ADAPTACIÓN DE CULTIVARES DE SOJA EN URUGUAY

Sergio Ceretta* y Alfredo Mandl ***

1. Evolución del rendimiento potencial de soja en el litoral oeste.

A partir del año 1971 se realizaron sistemáticamente en el país ensayos de evaluación de comportamiento de cultivares de soja. Estos ensayos representan una valiosa fuente de información para explorar las condiciones de adaptación así como la evolución del potencial de rendimiento del cultivo. Analizando una serie de 31 años (1971-2001) de ensayos de comportamiento de cultivares de soja localizados en el litoral oeste se observa que ha habido un incremento anual del rendimiento de 54 kg/ha no obstante se observan grandes variaciones de rendimiento de acuerdo al año en cuestión, Fig 1a. Este incremento del potencial de rendimiento es el resultado tanto del progreso genético como de su interacción con las nuevas tecnologías que se van incorporando al manejo de los experimentos (Díaz y Abadie, 1997). Si bien la idea de poder cuantificar el aporte del progreso genético y del desarrollo de nuevas practicas de manejo al incremento del potencial de rendimiento es atractiva, en la practica esto es imposible. La mayoría de los estudios en este sentido adjudican al menos un 50% del incremento al desarrollo de variedades modernas que permiten maximizar el uso de los recursos del ambiente.

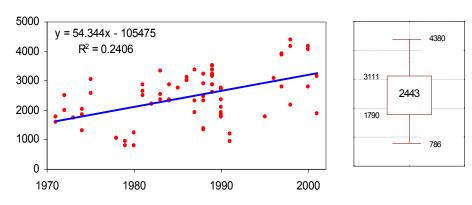
Para la serie de años estudiada, el rendimiento promedio de los experimentos se situó en los 2443 kg/ha. Ajustando un modelo de regresión lineal se estimó un incremento anual de rendimiento de 50 kg/ha, pasando de 1600 kg/ha en 1971 a 3100 kg/ha en el año 2001, Fig 1a. Obviamente la variación ambiental es muy grande observándose un rango de rendimientos que va desde 786 kg/ha a 4380 kg/ha. Debe aclararse que para el año 1999 no se reportaron rendimientos debido a la pérdida de los ensayos a causa de la extrema sequía. En el 75 % de los casos los rendimientos de soja estuvieron por encima de los 1790 kg/ha, mientras que el 25 % de los rendimientos estuvieron por encima de los 3111 kg/ha, Fig 1b.

Ing. Agr. M.Sc. Programa Nacional de Evaluación de Cultivares-INIA La Estanzuela

^{**} Ing. Agr. M.Sc. Programa de Semillas-INIA La Estanzuela

Fig 1a. Evolución del rendimiento en ensayos de comportamiento de cultivares de soja, 1970-2001

Fig 1b.



Fuente: Mandl, F. Programa de mejoramiento de Soja-CIABB-INIA; Vilaró D., Ceretta, S. Programa Nacional Evaluación de Cultivares-INIA, Convenio INASE-INIA.

Causas principales de variación en los rendimientos de soja

La variabilidad en los rendimientos de un cultivo responde a causas genéticas, ambientales y a la interacción entre ambas. Es importante cuantificar el aporte de las diferentes fuentes al total de variación observada a los efectos de poder utilizar adecuadamente la información proveniente de una red de ensayos de comportamiento de cultivares. A tales efectos se presenta a continuación el resumen de dos estudios de componentes de varianza realizados en el país. En el primer estudio (Mandl, 2000) se utilizó una serie de datos que abarcaba 11 cultivares pertenecientes a los grupos de madurez V,VI y VII, evaluados durante 11 años en tres localidades: La Estanzuela (brunosoles), Tacuarembó (argisoles) y Treinta y Tres (planosoles y brunosoles). En el segundo estudio (Ceretta y Vilaró, 2002) se analizó un número mayor de cultivares (96) pertenecientes a un rango más amplio de grupos de madurez (III, IV, V, VI, VII y VIII) durante 6 años en las localidades de La Estanzuela y Young. En ambos casos el análisis se realizó utilizando el método REML (Restricted Maximum Likelihood), los detalles de la metodología pueden leerse en Ceretta et al. (2000).

Los resultados de ambos estudios fueron consistentes y se comparan en la Fig 2. Se observa que la variación provocada por el efecto principal del ambiente (Amb) -esto es la suma de la varianza debida a año, localidad e interacción año x localidad- representa entre el 70 % y el 80 % de la variación total observada mientras que el efecto principal del cultivar fue 2-6 % de la misma. En cuanto a las interacciones de dos vías, ambos estudios indican que la magnitud del efecto de interacción cultivar x localidad fue muy baja (o nula) mientras que la interacción cultivar x año representó hasta el 8 % de la variación observada. La interacción triple cultivar x localidad x año representó del 5 al 12 % de la variación. En total el efecto de interacción cultivar x ambiente explicó un 20% de la variación , siendo varias veces mayor que el efecto principal del cultivar.

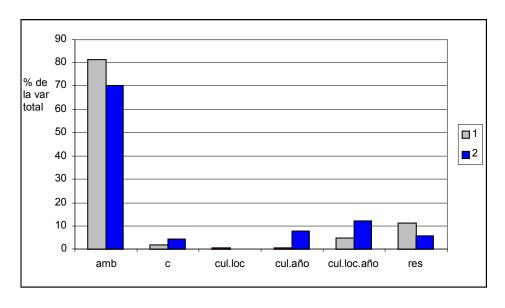
El hecho que el efecto de interacción cultivar x localidad fue prácticamente inexistente en ambos trabajos indica que el comportamiento relativo de los cultivares en

las diferentes localidades no fue consistente a través de los años. En otras palabras no existió evidencia de que un cultivar (o grupo reducido de cultivares) presentara una adaptación especifica a una localidad. Como consecuencia el promedio de comportamiento de los cultivares a través de los ambientes (experimentos) en que fue evaluado es un buen predictor de su comportamiento en todas las localidades estudiadas.

Para dar un idea de la magnitud de variación observada en términos de rendimiento, en la Fig 3 se representan los componentes de varianza en forma de coeficiente de variación es decir el cociente entre la raíz cuadrada el componente de varianza y la media de rendimiento del ensayo multiplicado por 100. Se observa que con respecto a la media general de rendimiento, la variación ambiental provocó oscilaciones del 24 a 32 % (\pm 805 - 1074 kg/ha), la variación del cultivar del 5-6% (\pm 167-201 kg/ha) y los efectos de interacción cultivar x ambiente del 12 al 17% (\pm 403-572 kg/ha).

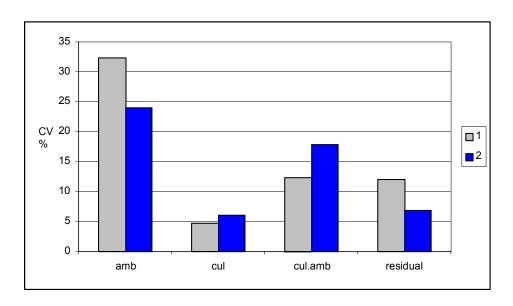
El hecho de que el efecto de interacción cultivar x ambiente (cultivar x localidad + cultivar x año + cultivar x localidad x año) fue de una magnitud elevada indica la importancia de contar con un número importante de ambientes (combinaciones de año y localiad) de evaluación para tener una adecuada estimación de medias y precisión en la comparación de las mismas. La naturaleza compleja de la interacción se evidencia por la contribución mayoritaria de la interacción de tres vías, lo que determina que el comportamiento diferencial de los cultivares sea de naturaleza poco predecible, determinado por las combinación de factores propios de cada localidad y las condiciones meteorológicas de año en cuestión. Mandl (2000) sugiere que una de las razones principales de la presencia dominante de una interacción de tres vías es la variabilidad de las precipitaciones estivales en el país . La ocurrencia de una deficiencia hídrica en determinado momento del verano puede afectar en forma diferencial el comportamiento de cultivares pertenecientes a distintos grupos de madurez.

Figura 2. Soja: componentes de varianza expresados como porcentaje de la varianza total observada



1 Mandl, A. 2000. Variabilidad de los rendimientos de soja. Agrociencia vol IV Nº1,12-16. (Datos de La Estanzuela, Tacuarembo, T y Tres; 11 cultivares; 1978-1990;) 2 Ceretta, S., Vilaró, D. 2002. (Datos de La Estanzuela y Young; 96 cultivares; 1996-2001)

Figura 3. Soja: componentes de varianza expresados como coeficiente de variación CV%. La interacción genotipo x ambiente de dos y tres vías se presenta acumulada)



CV %=(comp.. de var)^(1/2) / Media general

1 Mandl, A. 2000. Variabilidad de los rendimientos de soja. Agrociencia vol IV Nº1,12-16. (Datos de La Estanzuela, Tacuarembo, T y Tres; 11 cultivares; 1978-1990;)

2 Ceretta, S., Vilaró, D. 2002. (Datos de La Estanzuela y Young; 96 cultivares; 1996-2001)

Importancia de los "Grupos de madurez"

La soja es un cultivo sensible a la duración del día o fotoperíodo. Es clasificada como una especie de día corto debido a que la inducción de la floración ocurre cuando la duración del día disminuye, si bien específicamente es la duración del período oscuro el factor que controla la respuesta al fotoperíodo. Otros factores ambientales pueden influenciar dicha respuesta, pero no tienen un efecto tan marcado como el número de horas de oscuridad.

Los cultivares de soja difieren en el número de horas de oscuridad necesarias para la floración. Los cultivares precoces requieren noches más cortas que los cultivares tardíos. La duración del día (o de la noche está determinada por la latitud: en verano, a mayor latitud corresponden días más largos (o noches más cortas) que a menor latitud. En consecuencia distintos "tipos" de soja tendrán adaptación a diferentes fajas de latitud. En el hemisferio Norte, se han clasificado 13 "tipos" o "grupos de madurez" siendo el más precoz el grupo 000 y el más tardío el grupo X. Los grupos de madurez más precoces se adaptan al sur de Canadá (alta Latitud, noches cortas) y los más tardíos se adaptan al trópico (baja latitud, noches largas).

En el hemisferio sur, si un cultivar es sembrado al norte de su zona de adaptación, florecerá y madurará antes debido a que el número de horas de oscuridad ocurre cronológicamente antes. Contrariamente, cuando es sembrado al sur de su zona de adaptación, florecerá y madurará más tarde debido a que el número de horas de oscuridad se logra en una fecha posterior.

De acuerdo con la información experimental obtenida por INIA hasta el presente, en el país tienen buen comportamiento los cultivares pertenecientes a los grupos IV-largo, V, VI, VII y VIII-corto (Fig. 4) no obstante los mejores resultados (buen rendimiento y estabilidad del mismo) se obtienen con cultivares pertenecientes a los grupos V, VI y VII.

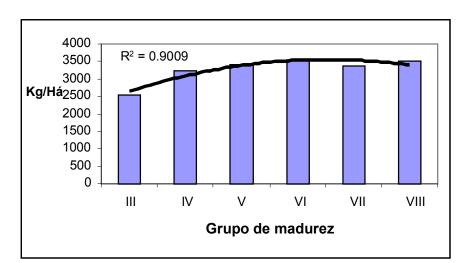


Fig 4. Potencial de rendimiento por grupo de madurez, 1996-2001

Fuente: Ceretta, S., Vilaró, D. 2002. (Datos de La Estanzuela y Young; 96 cultivares; 1996-2001)

Para confirmar las tendencia de adaptación de los grupos de madurez de soja se analizó una serie de ensayos en franjas realizado en la zona de influencia de la EEA Marcos Juarez. (Aguirre et al.,2001) La serie consistió en 33 ensayos instalados en 28 localidades con mas de 16 cultivares pertenecientes a los grupos III, IV, V y VI. Varios de estos cultivares han sido evaluados en Uruguay. Se realizó un análisis de componentes principales sobre los rendimientos previamente estandarizados por ambiente de evaluación, representando luego los dos primeros componentes principales biplot, Fig 5.

El biplot es la representación gráfica simultánea de ambientes y cultivares, lo cual permite determinar la similitud de los ambientes y cultivares a la vez que visualizar la asociación entre determinados cultivares o grupos de cultivares y los ambientes de crecimiento. Es muy útil para identificar rápidamente aquellos cultivares (o grupos de cultivares) que mejor se adaptan a diferentes tipos de ambientes. Por otra parte si se dispone de información ambiental detallada (meteorológica, variables de manejo, tipo de suelo, etc.) es posible dar una interpretación a los componentes principales y así identificar aquellas características del ambiente que pueden explicar el comportamiento diferencial de los cultivares (Ceretta y Abadie, 2002).

En la Fig 5, los cultivares están representados por círculos y los ambientes por cuadrados, a los efectos de no complicar la figura, solo se indican dos ejes o vectores ambientales (flechas) para lo dos ambientes más contrastantes2.

Si bien los datos analizados pertenecen a un solo año, el rango de ambientes muestreado en muy amplio abarcando diferentes condiciones de manejo (siembra directa, convencional, distancia entre filas). Una característica muy importante de estos datos es que para una latitud similar a la del cultivo de soja en Uruguay, permite abarcar situaciones contrastantes de disponibilidad de agua. Por lo tanto las conclusiones que se puedan extraer son muy valiosas para nuestras condiciones en que existe una alta probabilidad de que el cultivo enfrente limitantes de agua en algún momento del verano. Sumando este tipo de información a la generada en nuestras condiciones es posible mejorar la capacidad de predecir el comportamiento futuro de los cultivares de acuerdo a su grupo de madurez.

En cuanto a los resultados de este análisis, no se observó un agrupamiento de los ambientes en base a fecha de siembra , tipo de laboreo (convencional , siembra directa) o distancia entre filas. Esto indica que el comportamiento relativo de los cultivares fue consistente independientemente del sistema de cultivo utilizado. En otras palabras no se evidencia una adaptación especifica de los grupos de cultivares a las condiciones de cultivo abarcadas por la serie de datos. No obstante se pueden realizar dos grandes grupos de ambientes extremos, que determinaron un comportamiento diferencial de los grupos de madurez. La elipse A agrupa aquellos ambientes de alto potencial de rendimiento (3,5-4.4tt/ha), mientras que en la elipse B se encuentran mayoritariamente ambientes con menor potencial de rendimiento (1.4-2.4~tt/ha).

Claramente los cultivares se agruparon de acuerdo a su ciclo (grupo de madurez) pudiéndose apreciar que los cultivares pertenecientes al Grupo III se asociaron a ambientes de elevado potencial de rendimiento. Esto indica que los cultivares del grupo III tuvieron un comportamiento superior al promedio en ambientes de alto potencial de rendimiento mientras que su desempeño estuvo por debajo del promedio en ambientes de pobre expresión del rendimiento. Contrariamente, los cultivares de los grupos V y VI tuvieron un comportamiento superior al promedio en los ambientes de menor expresión del rendimiento mientras que en ambientes de muy alto rendimiento tuvieron un comportamiento inferior (en algunos casos igual) al promedio. Los cultivares del Grupo IV no se asociaron a ninguno de los grupos de ambientes.

Para la interpretación del biplot que se presentan a continuación son válidas las siguientes consideraciones generales. Un ángulo pequeño entre los vectores de dos cultivars indica que estos tienen un patrón de

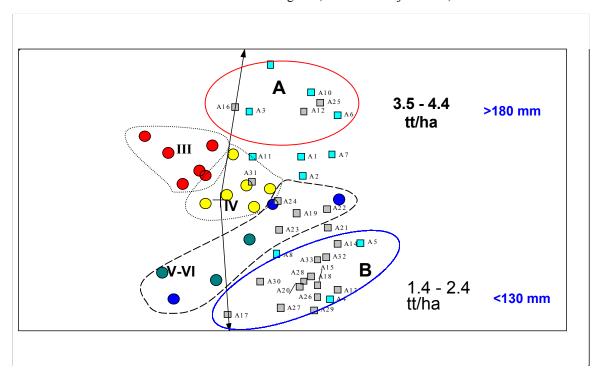
generales. Un ángulo pequeño entre los vectores de dos cultivars indica que estos tienen un patrón de respuesta similar a través de los ambientes. Un ángulo pequeño entre los vectores de dos ambientes indica que los mismos están fuertemente asociados (el comportamiento relativo de los cultivars en los ambientes en cuestión es muy similar). El origen (punto de intersección de los vectores) representa el promedio de rendimiento para cada ambiente. En otras palabras, el origen representa a un cultivar que tiene un comportamiento promedio en cada uno de los ambientes. Un cultivar que tiene un vector de elevada magnitud (muy distante del origen) posee un alto efecto de cultivar más interacción cultivar x ambiente. Ambientes cuyos vectores forman un ángulo agudo están positivamente correlacionados, cuando este ángulo es obtuso están negativamente correlacionados y si el ángulo es de 90 grados los ambientes no presentan correlación alguna. El rendimiento de un cultivar en un determinado ambiente se estima mediante la proyección ortogonal del marcador de un cultivar sobre el eje ambiental en consideración. Los cultivares posicionados cerca del origen del biplot, o bien son cultivares con un rendimiento promedio en todos los ambientes o bien su variabilidad se encuentra representada en otra dimensión (componente principal).

La descripción ambiental disponible indicó que la principal diferencia entre ambientes de alto y bajo potencial fue la disponibilidad de agua en los meses de enero y febrero. En caso de los ambientes de alto potencial, las precipitaciones durante llenado de grano fueron superiores a los 180 mm mientras que esta variable estuvo por debajo de 130 mm para los ambientes de menor potencial de rendimiento. Cabe señalar que solo un número minoritario de ambientes fueron de alto potencial de rendimiento, como resultado cultivares de ciclo mas corto si bien tuvieron alto potencial de rendimiento presentan una menor estabilidad.

Estos resultados son consistentes con la información nacional en cuanto a la adaptación de los grupos de madurez. Considerando que en Uruguay es muy probable que el cultivo enfrente periodos de escasez de agua en el verano, es esperable que en promedio tengan un mejor desempeño cultivares de grupos V en adelante. El uso de cultivares de ciclo mas corto debe pensarse en función de la época de siembra y/o reservándolos para los mejores ambientes de crecimiento, que permitan la expresión de alto potencial de rendimiento.

Fig 5. Soja: Adaptación por grupos de madurez

Datos tomados de Franjas demostrativas de cultivares de GM III al VI tolerantes a glifosato en el área de influencia de EERA Marcos Juárez. Aguirre, S. et al. In Soja No. 69, Setiembre 2001. INTA



Grupos de madurez, época de siembra y localidad

Efectuar la siembra en el momento apropiado para asegurar que los cultivares pertenecientes a distintos grupos de madurez puedan satisfacer sus requerimientos de

fotoperíodo y temperatura , es una exigencia fundamental para obtener buenos rendimientos. Fundamentalmente es preciso hacer coincidir el momento de llenado de grano con condiciones ambientales que aseguren una alta tasa de crecimiento: alta radiación, temperatura apropiada y buena disponibilidad de agua.

En Uruguay la época de siembra recomendada se extiende desde mediados de octubre a fines de noviembre. Las siembras tardías en general disminuyen el rendimiento , la altura de plantas y la altura de inserción de la primera vaina, siendo los cultivares precoces más afectados que los tardíos. Por lo tanto en caso de tener que realizar siembras tardías o de segunda no deben utilizarse cultivares precoces (inferiores al grupo V).

Para disminuir el riesgo de que un período de deficiencia de agua durante el llenado de grano afecte negativamente los rendimientos es aconsejable utilizar diferentes grupos de madurez combinados con diferentes épocas de siembra de modo de ampliar el rango de tiempo en el cual ocurren la floración y llenado de grano. En este sentido la máxima dispersión de la fecha de floración se logra sembrando ciclos cortos (grupo V o menor) en siembras tempranas (mediados de octubre) y ciclos largos (grupo VI o mayor) en siembras tardías (fines de noviembre) No obstante se debe tener en cuenta que al utilizar ciclos largos en siembras tardías pueden existir complicaciones adicionales por exceso hídrico en la época de cosecha.

En cuanto a localidades, si bien no se dispone de información nacional concluyente, existe una tendencia hacia mejor comportamiento de los cultivares de ciclo corto (Grupo V) al sur y cultivares de ciclo largo (Grupo VII- VIII corto) al norte del país.

Consideraciones finales

En los últimos 30 años ha habido un incremento del potencial de rendimiento de soja medido a través del rendimiento promedio de ensayos de evaluación del comportamiento de cultivares del orden de los 50 kg/ha/año. Este incremento es provocado tanto por el progreso genético como por su interacción con los avances en la tecnología de producción.

El promedio histórico de rendimiento experimental es de 2488 kg/ha. Con un mínimo de 768 kg/ha y un máximo de 4380 kg/ha. En el 75% de los casos los rendimientos observados estuvieron por encima de los 1780 kg/ha mientras que en el 25% de los casos estuvieron por encima de los 3100 kg/ha.

El estudio de componentes de varianza indica que si bien la magnitud de la interacción genotipo x ambiente es importante, la misma es de carácter "no repetible", causada fundamentalmente por la combinación particular de una localidad y las condiciones meteorológicas del año. En consecuencia el análisis estadístico no evidencia la existencia de cultivares específicamente adaptados a una localidad en particular.

Los cultivares que mejor se adaptan a las condiciones del país, en el sentido que presentan un mejor balance entre potencial de rendimiento y estabilidad son aquellos pertenecientes a los grupos V,VI y VII. Los cultivares de ciclo más corto (ej: IV) presentan elevado potencial de rendimiento relativo en condiciones ambientales óptimas sin

embargo su rendimiento se resiente mucho en condiciones de estrés. Es decir que son de elevado potencial pero pobre estabilidad.

Es aconsejable la diversificación de cultivares a través de la combinación adecuada de grupos de madurez y épocas de siembra, tratando de disminuir riesgos al reducir la probabilidad de que un determinado estrés ambiental (ej. déficit o exceso hídrico) afecte a todos los cultivares del mismo modo.

En este sentido al máxima dispersión de fechas de floración se logra utilizando cultivares de ciclo corto (Grupo V o menor) en épocas tempranas y cultivares de ciclo largo en épocas tardías.

REFERENCIAS

- Aguirre, S., H. Baigorri, G. Bitar, R. Calvimonte, D. Croatto, H. Donadío, S. Elorriaga, G. Esportuno, J. Marcelino, D. Martinez, A. Pagliano, G. Resch, A. Saavedra, L. Segura. 2001. Franjas demostrativas de cultivares de grupos de madurez III al IV tolerantes a glifosato en el área de influencia de la EEA INTA Marcos Juárez, campaña 2000/2001. In Soja, Resultados de ensayos de la campaña 2000/2001, Tomo 1. Información para extensión No. 69 INTA.
- Ceretta, S. y T. Abadie. 2002. Avances y perspectivas del análisis de la interacción genotipo por ambiente: su contribución al estudio de la adaptación en trigo. *In* Estrategias y metodologías utilizadas en el mejoramiento de trigo- 8 al 11 de octubre de 2001. CIMMYT-INIA, La Estanzuela, Uruguay (en prensa).
- Ceretta, S. y D. Vilaró. 2002. Informe a Comité Técnico Mixto INASE-INIA. Variabilidad en los rendimientos de cultivares de Soja, Julio 2002.
- Ceretta, S., F.A. van Eeuwijk, M. Castro, T. Abadie y d. Vilaró.2000. Variabilidad en el rendimiento de cultivares de cebada cervecera en el Uruguay. Serie Técnica N0.117. INIA. La Estanzuela.
- Díaz, R.,y T. Abadie.1998. Rendimiento potencial y brechas tecnológicas de trigo. *In* Kohli,M.M. y D. Martino, (eds) Explorando altos rendimientos de trigo. La Estanzuela, Uruguay, octubre 20 al 23, 1997. Uruguay, CIMMYT-INIA
- Mandl, A.2000. Variabilidad de los rendimientos de soja [Glycine max (L.)]. Agrociencia. IV 1-12-16.