

QUANTIFICACIO DE LA SENESCENCIA RETARDADA AL BLAT DE MORO

L.Bosch¹, A.M.Verdú¹, M.Mas¹, E.Sanchez¹, F.Casañas¹, A.Almirall¹, i F.Nuez²

¹ Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. Urgell 187. 08036 Barcelona.

² Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos de Valencia. Camino de Vera. 46022 Valencia.

Key words: delayed senescence, forage maize, stay green.

Abstract: Quantification of delayed leaf senescence in maize.

An easy criterion to quantify delayed senescence (stay green) differences between genotypes of maize is searched for, the number of dry leaves expressed as a function of the accumulated heat units since flowering date being the measured trait. The process, described as the percentage of dry leaves at each moment, shows a sigmoid trajectory with two remarkable aspects: 1) The moment where the plant increases the drying of leaves in an important way (PCRSF), and 2) the rate of leaf drying since that point.

As the mathematical description and later comparison of the sigmoid curves is complex, a logarithmic transformation

was intended to make easy the comparison of trajectories. Even then, the slope of the straight line and the intercept with the y axis do not describe satisfactorily the stay green degree. Accepting that the comparison of the whole process is too complex, it is proposed to characterize the genotypes in a point of the curve (for exemple 50% of dry leaves) very correlated with the most interesting part of the curve from the agronomic point of view. Accumulated Heat Units from pollen shedding untill 50% dry leaves, divided by the Accumulated Heat Units from planting to pollen shedding, is considered to be a good index to compare genotypes, eventhough if they are of different maturity rating. This index should be specially useful to characterize maize intended for forage use.

Resum:

Es busca un criteri senzill per a quantificar numèricament les diferències entre genotips de blat de moro pel que fa a la persistència verda o senescència retardada. S'adopta com a caràcter a mesurar l'aparició de fulles seques en funció de la integral tèrmica acumulada des de la floració. El procés, expressat en percentatge de fulles seques a cada moment, resulta tenir una trajectòria sigmoïdal amb dos trets característics: 1) el Punt de Canvi de Ritme de la Senescència Foliar o moment en el qual la planta comença a presentar fulles seques de manera important (PCRSF), i 2) la velocitat a la qual van apareixent fulles seques una vegada assolit aquest punt.

Ja que la descripció matemàtica i posterior comparació de les trajectòries sigmoïdals és complexa, s'assaja una transformació logarítmica per a facilitar

la comparació. Tot i així el pendent i l'ordenada a l'origen de la recta resultant de la transformació, no descriuen satisfactòriament el grau de persistència verda. Vist que l'enfoc de la comparació simultània de la totalitat del procés resulta massa complexe, es proposa caracteritzar els genotips per un moment de la trajectòria (per exemple 50% de fulles seques) que resulta molt correlacionat amb el que succeeix durant la part del procés que té més interès des d'un punt de vista agronòmic. Així s'estableix l'índex Integral Tèrmica Acumulada desde la floració fins el 50% de fulles seques/Integral Tèrmica Acumulada desde la sembra fins l'antesi, que permet comparar genotips fins i tot de diferents cicles, i d'ús especialment adequat quan es tracta de caracteritzar blats de moro farratgers.

INTRODUCCIÓ

Durant el procés de millora del blat de moro que ha portat fins als híbrids actuals s'han produït diversos canvis que afecten a la posició de les fulles (fulles erectes versus horitzontals), la eficiència fotosintètica, la senescència de la fulla, el període d'acumulació de matèria seca en el gra, etc. No se sap del cert el pes

relatiu d'aquests canvis en l'increment de la producció però probablement tots hi han influït.

La persistència verda de la planta (stay green) o senescència retardada de la fulla s'ha relacionat amb un allargament del període durant el qual la

planta fotosintetitzada i acumula fotosintetitzats dins del gra, per tant com un avantatge de cara a la producció per a un mateix cicle a floració (Verderio et al., 1989). També s'ha indicat que la persistència verda, independentment de la seva influència favorable sobre la producció, és avantatjosa quan el blat de moro es conrea per a farratge ja que la digestibilitat del material es manté estable durant més temps donant un major marge de maniobra per a realitzar la collita (Bosch et al., 1989).

Es cert que al camp s'aprecien diferències entre genotips pel què fa a la persistència verda, però s'ha discutit també si aquesta diferenciació visual té un o més orígens. De fet, la persistència verda pot ésser deguda, entre d'altres causes, a una major resistència a les malalties, a una major longevitat de l'aparell fotosintètic, o a la influència de gens majors com el detectat per Gentinetta et al., (1986). Sigui quina sigui la seva causa darrera, actualment està acceptat que el caràcter persistència verda és apreciable, que està determinat genèticament i, a més, que es tracta d'una característica favorable especialment en els blats de moro farratgers. Això fa que les cases comercials incloguin en la descripció dels seus híbrids una valoració del caràcter.

Justament aquí comencen els problemes, ja que passar d'una valoració visual a una valoració més objectiva és difícil i, de moment, no s'ha imposat cap mesura particular per definir el grau de persistència verda o senescència retardada. Gentinetta et al., (1986) utilitzen la concentració de clorofil·les per a mesurar el caràcter, mentre que Bosch et al. (1989) i Bosch et al., (1990) utilitzen el nombre de fulles seques i de tiges mortes juntament amb el % de matèria seca de la part vegetativa de la planta, sient el primer caràcter l'únic eficaç. Les cases comercials no donen cap quantificació numèrica de les seves apreciacions, amb la qual cosa resulta en alguns casos que la presumpta persistència verda no és res més que un cicle més llarg, ja que l'espiga té un % d'humitat més alt que els testimonis (serien genotips que a igualtat de cicle a floració madurarien més lentament).

La utilització de mètodes descriptius del tipus evolució en funció del temps (o integral tèrmica) de la concentració de clorofil·la, fulles seques, etc. presenta la dificultat de la seva expressió. En efecte, per definir la persistència verda d'un determinat genotip cal examinar la seva gràfica d'evolució de concentració de clorofil·la, nombre de fulles seques, etc. Donada aquesta situació, el nostre propòsit amb aquest treball és intentar

buscar un índex senzill per a definir el caràcter persistència verda que permeti comparar amb facilitat diferents genotips al menys dins d'un mateix cicle a floració. D'aquesta manera es podria sol·licitar a les cases comercials que

oferissin la informació referent a aquest caràcter d'una manera comuna. Creiem també que el maneig d'un índex d'aquest tipus impulsaria els estudis sobre les arrels i les conseqüències agronòmiques del caràcter.

MATERIAL I MÈTODES

L'experiment es va realitzar a Torrebónica (Vallès Occidental, Barcelona) en règim de regadiu. Es van assatjar 58 híbrids comercials de cicles de maduració compresos entre 300 i 800 FAO, representats per solcs sense repetició a una densitat de 83.300 plantes/ha.

Es van controlar el nombre de dies a floració masculina (50% de plantes del genotip emetent pol·len) i el nombre de fulles seques (per genotip) en intervals de 7 dies (des de l'aparició de fulles seques fins el final del cicle biològic). El temps s'expressa en funció de l'integral tèrmica calculada pel mètode nordamericà NOAA (Felch et al., 1972).

RESULTATS I DISCUSSIÓ

Per la discussió dels resultats obtinguts es classifiquen els híbrids en 8 grups de precocitats establertes a partir del dia de floració (Taula 1), intentant esmoreir l'efecte dels cicles diferents sobre la senescència dels genotips. El nombre de genotips per grup varia de 4 a 14.

En representar sobre absises la integral tèrmica, i sobre ordenades el % de fulles seques acumulades (n), obtenim la caracterització del comportament stay-green per cada híbrid com una corba sigmoidal (Figura 1). Aquesta corba descriu la dinàmica de senescència de les plantes permetent conèixer: 1) amb qui-

Taula 1.- Valors de les variables relacionades amb el cicle i la senescència retardada, per a els híbrids assajats.

Values for the traits related with earliness and delayed leaf senescence in the studied hybrids.

Híbrid	dies a flor.	ITA _a	cicle atribuït	Grup	Pendent recta	a recta	ITA _{fs}
Sabrina	65	669.5	300/400	1	.011	-9.51	913
DK-498	65	669.5	300	1	.017	-13.50	763
Derek	65	669.5		1	.012	-9.49	794
RX-58	65	669.5	500	1	.014	-10.60	763
DK-222	65	669.5	400	1	.012	-9.06	763
P-3551	65	669.5	400/500	1	.013	-9.81	813
Marengo	65	669.5	400	1	.012	-9.75	863
Demar	65	669.5	400	1	.015	-10.09	688
Sirena	66	684		2	.012	-9.44	813
A-664	66	684		2	.014	-10.41	781
G-4408	66	684	400/500	2	.016	-11.41	719
Potro	66	684	500/600	2	.009	-7.77	788
Pamela	68	715		3	.014	-9.79	863
AE-7020	68	715	700	3	.012	-8.83	775
XL-72AA	68	715	700	3	.012	-9.35	763
Lenor	68	715	500	3	.012	-9.43	756
AD-534	68	715	500	3	.015	-10.46	750
Granada	69	731.5	600/700	4	.014	-10.19	694
Mincio	69	731.5	800	4	.014	-10.81	794
Ivana	69	731.5	600	4	.010	-8.52	844
Logos	69	731.5	600	4	.010	-8.40	813
AD-640	69	731.5	700	4	.009	-7.73	781
Vinicio	69	731.5	700	4	.011	-9.11	875
Croma	69	731.5	600/700	4	.008	-7.21	869
PS-734	69	731.5	700	4	.013	-9.02	694
PS-71	69	731.5	700	4	.014	-10.13	794
Prisma	69	731.5	700/800	4	.010	-8.71	888

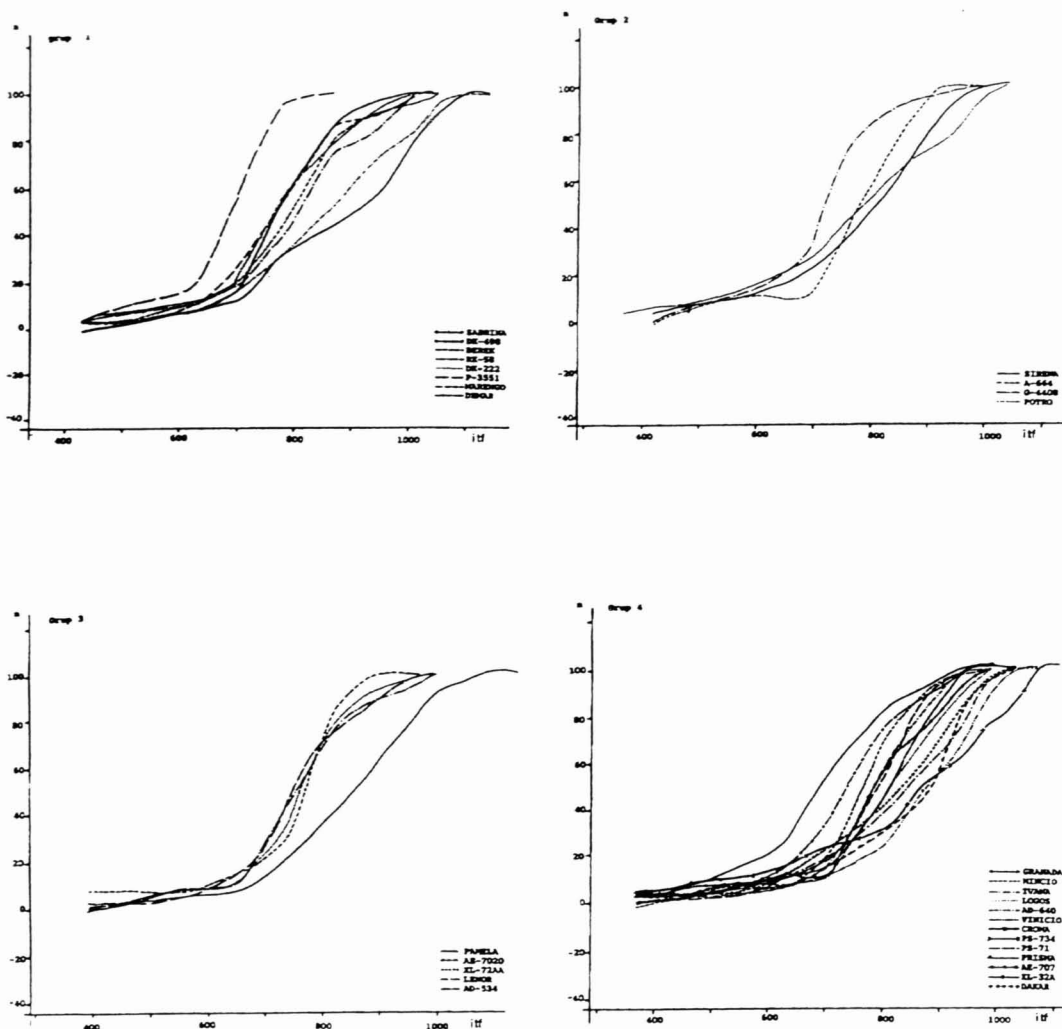
AE-707	69	731.5	600	4	.011	-8.58	788
XL-32A	69	731.5	400	4	.013	-9.77	744
Dakar	69	731.5	600	4	.011	-9.29	838
Flamingo	70	746.5	700	5	.010	-7.41	750
Polaris	70	746.5	700	5	.011	-8.69	794
Alinovo	70	746.5		5	.010	-8.11	825
Pianosa	70	746.5	800	5	.008	-7.55	881
G-4441	70	746.5	500	5	.012	-9.18	763
AE-750	71	762	700	6	.013	-9.26	700
PX-74	71	762	700	6	.014	-9.78	725
Futuro	71	762	700	6	.011	-7.92	725
DK-4F	71	762	800	6	.008	-7.14	913
Alios	72	778	800	7	.011	-8.15	738
Saga	72	778	800	7	.010	-8.17	819
Max	72	778	700	7	.013	-9.35	750
AE-703	72	778	700	7	.015	-10.10	694
G-4727	72	778	800	7	.009	-7.00	775
Dracma	72	778	700	7	.009	-7.28	888
M-770	72	778	800	7	.010	-8.20	819
Comaro	72	778	700	7	.010	-7.87	875
Molto	72	778		7	.010	-8.78	856
Radiant	72	778	800	7	.008	-7.09	875
XL-32AA	72	778	500	7	.012	-8.11	688
Amanda	73	794.5	800	8	.010	-8.06	788
Bianca	73	794.5	700/800	8	.014	-10.43	763
Nepris	73	794.5	700/800	8	.011	-7.98	738
XL-72	73	794.5	700	8	.014	-9.21	688
Lorena	73	794.5	800	8	.010	-7.96	794
G-20597	73	794.5	600	8	.010	-7.86	831
A-650	73	794.5	600	8	.007	-5.68	769

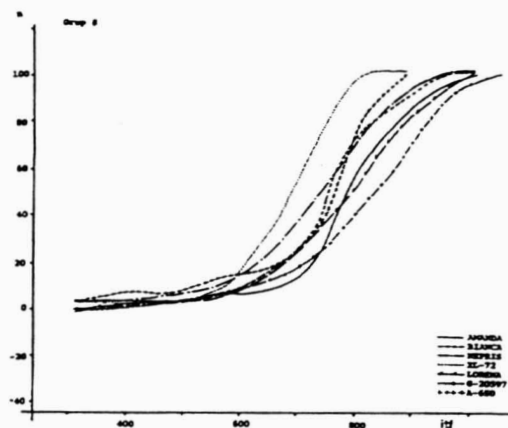
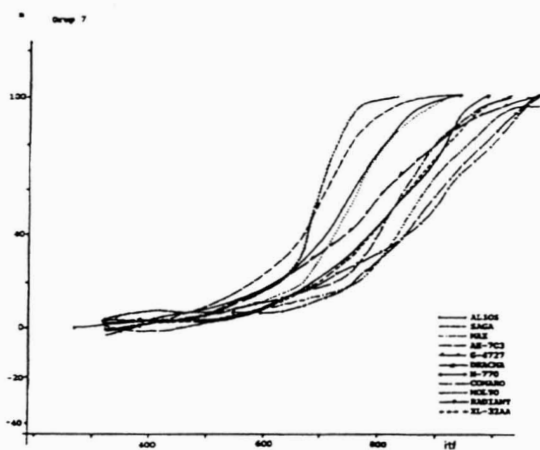
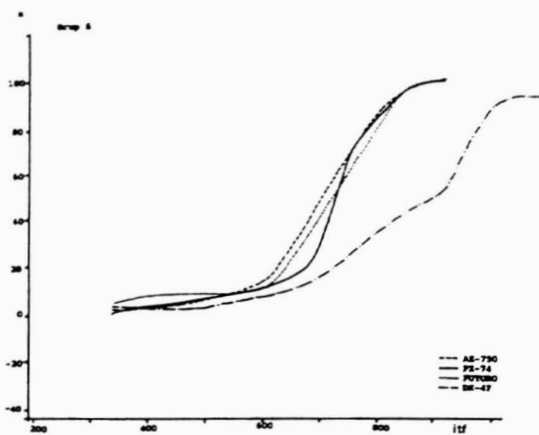
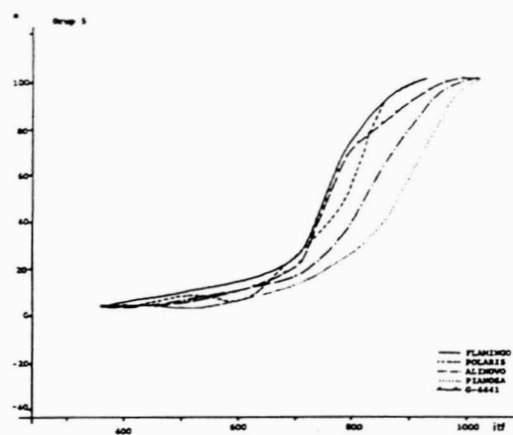
ITA_a : Integral Tèrmica Acumulada fins antesi.

ITA_b : Integral Tèrmica Acumulada des de l'antesi fins 50% fulles seques

a recta: Ordenada en l'origen, de les rectes de regressió.

Figura 1.- Corbes sigmoidals dels diferents híbrids agrupats segons la floració masculina.
 abcises: itf (integral tèrmica des de la floració masculina).
 ordenades: n (% de fulles seques acumulades)
 Sigmoid curves in the different hybrids grouped according days to pollen shedding.
 x axis: itf (accumulated heat units till pollen shedding).
 y axis: n (accumulated % of dry leaves).





na velocitat es produeix la senescència foliar, 2) en quin punt o amb quina integral tèrmica aproximada el genotip comença a presentar fulles seques de manera important, obeïnt a un canvi en el ritme de la senescència fisiològica. Un híbrid molt stay-green requeriria major magnitud d'integral tèrmica per arribar al Punt de Canvi de Ritme de la Senescència Foliar (PCRSF) i/o presentaria una menor velocitat d'aparició de noves fulles seques. Per il·lustrar això a la Figura 2 es contrasten dos híbrids del grup 8 amb diferents estratègies de senescència. Com es pot observar l'híbrid G20597 presenta retard en la senescència foliar en comparació amb l'híbrid XL 72 que es comporta com a no stay-green. En aquest cas les diferències afecten tant al PCRSF com al ritme posterior de dessecació.

Una valoració subjectiva dins dels diferents grups que hem establert (Figura 1) ens permet fer classificacions del caràcter stay-green paral·leles a la de l'exemple anterior. Així com a stay-green podríem destacar Sabrina i Marengo (Grup 1), Sirena (Grup 2), Pamela (Grup 3), Pianosa (Grup 5), DK-4F (Grup 6), Dracma, Radiant i Molto (Grup 7), i G-20597 (Grup 8), mentre que Demar (Grup 1), G-4408 (Grup 2), PS 734 (Grup 4), Flamingo i G-4441 (Grup 5), AE-750 (Grup 6), AE703 i XL-32AA (Grup 8), serien no stay-green. Ha de quedar ben

clar però que el caràcter stay-green l'hem mesurat per comparació (el tractem en aquesta aproximació simplement com una mesura d'ordre). Així, en el Grup 3, Pamela és més stay-green que la resta, però no sabem si els altres ho són molt poc (tots no stay-green), o si tenen tots valors mitjans i el què passa és que per qüestió de mostreig no n'hi ha cap de realment poc stay-green en el grup.

Es podria assajar una classificació numèrica global de les trajectòries, però les corbes sigmoïdals, molt descriptives, no permeten utilitzar un mètode estadístic senzill per comparar el comportament de cada híbrid i trobar la significació de les diferències que pugui haver-hi entre ells. Si intentem fer una regressió lineal sobre la sigmoïdal el coeficient de determinació és baix i s'uniformitzen les diferències entre corbes, amb la qual cosa perdem informació sobre la dinàmica de senescència.

Per propiciar una comparació de trajectòries globals que vagi més enllà de fer una simple ordenació, hem assajat la transformació de la variable % de fulles seques acumulades (n), en una altra (m), mitjançant la següent funció logarítmica:

$$m = -\ln[(100-n)/n]$$

El núvol de punts que obtenim en representar m a les ordenades i mantenint

la integral tèrmica a les absises té un coeficient de determinació molt alt en general (mitjana dels coeficients de determinació igual a 0.9128 ± 0.05), pel què té sentit fer regressió lineal. Les rectes obtingudes aporten la següent informació per cada híbrid: **1)** el pendent (Taula 1), que s'associa a la velocitat de dessecació de fulles. Els pendents baixos s'associen a una velocitat menor i per tant a un comportament stay-green de l'híbrid, com per exemple el G 20597 a la Figura 3, mentre que els pendents alts indiquen una aparició ràpida de fulles seques en menor període de temps, com es veu a la mateixa figura per l'híbrid XL 72 i, per tant, una senescència avançada o comportament no stay-green. **2)** el punt de tall de la recta a l'eix d'absises que correspon a la integral tèrmica en la que cada híbrid presentaria el 50% de fulles seques acumulades si seguís aquesta trajectòria ideal. Aquest moment és especialment interessant per l'aprofitament farratger, ja que normalment l'interval òptim de collita es troba al seu entorn.

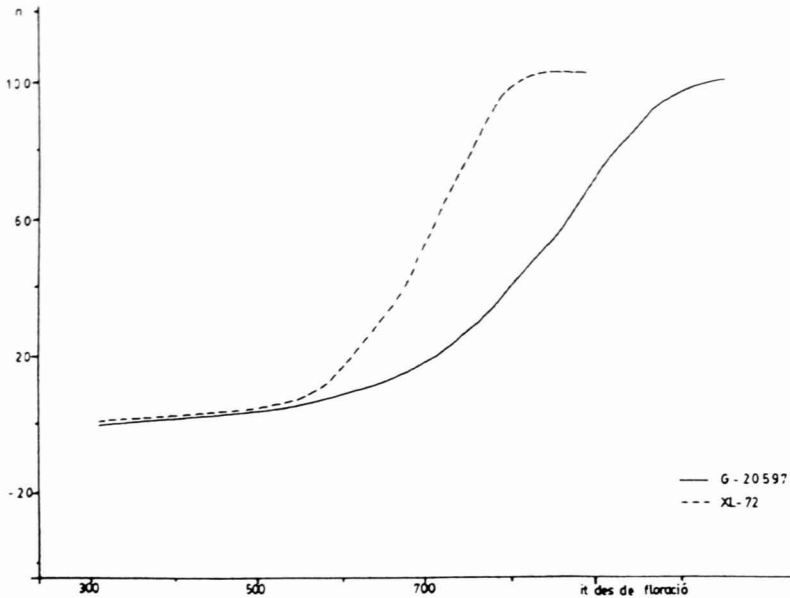
L'avantatge de les rectes que obtenim per cada híbrid mitjançant aquesta transformació logarítmica, respecte de les corbes sigmoïdals, és que els pendents es poden comparar mitjançant una anàlisi de la variància senzilla. Si el comportament stay-green depengués

principalment de la velocitat d'aparició de fulles seques observable en la part central de la sigmoïdal i donat que la transformació logarítmica transmet al pendent d'aquestes rectes un cert sentit de velocitat, podríem quantificar el caràcter d'una manera numèrica senzilla i susceptible d'ésser tractada estadísticament, mitjançant el valor d'aquest pendent.

A l'analitzar de nou els gràfics sigmoïdals podem apreciar però com la dinàmica de senescència ve caracteritzada tant pel moment en què s'inicia, com per la velocitat amb què van apareixent posteriorment les fulles seques. Sembla doncs, que no podem quantificar d'una manera numèrica senzilla el comportament stay-green, i que cal assumir que ambdós paràmetres són necessaris per definir-lo estrictament. A més, la transformació logarítmica, encara que fa més fàcil la comparació estadística, no permet fer una interpretació visual de la dinàmica de senescència.

Sembla doncs que contemplat des d'un punt de vista estricte el procés de senescència en el blat de moro exigeix una descripció complexa mitjançant una funció que segueixi tot el procés. Pensem però que el problema admet una altre enfoc. satisfactori al menys des del punt de vista del seu us agronòmic. En efecte,

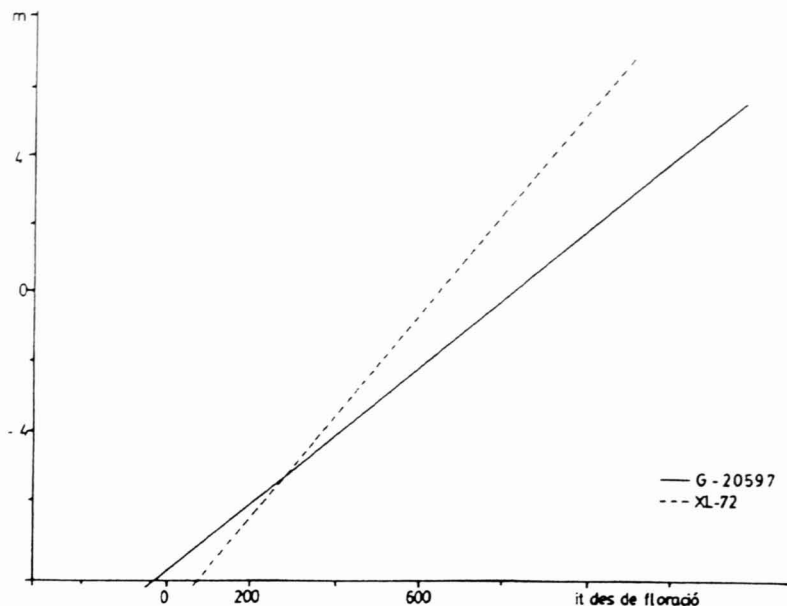
Figura 2.- Corbes sigmoidals dels híbrids XL-72 i G-20597 (grup 8).
Sigmoid curves in the XL-72 and G-20597 hybrids (group 8).



acabem de veure que la descripció exacta del comportament stay-green només s'assoleix a través de funcions més o menys complexes, però també és cert que des del punt de vista pràctic n'hi ha prou amb considerar la part central de la corba (per exemple, des del 30% al 80% de fulles seques). Efectivament, la banda inferior de la corba, prèvia al PCRFSF, correspon a les fulles inferiors que són poc importants, ja que a més de ser petites els arriba poca llum. Pel què fa a la banda superior, quan queden només un 20% de fulles verdes, el caràcter stay-green ja s'ha expressat pràcticament del tot, estant les plantes en l'última fase del seu cicle vital.

Aquest enfoc pràctic ens posa de manifest la importància de la posició de la corba més que no pas el pendent, ja que dins de l'interval de referència les corbes mantenen un paral·lelisme notable (Figura 1). Això simplifica extraordinàriament la quantificació del caràcter ja que en una primera aproximació podem ordenar els genotips segons la posició que ocupen dins l'interval. Per exemple, en el Grup 1 l'ordenació de més a menys stay-green seria: Sabrina, Marengo, P-3551, Derek, DK-498, Rx-58, DK-222, Demar, i en el Grup 4: Vinicio, Prisma, Cromà, Ivana, Dakar, Logos, Granada, PS-71, AE-707, AD640, Mincio, XL32A, PS734.

Figura 3.- Rectes de regressió dels híbrids XL-72 i G-20597 (Grup 8).
Regression lines in the XL-72 and G-20597 hybrids (Group 8).



L'estratègia de l'ordenació ens torna al principi de la discussió, però ara procedim més objectivament al tractar-se d'un interval petit on les trajectòries són molt rectilínies.

Donat que la font principal de diferenciació de les corbes dins de l'interval no són els ritmes d'assecatge de fulles, sinó les unitats tèrmiques que necessita cada híbrid per entrar en l'interval, podríem utilitzar qualsevol punt dins de l'interval com a quantificador del caràcter stay-green per anar més enllà de l'enumeració d'ordre. Per un 50% de fulles seques, la correlació

de rang entre posició dins l'interval i unitats tèrmiques acumulades dona en tots els grups valors de r superiors a 0.9). Aquesta sí seria una mesura realment senzilla del caràcter stay-green, assumint però l'enfoc pràctic de cara a la utilització en blat de moro d'ús farratger. Podrien utilitzar-se valors superiors de percentatge de fulles seques pel blat de moro gra.

La solució proposada ens dona encara una opció addicional de caire generalitzador. Es tracta de referir les unitats d'integral tèrmica acumulada desde la floració fins al 50% de fulles se-

ques (ITA_{fs}), a les unitats d'integral tèrmica acumulada desde la sembra fins l'antesi (ITA_a). Aquest nou índex (ITA_{fs}/ITA_a) al tenir sempre el mateix referencial permet la comparació entre diferents grups de precocitat, ja que elimina la influència del cicle en el caràcter stay-green (Taula 2). La tipificació és vàlida ja que la correlació entre ITA_a i ITA_{fs} calculada entre els valors mitjans de cada grup és de 0.93. Considerem que l'ús d'un índex tant senzill com aquest

contribuirà a l'estudi del caràcter, i especialment a separar el què són diferències de persistència verda a igualtat d'humitat del gra del què són ritmes diferents de maduració del gra a igualtat de cicle a floració. Aquests dos aspectes estan actualment confosos dins de la concepció stay-green però tenen una significació agronòmica completament diferent. Per altra banda s'obre la porta a la descripció unitària del caràcter per part de les cases comercials.

Taula 2.- Valors de l'índex de persistència verda ITA_{f5}/ITA_a per a els híbrids assajats. S'han de considerar com simples exemples ja que s'han calculat sense repeticions i en un sol any i localitat. Values of the stay green index ITA_{f5}/ITA_a in the studied hybrids. They must be considered only like exemples as they have been calculated without replications and in a single year and location.

XL-72	.87	AE-707	1.08
XL-32AA	.88	Mincio	1.08
AE-703	.89	AE-7020	1.08
Nepris	.93	PS-71	1.08
AE-750	.94	Molto	1.10
Alios	.95	Alinovo	1.10
PS-734	.95	Logos	1.11
Granada	.95	Radiant	1.12
Bianca	.96	Comaro	1.12
Max	.96	Dracma	1.14
A-650	.97	Dakar	1.14
Futuro	.97	A-664	1.14
PX-74	.97	DK-222	1.14
Amanda	.99	RX-58	1.14
Lorena	1.00	DK-498	1.14
G-4727	1.00	Ivana	1.15
Flamingo	1.00	Potro	1.15
G-4441	1.02	Pianosa	1.18
XL-32A	1.02	Croma	1.19
Demar	1.03	Sirena	1.19
M-770	1.05	Derek	1.19
G-20597	1.05	Vinicio	1.20
Saga	1.05	Prisma	1.21
AD-534	1.05	Pamela	1.21
G-4408	1.05	P-3151	1.21
Polaris	1.06	DK-4F	1.22
Lenor	1.06	Marengo	1.29
AD-640	1.07	Sabrina	1.36
XL-72AA	1.07		

BIBLIOGRAFIA

- Bosch, L.; Ferret,A.; Casañas,F.; Verdú,A.M. & Nuez,F. 1989.** Comparison of stay green and non stay green maize hybrids for forage use. XII Eucarpia Congress. Gottingen. Book of Poster Abstracts 5-17.
- Bosch,L.; Verdú,A.M.; Ferret,A.; Casañas,F.; Plaixats,J.; Albanell,E & Nuez,F. 1990.** Delayed leaf senescence (Stay Green) and digestibility in maize. Proceedings fo the XVth Eucarpia maize and Sorghum Section Congress. Baden. 289-299.
- Felch, R.E.; Shaw, R.H. & Duncan,E.R. 1972.** The climatology of growing degrees in Iowa. Iowa State J. Sci., 46:443-461.
- Gentinetta,E.; Ceppi,D.; Lepori,C.; Perico,G.; Motto,M. & Salamini,F. 1986.** A major gene for delayed senescence in maize. Patern of photosynthates accumulation and inheritance. Plant Breeding 97:197-203.
- Verderio,A.; Bosio,M.; Introzzi,F.; Livini,C. & Motto,M. 1989.** Relazioni tra prolungata persistenza fogliare e componenti della produzione in ibridi di mais (*Zea mays* L.). Agronomia 23:173-177.