Vista dos ensaios antes da súa recolección

SELECCIÓN DE **LIÑAS PURAS**, MELLORADAS CON INTRODUCIÓN DE **XERMOPLASMA ELITE**, PARA XERAR **HÍBRIDOS** DE MILLO CON **ALTO VALOR** FORRAXEIRO

Neste artigo móstranse os resultados dun traballo cuxo obxectivo é desenvolver novo material xenético que incremente o rendemento da produción forraxeira de millo na cornixa cantábrica, avaliando a calidade nutritiva dos novos híbridos seleccionados.

L. Campo[1] e J. Moreno-González
Centro de Investigacións Agrarias de Mabegondo (CIAM)
Instituto Galego de Calidade Alimentaria (Ingacal). Apartado 10, 15080, A Coruña, España
Tfno.: +34 981 647 902, Fax: +34 981 673 656
[1]laura.campo.ramirez@xunta.es

INTRODUCIÓN

O cultivo do millo forraxeiro é utilizado maioritariamente como ensilado a fin de atender a demanda da alimentación das vacas leiteiras nas explotacións gandeiras, o que propiciou un incremento do cultivo en Galicia e no norte de España debido ao seu alto contido enerxético, á súa alta produción de materia seca e ao seu ciclo vexetativo relativamente curto. Este cultivo supón un bo complemento e unha alternativa ás praderías e ao alto consumo de pensos utilizados na produción de leite. Nos últimos anos observouse unha evolución positiva do cultivo de millo forraxeiro fronte ao doutras especies forraxeiras. A superficie dedicada á produción de millo forraxeiro cada vez é maior, xa que a demanda de forraxe nas explotacións gandeiras está a influír no incremento do cultivo de millo para ensilado. Este traballo responde á necesidade de darlle solucións a esa demanda, xa que tenta desenvolver un novo material xenético que incremente o rendemento da produción forraxeira de millo en Galicia e no norte de España.

O DESENVOLVEMENTO DESTE MATERIAL XENÉTICO DE ALTO RENDEMENTO TAMÉN PODERÁ ACHEGARLLE INDIRECTAMENTE UN VALOR ENGADIDO Á PRODUCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DA BIOMASA DE MILLO

Outro uso do millo forraxeiro é a produción de biogás metano a partir da súa biomasa, que está actualmente en auxe nos países de Europa Central, liderados por Alemaña, así como a utilización dos efluentes e residuos das plantas produtoras de biogás como fertilizantes na propia explotación (Svensson *et al.*, 2004). Mediante a dispoñibilidade de ambos os usos péchase un ciclo de enerxías renovables (produción de biogás e biofertilizantes) nas explotacións agrícolas que suscitou un interese mundial e con interese potencial para España no futuro próximo. Por tanto, o desenvolvemento deste material xenético de alto rendemento tamén poderá achegarlle indirectamente un valor engadido á produción de biogás a partir da biomasa de millo, se esta tecnoloxía se estende en España, como é previsible, ou ben competindo con outros materiais xenéticos para a súa comercialización en Europa, onde a produción de biogás xa é unha realidade.

Galicia destaca sobre o resto das comunidades autónomas coma a de maior produción de millo forraxeiro con 2,4 millóns de TM en 2013, o que representa un 55,5 % da produción global española, que se eleva ao 67 % se incluímos o resto da cornixa cantábrica (Asturias, Cantabria e o País Vasco). A superficie dedicada a millo forraxeiro en 2013 en Galicia foi de 68.936 ha, que representa o 64,4 % da superficie de España. A maioría desta superficie cultívase sen rega e en agricultura tradicional (http://www.magrama.es/es/estadistica). A pesar da alta demanda de semente híbrida de millo para ensilado requirida en Galicia, que se estima en 1.900.000 quilos, os híbridos que se utilizan actualmente foron seleccionados noutras condicións de cultivo climáticas e edáficas diferentes das que imperan nas explotacións gandeiras galegas, polo que hai unha falta de adaptación destes híbridos que influe nunha diminución no rendemento do cultivo.

Xeralmente, os híbridos de millo que se comercializan para forraxe foron seleccionados con base no rendemento do gran, mentres que no rendemento forraxeiro hai que ter en conta non só o gran, senón tamén a materia seca total da planta enteira e a súa calidade nutritiva. A parte verde da planta representa o 60 % da produción de material seco total no millo e posúe unha maior variabilidade na calidade nutritiva que a mazaroca. Un bo indicador da calidade nutritiva da forraxe é a dixestibilidade da planta enteira, que está directamente relacionada co contido en materia seca da mazaroca e a dixestibilidade da parte verde e ten unha ampla variabilidade xenética (Barrière *et al.*, 1992; Argillier *et al.*, 1995). »

OS HÍBRIDOS QUE SE UTILIZAN ACTUALMENTE EN GALICIA FORON SELECCIONADOS NOUTRAS CONDICIÓNS DE CULTIVO CLIMÁTICAS E EDÁFICAS DIFERENTES DAS QUE IMPERAN NAS EXPLOTACIÓNS GANDEIRAS GALEGAS, POLO QUE HAI UNHA FALTA DE ADAPTACIÓN DESTES HÍBRIDOS QUE INFLÚE NUNHA DIMINUCIÓN NO RENDEMENTO DO CULTIVO

O proceso de selección destes híbridos realizouse principalmente en condicións de cultivo convencional, co emprego dos correspondentes abonos químicos, herbicidas e tratamentos fitosanitarios. Diversos estudos determinaron a importancia de desenvolver, seleccionar e caracterizar os materiais xenéticos en condicións climáticas e de cultivo similares ás que vaian utilizar os agricultores, especialmente para caracteres coma o rendemento, que ten unha grande interacción co ambiente. Neste caso, debería seleccionarse nas condicións climáticas do norte de España e nos sistemas de cultivo propios desas explotacións, moitas delas en cultivo ecolóxico (Brancourt-Humel *et al.*, 2005). Así, sería de grande importancia para o sector agrario galego dispor de semente de híbridos seleccionados en Galicia e para as súas condicións de cultivo, asegurando a completa adaptación deste material ás condicións agroclimáticas e ao sistema de cultivo no que se vaian empregar.

Por outra banda, non só hai que considerar a produción de materia seca total da planta enteira, senón a calidade nutritiva desa materia seca pola súa finalidade forraxeira, polo que se busca material con menos fibra e lignina, pero con maiores dixestibilidade, amidón e proteína. A avaliación do material desenvolvido para estes caracteres de calidade nutritiva é tamén un dos obxectivos de mellora no CIAM. Estes obxectivos de calidade nutritiva son tamén idénticos aos que esixe a produción de biogás a partir da biomasa do millo, xa que a fibra e a lignina son factores que interfiren no rendemento da fermentación anaerobia para producir biogás.

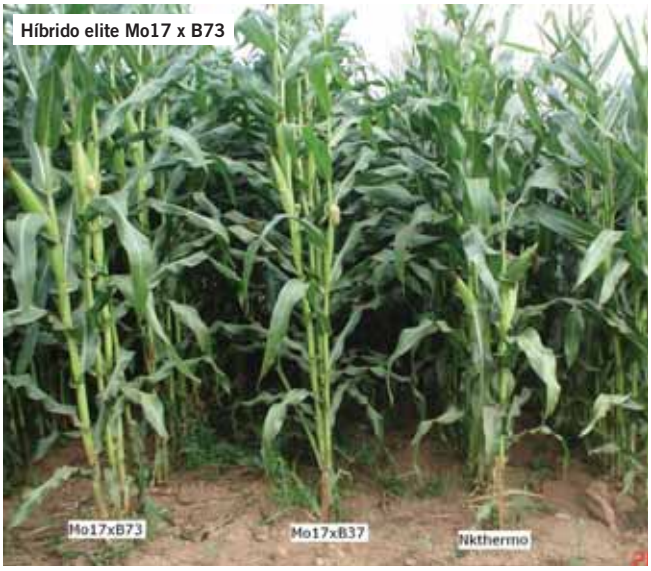
Baixo estas premisas, o obxectivo deste traballo foi realizar unha avaliación fenotípica dos cruzamentos obtidos a partir de liñas puras desenvolvidas no Plan de Mellora de Millo do CIAM para a produción da biomasa total da planta enteira e a precocidade na floración, empregando para iso liñas puras con diferentes niveis de introgresión de xermoplasma elite procedente de dúas liñas puras americanas, Mo17 e B73. A partir deste estudo e da selección realizada sobre as estirpes segregantes na *nursery* (parcela de mellora), seleccionáronse liñas puras coas cales se desenvolvesen híbridos forraxeiros adaptados ás condicións edafoclimáticas do norte da cornixa cantábrica.

XERMOPLASMA ELITE

Unha estratexia de mellora xenética para a obtención de híbridos de millo é desenvolver liñas puras (LP) de segundo ciclo a partir do cruzamento de material adaptado por material elite. O híbrido de millo B73 x Mo17 é amplamente recoñecido no mundo enteiro polo seu alto rendemento, as súas características agronómicas favorables e a adaptación a diferentes ambientes. O cruzamento entre LP lisas europeas e dentadas americanas adaptadas utilízase en híbridos comerciais de Europa debido á súa alta heterose, destacando o patrón heterótico liso europeo *"Flint o Liso europeo"* polo dentado americano *"Reid Yellow Dent"*.

A liña pura B73 pertence ao grupo heterótico dentado *"Reid Yellow Dent"* e a liña Mo17 ao grupo *"Lancaster Sure Crop"*. O cruzamento de material de ambos os grupos produce unha grande heterose, como demostran o híbrido de referencia B73 x Mo17 ou os seus híbridos emparentados, que foron recoñecidos como os máis sementados no mundo enteiro durante máis de 40 anos.

Desenvolvéronse poboacións avanzadas procedentes do cruzamento de liñas puras de material americano e material adaptado galego. As liñas puras americanas (Reid *"Reid Yellow Dent"* ou *"Lancaster Sure Crop"*) introducen as características de maior produción e resistencia ao encamado, mentres que as liñas puras galegas (*"Flint o Liso europeo"*) proporcionan vigor temperán, precocidade e adaptación ao medio (Moreno-González, 1988; Moreno-González *et al.*, 1997; Malvar *et al.*, 1996). A partir destes dous grupos de poboacións búscase obter liñas puras que manifesten unha alta heterose entre ambos os grupos heteróticos, é dicir, *"Liso europeo x Reid Yelow Dent"*, que demostrou ter un bo comportamento para a produción nas condicións galegas onde se cultivan híbridos precoces (Moreno-González, 1988). A aptitude combinatoria das liñas próbase cruzándoas cun *tester*. A avaliación destes cruzamentos realízase en ensaios repetidos en varios ambientes. Neste traballo vanse presentar os resultados de avaliación do primeiro ano das estirpes avanzadas de mellora xeradas a partir do xermoplasma adaptado e o material elite en dous ambientes. »

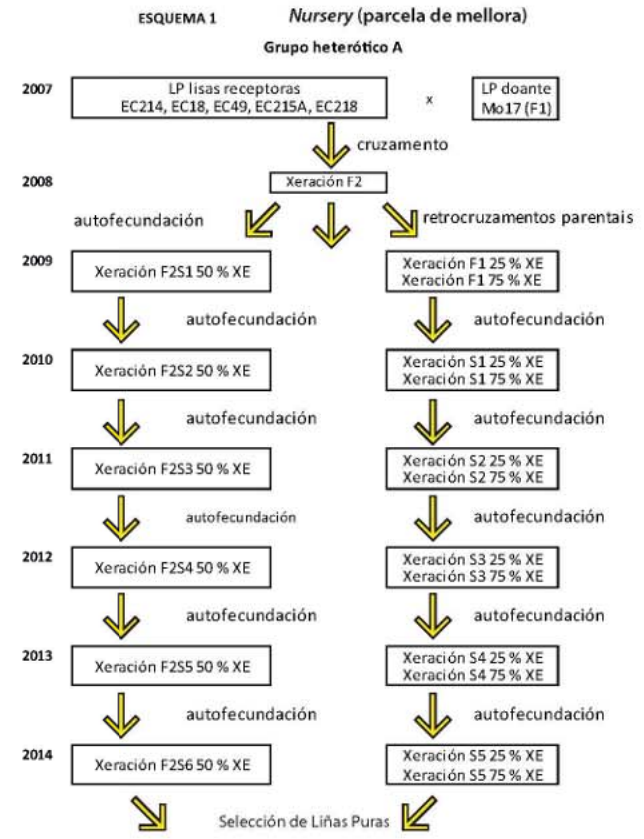


MATERIAL E MÉTODOS

O proceso de mellora de híbridos de millo é un traballo que leva moitos anos, require persoal especializado e moitas polinizacións planta a planta. O proceso de selección lévase a cabo basicamente nestas etapas:

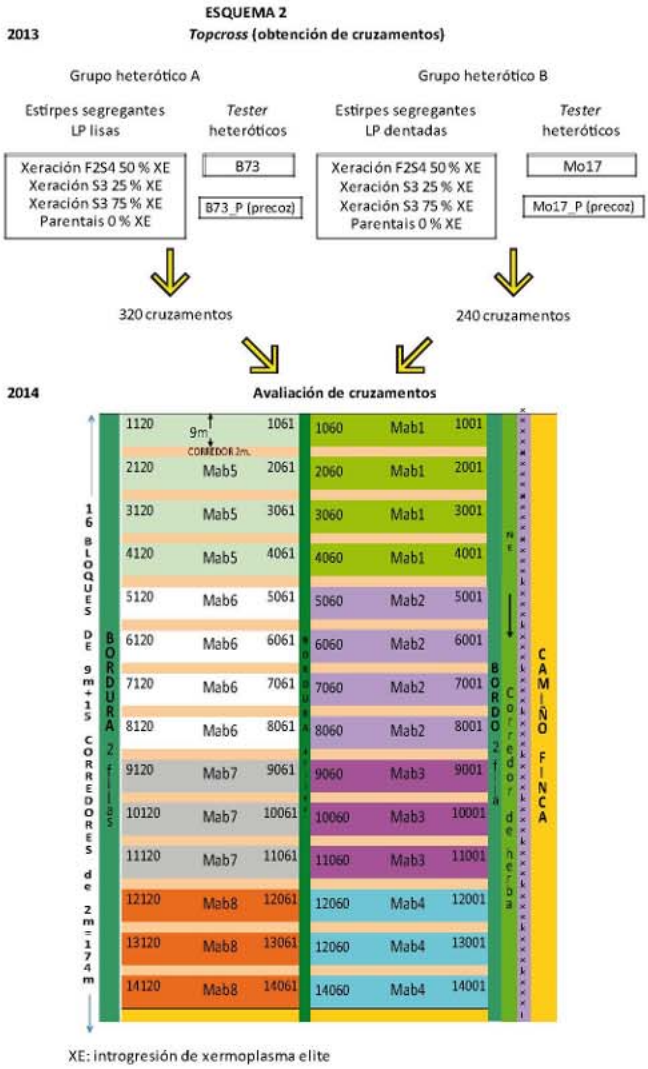
- Obtención das poboacións segregantes
- Derivación de estirpes e liñas puras mediante autofecundacións
- Obtención dos cruzamentos entre as estirpes derivadas e os *tester*
- Avaliación dos cruzamentos
- Selección das liñas puras

Para desenvolver este traballo creáronse dous grupos heteróticos. No primeiro deles, denominado "Grupo heterótico A", cruzáronse cinco LP lisas do CIAM polo doante Mo17 (F1) e a partir da xeración F2 dos cruzamentos orixináronse as estirpes segregantes por autofecundación e retrocruzamentos, como se indica no esquema 1. Desta maneira obtivéronse os niveis de introgresión de xermoplasma elite ao 25, 50 e 75 %.



De maneira análoga ao esquema 1, no "Grupo heterótico B" creáronse as poboacións segregantes a partir do cruzamento (F1) de catro liñas dentadas (EC133A, EC134, EC135 e EC136) pola doante B73, ás que se lles aplicou o mesmo deseño de cruzamentos e retrocruzamentos que ao grupo A. Este sistema mantén a heterose dos cruzamentos híbridos entre estirpes derivadas de ambos os grupos.

A fin de poder obter os cruzamentos, no ano 2013 as 160 estirpes segregantes lisas cruzáronse con dous *tester* heteróticos, coa liña pura B73 e cunha liña emparentada precoz denominada B73_P. Do mesmo modo, as 120 estirpes segregantes dentadas cruzáronse tamén con dous *tester*, a liña pura Mo17 e unha liña emparentada precoz Mo17_P (esquema 2). En 2014, os 560 cruzamentos xerados o ano anterior distribuíronse en catro ensaios que foron repetidos en dúas condicións de cultivo segundo a época de recolección (esquema 2). O deseño estatístico foi un deseño de bloques incompletos alfa-látice parcialmente repetido (Williams *et al.*, 2011).



XE: introgresión de xermoplasma elite

O ensaio cos cruzamentos sementouse o 7 de maio e a recolección levouse a cabo a partir do 29 de setembro. Na colleita avaliáronse o rendemento de materia seca total da planta enteira RMS (t MS/ha) e o contido de materia seca MS (%). Na fase vexetativa da planta tomáronse a altura de planta APL (cm), o encamado ou porcentaxe de plantas encamadas (ENC) e os días da floración feminina (FFEM). As parcelas recolléronse cunha colleitadora CIBUS-S para millo forraxeiro, con pesado automático da forraxe da parcela e con toma automática das mostras para determinar o contido de materia seca e o valor nutritivo. Co fin de buscar un indicador común onde se recollesen os datos máis importantes de rendemento, precocidade e encamado creouse un índice de produción (IP) que se calculou como a porcentaxe do RMS relativa á media do ensaio, e axustada con 0,75 e -0,5 por cada 1 % de diferenza dos contidos de materia seca e encamado de cada cruzamento respecto das medias do ensaio (Campo e Moreno-González, 2014).

Recolección de parcelas con colleitadora CIBUS-S para millo forraxeiro e biomasa

RESULTADOS

Na táboa 1 móstranse os resultados máis relevantes da análise conxunta dos ensaios de avaliación que, unidos á selección na *nursery*, nos permitiu realizar a selección das LP con introgresión de xermoplasma elite, que se presentan na primeira columna. Ademais da avaliación dos cruzamentos das estirpes segregantes polos *tester* B73 e B73_P, tamén se avaliaron o híbrido elite de referencia B73 x Mo17, os cruzamentos das LP lisas receptoras polos *tester*, as testemuñas comerciais (Anjou456, Eldora e LG3303) e o híbrido experimental WAMGAL (en fase de rexistro). O cruzamento elite alcanzou un IP de 119,8 % e unha produción de 22,5 t MS/ha. O seu contido en materia seca foi baixo (30,5 %) respecto da media de todos os cruzamentos avaliados (33,9 %) e foi un híbrido máis tardío (94,4 días a FFEM) que a media dos cruzamentos (89,5 días).

Os cruzamentos derivados das estirpes segregantes da LP EC214 conseguiron menores encamados e maior precocidade entre as estirpes lisas. Na táboa 1 preséntanse as estirpes que conseguiron os máis altos índices de selección cando se avaliaron os seus cruzamentos e as oito LP seleccionadas (EC501, EC502, EC503A, EC503B, EC504, EC505, EC506 e EC507). Entre as LP seleccionadas destacaron os cruzamentos da LP EC504, polo seu baixo encamado (-0,18 %), e EC501, polo seu alto contido en materia seca (35,7 %), que quedan reflectidos nos seus altos IP (110,8 e 110,6 %, respectivamente). A LP receptora EC214 é unha liña pura utilizada no CIAM para conferir resistencia ao encamado nos híbridos forraxeiros.

UNHA ESTRATEXIA DE MELLORA XENÉTICA PARA A OBTENCIÓN DE HÍBRIDOS DE MILLO É DESENVOLVER LIÑAS PURAS (LP) DE SEGUNDO CICLO A PARTIR DO CRUZAMENTO DE MATERIAL ADAPTADO POR MATERIAL ELITE

Entre as estirpes segregantes da LP receptora EC215A seleccionáronse catro LP con nivel de introgresión do 25 %, outras catro con nivel de introgresión do 50 % e unha con 75 % de introgresión do xermoplasma elite. As estirpes máis destacadas foron EC215A(2)_Mo17-1-1-1 e EC215A_Mo17-10-1-1-1, ambas con rendementos por enriba das 20 t MS/ha e a última con alta concentración de MS (36 %) e maior precocidade. A LP EC215A xa foi seleccionada pola súa boa aptitude combinatoria para conseguir cruzamentos con altos contidos en MS (Campo *et al.*, 2012).

Doce LP foron seleccionadas a partir dos 38 cruzamentos que alcanzaron IP por enriba de 100 nas estirpes segregantes derivadas da LP EC218A. A estirpe máis destacada foi EC218(2)_Mo17-9-2, que alcanzou unha maior produción (23,1 t MS/ha) e un maior IP (124,2 %) que o híbrido de referencia B73 x Mo17 (22,5 t MS/ha e 119,8 %). A partir dela seleccionáronse as LP EC518A e EC518B. Outras dúas estirpes, EC218_Mo17(2)-3-2 e EC218_Mo17(2)-4-1, destacaron polo seu baixo encamado (-0,44 %) e a súa alta concentración de materia seca (35,5 %), e a partir delas seleccionáronse as LP EC522A, EC522B e EC521.

Entre as estirpes segregantes da LP receptora EC18 seleccionáronse cinco LP cun nivel de introgresión de xermoplasma elite do 25 % (EC526, EC527A, EC527B, EC528A e EC528B), catro con nivel de introgresión do 50 % (EC529, EC530A, EC530B e EC531) e outras cinco con 75 % (EC532A, EC532B, EC533, EC534A e EC534B). Por último, a partir da LP receptora EC49A conseguíronse os cruzamentos cos valores medios máis altos de RMS e IP. Seleccionáronse oito LP a partir das estirpes segregantes con introgresión de xermoplasma do 25 %, catro con introgresión de xermoplasma do 50 % e sete con introgresión do 75 %. Os cruzamentos das estirpes segregantes que destacaron por altas concentracións de MS foron EC49(2)_Mo17-10-2, EC49(2)_Mo17-10-3 e EC49_Mo17-10-2, e, por baixos encamados, EC49_Mo17-4-1, EC49(2)_Mo17-10-1 e EC49(2)_Mo17-10-2. »

Táboa 1. Liñas puras (LP) seleccionadas a partir dos resultados de avaliación dos cruzamentos das LP e estirpes lisas cruzadas por dous *tester* e a selección de mellora na *nursery*

Liñas puras lisas seleccionadas	LP e estirpes segregantes cruzadas polos *tester* B73 e B73_P	RMS (t MS/ha)	MS (%)	ENC (%)	APL (cm)	FFEM (d)	IP (%)
	Mo17	16,7	33,1	0,61	248,9	90,1	91,1
	EC214	16,4	36,9	0,14	252,3	87,1	92,1
EC501	EC214(2)_Mo17_7-1-1	19,9	35,7	0,82	271,1	88,5	110,6
	Media de cruz. 9 LP (25 % XE)	16,7	34,8	0,39	245,2	88,2	92,4
EC502	EC214_Mo17_2-1-1-1	19,3	34,5	0,84	262,7	87,5	106,1
EC503A e B	EC214_Mo17_8-1-1-1	21,4	31,9	0,75	285,4	89,5	115,5
EC504	EC214_Mo17_8-1-2-1	20,1	33,7	-0,18	282,5	88,8	110,8
	Media de cruz. 14 LP (50 % XE)	17,4	34,0	0,59	262,7	88,1	95,7
EC505	EC214_Mo17(2)_3-1-1	19,9	32,9	0,02	262,3	90,1	109,0
EC506	EC214_Mo17(2)_3-2-1	19,6	35,4	0,19	266,2	88,0	109,1
EC507	EC214_Mo17(2)_5-3-1	19,8	34,2	0,06	265,7	90,2	109,5
	Media de cruz. 11 LP (75 % XE)	17,6	32,6	0,10	258,0	89,5	96,0
	EC215A	20,6	31,9	6,76	287,9	92,9	108,1
EC508	EC215A(2)_Mo17_1-1-1	20,9	33,1	0,27	280,1	91,0	114,2
EC509	EC215A(2)_Mo17_3-1-1	19,8	32,2	2,54	284,3	89,8	106,6
EC510A e B	EC215A(2)_Mo17_5-1-1	23,0	30,7	11,87	276,2	94,1	116,2
	Media de cruz. 6 LP (25 % xE)	19,4	32,5	4,03	278,0	91,0	103,7
EC511	EC215A_Mo17_2-1-1-1	20,5	32,8	1,83	266,1	90,8	111,3
EC512	EC215A_Mo17_9-1-2-1	19,7	33,1	0,12	265,7	89,5	107,6
EC513 e EC514	EC215A_Mo17_10-1-1-1	20,2	36,0	0,63	269,4	88,7	112,6
	Media de cruz. 11 LP (50 % XE)	18,5	33,7	0,74	262,9	90,2	101,2
EC515	EC215A_Mo17(2)_1-1	20,1	34,8	1,16	279,7	92,0	111,0
	Media de cruz.9 LP (75 % XE)	17,0	33,7	1,24	266,9	90,9	92,8
	EC218A	17,0	34,1	0,68	257,3	89,4	93,3
EC516	EC218(2)_Mo17-2-1	19,4	34,5	3,87	262,6	90,2	105,5
EC517	EC218(2)_Mo17-4-1	19,5	32,0	1,28	269,9	92,5	105,3
	EC218(2)_Mo17-9-1	20,9	31,5	0,64	282,6	93,0	112,6
EC518A e B	EC218(2)_Mo17-9-2	23,1	33,5	4,51	283,2	91,6	124,2
	Media de cruz. 11 LP (25 % XE)	19,1	34,4	0,99	270,9	90,9	105,1
EC519	EC218_Mo17-10-1-2	19,7	34,4	5,86	262,3	90,9	105,7
	Media de cruz. 11 LP (50 % XE)	17,2	34,7	1,55	253,2	89,6	94,7
EC520	EC218_Mo17(2)-2-2	19,4	37,8	0,33	266,3	89,0	109,7
EC521	EC218_Mo17(2)-3-2	21,1	32,6	-0,44	252,6	89,6	115,6
EC522A e B	EC218_Mo17(2)-4-1	21,4	35,5	6,21	259,8	87,9	115,8
EC523	EC218_Mo17(2)-6-1	19,5	34,5	-0,01	248,0	88,6	107,8
EC524 e EC525	EC218_Mo17(2)-7-2	20,0	35,3	0,12	267,6	89,1	111,0
	Media de cruz. 16 LP (75 % XE)	17,8	34,4	1,19	252,6	89,7	98,1
	EC18	18,4	33,9	0,27	274,5	88,8	101,1
	EC18(2)_Mo17-1-1	20,3	32,0	-0,49	268,6	88,5	110,6
EC526	EC18(2)_Mo17-2-1	19,3	32,8	-0,46	270,4	90,1	105,8
EC527A e B	EC18(2)_Mo17-10-2	20,0	34,9	0,62	259,9	87,0	110,6
EC528A e B	EC18(2)_Mo17-12-3	20,5	33,4	0,48	259,9	87,0	112,5
	Media de cruz. 13 LP (25 % XE)	18,8	33,7	1,39	264,3	88,9	103,0
EC529	EC18xMo17-8-1-1	19,2	34,5	1,05	255,7	87,9	105,7
EC530A e B	EC18_Mo17-8-1-2	19,4	35,4	0,19	256,5	87,7	107,8
EC531	EC18_Mo17-9-1-1	19,1	36,5	-0,23	251,4	87,1	107,5
	Media de cruz. 11 LP (50 % XE)	18,0	35,1	0,45	253,3	88,9	100,1
EC532A e B	EC18_Mo17(2)-2-1	19,3	36,0	-0,51	270,4	90,7	108,3
EC533	EC18_Mo17(2)-5-1	19,6	34,3	0,19	267,4	91,4	108,0
EC534A e B	EC18_Mo17(2)-7-1	22,0	30,7	0,28	272,8	91,5	118,2
	Media de cruz. 13 LP (75 % XE)	18,3	33,7	0,68	268,3	90,6	100,0
	EC49	15,8	34,5	0,71	239,3	85,2	86,9
EC535	EC49(2)_Mo17-4-1	21,1	31,5	0,24	269,0	90,0	114,1
EC536A e B	EC49(2)_Mo17-6-1	19,6	31,8	0,69	275,4	90,8	106,1
EC537A e B	EC49(2)_Mo17-8-1	22,3	30,6	6,33	285,6	91,3	115,7
EC538	EC49(2)_Mo17-10-1	20,8	34,1	-0,21	270,3	89,6	114,8
EC539	EC49(2)_Mo17-10-2	20,6	35,9	-0,27	276,1	86,5	115,3
EC540	EC49(2)_Mo17-10-3	19,6	36,3	4,21	287,0	88,6	107,8
	Media de cruz. 11 LP (25 % XE)	19,7	33,2	2,12	272,9	89,0	106,8
EC541	EC49_Mo17-4-1	20,1	33,6	-1,29	261,9	88,7	111,0
EC542A e B	EC49_Mo17-8-1	19,7	33,7	2,62	261,0	89,7	107,2
EC543	EC49_Mo17-10-2	20,0	35,5	0,20	260,8	86,9	111,4
	Media de cruz. 9 LP (25 % XE)	19,5	34,2	1,15	258,0	88,9	101,6
EC544A e B	EC49_Mo17(2)-3-1	20,4	34,3	-0,05	265,1	88,9	112,6
EC545	EC49_Mo17(2)-5-1	20,3	31,2	0,92	273,5	91,7	109,3
EC546	EC49_Mo17(2)-5-2	19,6	31,3	0,07	268,3	92,1	105,9
EC547	EC49_Mo17(2)-8-1	19,5	32,6	0,58	265,7	91,1	106,1
EC548A e B	EC49_Mo17(2)-8-2	19,6	33,0	0,12	258,5	89,1	107,1
	EC49_Mo17(2)-9-1	20,6	34,9	0,68	261,0	90,4	114,0
	Media de cruz. 8 LP (75 % XE)	19,6	32,9	0,86	264,9	90,7	106,5
Outros xenotipos avaliados							
H elite	B73 x Mo17	22,5	30,5	1,58	282,2	94,4	119,8
HC testemuña	ELDORA	17,6	28,4	0,23	262,2	92,2	92,7
HC testemuña	LG3303	14,5	37,7	-0,26	220,0	81,2	82,3
HC testemuña	ANJOU456	18,9	35,5	0,98	263,1	89,4	104,6
HE CIAM-WAM	WAMGAL	20,7	31,2	0,19	278,6	86,6	111,8
	Media de todos os híbridos	**18,19**	**33,87**	**1,08**	**261,55**	**89,54**	**99,60**

XE: nivel de introgresión xermoplasma elite; RMS: rendemento de materia seca; MS: contido de materia seca; ENC: encamado; APL: altura da planta; FFEM: floración feminina; IP: índice de produción. H: híbrido; HC: híbrido comercial; HE: híbrido experimental CIAM-WAMESTRADA

Táboa 2. Liñas puras (LP) seleccionadas a partir dos resultados de avaliación dos cruzamentos das LP e as estirpes segregantes dentadas cruzadas por dous *tester* e a selección de mellora na *nursery*

Liñas puras dentadas seleccionadas	LP e estirpes segregantes cruzadas polos *tester* Mo17 e Mo17_P	RMS (t MS/ha)	MS (%)	ENC (%)	APL (cm)	FFEM (d)	IP (%)
	EC133A	21,7	33,3	0,27	259,6	86,9	115,4
EC601	EC133A(2)_B73-1-1	20,8	34,3	-0,05	237,4	90,1	111,8
EC602	EC133A(2)_B73-3-3	21,0	33,3	0,79	260,1	89,2	111,4
EC603	EC133A(2)_B73-7-1	20,1	34,9	-0,11	258,9	87,5	108,3
	Media de cruz. 12 LP (25 % XE)	18,7	33,4	0,12	257,1	88,9	99,7
EC604	EC133A_B73-4-1-2	20,7	33,1	0,14	269,7	89,3	109,9
EC605	EC133A_B73-7-1-1	21,5	35,0	-0,10	266,0	88,7	116,0
	Media de cruz. 11 LP (50 % XE)	18,9	33,4	1,08	264,6	89,8	100,2
EC606	EC133A_B73(2)-1-3	20,5	32,4	0,27	261,9	91,1	108,2
EC607	EC133A_B73(2)-3-2	20,5	32,4	0,31	263,6	92,0	108,5
	Media de cruz. 9 LP (75 % XE)	18,0	33,4	0,73	257,6	90,7	95,7
	EC136	16,9	38,5	-0,20	250,6	87,0	93,7
EC608	EC136(2)_B73-2-3	19,4	40,7	-0,07	257,1	85,8	109,0
EC609A e B	EC136(2)_B73-4-1	19,9	36,7	-0,03	260,1	85,8	109,0
	Media de cruz. 8 LP (25 % XE)	18,7	37,6	0,39	253,7	86,7	103,0
EC610A e B	EC136_B73-1-1-2	20,5	38,8	0,14	257,1	86,3	113,9
EC611	EC136_B73-9-1-1	19,1	39,0	0,02	247,9	86,1	106,4
	Media de cruz. 12 LP (50 % XE)	18,7	36,9	0,18	251,2	86,7	102,1
EC612A e B	EC136_B73(2)-1-1	23,7	33,3	0,08	271,7	87,6	126,1
EC613	EC136_B73(2)-2-3	19,2	35,7	-0,10	249,8	87,6	104,3
EC614	EC136_B73(2)-8-1	18,6	38,0	0,11	242,1	87,0	102,3
	Media de cruz. 12 LP (75 % XE)	16,7	37,7	0,40	239,0	86,4	91,7
	EC134	18,5	32,9	0,29	262,6	90,3	98,0
EC615	EC134(2)_B73-5-1	19,1	34,6	0,57	271,5	88,1	102,7
	Media de cruz. 5 LP (25 % XE)	16,9	34,8	0,38	255,0	88,1	90,9
EC616 A e B	EC134_B73-2-1-1	21,9	34,1	0,26	264,2	88,7	117,1
EC617	EC134_B73-7-1-1	20,2	37,6	0,27	254,0	87,8	110,9
	Media de cruz. 5 LP (50 % XE)	20,2	33,9	0,55	258,2	88,8	107,9
EC618	EC134_B73(2)- 2-1	22,3	31,0	0,17	263,1	92,2	116,6
	EC134_B73(2)-3-1	22,7	33,8	0,17	271,7	91,4	121,4
	EC134_B73(2)-3-2	22,2	32,6	0,35	279,1	91,7	117,4
EC619A e B	EC134_B73(2)-5-1	23,9	32,5	0,90	285,0	92,0	126,1
EC620, EC621 A, B, C e D	EC134_B73(2)-7-1	23,3	34,3	0,14	262,9	89,9	125,1
	Media de cruz. 7 LP (75 % XE)	22,6	32,2	0,33	276,1	91,8	119,0
	EC135	17,4	34,5	0,26	245,5	88,8	93,5
EC622A e B, EC623A e B	EC135(2)_B73-3-2	21,4	34,0	-0,14	259,9	88,8	114,5
	Media de cruz. 11 LP (25 % XE)	18,1	35,1	0,16	256,5	88,2	97,8
EC624	EC135_B73-8-1-1	20,3	32,1	0,34	252,4	90,0	106,7
	Media de cruz. 8 LP (50 % XE)	17,4	35,3	0,06	245,3	89,4	94,2
EC625	EC135_B73(2)-6-1	19,8	32,2	0,00	260,6	91,4	104,8
	Media de cruz. 4 LP (75 % XE)	18,8	32,4	0,53	259,2	90,6	99,2
Outros xenotipos avaliados							
H elite	B73 x Mo17	23,3	32,4	0,16	270,0	92,2	123,1
H elite precoz	B73 x Mo17_P	24,2	30,2	0,61	270,8	94,7	125,7
HC testemuña	ANJOU456	15,8	34,7	0,78	255,5	87,6	84,6
HC testemuña	ELDORA	17,8	30,3	0,16	255,8	92,6	92,8
HC testemuña	LG3303	15,6	37,1	-0,05	227,0	81,7	85,5
HE CIAM-WAM	WAMGAL	22,4	33,9	0,05	260,5	85,2	119,8
	Media de todos os híbridos	**18,50**	**34,90**	**0,38**	**254,60**	**88,50**	**99,60**

H: híbrido; HC: híbrido comercial; HE: híbrido experimental; XE: introgresión de xermoplasma exótico; RMS: rendemento de materia seca; CM: contido de materia seca; ENC: encamado; APL: altura da planta; FFEM: días transcorridos desde a sementeira ata a floración feminina; IP: índice de produción

Os resultados de avaliación dos cruzamentos das estirpes segregantes orixinadas a partir das LP dentadas e a súa correspondente selección de liñas puras preséntanse na táboa 2. Do mesmo xeito que no caso anterior, nestes ensaios tamén se avaliaron os tres híbridos comerciais testemuñas, o híbrido experimental WAMGAL e o híbrido elite de referencia.

O cruzamento elite alcanzou unha produción media de 23,3 t MS/ha, 0,16 % de ENC e un IP de 123,1 %. O cruzamento precoz B73 x Mo17_P conseguiu un valor máis baixo de materia seca, 30,2 %, pero maior produción (24,2 t MS/ha) e maior IP (125,7 %). Os híbridos testemuñas acadaron unhas producións de entre 15,6 e 17,8 t MS/ha e un índice de produción máximo de 92,8 % (ELDORA). O híbrido experimental WAMGAL superou as 22 t MS/ha e alcanzou un IP de 119,8 %, con baixo encamado (0,05 %), e ademais foi máis precoz que a media de todos os cruzamentos avaliados (85,2 días a FFEM).

Seleccionáronse sete LP a partir das estirpes segregantes con xermoplasma derivado da LP receptora EC133A e a LP doante B73. Algúns dos cruzamentos derivados destas estirpes segregantes tiveron encamados moi baixos.

Os cruzamentos derivados das estirpes segregantes da LP receptora EC136 alcanzaron as maiores precocidades e as máis altas concentracións de MS. A estirpe EC136(2)_B73-2-3 obtivo o valor máis alto de MS (40,7 %) de todo o ensaio, así como a maior precocidade das estirpes segregantes avaliadas (85,8 días a FFEM). Outras tres estirpes segregantes destacaron polas súas máis altas concentracións de MS respecto da media dos cruzamentos (34,5 %): EC136_B73-1-1-2, EC136_B73-9-1-1 e EC136_B73(2)-8-1, con MS de 38,8 %, 39 % e 38 %, respectivamente. A estirpe EC136_B73(2)-1-1 foi superior ao híbrido de referencia con maior RMS (23,7 t MS/ha) e maior IP (126,1 %). A partir destas estirpes seleccionáronse tres LP cun 25 % de introgresión de xermoplasma elite (EC608, EC609A e EC609B), outras tres cun 50 % de introgresión de xermoplasma elite (EC610A, EC610B e EC611) e catro cun 75 % (EC6012A, EC612B, EC613 e EC614).

As estirpes segregantes da LP receptora EC134 alcanzaron as maiores producións e os maiores índices de produción, destacando entre elas EC134_B73(2)-5-1 e EC134_B73(2)-7-1, con producións de 23,9 e 23,3 t MS/ha e IP superiores ao híbrido de referencia (126,1 e 125,1 %, respectivamente), e a poboación EC134_B73(2)-3-1, que alcanzou un rendemento de 22,7 t MS/ha e un IP de 121,4 %, moi próximo ao do híbrido de referencia, pero con mellores características agronómicas. A partir destas estirpes seleccionáronse 12 LP. Por último, a partir dos cruzamentos das estirpes segregantes da LP receptora EC135 seleccionáronse seis LP (EC622A, EC622B, EC623A, EC623B, EC624 e EC625). Os cruzamentos destas estirpes foron os que acadaron niveis máis baixos de encamado, sobresaíndo os cruzamentos da estirpe segregante EC135(2)_B73-3-2, cunha produción de 21,4 t MS/ha, un encamado de -0,14 % e un IP de 114,5 %. A partir deste retrocruzamento seleccionáronse catro LP.

CONCLUSIÓNS

Despois de oito anos de selección, máis un de cruzamentos (*topcross*) e outro de avaliación de cruzamentos en dous ambientes, escolléronse 62 liñas puras lisas e 35 liñas puras dentadas derivadas de material adaptado con diferente grao de introgresión de xermoplasma elite procedente das liñas puras elite americanas B73 e Mo17.

As liñas puras seleccionadas foron incluídas dentro do banco de xermoplasma de millo do CIAM e no programa de mellora para desenvolver híbridos de millo con alto valor forraxeiro e adaptados ás condicións edafoclimáticas da cornixa cantábrica, onde son amplamente utilizados para a alimentación animal.

AGRADECEMENTOS

Esta investigación forma parte do proxecto RTA2012-00100-00 financiado polo INIA (Ministerio de Economía e Competitividade). ●

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Argillier O., Hèbert Y. y Barrière Y. (1995) Relationships between biomass yield grain production, lodging susceptibility and feeding value in silage maize. *Maydica*, 40: 125-136.

Barriere Y., Traineau R. y Emile J.C. (1992) Variation and covariation of silage maize digestibility estimates from digestion trial with sheep. *Euphytica,* 59: 61-72.

Brancourt-Hulmel M., Heumez E., Pluchard P., Beghin D., Depatureaux C., Giraud A. y Le Gouis J. (2005) Indirect versus direct selection of winter wheat for low-input or high-input levels. *Crop Science* 45: 1427-1431

Campo L. y Moreno-González J. (2014) Introgresión de germoplasma élite para la mejora de híbridos de maíz forrajero. *Acta Hort*, 69: 67-68.

Campo, L., Monteagudo A.B. y Moreno-González J. (2012) Aptitud combinatoria entre líneas puras de maíz para alto rendimiento forrajero. *Acta Hort*, 62: 43-45.

ESYRCE (2013) Encuesta sobre supercifies y rendimiento de cultivos. www.magrama.es.

Malvar R.A., Ordás A., Revilla P., Cartea M.E. (1996) Estimates of genetic variances in two Spanish populations of maize. *Crop Science,* 36: 239-242

Moreno-González J. (1988) Diallel Crossing System in Sets of Flint and Dent Inbred Lines of Maize (*Zea mays* L). *Maydica,* 33: 37-49.

Moreno-González J., Ramos-Gourcy F. y Losada E. (1997) Breeding Potential of european flint and earliness-selected US Corn Belt dent maize populations. *Crop Science* 37: 1475-1481.

Svensson K., Odlare M. y Pell M. (2004) The fertilizing effect of compost and biogas residues from source separated household waste. *J. Agric. Sci*., 142 : 461-467.

Williams E., Piepho H.P., Whitaker D. (2011) Aumented p-rep designs. *Biometrical J*. 53: 19–27.