

COMPARACIÓN DE TRES MÉTODOS PARA ESTIMAR ESTABILIDAD DEL RENDIMIENTO EN NUEVE VARIEDADES DE ALGODÓN

Tehuni González, Edgardo Monteverde, Carlos Marín y Petra M. Madriz I.

RESUMEN

Con el objetivo de seleccionar y recomendar variedades promisorias de algodón, *Gossypium hirsutum* (L) con alto potencial de rendimiento y estabilidad, para las áreas de cultivo en Venezuela, se evaluó el rendimiento de algodón en rama de nueve variedades durante los ciclos 1995-96 y 1996-97. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones, en doce ambientes. Para determinar el método o combinación de ellos más adecuado se compararon los estimados de la estabilidad obtenidos por los métodos de Eberhart y Russell, (1966), Cruz et al. (1989) y el modelo AMMI. No hubo coin-

cidencia de las variedades con mayores rendimientos, la Unellez 2 y la variedad comercial Delta Pine 16, en relación con los criterios de estabilidad. De acuerdo al modelo de Eberhart y Russell, esas variedades fueron clasificadas como estables, mientras que con el de Cruz et al. resultaron ser adaptables a ambientes favorables y con el AMMI fueron inestables con alta interacción. El modelo AMMI permitió asociar la respuesta de las variedades más rendidoras a ambientes específicos y resultó ser más informativo y sencillo de interpretar.

SUMMARY

With the purpose of selecting and recommending promissory cultivars of cotton, *Gossypium hirsutum* (L) with high yield potential and stability, for crop areas in Venezuela, the yield (seed included) of nine cotton varieties was evaluated. The data from the 1995-96 and 1996-97 cycles was used. The experimental design was a randomized completed block design with four repetitions on twelve environments. Parameters of stability offered by the methods of Eberhart and Russell, (1966), Cruz et al. (1989) and the AMMI model were estimated and compared to determine the

best method or combination. There was no coincidence between the best yield varieties, Unellez-2 and the commercial variety Delta Pine 16, in relation to stability criteria. According to Eberhart and Russell, these were classified as stable, while according to Cruz et al. they were adaptive to favorable environments and according to AMMI they were unstable with high interaction. Of the three methods studied, the AMMI model allowed associating the response of high yield varieties to specific environments, gave more information and was easier to interpret.

Introducción

En Venezuela el algodón, *Gossypium hirsutum* (L), representa el cultivo de fibra textil de mayor importancia, de acuerdo a cifras oficiales (MinAT, 2005). En el 2004 la producción fue de 22750ton, con un rendimiento de 1300kg/ha de algodón en rama, valores considerados bajos en comparación a países como EEUU y Brasil, que tienen rendimientos superiores a 2500kg/ha (FAO, 2005).

La selección de nuevos genotipos, que permitan incre-

mentar la productividad de los cultivos, se logra eficientemente a través de la evaluación de nuevos materiales en los ensayos regionales (Correia et al., 1996). En este tipo de ensayos se obtiene un estimador del comportamiento de los cultivares sometidos a diferentes ambientes (localidades y años), es decir, su interacción genotipo×ambiente (G×A), la cual se manifiesta cuando las condiciones ambientales repercuten en los efectos diferenciales de los genotipos. Es por ello que la selección de geno-

tipos debe incluir aquellos de alto potencial de rendimiento, que manifiesten estabilidad en la producción cuando son sembrados en diferentes condiciones ambientales (Magari y Kang, 1997).

El uso de estimadores de la estabilidad del rendimiento de cultivares y otras características de interés agronómico permite conocer cómo es el comportamiento de un genotipo respecto a aquellos factores del ambiente que varían con la localidad o de un año a otro (Gutiérrez, 1992). Existe

una variada gama de procedimientos uni y multivariados para obtener estimadores de la estabilidad del rendimiento.

Entre los univariados se destaca el método de Eberhart y Russell (1966), quienes efectuaron una modificación del método de Finlay y Wilkinson (1963) utilizando la media aritmética de los datos reales y señalaron que el coeficiente de regresión podía ser utilizado como estimador para medir la respuesta de cada cultivar a los índices ambientales, y que la estabilidad de producción

PALABRAS CLAVE / Adaptabilidad / Estabilidad de Rendimiento / *Gossypium hirsutum* / Interacción Genotipo×Ambiente / Modelo AMMI /

Recibido: 23/06/2006. Modificado: 05/03/2007. Aceptado: 21/03/2007.

Tehuni González. Ingeniero Agrónomo y M.Sc. en Agronomía, Universidad Central de Venezuela (UCV), Venezuela. Estudiante de Doctorado, Universidade Estadual Paulista, Brasil. Profesor, UCV, Venezuela. e-mail: gonzalez@agr.ucv.ve

Edgardo Monteverde. Ingeniero Agrónomo, UCV, Venezuela. M.Sc., University of Florida, EEUU. Ph.D., University of North Carolina, EEUU. Profesor, UCV, Venezuela. e-mail: emonteverde@gmail.com

Carlos Marín. Ingeniero Agrónomo, UCV, Venezuela. Jefe,

Unidad de Bioestadística, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP), Venezuela. e-mail: cmarin@inia.gov.ve

Petra M. Madriz I. Ingeniero Agrónomo, M.Sc. en Agrono-

mía y Estudiante del Doctorado, UCV. Profesora, UCV, Venezuela. Dirección: Instituto de Agronomía, Facultad de Agronomía, UCV. El Limón, Maracay 2101, apartado postal 4579, estado Aragua, Venezuela. e-mail: madrizp@agr.ucv.ve

Com o objetivo de selecionar e recomendar variedades promissórias de algodão, *Gossypium hirsutum* (L) com alto potencial de rendimento e estabilidade, para as áreas de cultivo na Venezuela, se avaliou o rendimento de algodão em rama de nove variedades durante os ciclos 1995-96 e 1996-97. Utilizou-se um desenho de blocos completos aleatórios, com quatro repetições, em doze ambientes. Para determinar o método ou combinação deles mais adequado se compararam os estimados da estabilidade obtidos pelos métodos de Eberhart e Russell, (1966), Cruz et al. (1989) e o mo-

delo AMMI. Não houve coincidência das variedades com maiores rendimentos, a Unellez 2 e a variedade comercial Delta Pine 16, em relação com os critérios de estabilidade. De acordo ao modelo de Eberhart e Russell, essas variedades foram classificadas como estáveis, enquanto que com o de Cruz et al. resultaram ser adaptáveis a ambientes favoráveis e com o AMMI foram instáveis com alta interação. O modelo AMMI permitiu associar a resposta das variedades mais rentáveis a ambientes específicos e resultou ser mais informativo e simples de interpretar.

se podía medir por la magnitud de la desviación a partir de regresión lineal; es decir, por el cuadrado medio de la desviación de regresión. Así, un genotipo estable tendría coeficiente de regresión $b_i = 1,0$ y una $S^2_{di} = 0$, mientras que otras combinaciones de b_i y de S^2_{di} serían inestables.

Fariás et al. (1983) estimaron los parámetros de estabilidad, a través del método de Eberhart y Russell (1966), en siete cultivares de algodón de ocho localidades del estado de Pará, Brasil, durante dos ciclos de siembra, y encontraron que la variedad que presentó el mayor rendimiento promedio de algodón en rama se comportó como la más inestable.

Cruz et al. (1989) propusieron la regresión segmentada en el estudio de la interacción $G \times A$ para obtener estimadores de la estabilidad del rendimiento, basados en tres parámetros, siendo β_0 el intercepto de la recta de regresión (rendimiento promedio del genotipo) y $\beta_1 + \beta_2$ el comportamiento general del genotipo en ambientes desfavorables e introducen el concepto de la estabilidad "bi-segmentada". Estos autores consideraron que la estabilidad puede ser analizada en dos etapas. La primera consiste en un análisis de varianza combinado para medir la significación de la interacción $G \times A$, sobre la subdivisión del cuadrado medio de ambiente/genotipo. La segunda etapa se basa en un análisis de regresión lineal del promedio de los cultivares, que se efectúa para cada variedad como una función en un índice ambiental ob-

teniéndose así los índices de estabilidad y considerando la respuesta como un bi-seg-

Carvalho et al. (1995) compararon los métodos de Eberhart y Russell (1966) y de Cruz et al. (1989) en la evaluación de nueve cultivares de algodón en seis localidades del nordeste brasileño durante tres años, encontrando similitud entre ambos métodos en la selección de los cultivares más estables. Sin embargo, el método de Cruz et al. (1989) les permitió identificar el mejor cultivar adaptado a ambientes desfavorables.

De los métodos multivariados, el modelo AMMI (*Additive Main Effects and Multiplicative Interactions*; Crossa et al., 1990; traducido como Efectos Aditivos Principales e Interacciones Multiplicativas) ha sido uno de los métodos más empleados, ya que considera que los efectos de los genotipos y el ambiente son aditivos y lineales, lo que permite su estudio por procedimientos de análisis de varianza; mientras que la interacción $G \times A$ tiene efectos multiplicativos que pueden ser explicados a través del análisis por componentes principales. En este sentido Campbell y Jones (2005) estimaron la estabilidad de ocho cultivares de algodón en doce ambientes de Carolina del Sur, EEUU, a través del modelo AMMI y encontraron poca estabilidad de los genotipos en los ambientes evaluados, presentando un comportamiento diferencial tanto para el rendimiento como para la longitud de fibra. Botelho (2005), utilizando el modelo AMMI, realizó una

estratificación ambiental para la evaluación de genotipos de algodón en el estado de Mato Grosso, Brasil, encontrando que los genotipos con mayores rendimientos se agruparon en dos estratos, cada uno con cuatro de los ocho ambientes evaluados.

En Venezuela la utilización de ensayos regionales para recomendar variedades en el cultivo de algodón se ha desarrollado en forma irregular y se ha limitado a la presentación de los resultados en forma aislada por localidad (FonDA, 1993, 1998), por lo cual el análisis combinado de localidades y años, y la comparación de tres metodologías de estimación de la estabilidad del rendimiento, permitirán una mejor selección y recomendación de variedades de tan importante fibra textil.

Materiales y Métodos

Para la realización del trabajo se evaluaron nueve variedades de algodón *Gossypium hirsutum* (L) en siete localidades durante el ciclo 1995-96

y en cinco durante el ciclo 1996-97, a través de los ensayos regionales del convenio del Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (FONAIAP-INIA) y el Fondo de Desarrollo Algodonero (FDA) con el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP) y la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela.

Los materiales genéticos incluidos en los ensayos fueron nueve variedades, identificadas como UCV-ALMACA 1, 2, 3 y 4 (procedentes del programa de mejoramiento genético Convenio UCV-ALMACA), FA-90 y SA-290 (del programa de FONAIAP Acarigua), Unellez 1 y 2 (del programa de la Universidad Experimental Ezequiel Zamora) y el testigo comercial Delta Pine 16. Los ensayos se efectuaron en zonas algodone-
ras de Venezuela, con excepción de la localidad de Maracay, la cual se incluyó como una localidad teórica favorable por sus condiciones agroecológicas y de manejo. Las localidades y años evaluados se refieren en la Tabla I.

TABLA I
AMBIENTES EVALUADOS EN ENSAYOS REGIONALES
DE ALGODÓN DURANTE LOS CICLOS 1995-96 Y 1996-97

Ambiente - Ciclo	Estado	Ubicación
Palo Gordo - 1996	Portuguesa	09°31'N, 69°13'O
San Nicolás - 1996	Portuguesa	08°48'N, 69°47'O
La Luz - 1996	Barinas	08°35'N, 70°10'O
Sabaneta - 1996	Barinas	08°45'N, 69°55'O
Maracay - 1996	Aragua	10°15'N, 67°45'O
La Pascua - 1996	Guárico	09°13'N, 66°01'O
Medanito - 1996	Apure	07°54'N, 67°23'O
Palo Gordo - 1997	Portuguesa	09°31'N, 69°13'O
San Nicolás - 1997	Portuguesa	08°48'N, 69°47'O
Maracay - 1997	Aragua	10°15'N, 67°45'O
Medanito - 1997	Apure	07°54'N, 67°23'O
Turén - 1997	Portuguesa	09°17'N, 69°04'O

Las doce diferentes localidades sembradas durante los dos ciclos se consideraron como ambientes en este estudio. Las prácticas agronómicas efectuadas se correspondieron a los referenciales tecnológicos aplicados en las siembras comerciales de cada localidad.

El diseño experimental utilizado en los ensayos fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por cuatro hilos de 10m de largo, con una separación entre hilos de 0,9m. El área efectiva fue de 16,2m². Finalizado el ciclo de las variedades de cada ensayo se procedió a la cosecha, obteniéndose el rendimiento del algodón en rama expresado en kg por parcela.

Se llevó a cabo análisis de varianza para cada ensayo. Luego se realizó la prueba de homogeneidad de las varianzas de los errores experimentales para el conjunto de ambientes evaluados. Para el análisis combinado de los ambientes se consideró a los genotipos como un efecto fijo y a los ambientes como efecto aleatorio, utilizándose los procedimientos PROC GLM del programa SAS (1994). Cuantificada la magnitud de la interacción G×A se procedió a estimar los parámetros de estabilidad de cada cultivar y de los ambientes evaluados, de acuerdo a las metodologías descritas por Eberhart y Rus-

sell (1966), Cruz *et al.* (1989) y el modelo AMMI (Crossa *et al.*, 1990), siendo este último analizado mediante el programa MATMODEL V 1.0 (Gauch, 1988).

Resultados y Discusión

Los análisis de varianza de cada uno de los ambientes evaluados se presentan en la Tabla II, donde se observa que solo en cinco de ellos hubo diferencias significativas entre las variedades. Sin embargo, al realizar el análisis combinado considerando todos los ambientes (Tabla III) se evidencia diferencias significativas entre las variedades, pero con un comportamiento distinto en los diversos ambientes evaluados; es decir, con interacción G×A significativa. Resultados similares encontraron Gutiérrez (1992), Correia *et al.* (1996), Botelho (2005) y Campbell y Jones (2005) en el cultivo de algodón. En este sentido, Eberhart y Russell (1966), Cruz *et al.* (1989) y Sneller *et al.* (1997) afirmaron que un genotipo que tiene una expresión estable en ensayos conducidos en varios ambientes (localidades y años) contribuye poco sobre la magnitud de la interacción G×A, destacando la necesidad de identificar esos cultivares estables con alto potencial de rendimiento.

El análisis de estabilidad del rendimiento según el método

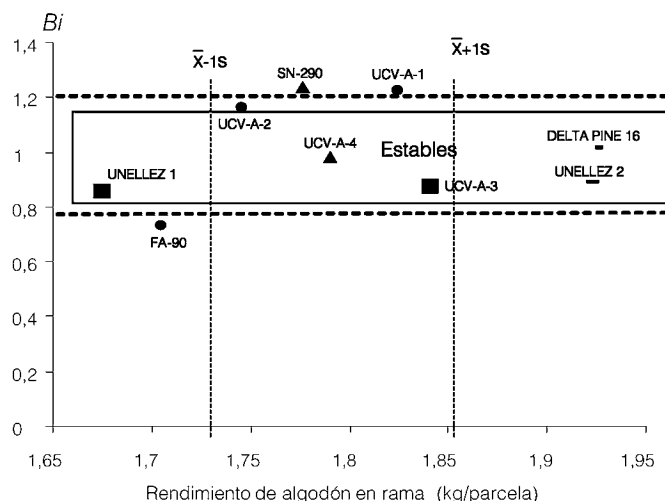


Figura 1. Análisis de estabilidad de 9 variedades de algodón según el método de Eberhart y Russell (1966); tomando como base los 12 ambientes evaluados.

de Eberhart y Russell (1966), mostró que la mayoría de las variedades estuvieron dentro de los límites de estabilidad. En la Figura 1 se presenta el rendimiento promedio de las variedades y sus coeficientes de regresión. Las variedades que resultaron estables con rendimientos superiores al intervalo de confianza de la media ($1,8 \pm 0,08\text{kg/parcela}$) fueron Unellez 2 y el testigo comercial Delta Pine 16, evidenciando en el caso de esta última que su recomendación para las áreas de siembra de Venezuela (FonDA, 1993, 1998) ha sido acertada. Por otro lado, se aprecia que los cultivares provenientes del convenio UCV-Almaca resultaron estables, con rendimientos incluidos en el intervalo de la media general, mientras que las de FONAIAP Acarigua, FA-90 y SN-290 quedaron fuera de los límites de estabilidad. Carbonell y Pompeu (2000),

trabajando con cultivares de caraota, indicaron que con este método fue posible dirigir la recomendación de sus cultivares, con una escogencia de líneas más adaptadas y de mejor respuesta por época de cultivo.

El análisis de la estabilidad de los ambientes en el método de Eberhart y Russell (1966) se efectúa a través del estudio de los índices ambientales de cada una de las localidades. En la Tabla IV se presentan los valores obtenidos, los cuales muestran como ambientes desfavorables, con índices ambientales negativos (con rendimientos por debajo de la media general) a Palo Gordo-96, la Pascua-96, Maracay-97, Apure-97 y Turén-97. El hecho que ambientes como los de Palo Gordo, Maracay y Apure, evaluados durante los dos años de estudio hayan mostrado índices positivos

TABLA II
CUADRADOS MEDIOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZA DE NUEVE VARIEDADES DE ALGODÓN, EN LOS DOCE AMBIENTES EVALUADOS DURANTE LOS CICLOS 1995-96 Y 1996-97

Ambiente - Ciclo	Variedades (8)	Repetición (3)	Error (24)
1 Palo Gordo - 96	0,1976*	0,523**	0,0730
2 San Nicolás - 96	0,2126	0,3467	0,1609
3 La Luz - 96	0,1921	0,0105	0,2412
4 Sabaneta - 96	0,1462	0,9139**	0,1135
5 Maracay - 96	0,4115*	0,6118*	0,1724
6 La Pascua - 96	0,2558**	0,6687**	0,0599
7 Apure - 96	0,6745**	0,2661	0,0967
8 Palo Gordo - 97	0,1995	0,2867	0,2125
9 San Nicolás - 97	0,0724	0,0375	0,0614
10 Maracay - 97	0,0911	0,0745	0,0918
11 Apure - 97	0,7293**	0,3134	0,1254
12 Turén - 97	0,0292	0,0411	0,0808

Los valores entre paréntesis son los grados de libertad de las fuentes de variación respectiva.

* y **: Diferencias significativas al 5% y 1%, respectivamente.

TABLA III
ANÁLISIS DE VARIANZA COMBINADO DE LOS DOCE AMBIENTES EVALUADOS EN ENSAYOS REGIONALES DE ALGODÓN, DURANTE LOS CICLOS 1995-96 Y 1996-97

Fuentes de variación	GL	Cuadrados medios
Ambientes	11	5,0198*
Repetición (Ambiente)	36	0,3411*
Genotipos	8	0,3697*
G×A	88	0,2584*
Error	288	0,1219

*: Diferencias significativas al 1%.

TABLA IV
 ÍNDICES AMBIENTALES DE LOS 12 AMBIENTES
 EVALUADOS EN LOS ENSAYOS REGIONALES
 DE ALGODÓN, DURANTE LOS CICLOS 1995-96 Y 1996-97

	Ambiente - Ciclo	Rendimiento (kg/ha)	Índice ambiental
6	La Pascua - 96	1,556	-0,6453
10	Maracay - 97	1,3611	-0,4397
11	Apure - 97	1,4656	-0,3353
1	Palo Gordo - 96	1,4756	-0,3253
12	Turén - 97	1,6356	-0,1653
5	Maracay - 96	1,8567	0,0558
7	Apure - 96	1,9356	0,1347
9	San Nicolás - 97	1,9656	0,1647
8	Palo Gordo - 97	2,1000	0,2992
2	San Nicolás - 96	2,1422	0,3414
3	La Luz - 96	2,1856	0,3847
4	Sabaneta - 96	2,3311	0,5303
	Media	1,8008	

Valores negativos denotan ambientes desfavorables, con rendimientos por debajo de la media general.

y negativos, indica que las variaciones ambientales, a través de los años, en esas localidades son grandes. Resultados similares encontró Gutiérrez (1992) en las condiciones del Valle de Guadalupe, España, donde era más importante incrementar el número de años de evaluación que incluir nuevas localidades, porque las localidades mostraban pocas variaciones. Por su parte, Carbonell y Pompeu (2000), trabajando con cultivares de caraota, indicaron que con este tipo de método es posible dirigir la recomendación de cultivares con una escogencia de líneas más adaptadas y de

mejor respuesta por época de cultivo.

Los resultados del análisis de estabilidad del rendimiento de los genotipos evaluados por el método de Cruz *et al.* (1989) se muestran en la Figura 2, donde se observa que, las variedades con mejor respuesta a los ambientes favorables (con valores de $\beta_1 + \beta_2 > 1,2$) fueron UCV-Almaca-1, FA-90 y UNELLEZ-1; aquellas variedades con $\beta_1 + \beta_2 < 1$ indican que su respuesta en rendimiento no está determinada por encontrarse en los mejores ambientes, entre ellas UCV-Almaca-3, UNELLEZ-2 y Delta Pine 16. Carvalho *et al.* (1995) señalaron que además de la estabili-

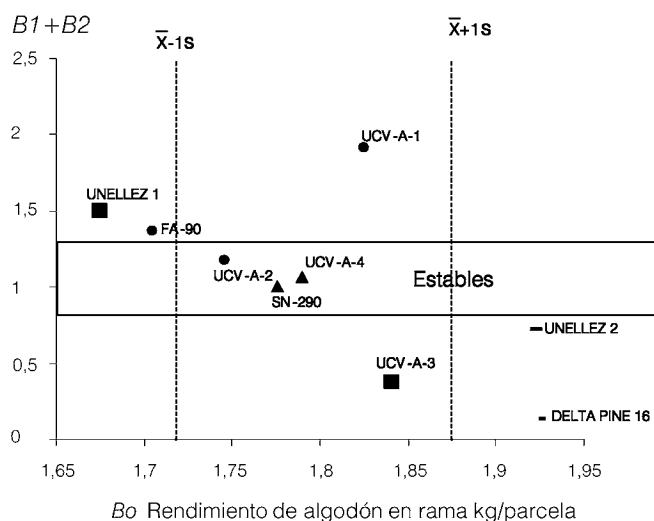


Figura 2. Coeficiente de regresión ($B_1 + B_2$) y rendimiento de algodón en rama (B_0) de 9 variedades en 12 ambientes, según el método de Cruz *et al.* (1989).

TABLA V
 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA COMPONENTES
 PRINCIPALES DE LAS DESVIACIONES DE LA MEDIA
 GENERAL DE RENDIMIENTO, DE ACUERDO
 AL MODELO AMMI, DE 9 VARIEDADES DE ALGODÓN
 EN 12 AMBIENTES

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios
"Prueba"	107	81,27	0,75951*
CP 1	20	56,86	2,8431*
CP 2	18	11,19	0,6219*
Residual	69	13,21	0,199914*
REP (ambiente)	36	12,16	0,3368*
Error	288	35,23	0,1223
Total	431	128,62	

*: Diferencias significativas al 1%.

dad es importante estudiar la adaptabilidad de los cultivares a condiciones desfavorables con fines de selección (considerando que un cultivar es más adaptable en la medida en que es más productivo), información que ofrece el método de Cruz *et al.* (1989) y que no está disponible a través del método de Eberhart y Russell. Únicamente las variedades SN-290 y UCV-Almaca 2 y 4 resultaron estables en su respuesta a las condiciones favorables de acuerdo con el método de Cruz *et al.* (1989) (Figura 2) y de éstas la SN-290 no se consideró como estable en el método de Eberhart y Russell (1966) (Figura 1).

El análisis de estabilidad según el modelo AMMI

mostró que el componente principal CP1 representó el 69% de la suma de cuadrados de la fuente de variación "prueba" (Tabla V), valor que coincide con los encontrados por Botelho (2005), lo que indica según Crossa *et al.* (1990) que el modelo explica con precisión la interacción $G \times A$ de cada variedad y de los ambientes evaluados. En la Figura 3 se presenta el rendimiento promedio de los genotipos y de los ambientes evaluados en función de los vectores propios del CP1, y se observa que las variedades con los mayores rendimientos (por encima del promedio) pero con interacción $G \times A$ elevada (con valores negativos de CP1) fueron Delta Pine 16

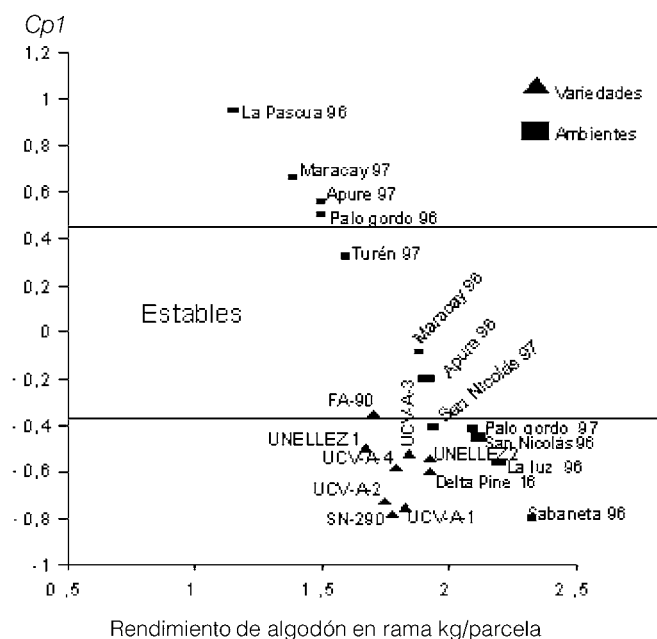


Figura 3. Doble representación Biplot de 9 variedades de algodón en 12 ambientes, según modelo AMMI.

y Unellez 2. Igualmente, el biplot destaca los ambientes con los mayores rendimientos asociados con los mejores genotipos, que fueron La Luz-96, San Nicolás-96 y 97, Palo Gordo-97, Apure-96 y Sabaneta-96.

Las variedades con menor interacción $G \times A$ y con rendimientos por debajo del promedio general fueron FA-90 y Unellez 1. Estos resultados coinciden con los reportados por Farías *et al.* (1983) en el cultivo de algodón, al señalar que la variedad más rendidora se comportó como la más inestable. En este mismo orden de ideas, Geng *et al.* (1987) señalaron que la variedad más productiva de algodón tuvo la menor estabilidad. Los ambientes con mayor interacción o más inestables fueron La Pascua-96, Maracay-97, Palo Gordo-96 (con valores altos positivos) y Sabaneta-96 y La Luz-96 (con altos valores negativos). En la Figura 3 no se observa ningún cultivar con los rendimientos asociados a estos ambientes.

De los métodos evaluados se encontró que hubo coincidencia entre los métodos de Eberhart y Russell (1966) y el de Cruz *et al.* (1989) en la selección de los cultivares UCV-Almacá 2 y 4, los cuales fueron considerados como estables; mientras que para el modelo AMMI la mayoría de los cultivares se comportaron como inestables, con alta interacción.

El método de Eberhart y Russell (1966) mostró a las variedades más productivas como estables; mientras que en el de Cruz *et al.* (1989), las ubicó como adaptables a ambientes favorables. La no coincidencia entre los métodos estudiados pudiera explicarse por el hecho de que los métodos de Eberhart y Russell (1966) y de Cruz *et al.* (1989) consideran que el componente interacción $G \times A$ de los cultivares se explica con la desviación media de la regresión, cuando en realidad las interacciones, de acuerdo al modelo AMMI, fueron de

tipo multiplicativo. Similares resultados fueron reportados por Crossa *et al.* (1990) y Cabrera *et al.* (1997).

El modelo AMMI ofreció la ventaja de orientar en forma descriptiva y simple, a través de su figura de doble presentación, cuáles fueron los ambientes más productivos asociados con las variedades más rendidoras. De allí su mayor utilidad en comparación a los otros métodos estudiados. Los resultados coinciden con otros trabajos como los de Botelho (2005) y Campbell y Jones (2005), también en el cultivo de algodón, donde el análisis por componentes principales resultó útil para explicar las diferencias y agrupaciones entre variedades.

Conclusiones

A través del análisis clásico de la varianza y de la utilización de los métodos de Eberhart y Russell (1966), de Cruz *et al.* (1989) y el modelo AMMI para obtener estimadores de estabilidad del rendimiento en el cultivo de algodón se pudo concluir que

- Existen claras diferencias entre los rendimientos de las variedades de algodón incluidas en este estudio, las cuales mostraron un comportamiento distinto en los diversos ambientes evaluados.

- No hubo coincidencia de las variedades con mayores rendimientos (Unellez 2 y la variedad comercial Delta Pine 16) en relación a los criterios de estabilidad. De acuerdo al método de Eberhart y Russell (1966), éstas fueron clasificadas como estables. Con el de Cruz *et al.* (1989) resultaron adaptables a ambientes favorables. Con el AMMI fueron inestables con alta interacción.

- Los métodos de Eberhart y Russell (1966) y de Cruz *et al.* (1989) coincidieron en la selección de los cultivares UCV-Almacá 2 y 4 como estables, entre tanto que para el modelo AMMI la mayoría de las variedades se comporta-

ron como inestables con alta interacción.

- El modelo AMMI resultó ser el que mejor asoció la respuesta de las variedades más rendidoras a ambientes específicos como San Nicolás-96 y 97, Palo Gordo-97, La Luz-96, Apure-96 y Sabaneta-96. Por otra parte, resultó ser el más informativo y sencillo de interpretar de los métodos estudiados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Margaret Gutiérrez, Luis Vilain, Francisco Hernández, Pedro Puglisi, Henry Gatica, Jesús Piña y José Torres su ayuda en la conducción de los ensayos y al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela y al Fondo de Desarrollo Algodonero de Venezuela el apoyo financiero.

REFERENCIAS

- Botelho G (2005) *Estratificação ambiental para avaliação de genótipos de algodoeiro no estado de Mato Grosso*. Tese. Universidade de São Paulo. Piracicaba, Estado de São Paulo, Brasil. 79 pp.
- Cabrera S, Marín C, Romero P, Hernández L, Morillo F, Sánchez C (1997) Análisis de estabilidad del rendimiento en híbridos de maíz (*Zea mays*), en zonas productoras de los estados Portuguesa y Barinas. En *Análisis de estabilidad de cultivos mediante estadísticas multivariadas*. DANAC. San Javier, Yaracuy, Venezuela. 60 pp.
- Carbonell A, Pompeu A (2000) Estabilidade fenotípica de linhagens de feijoeiro em três épocas de plantio no estado de São Paulo. *Pesq. Agropec. Bras.* 35: 321-329.
- Campbell T, Jones M (2005) Assessment of genotype $\times$ interactions for yield and fiber quality in cotton performance trials. *Euphytica* 144: 69-78.
- Carvalho P, Da Costa J, Dos Santos J, Pereira E (1995) Adaptabilidade e Estabilidade em cultivares de algodoeiro herbáceo. *Pesq. Agropec. Bras.* 30: 207-213.
- Correia J, Patto M, Carvalho L, Nunes J (1996) Parâmetros de estabilidade de algodoei-

ro herbáceo avaliado na região nordeste do Brasil. *Pesq. Agropec. Bras.* 31: 877-883.

- Crossa J, Gauch H, Zobel R (1990) Additive Main Effects and Multiplicative Interaction of two international maize cultivars trials. *Crop Sci.* 30: 493-500.
- Cruz C, Torres R, Vencovsky R (1989) An alternative and approach to the stability analyses proposed by Silva and Barreto. *Rev. Bras. Genét.* 12: 567-580.
- Eberhart A, Russell W (1966) Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6: 36-40.
- FAO (2005) Statistics Division. www.fao.org/statistics. 18/01/2006.
- Farías J, Becerra F, Oliveira E (1983) Parâmetros de estabilidade na comparação de cultivares de algodoeiro herbáceo. *Pesq. Agropec. Bras.* 18: 261-267.
- Finlay K, Wilkinson G (1963) The analysis of adaptation in a plant breeding program. *Aust. J. Agric. Res.* 14: 742-754.
- FonDA (1993) *Resultados de los ensayos regionales de algodón ciclo 90-91*. Fondo de Desarrollo Algodonero. Caracas, Venezuela. 35 pp.
- FonDA (1998) *Resultados de los ensayos regionales de algodón ciclo 95-96*. Fondo de Desarrollo Algodonero. Caracas, Venezuela. 80 pp.
- Gauch G (1988) *MATMODEL*. Microcomputer power. Ithaca, NY, EEUU.
- Geng G, Zhang Q, Bassett M (1987) Stability in yield and fibre quality of California cotton. *Crop Sci.* 27: 1004-1010.
- Gutiérrez J (1992) *Estudio de variedades y zonas algodonerías en el Valle de Guadalquivir*. Informaciones técnicas. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. España. 65 pp.
- Magari R, Kang M (1997) SAS-Stable; Stability of balance and unbalance data. *Agron. J.* 89: 929-932.
- MinAT (2005) Comunidad Andina de Naciones. Secretaría General de proyectos. Ministerio de Agricultura y Tierras www.comunidadandina.org/estadisticas/ comp9099/agro-ven.xls. 18/01/2006.
- SAS (1994) *SAS/STAT User's Guide*. Release 6.03. SAS Institute. Cary, NC, EEUU. 1028 pp.
- Sneller C, Kilgore L, Dombek D (1997) Repeatibility of yield stability in soybean. *Crop Sci.* 37: 383-390.