

ESTABILIDAD FENOTÍPICA DE ARROZ DE RIEGO EN VENEZUELA UTILIZANDO LOS MODELOS LIN-BINNS Y AMMI

PHENOTYPIC STABILITY IN IRRIGATED RICE IN VENEZUELA USING THE MODELS AMMI AND LIN-BINNS

Marco Acevedo*, Edicta Reyes**, William Castrillo*, Orlando Torres***, Carlos Marín****,
Rosa Álvarez**, Orlando Moreno** y Edgar Torres†

*Investigadores. INIA. CIAE-Guárico. E-mail: macevedo@inia.gob.ve, wcastrillo@inia.gob.ve

**Investigadores. CIAE-Portuguesa. E-mail: ereyes@inia.gob.ve, omoreno@inia.gob.ve, ralvarez@inia.gob.ve

***Investigador. CIAE-Barinas. E-mail: otorres@inia.gob.ve.

****Técnico Asociado a la Investigación (TAI). CENIAP. Maracay. E-mail: cmarin@inia.gob.ve

†Investigador. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) FLAR. Cali Colombia.

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar la presencia de interacción genotipo ambiente (GxA), su magnitud en el rendimiento en granos (t.ha⁻¹), evaluar la adaptabilidad y estabilidad (A y E) fenotípica de genotipos de arroz, *Oryza sativa* L., utilizando los modelos Lin-Binns y AMMI (Additive main effects and mutiplicative interactions); se evaluaron 15 genotipos (cuatro testigos) en cinco ambientes (locales) en las principales zonas productoras de arroz en Venezuela, durante el ciclo de riego 2006-2007. Los efectos de ambientes, genotipos e interacción GxA explicaron 40,58% (P<0,01), 8,09% (P<0,01) y 15,04% (P<0,05) de la suma del cuadrado total, respectivamente. Hubo coincidencia por ambos métodos en la identificación del genotipo (FD03B01) como el de mayor adaptabilidad. Sin embargo, el modelo AMMI identificó a los genotipos PN01B034, PN001B037, L-1 como los más estables a través de ambientes por su baja interacción GxA y adaptabilidad intermedia. Los testigos, FEDEARROZ 50 y CIMARRÓN fueron los más adaptados por presentar mayor rendimiento, mientras que VENEZUELA 21 y CIMARRÓN resultaron estables. Con respecto a los ambientes, la localidad Sabanetica y Araure (estado Portuguesa) son las que contribuyen a la interacción GxA considerándose las más inestables, caso contrario ocurre con Torunos (estado Barinas). El modelo AMMI permitió un análisis más detallado de la interacción GxA, facilitando la recomendación de genotipos adaptados y estables; además la interpretación gráfica favoreció el análisis estadístico.

Palabras Clave: adaptabilidad; AMMI; estabilidad; genotipo ambiente; Lin y Binns; *Oryza sativa* L.

SUMMARY

To determine the presence of interaction genotype environment (GxE) and its magnitude in grains yield (t.ha⁻¹) and to evaluate the adaptability and stability (A y S) phenotypic of rice cultivars *Oryza sativa* L. using the models Lin-Binns and AMMI (Additive main effects and mutiplicative interactions) 15 cultivars were evaluated in five local environments in the main areas rice producer in Venezuela during 2006-2007 dry season. GxE interaction for yield was analyzed using the models Lin and Binns and additive main effects and multiplicative interactions (AMMI). The effects of environments, genotypes and GXE interaction explained 40.58% (P<0.01), 8.09% (P<0.01) and 15.04% (P<0.05) of the total sum of squares, respectively. According with the AMMI model the genotypes PN01B034, PN001B037 and L-1 had absolute values near to zero of the CP1 indicating low interaction GxE, in consequence they were considered stable over environments. In the other hand, Lin and Binns model indicated that FD03B01 was the most adapted genotype. The commercial varieties with higher yields were FEDEARROZ 50 and CIMARRÓN, additionally, VENEZUELA 21 and CIMARRÓN were stables. In relation to environments, Sabanetica and Araure (Portuguesa State) contributes to the interaction GxE; for that reason both are considered the most unstable. In the other hand, Torunos (Barinas State) presented major stability. The model AMMI allowed a detailed analysis of the interaction GxE, facilitating the selection of the most productive genotypes and with better stability; also, it was possible to do an easier graphic interpretation of the statistical analysis.

Key Words: adaptability; AMMI; stability; genotype by environments; Lin and Binns; *Oryza sativa* L.

RECIBIDO: agosto 19, 2009

ACEPTADO: junio 30, 2010

INTRODUCCIÓN

En la fase final de los programas de mejoramiento genético los genotipos con alto potencial de rendimiento de grano y buenas características agronómicas deben ser evaluados en un conjunto de ambientes (localidades y años) en las principales zonas de producción del cultivo. El comportamiento diferencial de los genotipos en los diversos ambientes es debido a la interacción genotipo ambiente (GxA), dificultándose la selección de los que están ampliamente adaptados como los más estables. Por otro lado, la presencia de GxA afecta las estimativas de la varianza genética y por ende sobreestima la ganancia genética esperada por selección, afectando negativamente el éxito de los programas de mejoramientos (Duarte y Vencovsky, 1999).

Según, Allard (1971) señala que el primer trabajo sobre variación genética fue realizado por el biólogo Johannsen, quien demostró que la variación fenotípica observable resulta de la acción conjunta de la variación genética y ambiental. Por otra parte, Cruz (2005) indica que al evaluar un conjunto de genotipos en varios ambientes, se debe considerar un efecto adicional en la expresión del fenotipo que viene dado por la interacción GxA. Así mismo, Ramalho *et al.* (2000) explican que el efecto ambiental siempre se presenta como un factor de incertidumbre en las estimativas de los parámetros genéticos. Una forma de disminuir su efecto, determinar su magnitud, así como, medir su impacto sobre la selección y recomendación de las variedades, es a través de la utilización de diseños biométricos apropiados y repetidos en diferentes ambientes.

En este sentido, cuando el fitomejorador detecta interacción GxA para asegurar el éxito de su recomendación, requiere hacer un estudio más detallado referente a la adaptabilidad y estabilidad (A y E) fenotípica de los genotipos, principalmente para el rendimiento de granos, por ser éste de gran importancia económica. Cruz y Regazzi (2001) definen adaptabilidad como la capacidad de las variedades para aprovechar ventajosamente el estímulo ambiental, mientras que la estabilidad está referida a la capacidad que tienen de mostrar un comportamiento altamente previsible de acuerdo con el ambiente.

Por otra parte, en la literatura existen varios modelos estadísticos propuestos que permiten interpretar la interacción GxA, estos estudios ofrecen información sobre el comportamiento de cada genotipo ante los cambios ambientales. Crossa *et al.* (1990), señalan que los análisis

de regresión lineal presentan algunas limitaciones como fallas en la linealidad que dificultan explorar ventajosamente la interacción GxA.

El modelo de Lin y Binns (1988) es utilizado principalmente para evaluar estabilidad cuando se carece de una estructura experimental, para mantener el mismo ensayo o los testigos en las evaluaciones realizadas. Por lo tanto, Lin *et al.* (1986) consideran que la respuesta genotípica en los diferentes ambientes es multivariada más que univariada, entonces será este modelo el que permita describir e interpretar mejor los efectos de la interacción GxA.

En este sentido, el modelo AMMI (Additive main effects and multiplicative interactions) fue uno de los modelos más empleados, considerándose que los efectos de los genotipos y los ambientes son aditivos y lineales, permitiendo el estudio por procedimientos de análisis de varianza convencional; mientras que la interacción GxA tiene efectos multiplicativos que pueden ser explicados a través del análisis de componentes principales, Gauch (1988) citado por Bernardo (2002).

Así mismo, Zobel *et al.* (1988) indican que el modelo AMMI permite un análisis más detallado de la interacción GxA que garantiza la selección de genotipos más productivos, proporcionando estimados más precisos de respuesta genotípica, generando una mejor interpretación gráfica de los resultados del análisis estadístico.

De igual forma, existen diversos trabajos publicados en la literatura sobre A y E en varios cultivos utilizando diferentes metodologías, en caña de azúcar (Alejos *et al.*, 2006; Rea y Souza, 2002), soja (Silva y Duarte, 2006; Morais *et al.*, 2003), maíz (Marín *et al.*, 2004), algodón (Hoogerheide *et al.*, 2007; González *et al.*, 2007) y en arroz (Morais *et al.*, 2008; Atroch *et al.*, 2000). En Venezuela no existen trabajos publicados sobre A y E en arroz, en consecuencia, el objetivo del estudio fue determinar la magnitud de la interacción GxA, así como evaluar de manera preliminar la A y E de 15 genotipos de arroz utilizando datos experimentales de rendimiento en granos ($t \cdot ha^{-1}$) en cinco localidades de las principales zonas productoras.

MATERIALES Y MÉTODOS

El conjunto de datos analizados provienen de los Ensayos Regionales Uniformes (ERU's) realizados en el ciclo de riego 2006-2007 en cinco localidades (Bancos de San Pedro y Parcela 178, ambas del sistema de riego río

Guárico (SRR-Guárico); Araure y Sabanetica en Portuguesa y Toruno en Barinas) de las zonas de producción de arroz en Venezuela. Se evaluaron 15 genotipos, cuatro de ellos fueron testigo (VENEZUELA 21, CIMARRÓN, FEDEARROZ 50 y FONAIAP 1).

Los ensayos fueron instalados en diseño de bloque completos al azar, con tres repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por 20 m² siendo cosechada un área efectiva de 12 m², luego de excluidos los bordes para reducir efecto de bordura. El manejo agronómico de los ensayos fue similar al comercial en cada localidad. La variable estudiada fue rendimiento en granos paddy expresado en tonelada por hectárea (t.ha⁻¹), ajustado al 12% de humedad en cada parcela.

Análisis estadísticos

Fueron realizados los análisis de varianza individual por localidades para cada ensayo, el modelo lineal del análisis de varianza en diseño de bloques completos al azar para evaluar genotipos en varios ambientes (locales) es presentado en la ecuación 1:

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + b(a)_{k(j)} + a_j + (ga)_{ij} + \varepsilon_{ijk}, \quad \text{ecuación 1}$$

siendo Y_{ijk} el valor fenotípico del genotipo i , evaluado en k repeticiones y j ambientes; mientras μ , g_i , a_j , $(ga)_{ij}$, representan la media general, efecto de genotipos, de ambientes e interacción GxA, respectivamente; $b(a)_{k(j)}$ es el efecto de repetición dentro de ambiente; y ε_{ijk} el error experimental asociado a la ijk -ésima observación.

La descomposición del valor fenotípico (Y_{ijk}) como el expresado en la ecuación uno, no provee mayor información sobre el modelo de comportamiento de un genotipo en los diferentes ambientes, sólo permite cuantificar la magnitud de la interacción GxA, es por ello que el análisis de A y E permite examinar el desempeño de un genotipo relativo a otro para diferentes ambientes.

Los métodos de A y E utilizados fueron: (a) Lin y Binns (1988) y (b) AMMI (Zobel *et al.*, 1988; Bernardo, 2002).

(a) Método de Lin y Binns

El estadístico de A y E P_i fue obtenido mediante la ecuación 2,

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^n (Y_{ij} - M_j)^2}{2a} \quad \text{ecuación 2}$$

Este índice de superioridad (P_i) se calcula a partir de la suma de cuadrados de las diferencias entre el genotipo de interés (Y_{ij}) con respecto al genotipo de máximo rendimiento de cada ambiente (M_j), “a” está referido al número de ambientes considerado; y P_i representa el cuadrado medio del efecto conjunto de genotipos e interacción GxA y por ser calculado con referencia a la máxima respuesta, determina la adaptabilidad en sentido general.

El genotipo estable es aquel que presenta el menor índice P_i , además, los mismos autores proponen un segundo índice asociado únicamente a la interacción GxA, cuando el cuadrado medio (P_i) es menor al cuadrado medio del error conjunto, indica que existe paralelismo entre la respuesta máxima y el genotipo particular, lo que facilita al fitomejorador la toma de decisión, ya que selecciona con base al índice de superioridad únicamente; caso contrario debe examinar la adaptabilidad de cada genotipo en cada ambiente.

(b) Método AMMI

Este modelo considera como efectos aditivos principales el genotipo y ambiente mediante el análisis de varianza y la interacción GxA como efecto multiplicativo por medio de un análisis multivariado de componentes principales (CP), según (Crossa *et al.*, 1990). Bernardo (2002), explica que el análisis de CP transforma los datos originales en combinaciones lineales, siendo no correlacionadas entre sí y agrega que el primer CP debe explicar un alto porcentaje de la variación de los datos para ser útil, en otras palabras los primeros ejes de los CP deben capturar la mayor varianza de la interacción GxA; caso contrario, el análisis pierde eficiencia en agrupar ambientes dentro de subgrupos homogéneos.

El modelo que describe la respuesta media de un genotipo i en un ambiente j del análisis AMMI de Zobel *et al.* (1988) y actualizado por Bernardo (2002), es presentado en la ecuación 3,

$$Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + \sum (\text{IPCA}_i)(\text{IPCA}_j) + d_{ij} + \varepsilon_{ij}, \quad \text{ecuación 3}$$

Basándose en un modelo tradicional de análisis de varianza conjunta, donde μ represente la media general g_i , el efecto genotípico a_j , el efecto del ambiente y ε_{ij} error experimental, la interacción GxA es expresado $\text{IPCA}_i^{g_i}$ que representa el “score” del componente principal del genotipo i para el eje n ; $\text{IPCA}_j^{a_j}$ es el CP del ambiente j para el eje n ; n representa el número de ejes usados en un análisis particular cuyo número mínimo es $[(g-1)(a-1)]$; d_{ij} es el efecto

residual de la interacción GxA que no es explicado por el análisis de componentes principales.

Un “score” del CP se indica en igual término que la variable estudiada. El análisis AMMI es un estimador mejorado del comportamiento de un genotipo en un ambiente, permitiendo calcular un efecto particular de la interacción GxA para todos los genotipos considerados. El genotipo con el menor valor absoluto es calificado como el más estable.

A partir del primer componente principal, caso sea significativo y representativo ($\geq 70\%$) de la interacción, se considera que concentra la mayor varianza en GxA, siendo posible generar un gráfico (Biplot o doble representación) con la variable medida (rendimiento de granos), que representa las similitudes (grupos homogéneos) de genotipos y de ambientes. El ajuste del modelo fue implementado por medio del sistema estadístico de predicción MATMODEL version 3.0 (Gauch, 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza conjunta (Cuadro 1), mostró diferencias significativas ($P < 0,01$) para ambientes y genotipos, indicando que existe variación significativa del ambiente para proporcionar alteraciones en las medias de los genotipos, registrando el 40,58% de la suma de cuadrados totales, mientras que la significancia de genotipo demuestra la diferencia genética entre los genotipos evaluados. Esta fuente de variación representó el 8,09% de la suma de cuadrados totales.

CUADRO 1. Análisis de varianza conjunta para 15 genotipos y cinco ambientes, ciclo de riego 2006-2007.

Fuente de variación	GL	CM	P>F
Ambientes (A)	4	45,87	0,000
Bloques/locales	10	3,07	0,000
Genotipos (G)	14	2,61	0,001
Interacción (genotipo x locales)	56	1,21	0,032
Error experimental	140	0,65	
Total	224	2,01	
Media		5,28 t.ha ⁻¹	
CV		15,21%	

La interacción GxA resultó significativa ($P < 0,05$), representando el 15,04% de la suma de cuadrados totales, indicando que el comportamiento relativo de los genotipos fue influenciado distintamente por las localidades consideradas, hecho que dificulta la recomendación de un material para todos los ambientes estudiados.

Por tal motivo, no es pertinente basar la elegibilidad de nuevos genotipos sobre el análisis de media del desempeño de los materiales tomando el análisis conjunto de varianza, ya que se podría incurrir en errores, esto es posible cuando la interacción GxA no existe.

Los resultados antes presentados justifican el análisis de A y E fenotípica propuesto en este estudio.

De manera general, la media para rendimiento en granos paddy fue de 5,28 (t.ha⁻¹) similar a la media nacional, mientras que el coeficiente de variación resultó aceptable 15,21%, considerando que la característica en estudio es de tipo cuantitativa, altamente influenciada por el ambiente.

En el Cuadro 2 se muestran las medias por localidades y por genotipo, el coeficiente de variación genética ($CV_g\%$) y el desempeño por material tomando en cuenta la media general y la media superior, así como los estimados del estadístico (P_i) utilizando la metodología de Lin y Binns (1988).

En la localidad Sabanetica, estado Portuguesa, fue donde los genotipos expresaron mejor su desempeño y predominó las condiciones ambientales favorables al cultivo, con rendimiento medio de granos 17,5% superior a la media general de los experimentos. Lo contrario ocurrió en la localidad de Torunos, estado Barinas, cuya media fue inferior en 24,8% a la media general, esto podría ser debido al manejo usado en la zona en condiciones de secano. Las localidades ubicadas en el SRR-Guárico presentaron rendimientos promedios al 10,18% superior a la media general.

En otro orden de ideas, el análisis de los genotipos refleja que el PN04I032 posee mayor variación genética, caso contrario al PN00A022A, ésto debido a que el rendimiento promedio por localidad fue similar en todos los ambientes. Los materiales utilizados como testigos presentan variación genética similar, destacando que las variedades FEDEARROZ 50 y CIMARRÓN alcanzan mayor rendimiento de granos.

CUADRO 2. Índice de superioridad (P_i) de Lin y Binns para los 15 genotipos y cinco localidades, ciclo de riego 2006-2007.

Genotipo	Rendimiento (t.ha ⁻¹) localidad					Rendimiento promedio	% CVg	% testigo	% media	P_i (Lin y Binns)
	1	2	3	4	5					
FD03B01	4,27	5,88	7,12	5,88	7,08	6,05	19,3	109,8	114,4	0,3
L-1	4,44	5,96	5,33	6,10	7,01	5,77	16,6	104,8	109,2	4,8
PN01B034	3,90	5,24	5,93	6,82	6,83	5,74	21,4	104,3	108,7	3,6
FEDEARROZ 50	4,05	4,63	5,22	6,15	7,48	5,51	24,5	100,0	104,2	4,4
CIMARRON	3,59	5,49	5,80	5,84	6,77	5,50	21,3	99,9	104,1	3,3
PN001B037	3,66	4,39	6,48	5,52	6,56	5,32	24,0	96,7	100,7	3,8
L-347	4,61	4,16	5,91	5,70	6,20	5,32	16,6	96,5	100,6	5,8
PN04I032	4,39	2,87	5,43	6,24	7,61	5,31	33,9	96,4	100,5	6,4
PN00B022	4,47	3,99	4,75	6,34	6,97	5,30	24,2	96,3	100,4	6,0
CF-205	3,94	4,46	5,77	5,91	6,23	5,26	19,0	95,6	99,6	4,5
PN00A016C	4,18	5,02	5,75	5,74	4,33	5,00	14,9	90,9	94,7	6,4
VENEZUELA 21S	3,36	4,10	5,65	5,88	5,93	4,98	23,7	90,5	94,3	4,1
FONAIAP 1	3,45	3,69	5,94	5,31	6,37	4,95	26,6	89,9	93,7	4,5
PN00A018A	3,53	3,92	4,50	6,55	5,96	4,89	26,7	88,8	92,6	5,3
PN00A022A	3,70	3,98	4,41	5,01	4,63	4,35	11,9	78,9	82,3	7,4

1, 2, 3, 4 y 5 se refieren a las localidades Torunos en Barinas, Araure en Portuguesa, Parcela 178 del SRR-Guárico, Bancos de San Pedro del SRR-Guárico y Sabanetica en Portuguesa, respectivamente.

El estadístico (P_i) de Lin y Binns mostró a la línea FD03B01 ($P_i = 0,3$) como la más estable y adaptada, seguido del testigo CIMARRÓN ($P_i = 3,3$).

De acuerdo con esta metodología, cuando menor es el valor del estadístico (P_i) menor será el desvío con relación a la productividad máxima en cada ambiente, entonces, se puede concluir que la mayor A y E estará asociada a mayor productividad. La línea FD03B01 logra una media de rendimiento de 114% con respecto a la media general y 110% sobre el mejor testigo.

Por su parte, Carvalho *et al.* (1995) señalan que la adaptabilidad a condiciones desfavorables con fines de selección es importante, ya que se considera que una variedad es más adaptable en la medida que sea más productiva, en el caso de la línea FD03B01 presentó alta productividad en ambientes favorables. Por otro lado, el material PN00A022A mostró el mayor valor del estadístico (P_i), indicando su inestabilidad y poca adaptabilidad fenotípica asociada a una menor media en todos los ambientes considerados.

La metodología de Lin y Binns (1988) es de fácil aplicación e interpretación, existiendo la posibilidad de una aceptable discriminación entre los genotipos y siempre asocia mayor A y E con mayor rendimiento, su utilización es ventajosa pero se requiere la acumulación de muchos resultados antes de concluir con base a este análisis.

En el Cuadro 3 se presenta el análisis de varianza para la variable estabilidad, según la metodología AMMI, el mismo detectó diferencias significativas ($P < 0,01$) para los componentes principales CP1 y CP2, solo el primer eje del análisis de los componentes representa el 70,37% de la suma de cuadrados de la fuente de variación "test", dado que el residual dejado por el modelo resultó no significativo, estos resultados indicaron que el modelo explica con precisión la interacción GxA de cada genotipo y de los cinco ambientes (locales) considerados. Además, solo el CP1 explica la mayor variación atribuida a la interacción GxA, permitiendo analizar de una manera más fácil este complejo, fenómeno en caracteres cuantitativos que ayuda a mejorar la eficiencia del proceso de selección y recomendación de cultivares por parte del fitomejorador.

CUADRO 3. Análisis de varianza AMMI para componentes principales de 15 genotipos y cinco ambientes, ciclo de riego 2006-2007.

Fuente de variación	GL	SC	CM	P>F
“Test”	74	288,12	3,89	0,000
CP 1	19	202,74	10,61	0,000
CP 2	17	43,64	2,57	0,000
Residual	38	41,74	1,09	0,273
Bloq/(ambientes)	10	30,69	3,06	0,000
Error exp.	140	133,31	0,95	
Total	224	452,11		

El estudio de la interacción realizado con el modelo AMMI se completó con el empleo del “biplot” presentando en la Figura, donde se muestra el rendimiento promedio de granos paddy ($t \cdot ha^{-1}$) de los 15 genotipos de arroz y de los cinco ambientes (locales) en función de los vectores propios del CPI.

Se pudo observar que los genotipos que presentaron los valores absolutos más bajos cercano a cero del CPI fueron L-347, seguido de PN01B034, VENEZUELA 21, CF-205 y PN00B037, indicando que dichos materiales demostraron baja interacción GxA y como tal, pueden ser considerados los más estables a través de ambientes (Bernardo, 2002; Morais *et al.*, 2008; Atroch *et al.*, 2000; Alejos *et al.*, 2006; González *et al.*, 2007; Rodríguez *et al.*, 2002).

Por otro lado, los materiales que mostraron mayor adaptabilidad fueron FD03B01, L-1 y PN01B034. En este sentido, los valores relativos de A y E obtenidos, permiten recomendar a los dos últimos indicados, para una amplia gama de ambientes similares a los considerados en este trabajo, mientras que FD03B01 resultó para limitadas localidades, principalmente aquellas ubicadas en el SRR-Guárico.

Es aceptable señalar que los valores relativos presentados para A y E de cada genotipo, va a depender fundamentalmente de la representatividad de los ambientes disponibles y del número de localidades evaluadas. Bernardo (2002), agrega que no solo basta la representatividad de las localidades, sino, que algunos de ellos se deben sembrar en diferentes épocas para dar recomendaciones más objetivas.

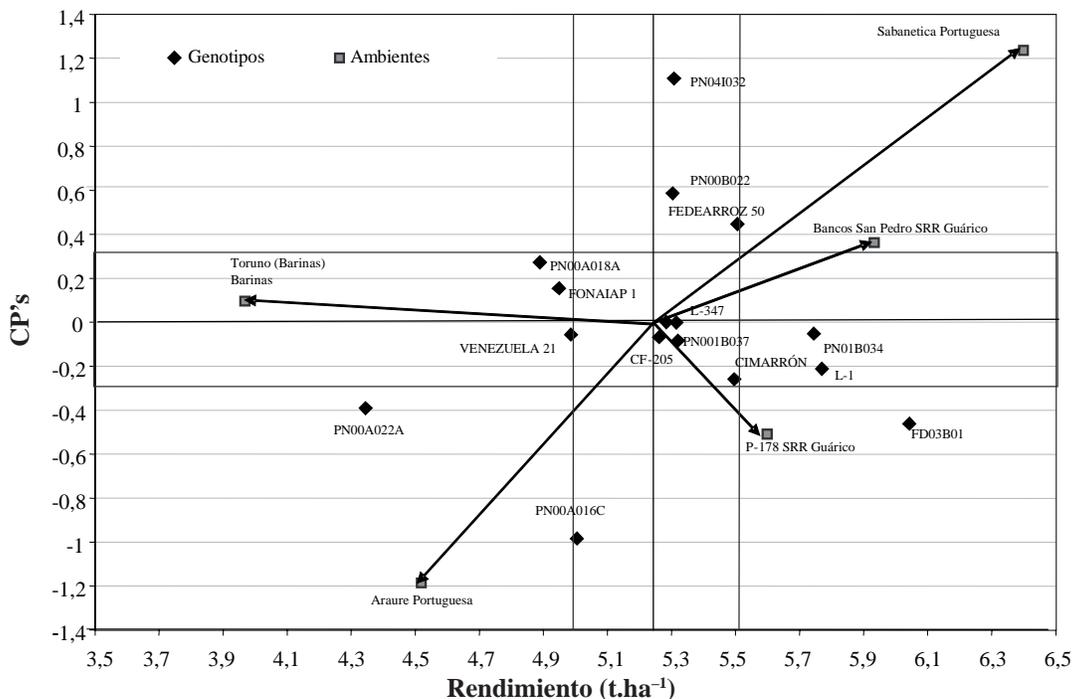


FIGURA. Doble representación (Biplot) de 15 genotipos de arroz en cinco ambientes en Venezuela en los años 2006-2007, según el modelo AMMI.

El genotipo FD03B01 presentó interacción GxA negativa con los ambientes Sabanetica (Portuguesa), Bancos de San Pedro (SRR-Guárico) y Toruno (Barinas) e interacción positiva con los ambientes P-178 (SRR-Guárico) y Araure (Portuguesa). Análisis similar puede ser deducido para los genotipos PN01B034, L-347 y CF-205.

Los genotipos más rendidores (mayores incluso al límite superior establecido en el intervalo de confianza al 95%) en orden decreciente fueron FD03B01, L-1, PN01B034, siendo el primero más inestable y los dos últimos estables.

Así mismo, los genotipos que mostraron rendimientos superiores al promedio, pero inferior al límite superior del intervalo de confianza, fueron FEDEARROZ 50, PN04I032 y PN00B022, por cuanto presentaron alta inestabilidad. El material PN00A022 de menor rendimiento en granos y alta inestabilidad, evidenciando interacción GxA positiva con Araure (Portuguesa) y P-178 (SRRG).

Entre los testigos el mayor rendimiento de granos se obtuvo con FEDEARROZ 50 seguido de CIMARRÓN, VENEZUELA 21 y FONAIAP 1, siendo el más estable VENEZUELA 21, seguido de CIMARRÓN y FONAIAP 1.

El modelo AMMI también permite estudiar y agrupar los ambientes, en este sentido, la interpretación fue similar a la dada en los genotipos y los menores valores absolutos estimados del CP1 contribuyen en menor medida a la interacción entre GxA, caso contrario, ocurre con los que presentan valores altos.

Se puede observar que la localidad Toruno (Barinas) es la que menos contribuye a la interacción de GxA, pero fue donde hubo menor posibilidad al discriminar los genotipos. Al contrario, en la localidad Sabanetica (Portuguesa) el vector presentó mayor magnitud y los genotipos expresaron mejor su potencial genético al igual que su discriminación, pero influye marcadamente la interacción de GxA, así mismo, en la localidad Araure (Portuguesa). Por tal motivo, son consideradas las más inestables, además, ambas clasifican los genotipos de manera inversa.

Según expresaron Yan *et al.* (2000) y Crossa *et al.* (1990) los ambientes cuyos vectores presentan un ángulo menor de 90° tienden a clasificar a los genotipos de manera similar, como se pudo comprobar en las localidades Sabanetica (Portuguesa) y Bancos de San Pedro (Guárico).

Por otro lado, los ambientes cuyo vectores presentan un ángulo cercano a los 90° como Sabanetica (Portuguesa) y la Parcela 178 (Guárico), no mantienen relación en la forma de ordenar los genotipos; los de ángulos cercano a 180°, caso Sabanetica y Araure, ambas de Portuguesa, ordenan los genotipos de manera inversa afectando la recomendación y selección del fitomejorador.

CONCLUSIONES

Con base a los análisis de estabilidad y adaptabilidad fenotípica, se puede concluir:

- Ambos modelos (Lin-Binns y AMMI) coinciden y permiten recomendar al genotipo FD03B01 por presentar mayor adaptabilidad principalmente en las localidades del SRR-Guárico
- El modelo AMMI permite recomendar a los genotipo PN01B034, L-1 y PN00B037 como los de mayor estabilidad fenotípica, con adaptabilidad intermedia.
- El modelo AMMI a través de la figura de doble representación "biplot" permite una eficiente interpretación del efecto interacción GxA, facilitando la toma de decisiones (recomendación) de genotipo al fitomejorador.

AGRADECIMIENTO

El equipo de mejoradores del INIA, agradece la colaboración por la conducción de los experimentos a los TAI. Lcdo. Paulo Abreu, TSU. Reinaldo Méndez, Ing. Edith Hernández, TSU. Neida Ramos, Per. Edgar Rodríguez, Ing. Juan Figueroa (Asoportuguesa) y TSU. Carlos Lozada (Danac)

BIBLIOGRAFÍA

- Alejos, G., P. Monasterio and R. Rea. 2006. Evaluation of the genotype-environment interaction for maize yield in Yaracuy state, Venezuela. *Agronomía Trop.* 56(3):370-384.
- Allard, R. W. 1971. *Princípios do melhoramento genético das plantas.* São Paulo: Edgard Blüchner. 381 p.
- Atroch, A. L., A. A. Soares P. e M. Ramalho. 2000. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de arroz de

- sequeiro testada no estado de Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras. 24(3):541-548.
- Bernardo, R. 2002. Breeding for quantitative traits in plants. Woodburg: Stemma Press, 147-169 pp.
- Carvalho, P., J. Da Costa, J. Dos Santos e E. Pereira. 1995. Adaptabilidade e estabilidade em cultivares de algodoeiro herbáceo. *Pesq. Agropec. Brasil*. 30:207-213.
- Crossa, J., H. G. Gauch Jr. and R. W. Zobel. 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop. Sci.* 30(3):493-500.
- Cruz, C. D. 2005. Princípios de genética quantitativa. Universidade Federal de Viçosa. Ed. UFV. Viçosa, Minas Gerais, Brasil. 394 p.
- Cruz, C. D. e A. J. Regazzi. 2001. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Universidade Federal de Viçosa. Ed. UFV. Viçosa, Minas Gerais, Brasil 2da ed. 390 p.
- Duarte, J. B. e R. Vencovsky 1999. Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise "AMMI". Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética. 60 p. (Série monografias, 9).
- Gauch, H. G. 2007. MATMODEL Version 3.0. Open source software for AMMI and related analyses. *Crop and Soil Sciences* (en línea). Cornell University, Ithaca, NY 14853. Disponible en <http://www.css.cornell.edu/staff/gauch/matmodel.html>.
- González, T., E. Monteverde, C. Marin, P. y M. Madriz. 2007. Comparación de tres métodos para estimar estabilidad del rendimiento en nueve variedades de Algodón. *Interciencia*. 32(5):344-348.
- Hoogerheide, E. S., C. F. Farias, R. Vencovsky e E. Freire. 2007. Estabilidade fenotípica de genótipos de algodoeiro no estado do Mato Grosso. *Pesq. Agropec. Brasilia*. 42(5):695-698.
- Lin, C. S., M. R. Binns and L. P. Lefkovich. 1986. Stability analysis: where do we stand? *Crop Sci.* 26:894-900.
- Lin, C. S. and M. R. Binns. 1988. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Canadian Journal of Plant Science*. 68:193-198.
- Marín, C., F. San Vicente y V. Segovia. 2004. Métodos recientes para el análisis de la interacción genotipo-ambiente en pruebas regionales de cultivares de maíz (*Zea mays* L.). **In:** VI Jornadas científicas del maíz. Maracay, Venezuela. Fasc. 1: 6 p.
- Morais, L. K., J. B. Pinheiro, M. F. Moura, A. V. Aguiar, J. B. Duarte, A. M. Carbonell, M. I. Zucchi e N. F. Moura. 2003. Estabilidade e adaptabilidade de cultivares de soja em diferentes épocas de semeadura utilizando a metodologia AMMI. *Bioscience. Journal*, Uberlândia. 19(1):7-14.
- Morais, L. K., R. M. Da Silva, A. F. Chiorato, L. E. Azzini, O. V. Villela, P. B. Gallo, M. Sakai, C. R. Basto e V. M. Malavolta. 2008. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de arroz irrigado para o estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Biociências*. 14(1):9-16.
- Ramalho, M. A., J. B. Santos e C. A. Pinto. 2000. Genética na agropecuária. Lavras: Ed. UFLA. 404 p.
- Rea, R. and O. Sousa de. 2002. Genotype x environment interaction in sugarcane yield trials in the central- western region of Venezuela. *Interciencia*. 27(11):620-624.
- Rodríguez, J. E., J. S. Castellano, H. E. Villaseñor, J. D. Molina y A. M. Garza. 2002. Estabilidad de siete variedades comerciales de trigo (*Triticum aestivum* L.) de Temporal. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(2):143-151.
- Statistical Analysis System (SAS). Institute, INC. 2002-2003. Release 9.1.3 Service Pack 2. Cary, NC, USA.
- Silva, W. C. e J. B. Duarte. 2006. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. *Pesq. Agropec. Brasilia*. 41(1):23-30.
- Vencovsky, R. e P. Barriga. 1992. Genética biométrica no fitomelhoramento. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética. 496 p.
- Yan, W. L., L. A. Hunt, Q. Sheng and Z. Szlavnic. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*. 40(3):597-605.
- Zobel, R. W., M. J. Wright and H. G. Gauch. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*. 80(3):388-393.