

Estabilidad y adaptabilidad de cultivares de soja para rendimiento en el sudeste de la provincia de Buenos Aires

F. GIMÉNEZ,¹; J. LÚQUEZ² & J.C. SUÁREZ³

¹ Estación Experimental del INTA en Bordenave, cc 55, (8187) Bordenave, Buenos Aires, Argentina.

² Unidad Integrada Balcarce. Ruta 226, km 73,5. cc 276, (7620) Balcarce, Argentina.
E-mail: jluquez@balcarce.inta.gov.ar

³ PRODUSEM. (2700) Pergamino, Buenos Aires, Argentina

GIMÉNEZ, F., J. LÚQUEZ & J.C. SUÁREZ. 2000/2001. Estabilidad y adaptabilidad de cultivares de soja para rendimiento en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. Rev. Fac. Agron., La Plata 104(2): 93-103.

En este trabajo se utilizaron dos métodos para estimar la estabilidad y uno para la adaptabilidad del rendimiento de grano de 29 cultivares de soja del grupo de madurez III y de 35 cultivares del grupo de madurez IV del sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina, evaluados en 14 Ensayos Comparativos de Rendimiento, con el objetivo de determinar cuál era el más apropiado. Estos métodos fueron: la prueba LSD (Least Significant Differences) protegida de Fischer (Steel & Torrie, 1993), y el método del Rendimiento Relativo (RR) (Yau & Hamblin, 1994) para estimar estabilidad y una prueba de comparaciones múltiples con el mejor (CMM) (Piepho, 1995) para adaptabilidad. Todos pueden usarse con datos provenientes de ensayos desbalanceados. La prueba LSD y el método RR, a pesar de utilizar distintos parámetros para las estimaciones, coincidieron en clasificar como estables a los cultivares Carmen INTA y Pioneer 9442 (grupo III) y a los cultivares Joketa 46, Haydé INTA, DM 48, A 4004, A 4422, Cx 411 (grupo IV) y a las líneas experimentales de la Estación Experimental del INTA en Bordenave, provincia de Buenos Aires, LEB 78-85 y LEB 171-85. Sin embargo, los resultados de estabilidad de un genotipo según LSD dependen fuertemente del número de ambientes donde se probó el mismo. El método de CMM discriminó poco a los genotipos y se decidió no aplicarlo para estimar adaptabilidad en un programa de mejoramiento. El método RR resultó útil para clasificar a algunos materiales como estables y de altos rendimientos, evitando así el sesgo que aportan los ambientes de alto rendimiento al promedio general, por lo que se lo recomienda para estimar estabilidad en programas de mejoramiento de soja.

Palabras clave: estabilidad, adaptabilidad, rendimiento, interacción genotipo x ambiente, *Glycine max* (L) Merr., comparaciones múltiples con el mejor, Rendimiento Relativo, LSD.

GIMÉNEZ, F., J. LÚQUEZ & J.C. SUÁREZ. 2000/2001. Stability and adaptability of soybean part of Buenos Aires province. Rev. Fac. Agron., La Plata 104(2): 93-103.

In the present study two methods to estimate the stability and one for the adaptability of the yield grain of 29 soybean cultivars of Maturity Group III and 35 cultivars of Maturity Group IV of the southeast of Buenos Aires province, in Argentina, were used. Genotypes were evaluated in 14 Yield Trials and the objective of the work was to determine the most appropriate method. The Fischer's protected LSD test (Steel & Torrie, 1993), and the test of Relative Yield (RY) (Yau & Hamblin, 1994) were used to estimate stability, and Piepho's method of Multiple Comparisons with the Best (1995) was used to estimate adaptability. The three methods can be used for unbalanced data. LSD test and the method of Relative Yield, in spite of using different parameters for the estimates, coincided in classifying as

stable to cultivars Carmen INTA and Pioneer 9442 (group III) and Joketa 46, Haydée INTA, DMK 48, AT 4004, AT 4422, Cx 411 and experimental lines of Bordenave Experimental Station LEB 78-85 and LEB 171-85 (group IV). Results from LSD test depend on the number of environments where the cultivar is tested. Piepho's method made little discrimination of the genotypes. RY method is valuable to classify some genotypes as high-yielding and stable, avoiding the bias that high-yielding environments give to the general average. For that reason, it is advisable to use the RY method in programs of soybean improvement.

Key words: stability, adaptability, genotype x environment interaction, grain yield, multiple comparisons with the best, Relative Yield, LSD.

INTRODUCCIÓN

La evaluación de cultivares en diferentes ambientes se realiza con el objetivo de recomendar a aquéllos que se comporten mejor en la mayor cantidad de ambientes de una región determinada. Los cambios en el ordenamiento de los cultivares al cambiar de ambiente indican la presencia de interacción genotipo x ambiente (IGA) y la ausencia de estabilidad para el carácter en cuestión. La estabilidad es el atributo que le permite a los genotipos ajustar su capacidad productiva a la más amplia variación del estímulo ambiental cuando son evaluados en ambientes diferentes. Esto es entendido como el concepto dinámico de la estabilidad (Becker, 1981; Lin *et al.*, 1986). La presencia, pero sobre todo, la magnitud de las IGA, reduce la correlación entre el genotipo y el fenotipo, dificultando la apreciación del potencial genético de los cultivares (Kang & Gorman, 1989). Muchas veces ocasiona que el mejorador deba desarrollar genotipos adaptados a diferentes localidades a través de selección independiente, intentando entonces alcanzar el máximo potencial de rendimiento en dicho ambiente y aumentando, por lo tanto, sustancialmente los costos. De aquí surge el concepto de adaptabilidad específica de los genotipos, cuando las diferencias entre localidades son consistentes de año a año y explican que el genotipo se comporte bien en una localidad y no en otra (Fehr, 1987). Por otro lado, una falta de IGA puede significar falta de diversidad genética,

lo que puede ser desastroso si está asociado a vulnerabilidad genética de un cultivo a enfermedades, infestaciones de insectos u otros factores, u homogeneidad de los ambientes donde se prueban los genotipos (Kang, 1998). La prueba extensiva a través de localidades y años permite identificar el germoplasma superior para una amplia área geográfica por un lado (Russell, 1990), y por el otro permite minimizar las IGA modificando genéticamente a los cultivares, por ejemplo confiriéndoles resistencia o tolerancia a los estreses a los que pueden estar sometidos y que son responsables de sus interacciones con el ambiente (Kang, 1998). Esto tendería al mejoramiento del comportamiento a través de un amplio espectro ambiental, lo que resultará más rentable para los agricultores y las empresas semilleras. Además la aptitud combinatoria específica, que incluye interacción con determinadas condiciones ambientales, parece tener mucha menor importancia que la aptitud combinatoria general en el comportamiento de los cultivares (Russell, 1990).

Durante mucho tiempo se trató de evaluar la estabilidad del rendimiento de los cultivares de distintos cultivos utilizando distintas metodologías estadísticas. Para ello se utilizaron primero análisis de regresión (Yates & Cochran, 1938; Finlay & Wilkinson, 1963; Eberhart & Russell, 1966) y luego análisis de varianzas univariados o multivariados (Mandel, 1971; Lin & Thompson, 1975; Ghaderi *et al.*, 1980; Brennan *et al.*, 1981; Crossa *et al.*, 1993). Entre otros requerimientos, algunos de

estos métodos, como los de regresión, necesitan que todos los genotipos estén presentes en todos los ambientes, lo que no resulta fácil de cumplir en la práctica debido al continuo recambio de los cultivares, debiéndose utilizar una parte de la información, por lo que no se impuso esta técnica como rutina para predecir la estabilidad de los cultivares (Hallauer *et al.*, 1988). Finalmente, deben mencionarse aquellos métodos que analizan e interpretan la interacción genotipo-ambiente aplicando un análisis multivariado de componentes principales sobre los residuales aplicando el modelo AMMI (Efecto principal aditivo e interacción multiplicativa) (Gauch, 1988; Gauch & Furnas, 1991). Todas éstas son técnicas utilizadas para tratar los síntomas pero no las causas del problema. Actualmente y gracias a las técnicas genéticas moleculares pueden identificarse regiones del genoma asociadas con estabilidad de la "performance" a través de los ambientes de prueba, lo que ayudará a los mejoradores a comprender y posiblemente a regular el fenómeno de la IGA. En el futuro, los recursos deberán centrarse en comprender las señales que las plantas emiten en respuesta a los estreses ambientales para comprender mejor la relación entre la "performance" del cultivo y el ambiente e incorporar el objetivo "estabilidad de la performance" durante todas las etapas de la selección (Kang, 1998).

En soja, como en otros cultivos, existe extensa bibliografía internacional sobre una variedad de métodos que han sido aplicados para estimar la estabilidad del rendimiento de los genotipos. Sin embargo, existen pocos trabajos en la Argentina referentes a estudios de adaptabilidad y/o estabilidad para esta variable en soja. Uno de ellos, de Mancuso & Suárez (1977), estimó la adaptabilidad de variedades de soja en la provincia de Misiones de acuerdo al método de Finlay & Wilkinson (1963), asignando estas variedades, a ambientes de distinta calidad ambiental según el valor de sus coeficientes de regresión. Del

mismo modo, Boca *et al.* (1999a) estimaron la estabilidad de 27 líneas experimentales de soja de diferentes grupos de madurez evaluadas en 12 localidades en Argentina, según el método de Eberhart & Russell (1966) y encontraron un posible comportamiento inestable de 13 de las líneas de acuerdo a los valores de los desvíos de la recta de regresión que propone el método. Estos mismos investigadores, también en 1999, aplicaron la prueba de aditividad de Tukey (1949) y la de Mandel (1971) a 63 líneas de soja evaluadas en 12 localidades, en Argentina, con el objeto de detectar la presencia de IGA y la concurrencia de líneas de regresión para diagnosticar a modo descriptivo los genotipos o localidades con ausencia de paralelismo. Encontraron que las líneas de algunos grupos de madurez no eran estables y que las localidades donde se ensayaron líneas de otros grupos de madurez determinaban mayores rendimientos en líneas de mayor rendimiento potencial.

En el presente trabajo se presentan la prueba LSD protegida de Fischer (Steel & Torrie, 1993) y el método del Rendimiento Relativo (Yau & Hamblin, 1994) para estimar la estabilidad y un método de comparaciones múltiples con el mejor propuesto por Piepho (1995) para estimar la adaptabilidad de los cultivares para rendimiento. Todos pueden utilizarse con datos provenientes de ensayos desbalanceados. Esto es importante, en relación al uso de los métodos de regresión propuestos por Finlay & Wilkinson (1963) y Eberhart & Russell (1966) citados anteriormente, debido a que año tras año se produce un continuo recambio de genotipos dado por el lanzamiento de nuevos cultivares y desaparición de cultivares más viejos. Los objetivos del trabajo fueron estimar la estabilidad y adaptabilidad del rendimiento de cultivares de soja que se cultivan en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, en Argentina, con los métodos citados y determinar cuál es el más apropiado para tal fin.

MATERIALES

Se utilizaron los datos de rendimiento de 29 cultivares (variedades y líneas experimentales) de soja del grupo III de madurez y 35 cultivares y líneas experimentales del grupo IV de madurez, provenientes de 14 Ensayos Comparativos de Rendimiento (ECR) oficiales conducidos en distintos ambientes (años,

localidades y épocas de siembra) de la zona sur de la provincia de Buenos Aires, en la Argentina. Los nombres y tipo de cultivares se detallan en la Tabla 1, y los ambientes analizados, sus rendimientos medios, coeficientes de variación (CV, %) y diferencias mínimas significativas (LSD, 5%) se encuentran en la Tabla 2. Las localidades extremas se situaron entre los 37° y 38° LS y los 57° y 63° Long.O.

Tabla 1: Nombre y tipo de cultivares de soja de los grupos de madurez III y IV utilizados.

Denomination and type of soybean cultivars of Maturity Groups III and IV used.

GRUPO III	TIPO*	GRUPO IV	TIPO
ASGROW 2943	COM.	ASGROW 4004	COM.
ASGROW 3127	COM.	ASGROW 4422	COM.
ASGROW 3205	COM.	ASGROW 4656	COM.
ASGROW 3910	COM.	ASGROW 4702	COM.
ALBOR 36	COM.	CX 377	COM.
CALLAND	COM.	CX 411	COM.
CAMINERA 32	COM.	CX 458	COM.
CARMEN INTA	COM.	DON MARIO 43	COM.
COLFAX	COM.	DON MARIO 48	COM.
COLORADA 37	COM.	DON MARIO 49	COM.
DON EDUAR. 375	COM.	DORADA 48	COM.
DUMBAR	EXP.	HAYDÉE	COM.
FILLMORE	EXP.	ICI 450	COM.
FULGOR 33	COM.	JOKETA 46	COM.
ICI 310	COM.	LEB 123-85	EXP.
L 81-4590	EXP.	LEB 130-85	EXP.
LANCASTER	EXP.	LEB 134-85	EXP.
LEB 32-89	EXP.	LEB 143-85	EXP.
LEB 89-85	EXP.	LEB 171-85	EXP.
LEB 129-85	EXP.	LE 175-85	EXP.
LEB 152-85	EXP.	LEB 287-85	EXP.
LEB 161-85	EXP.	LEB 39-85	EXP.
LEB 163-85	EXP.	LEB 78-85	EXP.
LEB 164-85	EXP.	LEB 14-90	EXP.
ODELL	EXP.	LEB 16-90	EXP.
SRF. 350	COM.	MAXISOY 45	COM.
PIONEER 9442	COM.	MITCHELL	COM.
TRESUR 321	COM.	MYCOSOY 45	COM.
WILLIAMS	COM.	N. MITCHELL 44	COM.
		P9442	COM.
		SRF. 450	COM.
		TIJERETA 42	COM.
		TIJERETA 2043	COM.
		TIJERETA 2046	COM.
		TRESUR 455	COM.

*: COM: comercial; EXP: experimental; LEB, líneas experimentales de Bordenave.

Tabla 2: Ambientes analizados, rendimientos medios, coeficientes de variación (CV,%) y prueba de Diferencias Mínimas Significativas (LSD, 5%) de los cultivares de soja de los grupos de madurez III y IV.

Average grain yields, variation coefficients (%) and LSD (5%) of soybean cultivars of Maturity Groups III and IV in the environments analysed.

AMBIENTES		GRUPO III			GRUPO IV		
		REND. (kg/ha)	C.V. (%)	L.S.D. (kg/ha)	REND. (kg/ha)	C.V. (%)	L.S.D. (kg/ha)
1: Balcarce 1993	BAL93	1626	15,36	424	1480	14,01	346
2: Bordenave 1997	BOR97	1381	16,73	327	1566	10,56	234
3: Barrow 1996	BAR96	1568	14,42	377	1795	11,58	344
4: Balcarce 1996	BAL96	2221	10,56	335	2053	10,70	314
5: Bordenave 1995	BOR95	1835	14,32	375	2181	22,70	708
6: Bordenave 1996	BOR96	2239	8,57	275	2212	8,21	251
7: El Volcán 1995	VOL95	2514	9,54	400	2412	9,38	395
8: Balcarce 1995 Epoca 2	BAL95E2	2388	8,69	346	2486	6,18	220
9: Barrow 1997	BAR97	2440	15,40	536	2594	10,27	386
10: Balcarce 1994 Epoca 1	BAL94E1	2673	8,43	381	2724	10,86	500
11: Balcarce 1994 Epoca 2	BAL94E2	2760	5,70	262	2738	9,09	417
12: Balcarce 1995 Epoca 1	BAL95E1	2907	5,51	231	2859	8,73	357
13: IPG* 1997	IPG97	3557	9,85	574	3641	6,72	409
14: Balcarce 1997	BAL97	3775	9,33	506	3767	7,33	397

*IPG: Unidad Intensiva de Producción de Granos

Todos los ECR fueron dispuestos según un diseño en Bloques Completos Aleatorizados, con 3 ó 4 repeticiones. Las parcelas eran de 7 surcos de 5 m de longitud, separados a 0,70 m.

MÉTODOS

Estimación de la estabilidad y la adaptabilidad

1) *Prueba LSD protegida de Fischer* (Steel & Torrie, 1993). Las medias de todos los cultivares en cada ambiente se comparan con la media del cultivar de más alto rendimiento en ese ambiente según la prueba de comparaciones múltiples LSD al 5% de significancia. Los cultivares más estables serán los de mayor rendimiento y aquéllos que aparezcan en la mayor cantidad de ambientes sin diferir significativamente de los de mayor rendimiento.

La estimación de la estabilidad de los cultivares por este método, al realizarla comparándolos con el de mayor rendimiento, no considera como estables a aquellos genotipos que difieren significativamente del mejor (rinden menos), y que por ello serían inestables.

2) *Método del RR* (Yau & Hamblin, 1994). Este método consiste en expresar el rendimiento de cada genotipo en cada ambiente en forma relativa al promedio del ambiente en el que fue determinado, asignándole a este último el valor 100. Esto puede ser expresado como: $RR = 100 \times R_{ij} / R_j$, donde RR es el rendimiento relativo, R_{ij} es el rendimiento registrado del cultivar en el ambiente j y R_j es el promedio del ambiente j. En cada uno, los cultivares que posean menor rendimiento que el promedio de todos los cultivares en el mismo ambiente tendrán valores de rendimiento menores a

100, mientras que los que tengan valores mayores, tendrán valores mayores a 100. El promedio relativo de rendimiento (R_{ri}) de cada cultivar es el promedio relativo de los rendimientos relativos individuales a través de todos los ambientes: $R_{ri} = (\sum_{j=1}^n R_{r_{ij}}) / (n)$, donde n es el número de ambientes. El desvío estándar, calculado como la raíz cuadrada de la varianza de los rendimientos relativos de cada cultivar a través de los ambientes, es la medida de la estabilidad. Se expresa de la siguiente manera:

$$s^2 = \sqrt{[\sum_{j=1}^n (R_{r_{ij}} - R_{ri})^2] / (n-1)}$$

Los cultivares más estables serán los que posean menor desvío estándar. Este método tiene la ventaja de que considera por igual a cada ambiente en el cálculo del promedio a través de todos ellos, es decir, no favorece a los mejores ambientes.

3) *Método de CMM* (Piepho, 1995). Este procedimiento pertenece a la categoría de comparaciones múltiples de medias con el mejor y fue utilizado por Piepho (1995) para estimar adaptabilidad de los cultivares a ambientes específicos. Según esta técnica, éstos caen en las categorías de adaptados, no adaptados y no clasificados. La existencia de esta última categoría disminuye el error de tipo 1, al no clasificar a los materiales en adaptados o no adaptados cuando no lo son (Piepho, 1995). El método consiste en crear un valor denominado δ (delta), que se compara con cada uno de los intervalos de confianza pertenecientes a cada genotipo para la diferencia entre todos los cultivares y el mejor conocido. El valor de δ es la diferencia más pequeña entre los cultivares que se considera significativa. La elección del δ es subjetiva y depende de lo que el mejorador considere un valor razonable, significativamente diferente para cada especie vegetal en cuestión. Piepho (1995) sugiere tomar un valor que sea el

5-10% de la media del carácter en cuestión de todos los cultivares en un ambiente en particular. En un ambiente específico, un cultivar se considera adaptado si su diferencia con el mejor cultivar es significativamente más pequeña que el valor de δ , mientras que se considera no adaptado si su diferencia con el mejor es significativamente mayor que δ . Los cultivares cuya diferencia con el mejor cultivar no difieren significativamente de δ son considerados como no clasificados.

El uso de este método implica reconocer que el uso del cuadrado medio del error para la construcción de los intervalos de confianza en un año y localidad dados, limita las inferencias a ese ambiente en particular, con todo lo que ello implica, como por ejemplo las condiciones en que se desarrolló el experimento en ese ambiente.

En los tres métodos, los límites para considerar a un cultivar como estable son subjetivos y pueden fijarse según diferentes criterios. En este trabajo, usando la prueba LSD, se consideraron estables a los cultivares que no presentaron diferencias significativas con el mejor del ambiente en por lo menos la mitad de los ambientes estudiados. En tanto, por el método del rendimiento relativo se consideraron estables a los cultivares que tuvieron un desvío menor a ocho, que fue la mitad del máximo valor encontrado para los cultivares del grupo de madurez III, y un desvío menor a 11, que fue la mitad del máximo valor encontrado para los cultivares del grupo de madurez IV. Por el método de CMM (Piepho, 1995), se utilizaron valores de δ del 15% de la media del rendimiento de todos los cultivares en un ambiente para clasificar a los cultivares como adaptados, no adaptados o no clasificados. Se decidió utilizar este valor de δ , porque con 10%, como recomienda usar Piepho (1995), ningún cultivar apareció adaptado.

Los análisis de varianza se realizaron con el paquete estadístico SAS y los cálculos con Microsoft Excel.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se compararon los resultados de estabilidad obtenidos para algunos cultivares del grupo de madurez III con la prueba LSD y el método RR (Tabla 3). Los resultados de estabilidad que se extraen utilizando la prueba LSD son mejores cuanto mayor es del número de ambientes de ensayo de los cultivares.

Se observó una buena correspondencia entre rendimientos absolutos y relativos. Esto significa que los cultivares que tuvieron alto rendimiento absoluto también tuvieron alto rendimiento relativo (por encima de 100). LSD y RR coinciden en considerar a las variedades Carmen INTA y Pioneer 9442 como estables. Estas variedades presentarían entonces, altos rendimientos con estabilidad.

Tabla 3: Comparación de los resultados de estabilidad para los cultivares de soja del grupo III evaluados por los métodos LSD y Rendimiento Relativo.

Comparison of stability results of soybean cultivars of Maturity Group III evaluated by LSD and Relative Yield methods

MÉTODO	COMPARACIONES MULTIPLES CON EL MEJOR LSD			RENDIMIENTO RELATIVO			
	Ambientes de Evaluación	Ambientes sin dif. signif.	Clasific. *	Rendimiento Absoluto	Rendimiento Relativo	Desvío Estandar	Clasific. *
CULTIVARES							
LEB 89-85	7	3	I	2623	107	7	E
FILLMORE	7	4	E	2607	105	16	I
FULGOR 33	12	8	E	2588	108	11	I
A 3127	7	6	E	2586	108	9	I
DUNBAR	7	5	E	2576	105	9	I
COLORADA 37	14	9	E	2562	106	8	I
A 3205	14	9	E	2544	105	9	I
A 3910	10	5	E	2540	105	9	I
CARMEN INTA	13	7	E	2477	103	7	E
PIONEER 9442	7	4	E	2468	104	7	E
DON EDUARDO 375	14	5	I	2463	101	8	I
ODELL	7	4	E	2437	100	10	I
ICI 310	14	7	E	2437	101	10	I
LEB 32-89	7	3	I	2435	100	3	E
TRESUR 321	10	5	E	2382	97	11	I
A 2943	14	7	E	2379	99	13	I
LEB 164-85	8	4	E	2357	102	14	I
CAMINERA 32	14	4	I	2343	96	7	E
CALLAND	7	2	I	2331	98	15	I
ALBOR 36	7	1	I	2326	96	9	I
WILLIAMS	12	4	I	2319	98	9	I
LEB 163-85	9	5	E	2278	101	13	I
LEB 129-85	9	4	E	2255	101	10	I
LEB 161-85	8	4	E	2219	101	13	I
LEB 152-85	9	1	I	2192	96	8	I
LEB 81 4590	10	0	I	2153	86	9	I
LANCASTER	7	2	I	2033	84	12	I
SRF 350	4	0	I	1942	85	13	I
COLFAX	5	0	I	1819	79	13	I

*: E: estable; I: inestable

Las variedades Colorada 37, Fillmore, Fulgor 33, A3127, Dunbar, A3205, A 3910, Odell, Ici 310, Tresur 321, A2943, y las líneas LEB 164-85, 163-85, 129-85 y 152-85 fueron consideradas estables según LSD, en tanto que mostraron inestabilidad por el método de los RR. Esto implica que si bien no han presentado diferencias significativas con los mejores genotipos en la mayoría de los ambientes, o sea, son las que presentan los mayores rendimientos en esos ambientes, presentan variabilidad en su comportamiento a través de los ambientes de prueba.

El cultivar Caminera 32 y las LEB 89-85, 152-85, y 32-89 fueron considerados inestables según LSD y estables según el método de los RR. Si bien son estables, presentan diferencias con el mejor genotipo en más de la mitad de los ambientes, evidenciando bajos rendimientos en general.

El resto de los genotipos, en tanto, se mostró inestable por los dos métodos, o sea con bajos rendimientos y con variabilidad en su comportamiento en los ambientes de prueba.

Con respecto a los cultivares del grupo IV de madurez, se observaron algunas diferencias de ordenamiento, como es el caso de las variedades Don Mario 48, A 4004, Don Mario 43 y A 4422, que presentan rendimiento relativo alto en comparación con sus rendimientos absolutos, evidenciando buena adaptación a ambientes de baja productividad (Tabla 4), en tanto que NM 44 muestra rendimiento relativo bajo en relación a su rendimiento absoluto. Por otra parte, los cultivares CX 377, LEB 14-90, Don Mario 49 y Dorada 48, muestran el comportamiento inverso, demostrando mejor adaptación a ambientes de alta productividad.

Ambos métodos clasificaron como estables a los cultivares Joketa 46, Haydée INTA, DM 48, A 4004, A 4422, Cx 411, y a las LEB 172-85, LEB 78-85 y LEB 171-85. Joketa 46 presentó buena estabilidad a través de los ambientes, además de poseer los mayores

rendimientos promedios. Sin embargo, se debe tener en cuenta que sólo estuvo presente en cuatro ambientes de alta productividad. De modo similar se comportaron Cx 411 y Tj 2046. LEB 78-85 puede clasificarse como la más estable por su bajo desvío, y aunque tuvo un rendimiento absoluto promedio (2480 kg/ha) apenas superior al promedio general de los 14 ambientes (2465 kg/ha), su rendimiento relativo promedio de 104 indica que se trata de un cultivar adaptado a ambientes de buena calidad ambiental. El cultivar Haydée INTA tuvo un comportamiento similar. Las LEB 171-85 y 172-85, a diferencia de los anteriores, tuvieron un bajo promedio absoluto (2327 kg/ha) y mayores desvíos, evidenciando estabilidad con baja productividad, lo que es indeseable cuando el objetivo del programa de mejoramiento es el rendimiento. La LEB 123-85 fue estable según LSD e inestable por el método de los RR, evidenciando alto potencial de rendimiento, pero con variabilidad en su comportamiento a través de los ambientes de prueba. Los cultivares CX 377, Nueva Mitchell 44, LEB 14-90, Don Mario 49, Dorada 48 Micosoy 45 y la LEB 16-90, si bien presentaron rendimientos promedios altos, resultaron inestables según LSD. Esto probablemente sea debido a que fueron evaluados solamente en cuatro ambientes de alta productividad, en la campaña 1996/97. En tanto, LEB 130-85 y 135-85 se comportaron como estables en ambientes de baja productividad. El resto de los genotipos se mostraron inestables por los dos métodos.

Para la mayoría de los casos, LSD y RR muestran resultados distintos, porque usan distintos parámetros. Puede observarse también que los resultados de estabilidad de un genotipo según LSD dependen fuertemente del número de ambientes donde se probó el mismo. Cuando el número de ambientes de evaluación es bajo (4 en este estudio, por ejemplo), los resultados extraídos deben ser preliminares y orientativos. Sin embargo debe mencionarse que el cultivar Joketa 46, selec-

cionado como estable según LSD, se ha destacado, en múltiples ensayos posteriores a los incluidos en este estudio, por su alto rendi-

miento y estabilidad (Weilenmann *et al.*, 1999; Weilenmann *et al.*, en prensa). La prueba LSD ha sido utilizada con éxito en forma directa o

Tabla 4: Comparación de los resultados de estabilidad de los cultivares de soja del grupo IV evaluados por los métodos LSD y Rendimiento Relativo.

Comparison of stability results of soybean cultivars of maturity Group IV evaluated by LSD and Relative Yield methods

MÉTODO	COMPARACIONES MÚLTIPLES CON EL MEJOR LSD			RENDIMIENTO RELATIVO			
	Ambientes de Evaluación	Ambientes sin dif. signif.	Clasific. *	Rendimiento Absoluto	Rendimiento Relativo	Desvío Estandar	Clasific. *
CULTIVARES							
JOKETA 46	4	3	E	3173	108	7	E
CX 411	4	2	E	3091	105	9	E
TJ 2046	4	2	E	3014	102	10	I
CX 377	4	1	I	2983	102	3	E
N. MITCHELL 44	4	1	I	2901	99	9	E
LEB 14-90	4	0	I	2882	100	2	E
DON MARIO 49	4	0	I	2822	98	5	E
DORADA 48	4	0	I	2787	96	5	E
MYCOSOY 45	4	1	I	2765	96	7	E
LEB 16-90	4	1	I	2765	96	10	E
DON MARIO 48	7	4	E	2703	107	9	E
A 4004	7	4	E	2670	105	9	E
DON MARIO 43	7	3	I	2666	106	5	E
A 4422	14	10	E	2629	106	9	E
CX 458	10	4	I	2574	102	11	I
HAYDEE INTA	11	6	E	2570	103	6	E
TRESUR 455	13	5	I	2547	102	11	I
LEB 130-85	12	5	I	2499	103	7	E
P 9442	7	3	I	2498	99	10	E
LEB 123-85	14	8	E	2494	103	15	I
LEB 78-85	8	6	E	2480	104	3	E
ICI 450	14	6	I	2475	101	8	E
LEB 134-85	14	5	I	2573	103	6	E
A 4702	13	5	I	2466	101	13	I
A 4656	14	5	I	2458	100	5	E
MITCHELL	14	5	I	2458	99	8	E
TIJERETA 42	13	2	I	2398	98	5	E
LEB 172-85	10	5	E	2377	102	9	E
SRF 450	7	2	I	2361	96	14	I
LEB 171-85	8	4	E	2327	96	8	E
LEB 143-85	10	4	I	2321	100	9	E
LEB 39-85	8	3	I	2397	97	13	I
MAXISOY 401	12	1	I	2285	90	12	I
TIJERETA 2043	4	1	I	2192	91	22	I
LEB 287-85	8	1	I	2109	88	10	E

*: E: estable; I: inestable

indirecta, como medida predictiva de la estabilidad de líneas en evaluación en trigo (Pavoni, comunicación personal). Cultivares exitosos seleccionados por su estabilidad con esta prueba, son un ejemplo. Sin embargo, se ha advertido que cuanto menor es el número de ensayos analizados, mayor debe ser la exigencia de precisión.

Con referencia al método de CMM (Piepho, 1995), con un δ de 15%, muy pocos cultivares resultaron adaptados. El cultivar Fulgor 33 resultó adaptado a ambientes de medios y altos rendimientos (BAL96 y BAL95E1). A este último ambiente también resultó adaptado el cultivar ICI 310, mientras que A 2943 se adaptó a un ambiente de rendimientos medios como fue VOL95.

A medida que se aumentó el delta (resultados no presentados) el método se hizo más laxo y aparecieron como adaptados cultivares que antes no lo eran.

Entre los cultivares del grupo de madurez IV, con un delta de 15%, sólo aparece como adaptado el cultivar Joketa 46 en BAL97, de mejor calidad ambiental.

Puede apreciarse que este método no discriminó, como los otros métodos, a los genotipos ensayados. Aunque la variabilidad de las medias genotípicas para el rendimiento es apreciable, no lo es en relación al error, lo que no produce separación entre los genotipos. Según Piepho (1997, comunicación personal), el hecho de que aparezcan la mayoría de los cultivares como no clasificados, es una precaución que evita extraer conclusiones erróneas.

La prueba LSD y el método CMM (Piepho, 1995) coincidieron en algunos resultados. Ambos clasificaron como estables y adaptados respectivamente a Fulgor 33, ICI 310 y A 2943 dentro del grupo III, y a Joketa 46 dentro del grupo IV.

Debido a que la variación entre años y épocas de siembra es mucho mayor que la de localidades, es difícil que los resultados de adaptabilidad en una combinación de año

y localidad o época de siembra con localidad específicos se repitan, pero sí es posible lograr una aproximación de la calidad ambiental suministrada por la variación predecible de la localidad a la que el genotipo se adaptará.

CONCLUSIONES

Se concluye, que tal como se esperaba, debido a la calidad contrastante de los ambientes en los que fueron evaluados, los cultivares de soja del grupo III y IV de madurez mostraron variabilidad para la estabilidad y la adaptabilidad del rendimiento. Los tres métodos aquí propuestos, a pesar de utilizar distintos parámetros de estimación coinciden en algunos de los resultados obtenidos. El método propuesto por Piepho (1995) para estimar adaptabilidad específica de los cultivares, al discriminarlos escasamente y juzgar a la mayoría como no clasificados, pareciera no resultar adecuado. Sin embargo, esta clasificación puede prevenir resultados erróneos (juzgar como bueno a un genotipo que no lo es) posibles de originarse de otra manera en ambientes con un pobre diseño experimental (pocas repeticiones, gran error experimental), por lo tanto se le asigna cierto valor, sumado a que en este experimento, resultó en algunas coincidencias con los otros métodos. De todos modos, se prefiere utilizar como parámetro indicador de adaptabilidad específica de los cultivares, al valor del rendimiento relativo. Si bien la prueba LSD ha resultado valiosa para detectar aquellos genotipos que en la mayor cantidad de ambientes rindieron más, cuando el número de ambientes de evaluación es bajo, el método del rendimiento relativo resulta más valioso que la prueba LSD para clasificar a los genotipos como estables y de altos rendimientos, evitando así el sesgo que aportan los ambientes de alto rendimiento al promedio general. Por lo tanto, se recomienda implementarlo en programas de mejoramiento para la obtención de cultivares.

BIBLIOGRAFÍA

- Abou-Ei-Fittouh, H.A.; J.O.Rawlings & P.A.Miller.** 1969. Classification of environments to control genotype by environment interactions with an application to cotton. *Crop Science* 9: 135-140.
- Becker, H.C.** 1981. Correlations among some statistical measures of phenotypic stability. *Euphytica* 30: 835-840.
- Boca, R.T.; V.Aparicio; A.M.Broccoli; F.Cogo; S.Kisiel; S.Lescano & N.Mayo.** 1999a. Análisis de estabilidad en líneas experimentales de soja. Mercosoja 99. Resumen de Trabajos y Conferencias presentados. Pág. 1-2.
- Boca, R.T.; V.Aparicio; A.M.Broccoli; F.Cogo; S.Kisiel; S.Lescano & N.Mayo.** 1999b. Aplicaciones del método de Mandel (1971) en ensayos de líneas experimentales de soja. Mercosoja 99. Resumen de Trabajos y Conferencias presentados. Pág. 3-4.
- Brennan, P.S.; D.E. Byth; D.W.Drake; I.H. De Lacy & D.G. Butler.** 1981. Determination of the location and number of test environments for a wheat cultivar evaluation program. *Australian Journal Research* 32: 189-201.
- Crossa, J.; P.L.Cornelius; M. Seyedsadr & P. Byrne.** 1993. A shifted multiplicative model analysis for grouping environments without genotypic rank change. *Theoretical and Applied Genetics* 85: 577-586.
- Eberhart, S.A. & W.A. Russell.** 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science* 6: 36-40.
- Fehr, W.** 1987. Genotype x environment Interactions: 247-260. En: *Principles of cultivar development*. Collier McMillan Publishers. London. 636pp.
- Finlay, K.E. & G.N. Wilkinson.** 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research* 14: 742-754.
- Gauch, H.** 1988. Model selection and validation for yield trials with interaction. *Biometrics* 44:705-715.
- Gauch, H.G. & R.E. Furnas.** 1991. Statistical analysis of yield trials with Matmodel. *Agronomy Journal* 83: 916-920.
- Ghaderi, A.; E.H. Everson & C.E. Cress.** 1980. Classification of environments and genotypes in wheat. *Crop Science* 20: 707-710.
- Hallauer, A.R.; W.A. Russell & K.R. Lamkey.** 1988. *Corn and Corn Improvement*. Agronomy Monograph # 18. 3rd edition. ASA-CSSA-SSSA. South Segoe Road, Madison WI 53711, USA.
- Kang, M.S.** 1998. Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. In: *Advances in Agronomy* 62: 199-252.
- Kang, M.S. & D.P. Gorman.** 1989. Genotype x environment interaction in maize. *Agronomy Journal* 81: 662-664.
- Lin, C.S. & B.Thompson.** 1975. An empirical method of grouping genotypes based on a linear function of the genotype-environment interaction. *Heredity* 34: 255-263.
- Lin, C.S.; M.R. Binns & L.P.Lefkovitch.** 1986. Stability analysis: Where do we stand?. *Crop Science* 26: 894-900.
- Mancuso, N. & J.C. Suárez.** 1977. Análisis de adaptabilidad de soja. V Reunión Nacional Técnica de Soja. Miramar. Argentina. pág. 42-45
- Mandel J.** 1971. A new analysis of variance model for no additive data. *Technometrics* 13: 1-18.
- Piepho, H.P.** 1995. Assessing cultivar adaptability by multiple comparison with the best. *Agronomy Journal* 87: 1225-1227.
- Russell, W.A.** 1990. Interrelation between corn hybrids and production systems. *Proceedings of 43rd. Annual Corn and Sorghum Research Conference*. Pages 131-158.
- Steel, R. & J. Torrie.** 1993. *Comparaciones múltiples*. En *Bioestadística. Principios y Procedimientos*. McGraw-Hill. Ed. Segunda Edición. 622 pág.
- Tukey, J.W.** 1949. One degree of freedom for non-additivity. *Biometrics* 5: 232-242.
- Weillenmann de Tau, M.E.; J. Lúquez & W. Suárez.** 1999. Evaluación de variedades comerciales de soja. EEA Balcarce. Campaña 1998/99. *Visión Rural* 37: 27-29.
- Yates, F. & W.G. Cochran.** 1938. The analysis of groups of experiments. *J. Agric. Sci.* 28: 556-580.
- Yau, S.K & J. Hamblin.** 1994. Relative yield as a measure of entry performance in variable environments. *Crop Science* 34: 831-817.