasma habitualment emprat per millorar el blat de moro (vegeu l'apartat anterior), i especialment el blat de moro farratger (HALLAUER, 1978; STUBER, 1986; HOLLEY i GOODMAN, 1988; BHALLA i SHARMA, 1993). Tot i així, encara dubtem de quina és la millor proporció de materials exòtics i adaptats que hem d'utilitzar (ALBRECHT i DUDLEY, 1987b; CROSSA i GARDNER, 1987; CROSSA, 1989; SIMIC *et al.*, 1996). En canvi, disposem cada vegada de més dades sobre les combinacions entre material exòtic i adaptat que donen més bon resultat, per a la producció tant de gra (MUNGOMA i POLLAK, 1988; MISEVIC, 1989; VASAL i SRINIVASAN, 1991; MICHELINI i HALLAUER, 1993), com de farratge (BOSCH *et al.*, 1992).

Pel que fa al ritme de millora, en la població semiexòtica Mo17 x Across 8443 La Posta, s'esperen, per unitat d'intensitat de selecció i cicle de selecció, increments de 3,7 % en la producció de panotxa, 13 % en la producció de part vegetativa de la planta, 0,4 % en fibra neutra detergent, 1,4 % en digestibilitat de la part vegetativa de la planta, 1,8 % en la digestibilitat del contingut de paret cel·lular, i 6 % en la producció de matèria seca digestible total (MAS *et al.*, 1998). Aquesta població és un germoplasma exòtic x adaptat molt prometedora, que respon especialment bé a la selecció directa per producció de part vegetativa de la planta, mentre que els caràcters relacionats amb el valor nutritiu de la part vegetativa de la planta presenten una resposta molt dèbil (MAS *et al.*, 1998).

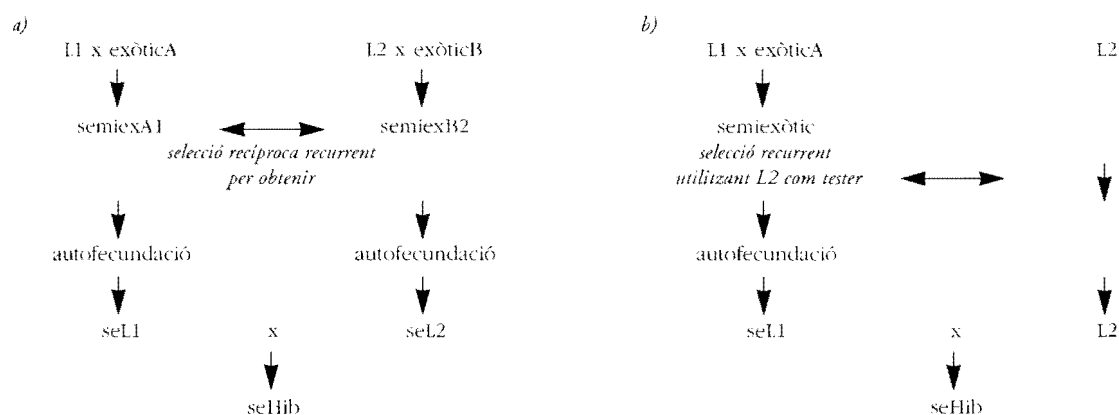
La selecció indirecta per mitjà de caràcters molt correlacionats amb la producció ens condueix, com en el cas dels materials adaptats, a destacar trets com ara el gruix de la tija o l'alçada de la planta (MAS *et al.*, 1998). En el cas de selecció indirecta per diàmetre gruixut de la tija, s'esperen, per unitat d'intensitat de selecció i cicle de selecció, increments de 4,18 % en la producció de matèria seca digestible total, mentre que la mateixa selecció aplicada a l'alçada dóna un avenç esperat en la producció de matèria seca digestible total del 4,62 % (MAS *et al.*, 1998). Com en el cas de la Lancaster, esmentat anteriorment, la selecció per diàmetre retarda la floració en un 1,39 %, mentre que la selecció per alçada de la planta la retarda en un 2,35 % per cicle de selecció i unitat d'intensitat de selecció aplicada.

Veiem que, també en aquests materials, l'intent de millorar la qualitat nutricional de la part vegetativa de la planta dóna una aproximació poc eficient per incrementar la producció de matèria seca digestible total, ja que aquests caràcters, a diferència del que passa amb la producció de matèria seca digestible total i les produccions, no estan correlacionats. Per tant, en els materials exòtics i semiexòtics, les produccions són també els millors caràcters per millorar la producció de matèria seca digestible total.

Pel que fa als mètodes de millora, l'obtenció de línies pures per produir híbrids continua sent la millor opció, atès que la producció de panotxa i de part vegetativa de la planta són caràcters

heteròtics. Sembla recomanable millorar les poblacions exòtiques o semiexòtiques per derivar-ne línies exòtiques o semiexòtiques i híbrids específics per a ús farratger. Així, aprofitant la bona aptitud combinatòria de la població Across 8443 La Posta, estem fent estudis per decidir el punt de partida més adequat per als programes de millora. En són bones candidatures tant Across 8443 La Posta com les poblacions semiexòtiques obtingudes encreuant línies adaptades amb aquesta població (CASAÑAS *et al.*, 1993; CASAÑAS *et al.*, 1994). Els resultats obtinguts fins ara semblen apuntar la conveniència de començar amb poblacions semiexòtiques per tal d'obtenir al final del procés un híbrid del tipus línia pura semiexòtica x línia pura adaptada (GOUFENARD *et al.*, 1996; MAS, 1997).

Partint del fet que l'objectiu és desenvolupar híbrids farratgers de cicle llarg, podríem pensar en un programa més complex que inclogués dues línies adaptades i dues poblacions semiexòtiques semiexA1 i semiexB2 (figura 2a). Aquestes línies pures adaptades i les poblacions exòtiques haurien de combinar bé per a la producció de gra. Per exemple, en la figura 2a, la població exòtica A i la Línia pura 1 haurien de combinar bé tant amb la població exòtica B com amb la Línia pura 2. Seguint un esquema d'aquesta mena fóra d'esperar avenços ràpids en la selecció recíproca recurrent duta a terme en les dues poblacions semiexòtiques. El cas descrit en la figura 2b garanteix una més gran proporció de germoplasma adaptat en l'híbrid final i un procés



**Figures 2a i 2b.** Dues estratègies per a un programa de millora, en què L1 i L2 són línies adaptades complementàries; exòticaA i exòticB, poblacions exòtiques complementàries; semiexA1 i semiexB2, poblacions semiexòtiques; seL1 i seL2, línies semiexòtiques; i seHib, híbrid semiexòtic.

més ràpid. A partir de la informació de què disposem (BOSCH *et al.*, 1994; CASAÑAS *et al.*, 1993; CASAÑAS *et al.*, 1994), sembla raonable utilitzar, per exemple, B73 i Mo17 com a línies adaptades, mentre que el Compuesto Centroamericano A, V464 i V465 (probablement Cateto), Across 8443 (Tuxpeño) i Brazil 1771 (Cateto) es podrien utilitzar com a poblacions exòtiques.

## El futur immediat

L'evidència aportada fins ara ens suggereix que el millor camí per aconseguir blat de moro farratger adaptat a les zones temperades-suaus és una estratègia de millora basada a incrementar, en primer lloc, la producció de panotxa, després, la producció de part vegetativa de la planta, i finalment, la qualitat nutritiva de la part vegetativa. La millora de les produccions, que són caràcters molt complexos, probablement continuarà passant per l'ús de les tècniques clàssiques amb la incorporació, cada vegada més important, de materials exòtics i semiexòtics. Tot i així, ja s'han començat a fer servir noves tècniques, com la selecció assistida per marcadors moleculars, principalment per millorar la producció de gra (STUBER *et al.*, 1992; STUBER, 1994; VELDBOOM i LEE, 1994; AJMONE MARSAN *et al.*, 1996; KOZUMPLIK *et al.*, 1996; EATHINGTON *et al.*, 1997; LANZA *et al.*, 1997; LÜBBERSTEDT *et al.*, 1997; AJMONE MARSAN *et al.*, 1998; AUSTIN i LEE, 1998), però també per millorar la producció de farratge (LÜBBERSTEDT *et al.*, 1998). A més, ens queda la possibilitat que els marcadors moleculars associats a caràcters morfològics ben correlacionats amb la producció com ara l'alçada de la planta (BEAVIS *et al.*, 1991), el nombre de fulles, o el diàmetre de la tijañ ens ajudin a avançar més ràpidament en la millora de les produccions.

Paral·lelament, sembla que el paper de la qualitat nutritiva de la part vegetativa de la planta en la producció de matèria seca digestible total és molt petit, ja que els caràcters involucrats en la qualitat nutricional de la part vegetativa de la planta estan poc correlacionats amb la producció de matèria seca digestible total (tot i que, evidentment, a compleixen la seva funció en la digestibilitat de la part vegetativa de la planta) (BOSCH *et al.*, 1994; FERRET *et al.*, 1991; ALMIRALL *et al.*, 1996; MAS *et al.*, 1998). A més, són caràcters amb una heretabilitat baixa (BOSCH *et al.*, 1994;

FERRET *et al.*, 1991; ALMIRALL *et al.*, 1996; MAS *et al.*, 1998) i són difícils de mesurar, fins i tot considerant-hi l'ús generalitzat dels mètodes NIR en l'estimació (BISTON i DARDENNE, 1987; RONSIN, 1990; ALBANELL *et al.*, 1995). Malgrat que es tracta de caràcters complicats de millorar genèticament, no els podem ignorar, ja que la qualitat de la part vegetativa de la planta és essencial per mantenir un nivell acceptable de digestibilitat global si l'índex de collita es redueix (tenint en compte que els avenços en la producció de part vegetativa de la planta seran segurament més importants que els avenços en la producció de gra, la reducció de l'índex de collita es presenta com gairebé inevitable). A més, la part vegetativa de la planta en els materials tardans s'ha trobat repetidament menys digestible que la dels materials primerencs. Així, mentre FERRET *et al.*, (1991), BOSCH *et al.* (1992), BOSCH *et al.* (1994), i ALMIRALL *et al.* (1996) assenyalen rangs de digestibilitat entre el 46 i el 53 % en materials de cicles superiors al FAO 700, DEINUM (1987) troba valors d'entre el 62 i el 64 % en híbrids de cicle FAO 200-300. Considerant tot això, sembla que la millor opció per millorar la qualitat de la part vegetativa de la planta és treballar amb la digestibilitat del contingut de paret cel·lular. Aquest caràcter ha demostrat ser més heretable que la digestibilitat de la part vegetativa de la planta o que la proporció de paret cel·lular (fibra neutra detergent), probablement perquè es tracta d'un caràcter poc afectat per les circumstàncies ambientals i per la producció de gra (STRUİK i DEINUM, 1990; DEINUM i BAKKER, 1981; ALMIRALL *et al.*, 1996; STRUIK i DOLSTRA, 1990).

Per concloure aquestes reflexions, ens convé retornar a un dels aspectes més foscos en la millora del blat de moro farratger. Nosaltres hem assumit en tot moment que, dins de certs límits de digestibilitat global de la planta i de contingut de matèria seca (tots dos molt correlacionats amb l'índex de collita), el nostre objectiu principal era incrementar la producció total. El problema que ens queda per resoldre és determinar els intervals òptims de digestibilitat de la part vegetativa de la planta i total, pensant en la transformació de l'ensitjat en llet o carn. En canvi, disposem de molts valors analítics, incloent-hi in vitro, que demostren l'existència de variabilitat genètica entre materials pel que fa a la digestibilitat (això es pot mesurar prou fàcilment avaluant els caràcters nutricionals de la part vegeta-

tiva al laboratori). La qüestió important, però, és saber fins a quin punt aquestes diferències són importants pel que fa a la transformació en llet o carn dins de l'animal. Hi ha poquíssima informació sobre aquest punt i els experiments amb animals són difícils i cars. Fins ara, s'ha posat de manifest que no hi ha cap diferència en la producció de llet entre vaques alimentades amb blat de moro amb proporcions d'espiga que anaven del 41 al 50 % (BARRIÈRE i ÉMILE, 1992; ÉMILE i BARRIÈRE, 1992). Aquests resultats contrasten amb els obtinguts amb ovelles, que semblen més sensibles als canvis en la proporció de gra. Per això, quan apliquem a les vaques les troballes obtingudes en l'experimentació en ovelles de llet, només són útils per separar materials amb

diferències extremes de digestibilitat (BARRIÈRE *et al.*, 1995). Sembla que les vaques aprofiten millor els nutrients de la part vegetativa quan es redueix la proporció de gra (BARRIÈRE i ÉMILE, 1990). Amb tot, ja es veu que, malgrat aquestes dades, calen més estudis per establir clarament aquests límits, que en el fons són clau per determinar les estratègies definitives que cal seguir per a la millora del blat de moro farratger en un futur immediat.

## Agraïments

Aquest treball s'ha dut a terme amb dades obtingudes bàsicament amb l'ajut de: CICYT AGR89-0373, CICYT AGF94-0405 i CICYT AGF98-0993.

## Bibliografia

- AERIS, J.V.; DE BRABANDER, D.L.; COTTYN, B.G.; BOUCQUE, C.V.; BUNSE, F.X. (1976). "Evolution de la composition de la digestibilité du rendement du maïs en fonction du stade de maturité". *Rev. Agric. (Brussels)* 29: 379-430.
- AJMONÉ MARISAN, P.; MONFREDINI, G.; BRANDOLINI, A.; MELCHINGER, A.E.; GARAY, G.; MOTTO, M. (1996). "Identification of QTL for grain yield in an elite hybrid of maize: repeatability of map position and effects in independent samples derived from the same population". *Maydica*, 41: 49-57.
- AJMONÉ MARISAN, P.; CASTIGLIONI, P.; FUSARI, F.; KUIPER, M.; MOTTO, M. (1998). "Genetic diversity and its relationship to hybrid performance in maize as revealed by RFLP and AFLP markers". *Theor. Appl. Genet.*, 96: 219-227.
- ALBANELL, E.; PLAIXATS, J.; FERRET, A.; BOSCH, L.; CASAÑAS, F.; NÚEZ, F. (1995). "Evaluation of Near-Infrared reflectance spectroscopy for predicting stover quality trait in semi-exotic populations of maize". *J. Sci. Food Agric.*, 69: 269-273.
- ALBRECHT, B.; DUDLEY, J.W. (1987a). "Evaluation of four maize populations containing different proportions of exotic germplasm". *Crop Sci.*, 27: 480-486.
- ALBRECHT, B.; DUDLEY, J.W. (1987b). "Divergent selection for stalk quality and grain yield in an adapted x exotic maize population cross". *Crop Sci.*, 27: 487-494.
- AIMIRALL, A.; CASAÑAS, F.; BOSCH, L.; SÁNCHEZ, E.; PÉREZ, A.; NÚEZ, F. (1996). "Genetic study of the forage nutritive value in the Lancaster variety of maize". *Maydica*, 41: 227-234.
- ARGILLIER, O.; BARRIÈRE, Y. (1996). "Valeur alimentaire et inscription des variétés de maïs ensilage aux catalogues officiels en Europe". *Fournages*, 14: 131-140.
- AUSTIN, D.F.; LEE, M. (1998). "Detection of quantitative traits loci for grain yield and yield components in maize across generations in stress and non-stress environments". *Crop Sci.*, 38: 1296-1308.
- BARRIÈRE, Y.; ÉMILE, J.C. (1990). "Effet des teneurs en grain et de la variabilité génétique sur la valeur énergétique du maïs ensilage mesurée par des vaches laitières". *Agronomie*, 10: 201-212.
- BARRIÈRE, Y.; ÉMILE, J.C.; ARGILLIER, O.; HÉBERT, J. (1995). "Effets du génotype de maïs ensilage sur les performances zootechniques de vaches laitières". *INRA Prod. Anim.*, 8: 315-320.
- BARRIÈRE, Y.; BOURGOIN, B.; CHABOSSEAU, J.M.; DEMARLY, Y.; GHESQUIÈRE, M.; HUYGHE, C.; JULIER, B.; MANSAT, P.; POISSON, C. (1996). "La Station INRA d'Amélioration des Plantes Fourragères de Lusignan: des projets sur "Therbe". *Fournages*, 148: 311-331.
- BEAVIS, W.S.; GRANT, D.; ALBERTSON, M.; FINCHER, R. (1991). "Quantitative trait loci for plant height in four maize populations and their associations with qualitative genetic loci". *Theor. Appl. Genet.*, 83: 141-145.
- BHALLA, S.K.; SHARMA, B.K. (1993). "Manifestation of heterosis in crosses involving indigenous and exotic germplasm of maize". In VERMA, M.M.; VIRK, D.S.; CHAHAL, G.S. (Eds.) "Heterosis breeding in crop plants. Theory and application". *Short communications: symposium Ludhiana. 23-24 February. Crop improvement society of India.*
- BISTON, R.; DARDENNE, P. (1987). "Predicting maize digestibility by near infrared spectroscopy". In HÍSKA, J.; JANDA, J.; NESTICKY, M. (Eds.) *Proceedings of the 14th Congress of the Maize and Sorghum Section of EUCARPIA, Nitra, Czechoslovakia*. pp. 412-420.
- BOSCH, L.; MUÑOZ, F.; CASAÑAS, F.; MAS, M.; SÁNCHEZ, E.; VERDÚ, A.M.; NÚEZ, F. (1992). "Valoración forrajera de 24 híbridos comerciales de maíz de ciclo largo: parámetros de producción de biomasa y calidad nutritiva". *Invest. Agrar.: Prod. Prot. Veg.*, 7: 129-142.
- BOSCH, L.; CASAÑAS, F.; FERRET, A.; SÁNCHEZ, E.; NÚEZ, F. (1994). "Screening tropical maize populations to obtain semiexotic forage hybrids". *Crop Sci.*, 34: 1089-1096.
- BROWN, W.L. (1953). "Sources of germplasm for hybrid corn". In *Proc. Ann. Hybrid Corn Industry Res. Conf.*,

8th, Chicago. 26-28 Nov. 1953. *Am. Seed Trade Assoc.*, Washington DC. p p.11-15.

BRUCE, G.; LINDSTROM, E.W. (1954). «A study of the combining abilities of corn inbreds having varying proportions of Corn Belt and non-Corn Belt germplasm». *Agron. Jour.*, 46: 545-552.

BUNTING, E.S. (1978). «Maize in Europe». In BUNTING, E.S.; PAIN, B.F.; PHIPPS, R.H.; WILKINSON, J.M.; GUNN, R. E. (Eds.). «Forage Maize». Agricultural Research Council, London. pp. 1-13.

CARTER, P.R.; COORS, J.G.; UNDERSANDER, D.J.; ALBRECHT, K.A.; SHAVER, R.D. (1992). «Corn hybrids for silage: An update». In WILKINSON, D. (Ed.) *Proc. Annu. 46th Corn Sorghum Rs. Conf., Chicago, Dec. 11-12. 1991. Am. Seed Trade Assoc., Wash. DC.* pp. 141-164.

CASAÑAS, F.; BOSCH, L.; SÁNCHEZ, E.; FERRET, A.; NÚEZ, F. (1993). «Tropical germplasm as a source for breeding late silage maize: hybrid semiexotic populations derived and breeding strategies». In BIANCHI, A.; LUPOTTO, E.; MOTTO, M. (Eds.) «Breeding and molecular biology: accomplishments and future promises». *Proceedings of the 16th Conference of the Maize and Sorghum Section of EUCARPIA. Bergamo. Italy* pp. 189-197.

CASAÑAS, F.; BOSCH, L.; SÁNCHEZ, E.; FERRET, A.; PLAIXAIS, J.; ALBANELL, E.; NÚEZ, F. (1994). «Introducción de germoplasma tropical en la mejora de maíz forrajero». *Inu. Agr. Prod. Prot. Veg.*, 9: 17-28.

CASAÑAS, F.; BOSCH, L.; SÁNCHEZ, E.; ALMIRALL, A.; NÚEZ, F. (1998). «Correlated response in forage yield and quality of the Lancaster variety of maize, through selection in the stem diameter». *Maydica*, 43:243-249.

COMPTON, W.A.; GARDNER, C.O.; LONNQUIST, J.H. (1965). «Genetic variability in two open-pollinated varieties of corn (*Zea mays* L.) and their F1 progenies». *Crop Sci.*, 5: 505-508.

COX, W.J.; CHERNEY, J.H.; CHERNEY, D.J.R.; PARDEE, W.D. (1994). «Forage quality and harvest index of corn hybrids under different growing conditions». *Agron. Jour.*, 86: 277-282.

CROSSA, J. (1989). «Theoretical considerations for the introgression of exotic germplasm into adapted maize». *Maydica*, 34: 53-62.

CROSSA, J.; GARDNER, C.O. (1987). «Introgression of an exotic germplasm for improving an adapted maize population». *Crop Sci.*, 27: 187-190.

CUOMO, G.J.; REDFEARN, D.D.; BLOUIN, D.C. (1998). «Plant density effects on tropical corn forage mass, morphology and nutritive value». *Agronomy Jour.*, 90: 93-96.

DEINUM, B.; BAKKER, J.J. (1981). «Genetic differences in digestibility of forage hybrids». *Neth. J. Agric. Sci.*, 29: 93-98.

DEINUM, B. (1987). «Genetic and environmental variation in Digestibility of forage maize in Europe». In HÚSKA, J.; JANDA, J.; NESTICKY, M. (Eds.). *Proceedings of the 14th Congress of the Maize and Sorghum Section of EUCARPIA. Nitra. Czechoslovakia.* pp. 376-393.

DEMARQUILLY, C. (1969). «Valeur alimentaire du maïs fourrage. I. Composition chimique et digestibilité du maïs sur pied». *Ann. Zootech.*, 18: 17-32.

DOLSTRA, O.; JONGMANS, M.A.; DE JONG, A.W. (1987). «Genetic variation for digestibility of cell-wall constituents

in the stalks and its relation to feeding value and various stalk traits in maize (*Zea mays* L.)» In HÚSKA, J.; JANDA, J.; NESTICKY, M. (Eds.) *Proceedings of the 14th Congress of the Maize and Sorghum Section of EUCARPIA. Nitra. Czechoslovakia.* pp. 394-402.

DOLSTRA, O.; MIEDEMA, J.H. (1990). «An effective screening method for genetic improvement of cell-wall digestibility in forage maize». In J. HINTEHOLZER (Ed.) *Proceedings of the 15th Congress of the Maize and Sorghum Section of EUCARPIA. Baden near Vienna. Austria.* pp 258-270.

EATHINGTON, S.R.; DUDLEY, J.W.; RUFENER, G.K. II (1997). «Usefulness of marker-QTL associations in early generation selection». *Crop Sci.*, 37: 1686-1693.

EBERHART, S.A.; MOLL, R.H.; ROBINSON, H.F.; COCKERHARM, C.C. (1966). «Epistatic and other genetic variances in two varieties of maize». *Crop Sci.*, 6: 275-280.

EMILE, J.C.; BARRIÈRE, Y. (1992). «Effets de la teneur en grain de l'ensilage de maïs sur les performances zootechniques de vaches laitières». *INRA Prod. Anim.*, 5: 113-120.

FERRET, A.; CASAÑAS, F.; VERDÚ, A.M.; BOSCH, L.; NÚEZ, F. (1991). «Breeding for yield and nutritive value in forage maize: An easy criterion for stover quality, and genetic analysis of Lancaster variety». *Euphytica*, 53: 61-66.

GALLAIS, A.; POLLACSEC, M.; HUGUET, L. (1975). «Possibilités de sélection du maïs en tant que plante fourragère». *Proceedings of the Maize and Sorghum Section of EUCARPIA. Versailles. France. Ann. Amélioration Plantes.* 26, 591-605.

GALLAIS, A.; VINCIERT, P.; HUGUET, L. (1981). «Objectifs et critères de sélection du maïs fourrage». In *Proceedings of the 12th Congress of the Maize and Sorghum Section of EUCARPIA, Montreux. Suisse.*

GOFFART, A. (1875). «Mémoire sur la culture et l'ensilage du maïs-fourrage», *G. Mason*, Paris.

GOUESNARD, B.; SANOU, J.; PANOUILLE, A.; BOURION, V.; BOYAT, A. (1996). «Evaluation of agronomic traits and analysis of exotic germplasm polymorphism in adapted x exotic maize crosses». *Theor. Appl. Gen.*, 92: 368-374.

GUNN, R.E. (1978). «Forage maize breeding and seed production». In BUNTING, E.S.; PAIN, B.F.; PHIPPS, R.H.; WILKINSON, J.M.; GUNN, R. E. (Eds.) «Forage Maize». *Agricultural Research Council*, London, 133-151.

HALLAUER, A.R. (1978). «Potential of exotic germplasm for maize improvement». In WALDEN, D.B. (Ed.) «Maize breeding and genetics». *John Wiley & Sons*, p. 229-249.

HALLAUER, A.R. (1990). «Methods used in developing maize inbreds». *Maydica*, 35: 1-16.

HALLAUER, A.R.; MIRANDA, J.B. (1981). «Quantitative genetics in maize breeding». *Iowa State University Press. Ames.*

HOLLEY, R.N.; GOODMAN, M.M. (1988). «Yield potential of tropical hybrid maize derivatives». *Crop Sci.*, 28: 213-218.

IGLESIAS, C.A.; HALLAUER, A.R. (1988). «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 DOLSTRA, O.; MIEDEMA, P. (Eds.) «Breeding of silage maize». *Proceedings of the 13th Congress of the Maize and Sorghum Section of EUCARPIA. Wageningen. The Netherlands.* Pudoc. pp. 32-39.

KOZUMPLIK, V.; PEJIC, I.; SENIOR, L.; PAVLINA, R.; GRAHAM, G.; STUBER, C.W. (1996). «Use of molecular markers for

QTL detection in segregating maize populations derived from exotic germplasm». *Maydica*, 41: 211-217.

KRAMER, H.H.; ULLSTRUP, A.J. (1959). «Preliminary evaluation of exotic maize germplasm». *Agron. Jour.*, 51: 687-689.

LANZA, L.L.B.; DE SOUZA, C.L.Jr.; OTTOBONI, L.M.M.; VIEIRA, M.L.C.; DE SOUZA, A.P. (1997). «Genetic distance of inbred lines and prediction of maize single-cross performance using RAPD markers». *Theor. Appl. Gen.*, 94: 1023-1030.

LECOUITEUX, M. (1883). «Les maïs et les autres fourrages verts. culture et ensilage». Paris.

LINDSEY, M.F.; LONNQUIST, J.H.; GARDNER, C.O. (1962). «Estimates of genetic variance in open-pollinated varieties of cornbelt corn». *Crop Sci.*, 2: 105-108.

LÜBBERSTEDT, T.; MELCHINGER, A.E.; SCHON, C.C.; UTZ, H.F.; KLEIN, D. (1997). «QTL mapping in testcrosses of European flint lines of maize; I. Comparison of different testers for forage yield traits». *Crop Sci.*, 37: 921-931.

LÜBBERSTEDT, T.; MELCHINGER, A.E.; FAR, S.; KLEIN, D.; DALY, A.; WESTHOFF, P. (1998). «QTL mapping in testcrosses of flint lines of maize: III. Comparison across populations for forage traits». *Crop Sci.*, 38: 1278-1289.

MAS, M. (1997). «Estudio de la base genética de caracteres agronómicos cuantitativos de interés forrajero en poblaciones semiexóticas de maíz». *Tesis Doctoral. Facultad de Biología. Universidad de Barcelona*.

MAS, M.T.; BOSCH, L.; CASAÑAS, F.; VALERO, J.; NÚEZ, F. (1998). «Semiexotic population of corn Mo17 x ACROSS 8443 La Posta as a base for forage breeding». *Maydica*, 43:291-300.

MESNIL, C. (1990). «Assessment of silage maize quality in France». In HINTERHOLZER, J., (Ed.) *Proceedings of the 15th Congress of the Maize and Sorghum Section of EUCARPIA. Baden near Vienna. Austria*. pp. 271-276.

MICHELINI, L.A.; HALLAUER, A.R. (1993). «Evaluation of exotic and adapted maize germplasm crosses». *Maydica*, 38: 275-282.

MISEVIC, D. (1989). «Heterotic patterns among U.S. corn belt, Yugoslavian, and exotic maize populations». *Maydica*, 34: 253-263.

MUNGOMA, C.; POLLAK, L.M. (1988). «Heterotic patterns among ten corn belt and exotic maize populations». *Crop Sci.*, 25: 500-504.

PEX, E.J.; SCHWARZ, F.J.; KIRCHGESSNER, M. (1996). «Zum Einfluss des Erntezeitpunkts von Silomais auf Verdaulichkeit und Energiegehalt von Maissilage bei Rind und Schaf». *Wirtschaftseigene Futter*, 42: 83-96.

PINTER, L. (1986). «Ideal type of forage maize hybrid (Zea mays L.)». In DOLSTRA, O.; MIEDEMA, P., (Eds.) «Breeding of silage maize». *Proc. of the 13th Congress of the Maize and Sorghum Section of Eurcarpia. Wageningen. The Netherlands. Pudoc, Wageningen*, pp. 123-130.

POLLAK, L.M.; TORRAS-CARDONA, S.; SOTOMAYOR-RÍOS, A. (1991). «Evaluation of heterotic patterns among Caribbean and tropical x temperate maize populations». *Crop Sci.*, 31: 1480-1483.

RONSIN, T. (1990). «Use of NIR prediction of digestibility in a breeding program for silage maize». In HINTERHOLZER, J., (Ed.) *Proceedings of the 15th Congress of the*

*Maize and Sorghum Section of EUCARPIA. Baden near Vienna. Austria*. pp. 277-288.

RUSSELL, W.A. (1984). «Evaluations for plant, ear, and grain traits of maize cultivars representing seven eras of breeding». *Maydica*, 30: 85-96.

RUSSELL, W.A. (1993). «Achievements of maize breeders in North America». In BUXTON, D.R.; SHIBLES, R.; FORSBERG, A.; BLAD, B.L.; ASAY, K.H.; PAULSEN, G.M.; WILSON, R.F., eds. «International Crop Science I». *Crop Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA*. pp. 225-234.

SCHWARZ, F.J.; PEX, E.J.; KIRCHGESSNER, M. (1996). «Zum Sorteneinfluss von Silomais auf Verdaulichkeit und Energiegehalt von Maissilage bei Rind und Schaf». *Wirtschaftseigene Futter*, 42: 161-172.

SETZ, G.; GEIGER, H.H. (1990). «Genotypic correlations in silage maize. II. Relationship between inbred line and testcross performance». In HINTERHOLZER, J., (Ed.) *Proceedings of the 15th Congress of the Maize and Sorghum Section of EUCARPIA. Baden near Vienna. Austria*. pp. 251-257.

SENTZ, J.C. (1971). «Genetic variances in a synthetic variety of maize estimated by two mating designs». *Crop Sci.* 11: 234-238.

SMIC, D.; SETZ, G.; GEIGER, H.H. (1996). «Optimizing incorporation of exotic germplasm into adapted maize strains». *17th conference of the Maize and Sorghum Section of EUCARPIA. Tsaloniki. Greece*. pp. 130.

STRUJK, P.C.; DOLSTRA, O. (1990). «Some remarks on session II on nutritive value of forage maize». In HINTERHOLZER, J., (Ed.) *Proceedings of the 15th Congress of the Maize and Sorghum Section of EUCARPIA. Baden near Vienna. Austria*. pp. 333-336.

STRUJK, P.C.; DEINUM, B. (1990). «The ideotype for forage maize (with special reference to nutritive value)». In HINTERHOLZER, J., (Ed.) *Proceedings of the 15th Congress of the Maize and Sorghum Section of EUCARPIA. Baden near Vienna. Austria*. pp. 223-242.

STUBER, C.W. (1986). «Use of exotic sources of germplasm for maize improvement». In DOLSTRA, O.; MIEDEMA, P. (Eds.) «Breeding of silage maize». *Proceedings of the 13th Congress of the Maize and Sorghum Section of EUCARPIA. Wageningen. The Netherlands. Pudoc*. pp. 19-31.

STUBER, C.W. (1994). «Successes in the use of molecular markers for yield enhancement in corn». In WILKINSON, D.B. (Ed.) *Proc. Annu. Corn Sorghum Res. Conf. 49th, Chicago, IL. 7-8 Dec. 1994. Am. Seed Trade Assoc., Washington, DC*. pp. 232-238.

STUBER, C.W.; LINCOLN, S.E.; WOLFF, D.W.; HELENTJARIS, T.; LANDER, E.S. (1992). «Identification of genetic factors contributing to heterosis in a hybrid from two elite maize inbred lines using molecular markers». *Genetics*, 132: 823-839.

SUBANDI ; COMPTON, W.A. (1974). «Genetic studies in an exotic population of corn (Zea mays L.) grown under two plant densities». *Theor. Appl. Gen.* 44: 153-159.

THOMPSON, D.L. (1968). «Silage yield of exotic corn». *Agron. Jour.*, 60: 579-581.

VASAL, S.K.; SRINIVASAN, G. (1991). «Breeding strategies to meet changing trends in hybrid maize development». *Golden Jubilee Symposium of the Indian Society of Genetics and Plant Breeding. New Delhi*.

VELDBOOM, L.R.; LEE, M. (1994). «Molecular marker-facilitated studies of morphological traits in maize: II. Determination of QTLs for grain yield and yield components». *Theor. Appl. Gen.*, 89: 451-458.

WELHAUSEN, E.J. (1956). «Improving American corn with exotic germplasm». In *Proc. Annu. Hybrid Corn Industry Res. Conf., 11th, Chicago, 28-29 Nov. 1956. Am. Seed Trade Assoc., Washington, DC.* pp. 85-96.

WHITE, R.P.; WINTER, K.A. (1980). «Effect of harvest date on yield, dry matter content, plant nutrient content and in-vivo digestibility of various parts of forage maize plants in a short season environment». In BUNTING, E.S. (Ed.) «Production and utilization of the maize crop». *Proc.*

*European Maize Congr. Euromaïs 79, 1st, Cambridge, England. 3-7 Sept. 1979. Martinus Nijhoff, The Hague.* pp. 65-69.

WIDSTROM, N.W.; YOUNG, J.R. (1980). «Double cropping corn on the Coastal Plain of the Southeastern United States». *Agron. Jour.*, 72: 302-305.

WIDSTROM, N.W.; FOSTER, M.J.; MARTIN, W.K.; WILSON, D.M. (1996). «Agronomic performance in the Southeastern United States of maize hybrids containing tropical germplasm». *Maydica*, 41: 391-407.

ZIMMER, E. (1990). «Criteria and Methods for Evaluation of Silage Maize». In HINTERHOLZER, J. (Ed.) *Proceedings of the 15th Congress of the Maize and Sorghum Section of EUCARPIA. Baden near Vienna, Austria.* pp. 214-222.