

Evaluación de la estabilidad de un cultivar de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en diferentes ambientes agroecológicos a través de una técnica no paramétrica en Tucumán, R. Argentina

Santiago Ostengo*, María B. García*, Carolina Díaz Romero*, Nicolás Delgado*, Jorge V. Díaz* y María I. Cuenya*

RESUMEN

La estabilidad de un genotipo en diferentes ambientes es un atributo importante que debe ser considerado en un programa de mejoramiento genético. Es por ello que en el cultivo de la caña de azúcar, se conducen ensayos multiambientales en la última etapa del proceso de selección. Existen diferentes métodos para estudiar la interacción genotipo por ambiente, entre los cuales se encuentran las técnicas no paramétricas, herramientas válidas y útiles que permiten realizar una exploración inicial y de fácil interpretación. El procedimiento no paramétrico **consistencia relativa del rendimiento** permite agrupar los genotipos en las siguientes cuatro clases: (i) consistentemente superior; (ii) inconsistentemente superior; (iii) inconsistentemente inferior y (iv) consistentemente inferior. Este trabajo pretende evaluar la consistencia del rendimiento de la nueva variedad TUC 95-10 a través de diferentes ambientes agroecológicos de la provincia de Tucumán (R. Argentina), en lo que respecta a la variable toneladas de azúcar por hectárea, teniendo en cuenta diferentes edades del cultivo. Se trabajó con datos provenientes de la red de ensayos regionales del Programa de Mejoramiento Genético de Caña de Azúcar de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) de Tucumán (R. Argentina), implantada en seis localidades a través de cuatro edades del cultivo (planta a soca 3). Los resultados mostraron que la variedad TUC 95-10, recientemente liberada por la EEAOC, se clasificó como consistentemente superior en todas las edades; es decir que el cultivar se ubicó en las primeras posiciones en producción de azúcar en todos los ambientes de prueba. Por lo tanto, se puede concluir que TUC 95-10 es una variedad con excelente rendimiento y buena adaptación a diferentes ambientes agroecológicos de Tucumán en todas las edades de cultivo.

Palabras clave: interacción genotipo-ambiente, técnica no paramétrica.

ABSTRACT

Assessment of the stability of a sugarcane (*Saccharum* spp.) cultivar in different environments by a non-parametric test in Tucumán, Argentina

Genotype stability across different environments is an important attribute that has to be considered in a breeding program. It is for that reason that in sugar cane breeding, multienvironmental trials (MET) are conducted at the last stage of the selection process. There exist different approaches to study genotype-environment interaction. One of these is the non-parametric technique, a valid and useful tool which allows making an initial exploration that can be easily interpreted. The non-parametric technique called **relative consistency of performance** enables the classification of genotypes into the following four categories: (i) consistently superior; (ii) inconsistently superior; (iii) inconsistently inferior and (iv) consistently inferior. This work aims to evaluate the consistency of performance of TUC 95-10 variety across different agro-ecological environments in the province of Tucumán (Argentina), as regards the variable tons of sugar per hectare and considering different crop ages. Data were obtained from MET of the Sugarcane Breeding Program of Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) from Tucumán (Argentina), conducted at six sites through four crop ages. Results showed that TUC 95-10, recently released by EEAOC, can be labeled as consistently superior at all ages, i.e. it held the top position in sugar production in all tested environments. Therefore, it can be concluded that TUC 95-10 shows an excellent performance and good adaptation to different agro-ecological environments in Tucumán, at all crop ages.

Key words: genotype-environment interaction, non-parametric technique.

*Sección Caña de Azúcar, EEAOC. santiagostengo@eeaoc.org.ar

INTRODUCCIÓN

La estabilidad de un genotipo en los diferentes ambientes del área objetivo para la cual se quiere desarrollar un nuevo cultivar es un importante atributo a evaluar dentro de un programa de mejoramiento genético. Es por ello que en caña de azúcar, se conducen ensayos multiambitales en la última etapa del proceso de selección. El estudio de la interacción entre los genotipos y los ambientes (GXA) permite detectar genotipos que presentan adaptaciones en sentido amplio, como así también adaptaciones específicas en ambientes particulares. Existen diferentes metodologías para el estudio de la interacción GXA. Entre estas, se encuentran los métodos no paramétricos y paramétricos (Becker and León, 1988). Entre estos últimos, los estudios basados en análisis multivariado, como los modelos AMMI (efectos aditivos e interacción multiplicativa) (Gauch and Zobel, 1996) y los modelos de regresión por sitio (SREG) (Crossa and Cornelius, 1997) son frecuentemente utilizados por los mejoradores, inclusive los dedicados al cultivo de la caña de azúcar (Chavanne *et al.*, 2007; Rodríguez *et al.*, 2010; Queme *et al.*, 2010). Actualmente, los métodos derivados de modelos mixtos (Smith *et al.*, 2007; Ostengo, 2010) resultan los más adecuados para el estudio de patrones de interacción, ya que contemplan situaciones complejas, imposibles de considerar con los métodos tradicionales (Smith *et al.*, 2005). Sin embargo, para realizar una exploración inicial y de fácil interpretación, los métodos no paramétricos, basados en el orden de mérito de los genotipos y que no necesitan suposición alguna sobre la distribución de los datos, constituyen una herramienta válida y útil. Entre ellos, la técnica denominada **consistencia relativa del rendimiento**, propuesto por Ketata *et al.* (1989), representa una opción para la interpretación del comportamiento de los genotipos en los diferentes ambientes de prueba (Akcura and Kaya, 2008; Kan *et al.*, 2010). Este método se basa en el uso simultáneo de la media y la desviación estándar de los rangos genotípicos de las distintas localidades. La representación gráfica de estos dos parámetros permite asignar cada genotipo a una de las siguientes cuatro clases: (i) consistentemente superior; (ii) inconsistentemente superior; (iii) inconsistentemente inferior y (iv) consistentemente inferior.

El objetivo del presente trabajo es evaluar la estabilidad del rendimiento de azúcar por hectárea, en diferentes edades de corte y ambientes agroecológicos de Tucumán (R. Argentina), de la nueva variedad TUC 95-10, producida por la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes (EEAOC), mediante el procedimiento no paramétrico consistencia relativa del rendimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó con datos provenientes de la red de ensayos regionales del Programa de Mejoramiento Genético de Caña de Azúcar (PMGCA) de la EEAOC (Tucumán, R. Argentina). Los ensayos fueron implantados en 2006 en seis localidades que constituyen ambientes agroecológicos contrastantes y representativos del área cañera de Tucumán. En la Tabla 1 se detallan las características edafoclimáticas de cada uno de los ambientes. El diseño empleado fue el de bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones, donde cada unidad experimental estuvo conformada por tres surcos de 10 m. Un total de 20 genotipos fue evaluado durante cuatro edades de corte (planta, soca 1, soca 2 y soca 3). Entre ellos, se encontraban TUC 95-10 y las variedades comerciales LCP 85-384 y TUCCP 77-42, utilizadas como testigos por ser altamente productivas y estar ampliamente difundidas en la provincia. La variable analizada fue toneladas de azúcar por hectárea a inicio de cosecha (mes de mayo), que resulta de las variables rendimiento cultural, expresado en toneladas de caña por hectárea, y rendimiento fabril % a inicio de cosecha (mayo).

A partir de los datos obtenidos, se aplicó la técnica no paramétrica de Ketata *et al.* (1989) para cada edad de corte por separado. Para ello se calculó, para cada genotipo, el valor medio y el desvío estándar obtenidos a partir de su posicionamiento en el "ranking" genotípico a través de las seis localidades ensayadas. Ambos parámetros fueron graficados en un eje de coordenadas subdividido en cuatro sectores, determinados por los promedios a través de variedades de los "rankings" medios y de los desvíos estándar, obteniéndose las siguientes clases: (i) consistentemente superior (valores bajos de "ranking" medio y de desvío estándar); (ii) inconsistentemente superior (valores bajos de "ranking" medio y altos de desvío estándar); (iii) inconsistentemente inferior (valores altos de "ranking" medio y de desvío estándar) y (iv) consistentemente inferior (valores altos de "ranking" medio y bajos de desvío estándar). Cabe aclarar que valores bajos de "ranking" de los genotipos indican mejor posicionamiento en el desempeño relativo de estos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las Figuras 1, 2, 3 y 4 muestran que TUC 95-10 se situó en el cuadrante correspondiente a la clase consistentemente superior para todas las edades; es decir, ocupó los primeros lugares en producción de azúcar en todas las localidades ensayadas. Los valores observados de "ranking" medio (eje de las abscisas) en dichas figuras mues-

Tabla 1. Ambientes involucrados en la red de Ensayos Regionales Comparativos de Variedades (ERCV) del PMGCA-EEAOC. Precipitación media anual y tipo de suelo.

Localidad	Precipitación media anual (mm) †	Tipo de suelo (textura, materia orgánica -MO- y drenaje) ††
Fronterita	1453	Franco arenoso, MO alta y bien drenado.
Ingas	700	Franco – franco arenoso, MO media a baja y drenaje imperfecto.
La Banda	1325	Franco arcilloso, MO alta y drenaje imperfecto.
Los Córdoba	1194	Franco arenoso, MO media y bien drenado.
Mercedes	1142	Arenoso franco (abundantes gravas y guijarros), MO media y algo excesivamente drenado.
Palá-Palá	929	Franco limoso, MO media a baja y drenaje imperfecto.

PMGCA-EEAOC= Programa de Mejoramiento Genético de Caña de Azúcar de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres.

† Media de cincuenta años.

†† Clasificación según el Soil Survey Manual (United States Department of Agriculture - USDA).

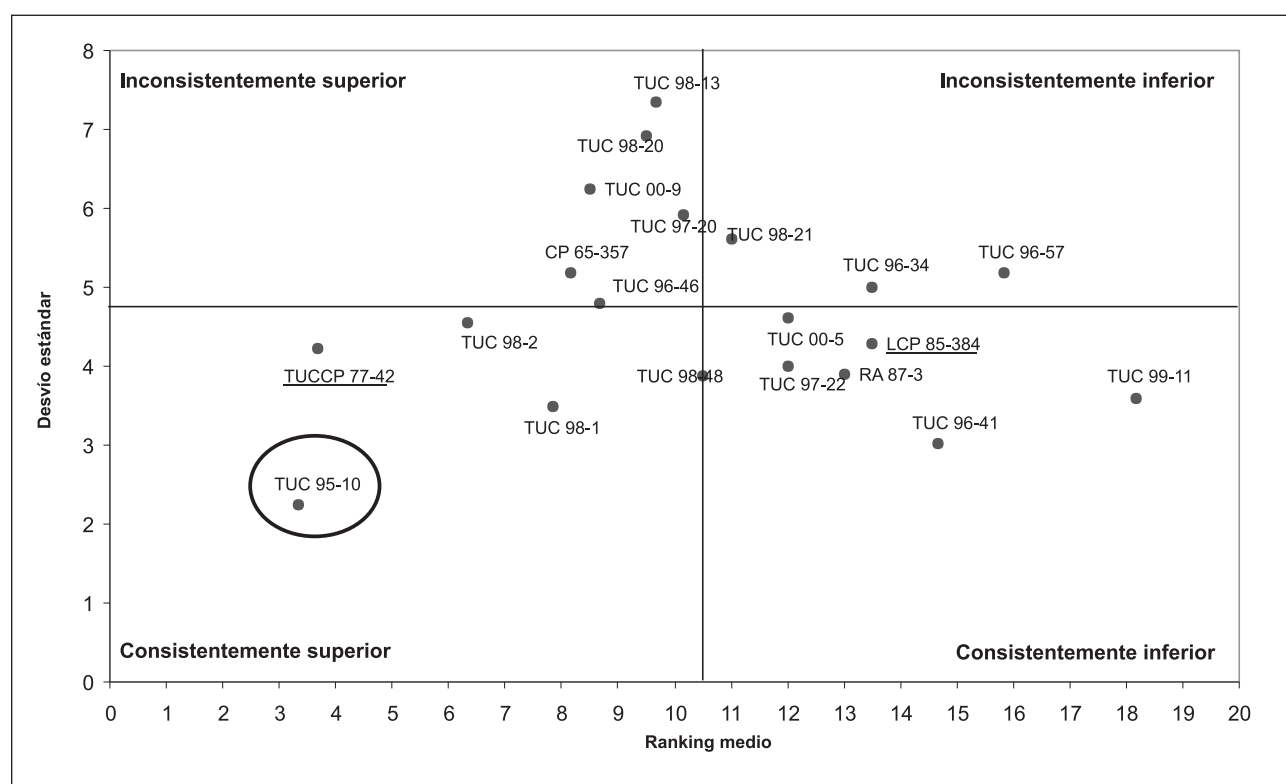


Figura 1. Valores de “ranking” medio y desvío estándar de 20 genotipos de caña de azúcar para toneladas de azúcar/ha, a través de localidades Edad planta.

tran que esta variedad mejoró su posicionamiento relativo desde planta hasta soca 3 (Figuras 1 a 4), edad en la que exhibió además el comportamiento más estable (menores valores de desvío estándar). Además, la asignación de TUC 95-10 a esta clase, observada en todos los gráficos, sugiere que la consistente superioridad de esta variedad, con respecto al resto de los clones ensayados, se mantiene a través

de las edades de corte. En relación a los testigos comerciales, TUCCP 77-42 se ubicó en el mismo cuadrante que TUC 95-10 en todas las edades de corte, mientras que LCP 85-384 solamente compartió esta clase en soca 2 y soca 3. Para el resto de las edades evaluadas, este cultivar presentó un comportamiento consistentemente inferior e inconsistentemente superior en planta y soca 1, respectivamente. Se des-

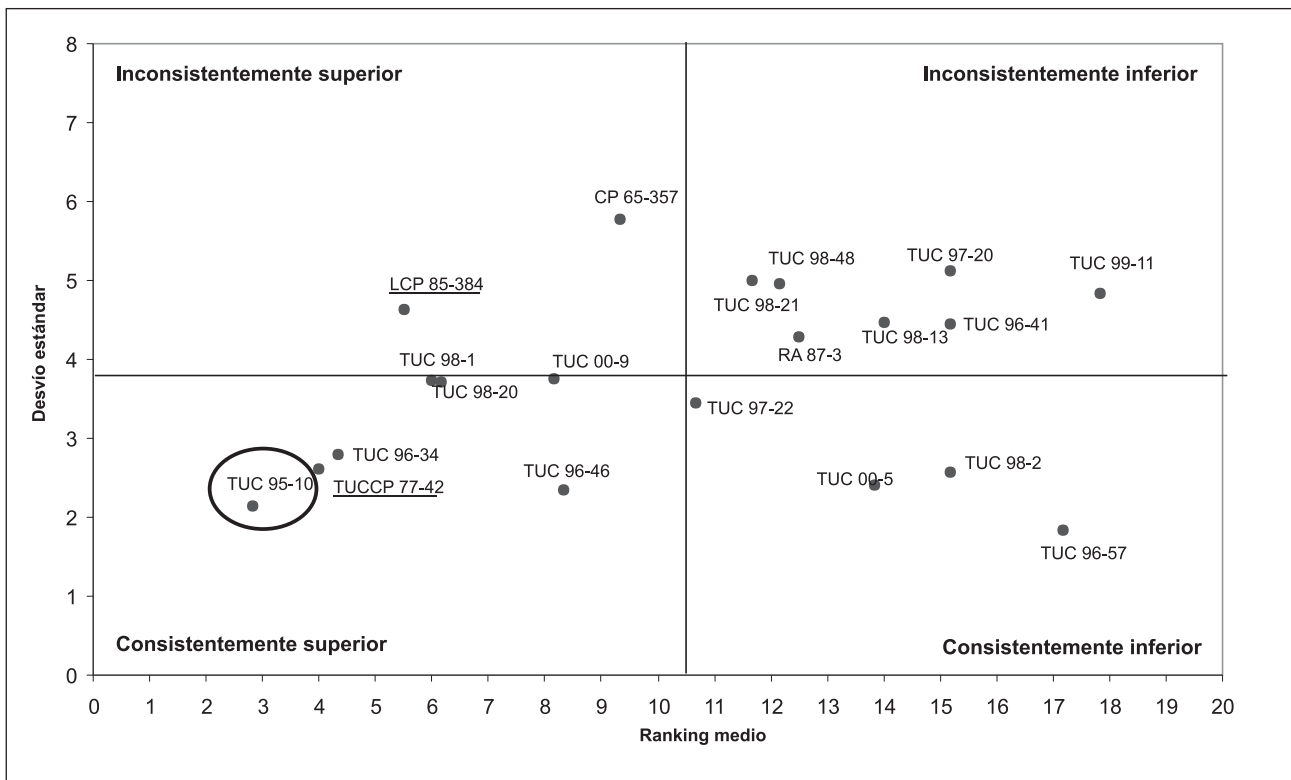


Figura 2. Valores de “ranking” medio y desvío estándar de 20 genotipos de caña de azúcar para toneladas de azúcar/ha, a través de localidades. Edad soca 1.

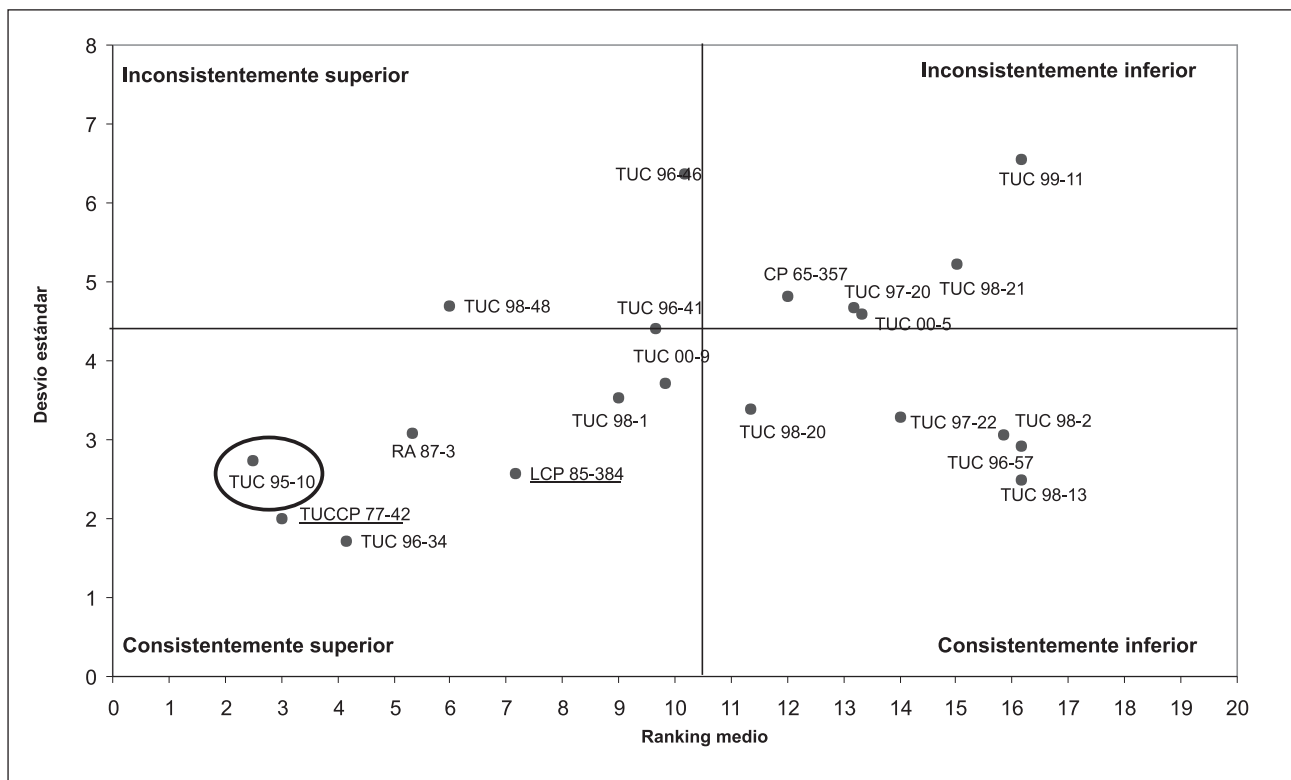


Figura 3. Valores de “ranking” medio y desvío estándar de 20 genotipos de caña de azúcar para toneladas de azúcar/ha, a través de localidades. Edad soca 2.

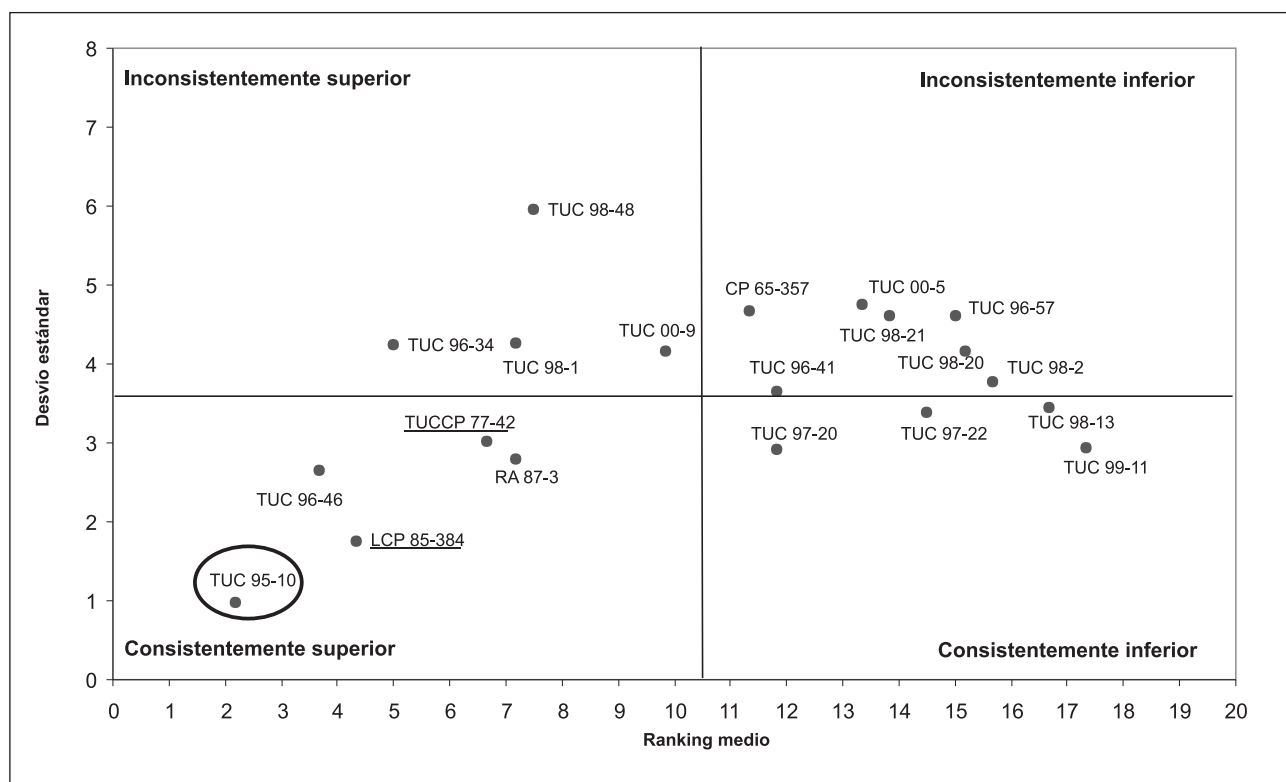


Figura 4. Valores de "ranking" medio y desvío estándar de 20 genotipos de caña de azúcar para toneladas de azúcar/ha, a través de localidades. Edad soca 3.

taca que TUC 95-10 mostró, en la mayoría de los casos, un mejor posicionamiento dentro del cuadrante en relación a sus competidoras (TUCCP 77-42 y LCP 85-384), con valores menores de "ranking" medio y de desvío estándar.

CONCLUSIONES

La técnica no paramétrica de consistencia relativa del rendimiento permitió valorar de manera sencilla y rápida el comportamiento de los genotipos evaluados dentro de la red de ensayos multiambientales del PMGCA de la EEAOC. La información obtenida a partir de esta técnica puede ser utilizada complementariamente con la derivada de análisis más complejos y precisos. Este procedimiento puso de manifiesto el excelente desempeño de TUC 95-10 en producción de azúcar a inicio de cosecha, con un comportamiento consistentemente superior a las variedades testigo (LCP 85-384 y TUCCP 77-42). Los resultados demuestran la buena adaptación de la nueva variedad a los diferentes ambientes agroecológicos de Tucumán, ya que ocupó los primeros puestos en todas las localidades y edades de corte ensayadas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Sección Agrometeorología de la EEAOC, por el aporte de los datos climáticos, y a la Sección Suelos y Nutrición Vegetal de la EEAOC, por la caracterización edáfica de los ambientes considerados.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Akcura, M. and Y. Kaya. 2008. Nonparametric stability methods for interpreting genotype by environment interaction of bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.). Genet. Mol. Biol. 31 (4): 906-913.
- Becker, H. C. and J. León. 1988. Stability analysis in plant breeding. Plant Breeding (Germany) 101: 1-23.
- Chavanne, E. R.; S. Ostengo; M. B. García y M. I. Cuenya. 2007. Evaluación del comportamiento productivo de cultivares de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) a través de diferentes ambientes en Tucumán, aplicando la técnica estadística "GGE biplot". Rev. Ind. y Agríc. 84 (2): 19-24.
- Crossa, J. and P. Cornelius. 1997. Sites regression and shifted multiplicative model clustering of cultivar trial sites under heterogeneity of error variances. Crop Sci. 37: 406-415.
- Gauch, H. G. and R. W. Zobel. 1996. AMMI analysis of yield trials. In: Kang, M. S. and H. G. Gauch (eds.), Genotype by environment interaction, CRC Press, Boca Raton, USA, pp. 85-122.
- Kan, A.; M. Kaya; A. Gürbüz; A. Şanlı; K. Özcan and C. Y. Çiftçi. 2010. A study on genotype x environment interaction in chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.) grown in arid and semi-arid conditions. Sci. Res. and Essays 5 (10): 1164-1171.
- Ketata, H. Y.; S. K. Yau and M. Nachit. 1989. Relative consistency performance across environments. En:

- International Symposium on Physiology and Breeding of Winter Cereals for Stressed Mediterranean Environments, Montpellier, France, 1989, pp. 391-400.
- Ostengo, S. 2010.** Análisis de ensayos regionales comparativos de variedades de caña de azúcar vía nuevos procedimientos biométricos. Tesis Master of Science inédita. Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza – Universitat de Lleida, España.
- Queme, J. L.; H. Orozco and M. Melgar. 2010.** GGE Biplot analysis used to evaluate cane yield of sugarcane (*Saccharum* spp.) cultivars across sites and crop cycles. En: Proc. ISSCT Congress, 27, Veracruz, Mexico, 2010, pp. 584-590.
- Rodríguez, R.; N. Bernal; H. Jorge; H. García and Y. Puchades. 2010.** Genotype by environment interaction for yield in sugarcane performance trials: a comparison of frequently used models. En: Proc. ISSCT Congress, 27, Veracruz, Mexico, 2010, pp. 744-749.
- Smith, A. B.; B. R. Cullis and R. Thompson. 2005.** The analysis of crop cultivar breeding and evaluation trials: an overview of current mixed model approaches. J. Agric. Science (Cambridge) 143: 449-462.
- Smith, A.; J. Stringer; X. Wei and B. Cullis. 2007.** Varietal selection for perennial crops where data relate to multiple harvests from a series of field trials. Euphytica 157: 253-266.
-