

Evaluación de la interacción genotipo por ambiente para caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido) en Venezuela

Ramón Rea^{1*}, Orlando De Sousa-Vieira², Alida Díaz², Ramón Miguel³, Rosaura Briceño²
y George José²

¹Fundación Instituto de Estudios Avanzados. Caracas, Venezuela. ²Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas del estado Yaracuy. San Felipe. ³Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas del estado Portuguesa. Acarigua, Venezuela.

RESUMEN

La selección para adaptabilidad y rendimiento en caña de azúcar es a menudo complicada por la ocurrencia de la interacción genotipo por ambiente (IGA). El objetivo de este trabajo fue evaluar 20 genotipos de caña de azúcar en siete localidades venezolanas y dos ciclos de cosecha usando diferentes modelos estadísticos. Se utilizaron los modelos de Finlay y Wilkinson, Francis y Kanneberg, análisis de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) y regresión de sitios (SREG) para analizar rendimiento en toneladas de pol por hectárea (TPH). El análisis de varianza combinado de TPH mostró diferencias ($P < 0,01$) para efectos ambientales (L), genotípicos (G) y para la IGA ($P < 0,05$). El efecto ambiental representó el 43,98%, el genotípico 36,93% y la IGA 19,09% de la variación total conformado por L + G + IGA. Los rendimientos de los genotipos en TPH fluctuaron desde 8,08 para 'V91-6' en Santa Lucía hasta 26,54 para 'V99-208' en Los Tamarindos. Los métodos de regresión y coeficiente de variación coinciden en ubicar a los genotipos 'V98-120', 'V99-213', 'V99-236', 'V00-50' con buen rendimiento y estabilidad. De acuerdo al biplot del modelo AMMI, los genotipos 'CP74-2005', 'V00-50' y 'V99-213' presentaron asociación positiva con las localidades Las Majaguas y Castillera; el genotipo 'V99-236' se asoció positivamente con Quebrada Arriba y el genotipo 'V99-203' a la localidad de Santa Lucía. El análisis SREG agrupó dos mega-ambientes, correspondiendo al primero (Mega-1) las localidades Montaña Verde, Las Majaguas y Castillera, donde los mejores genotipos fueron 'V99-236', 'V00-50', 'V98-62' y 'V99-208'. El segundo mega-ambiente (Mega-2) estuvo conformado por las localidades Quebrada Arriba, Los Tamarindos y Santa Lucía y los genotipos sobresalientes fueron 'V99-190' y 'V99-203'.

Palabras clave: coeficiente de regresión, efectos aditivos, interacción multiplicativa, rendimiento

Evaluation of the genotype by environment interaction for sugarcane (*Saccharum* spp. hybrid) in Venezuela

ABSTRACT

Selection for adaptability and yield in sugarcane is often complicated by the occurrence of genotype by environment interaction (GEI). The study evaluated 20 sugarcane genotypes in seven Venezuelan localities and two harvest cycles using different statistical models. Models Finlay and Wilkinson, Francis and Kanneberg, Additive Main effects and Multiplicative Interaction (AMMI), and Sites Regression Analysis (SREG) were used to analyze performance in tons of pol per hectare (TPH). The combined analysis of variance of TPH showed differences ($P < 0.01$) for environmental (E) and genotypic (G) effects and significant ($P < 0.05$) for GEI. Environmental effect captured the 43.98%, genotypic 36.93%, and GEI 19.09% of the total variation (L + G + GEI). Mean

*Autor de correspondencia: Ramón Rea
E-mail: ramonrea@hotmail.com

TPH yields varied from 8.08 for 'V91-6' in Santa Lucía to 26.54 for 'V99-208' at Los Tamarindos. Regression and coefficient of variation methods agreed to allocate genotypes 'V98-120', 'V99-213', 'V99-236', 'V00-50' with good performance and stability. According to AMMI, the genotypes 'CP74-2005', 'V00-50', and 'V99-213' showed specific adaptation to localities Las Majaguas and Castillera; genotype 'V99-236' was positively associated with Quebrada Arriba, and the genotype 'V99-203' to the location of Santa Lucía. The SREG analysis separated two mega-environments, the first corresponding to the localities of Montaña Verde, Las Majaguas, and Castillera and the best genotypes there were 'V99-236', 'V00-50', 'V98-62' and 'V99-208'. The second mega-environment grouped the localities Quebrada Arriba, Los Tamarindos, and Santa Lucía and the best genotypes were 'V99-190' and 'V99-203'.

Key words: regression coefficient, additive effects, multiplicative interaction, yield

INTRODUCCIÓN

La comparación y recomendación de cultivares de caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido) se dificulta cuando el comportamiento relativo entre los genotipos difiere de una condición ambiental a otra. La interacción genotipo-ambiente (IGA) se origina como consecuencia de este comportamiento diferencial de los genotipos en los distintos ambientes. Varios métodos paramétricos desde univariados hasta multivariados se han usado para tratar de explicar la IGA. Dentro de los métodos univariados se ha empleado el análisis de regresión (Finlay y Wilkinson, 1963; Tahir *et al.*, 2013), la varianza ambiental, la varianza estabilizadora de Shukla, ecovalencia de Wricke y el coeficiente de variabilidad (Francis y Kanenberg, 1978; Rea y De Sousa-Vieira, 2002; Silva 2008). De los métodos multivariados, el modelo efectos principales aditivos y efectos de interacción multiplicativos (AMMI) y el modelo de regresión de sitios (SREG) han sido aplicados extensivamente en análisis estadísticos para ensayos de cultivares en diferentes ambientes (Gauch y Zobel, 1997; Da Silveira *et al.*, 2013).

El procedimiento AMMI consiste en combinar las técnicas del análisis de varianza y el análisis de componentes principales (CP) en un solo modelo, donde el análisis de varianza permite estudiar los efectos principales de los genotipos y ambientes, y los análisis de CP permiten analizar la IGA, la cual es tratada de forma multivariada para su interpretación (Alejos *et al.*, 2006; Kumar *et al.*, 2011). El modelo SREG se basa en un modelo similar al modelo AMMI, pero los términos lineales de genotipos no se consideran individualmente y se adicionan al término multiplicativo de la interacción genotipo por ambiente (Yan, 2011; Mattos *et al.*, 2013). En efecto, el modelo SREG, que incluye $G + GE$ en el término bilineal, proporciona un análisis gráfico de fácil interpretación denominado biplot GGE (Yan y Hunt, 2002). Para los modelos AMMI y de regresión de sitios, se genera una gráfica

llamada Biplot donde genotipos y ambientes son representados en el mismo espacio y de allí se pueden realizar inferencias sobre sus interacciones (Acevedo *et al.*, 2010; Kumar *et al.*, 2011; Rea *et al.*, 2011; Castillo *et al.*, 2012; Chavanne *et al.*, 2012)

El objetivo de este trabajo fue evaluar la interacción genotipo por ambiente de 20 genotipos de caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido) en siete localidades y dos ciclos de cosecha en Venezuela.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó durante dos ciclos de cortes (planta y soca) en las siguientes localidades de Venezuela: Quebrada Arriba y Montaña Verde, ubicadas en el estado Lara; Las Majaguas y Castillera en el estado Portuguesa; Santa Lucía y Fundacaña en el estado Yaracuy y Los Tamarindos en el estado Aragua (Cuadro 1). Los ensayos se diseñaron en bloques al azar con tres repeticiones y la unidad experimental fue de 45 m² (tres hileras de 10 m con separación de 1,5 m). Los genotipos evaluados provienen del programa de mejoramiento genético de caña de azúcar del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) de Venezuela. Los genotipos evaluados fueron: 'V91-1', 'V91-2', 'V91-6', 'V91-8', 'V91-15', 'V98-62', 'V98-86', 'V98-120', 'V99-117', 'V99-190', 'V99-203', 'V99-208', 'V99-213', 'V99-217', 'V99-236', 'V99-245', 'V00-50' y tres testigos comerciales: 'B80-408', 'C323-68' y 'CP74-2005'. Las parcelas fueron manejadas con las prácticas locales establecidas por los agricultores de la zona. Las tres hileras fueron cosechadas y se midió el rendimiento en caña en toneladas por hectárea (TCH). Una muestra de 10 tallos fue tomada al azar y analizada para el contenido azucarero (Pol % caña). La variable analizada toneladas de pol por hectárea (TPH) fue estimada como una relación de TCH y Pol % caña por la ecuación sugerida por Da Silveira *et al.*, (2013): $TPH = TCH \times Pol \% caña/100$.

Cuadro 1. Algunas características ambientales de las localidades estudiadas

Ambientes	Textura del suelo	Precipitación (mm)	pH
Quebrada Arriba	Franco arcilloso	1101	7,7
Santa Lucía	Franco arcillo limoso	700	8,0
Montaña Verde	Franco	1048	7,3
Las Majaguas	Franco arcilloso	1500	7,0
Castillera	Franco arcilloso	1500	7,0
Fundacaña	Franco limoso	1111	8,1
Los Tamarindos	Franco arenoso	1051	6,7

Análisis estadísticos

El análisis de varianza combinado para TPH se basó en el modelo estadístico (Rodríguez *et al.*, 2002):

$$Y_{ijk} = \mu + A_j + R(A)_{k(j)} + G_i + GA_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

donde μ = media general; G_i , A_j y GA_{ij} = efecto de genotipos, ambientes y de la interacción genotipo por ambiente, respectivamente; $R(A)_{k(j)}$ = efecto de repeticiones anidadas dentro de ambientes; y ε_{ijk} = error experimental asociado a la ijk -ésima observación.

A partir de los datos se aplicaron análisis estadísticos univariados (coeficiente de regresión y coeficiente de variación, CV) y multivariados (AMMI y SREG). Para el método de regresión de Finlay y Wilkinson, los genotipos con coeficientes mayores que uno ($b > 1$) son considerados adaptados a ambientes específicos y los de coeficientes de regresión menores a uno ($b < 1$) se adaptan mejor a ambientes pobres; en general, por este modelo se seleccionan los genotipos con coeficientes de regresión cercano a uno y de altos rendimientos. El método de Francis y Kannenberg (1978), que establece el CV de cada genotipo como una medida de estabilidad, también fue utilizado. En este caso, se grafica el rendimiento medio *vs.* el coeficiente de variación de cada genotipo a través de todos los ciclos y localidades (Kan *et al.*, 2010; Rafii *et al.*, 2012). Se forman cuatro grupos en el gráfico: grupo A (alto rendimiento, baja variación), grupo B (alto rendimiento, alta variación), grupo C (bajo rendimiento, baja variación) y grupo D (bajo rendimiento, alta variación). Este método puede ser usado principalmente para identificar grupos de genotipos en lugar de genotipos de forma individual; sin embargo, el CV es muy fácil de calcular y su interpretación también es relevante desde el punto biológico y agronómico (Kılıç, 2012). En general, los métodos univariados son matemáticamente más simples y de más fácil interpretación y pueden ser muy útiles cuando se evalúa un gran número de genotipos; sin embargo, tienden a simplificar el modelo

de respuesta para explicar en una sola dimensión la variación debida a la interacción, cuando en realidad, la respuesta pudiera ser multidimensional (Queme *et al.*, 2010; Da Silveira *et al.*, 2013; Mattos *et al.*, 2013).

Para los modelos AMMI y SREG se empleó la técnica del biplot para observar patrones de respuesta de genotipos sobre diferentes ambientes (IGA) en una dimensión reducida, con la representación conjunta de filas y columnas de la matriz de datos (Gabriel, 1971; Kempton, 1984; Gauch, 1988). Los ambientes o genotipos con ángulos muy estrechos en el biplot se correlacionan entre sí (Yan y Rajcan, 2002; Ledesma-Ramírez *et al.*, 2012). La ausencia de asociación entre ambientes o genotipos es dada por el ángulo recto entre vectores y la asociación negativa por el ángulo obtuso (Yan, 2011). En el caso particular del modelo SREG, llamado también GGE biplot, los genotipos ubicados en los vértices del polígono son considerados los que más aportan a la interacción, tanto negativamente como positivamente (Yan *et al.*, 2000). Las líneas trazadas perpendiculares a cada lado del polígono forman grupos de localidades con comportamiento similar denominadas mega-ambientes.

El modelo AMMI está dado por:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + e_j + \sum_{k=1}^p \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} + \varepsilon_{ij}$$

El modelo SREG está dado por:

$$Y_{ij} = \mu + \sum_{k=1}^p \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} + \varepsilon_{ij}$$

donde: Y_{ij} = respuesta media de un genotipo i en un ambiente j ; μ = media; g_i = efecto fijo de genotipo i ($i=1,2,\dots,g$); e_j = efecto aleatorio de ambiente j ($j=1,2,\dots,e$); λ_k = valor propio del eje k del componente principal correspondiente; γ_{ik} = vectores propios unitarios genotípicos asociados a λ_k .

α_{jk} = Vectores propios unitarios ambientales asociados a λ_k .

ε_{ij} = Componente aleatorio asociado al i-esimo genotipo en el j-esimo ambiente

p = Número de ejes de componentes principales considerados en los modelos AMMI y SREG.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza combinado del rendimiento TPH mostró diferencias ($P < 0,01$) para efectos ambientales y genotípicos y significativas ($P < 0,05$) para la IGA (Cuadro 2). El efecto ambiental representó el 43,98%, el genotípico el 36,93% y la IGA el 19,09% de la variación total ($G + A + IGA$). Esto indica que los mejores genotipos en un ambiente no son necesariamente los mejores en otro, como se puede observar en el Cuadro 3. Esto justifica la necesidad de tomar en consideración la estabilidad y adaptabilidad para la selección y recomendación de genotipos promisorios de caña de azúcar (Pérez-Guerra *et al.*, 2009).

El rendimiento promedio a través de las siete localidades fue de 16,72 TPH. Las localidades que estuvieron por encima de la media fueron Los Tamarindos (21,79), Montaña Verde (18,00) y Quebrada Arriba (17,75) con precipitaciones cercanas a los 1100 mm y suelos franco arenoso, franco y franco arcilloso. Los rendimientos de los genotipos en TPH fluctuaron desde 8,08 para 'V91-6' en Santa Lucía hasta 26,54 para 'V99-208' en Los Tamarindos (Cuadro 3).

Cuadro 2. Análisis de varianza para rendimiento en TPH para 20 genotipos de caña de azúcar y siete ambientes

Fuente de variación	gl ¹	SC ²	CM ³	% Explicado
Modelo	419	16 183,12	38,62	
Rep/A	14	347,03	24,79	
Genotipo (G)	19	4 733,73	249,14**	36,93
Ambiente (A)	6	5 645,47	940,91**	43,98
IGA (G × A)	114	2 517,85	22,09*	19,09
Error	420	6 830,69	16,26	
Total	839	23 013,81		

¹ gl: Grados de libertad.

² SC: Suma de cuadrados.

³ CM: Cuadrados medios de genotipo (G), ambiente (A), y su interacción (G × A).

***Significativo a $P \leq 0,05$ y 0,01, respectivamente.

Método de Finlay y Wilkinson

En la Figura 1 se muestran los resultados de acuerdo al método de Finlay y Wilkinson (1963), se observa que los genotipos ubicados entre las dos líneas punteadas (un error estándar del coeficiente de regresión) son los más cercanos a la unidad y por lo tanto son los más estables. Sin embargo, para efecto de selección para este modelo, los mejores genotipos serían 'V00-50', 'V99-213', 'V99-120', 'V99-236', 'V98-120' y 'V99-203', ya que presentan los mejores rendimientos en TPH y buena estabilidad. Los testigos 'B80-408' y 'CP74-2005' fueron estables, pero de rendimiento bajo. El otro testigo 'C323-68' presentó buen rendimiento, pero con inestabilidad. Sobre las bases de alto rendimiento promedio en caña y azúcar, Khan *et al.* (2002) seleccionaron cultivares con buen potencial de adaptación, tanto para ambientes favorables como desfavorables con este método.

Método de Francis y Kannenberg

En la Figura 2 se presentan los resultados de acuerdo al método de Francis y Kannenberg (1978). Los genotipos estables o deseables, con rendimiento alto y CV bajo se agruparon en el sector A: 'V98-120', 'V99-213', 'V99-236', 'V00-50', 'V99-208', 'V98-62' y 'V99-190'. Este grupo varietal superó a todos los testigos. Luego siguen los genotipos que presentaron alto rendimiento, pero poca estabilidad agrupados en el sector B: 'C323-68' y 'V99-203'. Adugna y Labuschangne (2003) en linaza (*Linum usitatissimum* L.) y Rea y De Sousa-Vieira (2002) en caña de azúcar identificaron con esta metodología genotipos con alto rendimiento y estables. Este método permite recomendar variedades con rendimiento mayor a la media nacional o regional, y aún con un CV mayor a la media, permitiría disminuir los riesgos de pérdidas en ambientes desfavorables; los genotipos que pertenecen a la segunda categoría podrían ser recomendados para éste propósito.

Análisis de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (Modelo AMMI)

Un gráfico biplot fue realizado usando los valores genotípicos y ambientales de los dos primeros CP ($CP1 = 33,1$ y $CP2 = 26,5$) que explican el 59,6% de la variación de la IGA (Figura 3). De acuerdo a Yan y Hunt (2002), vectores que tengan ángulos menores a 90° tienen la cualidad de clasificar de una manera semejante a los genotipos, caso que se presentó en las localidades Montaña Verde y Fundacaña, al igual que en Las Majaguas, Castellera y Los Tamarindos, por lo que en un momento determinado se puede eliminar uno de la pareja

Cuadro 3. Rendimiento medio en TPH de 20 genotipos en siete localidades¹

Genotipo	Localidad							Media
	Quebrada arriba	Santa Lucía	Fundacaña	Montaña verde	Las Majaguas	Castillera	Los Tamarindos	
‘V91-1’	17,23	14,61	17,33	17,55	11,73	9,71	21,87	15,72
‘V91-2’	13,85	10,18	13,97	13,89	12,60	8,98	15,98	12,78
‘V91-6’	17,50	8,08	15,40	16,49	13,67	12,27	17,38	14,40
‘V91-8’	15,45	11,58	12,79	13,94	11,67	12,82	19,10	13,91
‘V91-15’	11,91	13,13	12,81	16,11	14,24	13,30	24,44	15,13
‘V98-62’	22,10	16,03	19,87	23,21	18,14	13,52	19,91	18,97
‘V98-86’	16,18	13,60	12,75	13,55	15,04	12,92	20,52	14,94
‘V98-120’	21,06	16,32	17,96	<u>23,32</u>	16,95	17,35	22,53	19,36
‘V99-117’	14,46	13,02	17,27	14,40	14,27	14,01	18,99	15,20
‘V99-190’	20,74	<u>17,57</u>	16,33	18,23	12,43	15,32	22,76	17,63
‘V99-203’	21,01	17,55	14,70	15,96	14,23	13,51	24,28	17,32
‘V99-208’	23,71	15,45	16,25	21,43	19,42	17,02	<u>26,54</u>	19,97
‘V99-213’	17,80	15,59	19,89	22,30	19,22	17,54	25,90	19,75
‘V99-217’	15,40	12,24	11,48	14,63	12,85	11,97	19,78	14,05
‘V99-236’	<u>24,39</u>	15,79	<u>22,40</u>	20,08	17,05	18,02	25,27	20,43
‘V99-245’	12,91	10,92	16,86	18,83	10,34	11,93	20,02	14,54
‘V00-50’	20,06	15,80	19,96	20,97	<u>21,47</u>	<u>18,67</u>	25,61	20,36
‘B80-408’	16,29	11,81	19,35	18,69	15,34	14,86	20,86	16,74
‘C323-68’	17,78	12,74	19,08	21,12	16,90	14,22	23,24	17,87
‘CP74-2005’	15,10	11,79	15,75	15,39	15,15	13,84	20,84	15,41
Media	17,75	13,69	16,61	18,00	15,14	14,09	21,79	16,72

¹ Valores subrayados son los de mayor rendimiento para esa localidad.

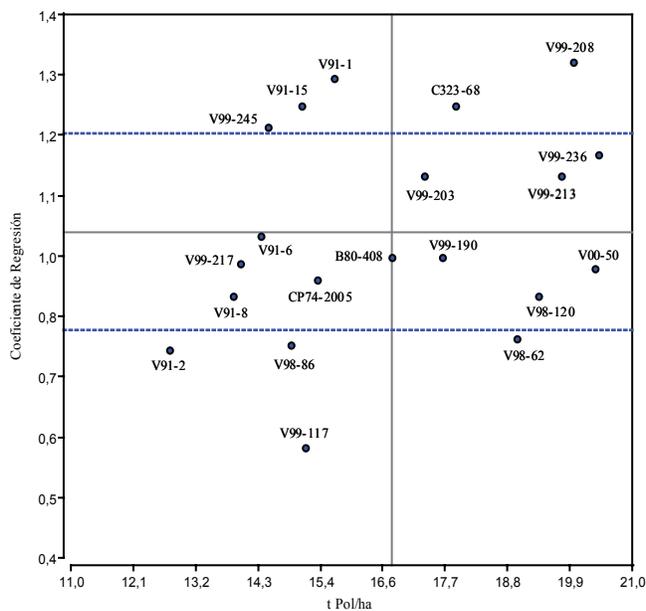


Figura 1. Relación entre rendimiento en t Pol/ha y coeficiente de regresión para 20 genotipos de caña de azúcar y siete ambientes

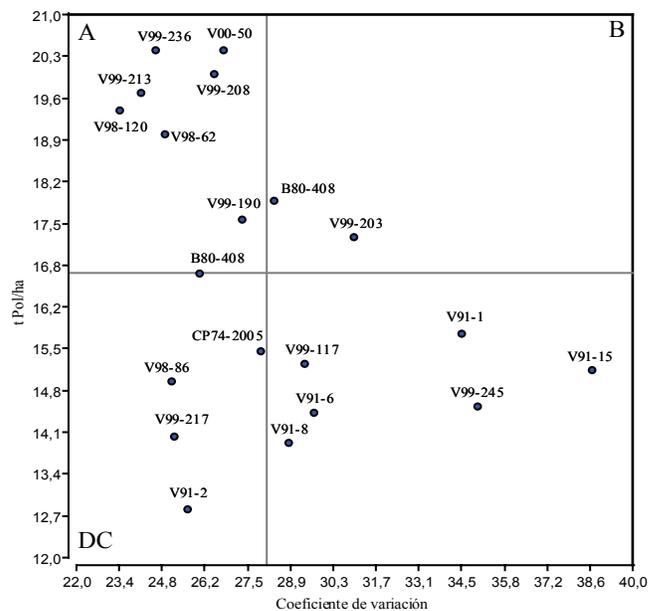


Figura 2. Relación entre rendimiento en t Pol/ha y coeficiente de variación para 20 genotipos de caña de azúcar y siete ambientes

adaptabilidad amplia de los genotipos ganadores y no a la agrupación de los ambientes por similitud agroclimática (suelos, precipitación, etc.), debido a que las condiciones ambientales en una misma zona geográfica pueden variar significativamente de un ciclo agrícola a otro. La conducción de ensayos en múltiples localidades, durante varios años, es necesaria para caracterizar los patrones de respuesta de las localidades agrupadas en regiones y para identificar cultivares con alta productividad para cada región (Yan *et al.*, 2000; Yan y Rajcan, 2002).

CONCLUSIONES

Los genotipos 'V98-120', 'V99-213', 'V99-236' y 'V00-50' presentaron buen rendimiento y estabilidad en comparación a los testigos, mientras que los genotipos 'V99-236', 'V00-50', 'V98-62', 'V99-190', 'V99-203' y 'V98-120' resultaron ser los de mejor adaptación y rendimiento en las siete localidades según los modelos AMMI y SREG. Estos modelos permitieron identificar genotipos estables bajo diversas localidades. Para este caso, sería aconsejable utilizar ambos modelos para mejorar la eficiencia en la selección de cultivares promisorios en los ensayos regionales de caña de azúcar

El análisis SREG separó dos mega-ambientes, el Mega-1 conformado por las localidades: Montaña Verde, Las Majaguas y Castillera y el Mega-2 por las localidades Quebrada Arriba, Los Tamarindos y Santa Lucía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, M.; E. Reyes; W. Castrillo; O. Torres; C. Marín; R. Álvarez; O. Moreno; E. Torres. 2010. Estabilidad fenotípica de arroz de riego en Venezuela utilizando los modelos Lin-Binns y AMMI. *Agro. Trop.* 60: 131-138.
- Adugna, W.; M.T. Labuschangne. 2003. Parametric and nonparametric measures of phenotypic stability in linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Euphytica* 129: 211-218.
- Alejos, G.; P. Monasterio; R. Rea. 2006. Análisis de la interacción genotipo -ambiente para rendimiento de maíz en la región maicera del estado Yaracuy, Venezuela. *Agro. Trop.* 56: 369-384.
- Castillo, D.; I. Matus; A. del Pozo; R. Madariaga; M. Mellado. 2012. Adaptability and genotype \times environment interaction of spring wheat cultivars in Chile using regression analysis, AMMI, and SREG. *Chil. J. Agric. Res.* 72: 167-174.
- Chavanne, E.; M. Cuenya; M. García; S. Ostengo; M. Ahmed; D. Costilla; C. Díaz; M. Espinosa. 2012. Comportamiento productivo y fitosanitario de la nueva variedad de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) TUC 95-37 en Tucumán. *Rev. Arg. Rev. Ind. Agríc.* 89: 1-9.
- Da Silveira, L.; V. Kist; T. Mendes; M. Pereira; L. Peternelli; E. Daros. 2013. AMMI analysis to evaluate the adaptability and phenotypic stability of sugarcane genotypes. *Sci. Agric.* 70: 27-32.
- Finlay, K.; A. Wilkinson. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding program. *Austr. J. Agric. Res.* 14: 742-754.
- Francis, T.; L. Kannenberg. 1978. Yield stability studies in short season maize. I. A descriptive method for grouping genotypes. *Can. J. Plant Sci.* 58: 1029-1034.
- Gabriel, K. 1971. The Biplot graphic display of matrices with applications to principal components analysis. *Biometrika* 58: 453-467.
- Gauch, H. 1988. Model selection and validation for yield trials with interaction. *Biometrics* 44: 705-715.
- Gauch, H.; R. Zobel. 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Sci.* 37: 311-326.
- Kan, A.; M. Kaya; A. Gürbüz; A. Sanli; K. Özcan; C. Cemalettin; Y. Çiftçi. 2010. A study on genotype \times environment interaction in chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.) grown in arid and semi-arid conditions. *Sci. Res. Ess.* 5: 1164-1171.
- Kempton, R. 1984. The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. *J. Agric. Sci.* 103: 123-135.
- Khan, I.; A. Khatri; M. Javed; S. Siddiqui; M. Ahmad; N. Dahar; M. Khazada; R. Khan. 2002. Performance of promising sugarcane clone for yield and quality characters. II. Stability studies. *Pak. J. Bot.* 34: 247-251.
- Kılıç, H. 2012. Assessment of parametric and non-parametric methods for selecting stable and adapted spring bread wheat genotypes in multi-environments. *J. Anim. Plant Sci.* 22: 390-398.
- Kumar, S.; D. Pandey; P. Singh; J. Singh. 2011. Genotype \times environment interaction and stability analysis for sugarcane genotypes evaluated in multi-location trials. *J. Sugarc. Res.* 1: 28-34.

- Ledesma-Ramírez, L.; E. Solís-Moya; M. Suaste-Franco; J. Fermín Rodríguez-Caracheo; M. de la Cruz-González. 2012. Análisis gge biplot del rendimiento de trigo (*Triticum* spp.) con riego normal y restringido en el bajo, México. *Agrociencia* 46: 119-131.
- Mattos, P.; R. Oliveira; J. Besspalhok Filho; E. Daros; M. Aloiso Veríssimo. 2013. Evaluation of sugarcane genotypes and production environments in Paraná by GGE biplot and AMMI analysis. *Crop Breed. App. Biotech.* 13: 83-90.
- Pérez-Guerra, E.; R. Oliveira; E. Daros; J. Zambon; O. Ido; J. Besspalhok Filho. 2009. Stability and adaptability of early maturing sugarcane clones by AMMI analysis. *Crop Breed. App. Biotech.* 9: 260-267,
- Queme, J.; H. Orozco; M. Melgar. 2010. GGE biplot analysis used to evaluate cane yield of sugarcane (*saccharum* spp.) cultivars across sites and crop cycles. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.* 27: 1-7.
- Rafii, M.; B. Jalani; N. Rajanaidu; A. Kushairi; A. Puteh; M. Latif. 2012. Stability analysis of oil yield in oil palm (*Elaeis guineensis*) progenies in different environments. *Gen. Mol. Res.* 11: 3629-3641.
- Rea, R.; O. De Sousa-Vieira. 2002. Genotype x environment interaction in sugarcane yield trials in the central- western region of Venezuela. *Interciencia* 27: 620-624.
- Rea, R.; O. De Sousa-Vieira; M. Ramón; G. Alejos; A. Díaz; R. Briceño. 2011. AMMI analysis and its application to sugarcane regional trials in Venezuela. *Sugar Tech.* 13: 108-113.
- Rodríguez, J.; J. Sahagún; H. Villaseñor; J. Molina y A. Martínez. 2002. Estabilidad de siete variedades comerciales de trigo (*Triticum aestivum* L.) de temporal. *Rev. Fitotec. Mex.* 25: 143-151.
- Silva, M. 2008. Interação genótipo x ambiente e estabilidade fenotípica de cana-de-açúcar em ciclo de cana de ano. *Bragantia* 67: 109-117.
- Tahir, M.; H. Rahman; A. Ali; S. Anwar; M. Khalid. 2013. Assessment of genotype x environment interaction and stability of promising sugarcane genotypes for different agronomic characters in Peshawar Valley. *Am. J. Exp. Agric.* 3: 142-151.
- Yan, W. 2011. GGE Biplot vs. AMMI graphs for genotype-by-environment analysis. *J. Ind. Soc. Agric. Stat.* 65: 181-193.
- Yan, W.; L. Hunt. 2002. Biplot analysis of multi-environment trial data. In Kang, M. S. (Ed.) *Quantitative Genetics, Genomics, and Plant Breeding*. CABI Publishing. Wallingford, Reino Unido. pp. 295-316.
- Yan, W.; L. Hunt; S. Qinglai; Z. Szalvincs. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.* 40: 597-605.
- Yan, W.; I. Rajcan. 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Sci.* 42: 11-20.