

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Variables cuantitativas asociadas a la resistencia de la enfermedad roya parda de la caña de azúcar

Quantitative variables associated to the resistance to sugarcane brown rust disease

Joaquin Montalvan Delgado, Isabel Alfonso Terry, Eida Rodríguez Lema, Ivía Pouza Sierra, Félix Valladares Arrocha, Isabel Torres Varela y Yoslen Fernández Galvez

¹ Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Carretera al CAI Martínez Prieto Km 1½, Boyeros, La Habana, Cuba. CP 19390

E-mail: jmontalvan@eticacm.azcuba.cu

RESUMEN

Con la finalidad de analizar el comportamiento ante la roya parda (*Puccinia melanocephala* Sydow and P. Sydow) de un grupo de cultivares, en áreas de la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ETICA) Centro Oriental se llevó a cabo un experimento con 11 cultivares de caña de azúcar (C1051-73, C132-81, C266-70, C323-68, C86-12, C86-503, C86-56, C88-380, C90-530, Co997, SP70-1284) y seis patrones de reacción conocida, PR980 (grado I), Ja64-11 (grado II), C334-64 (grado III), My5514 y Ja60-5 (grado IV) y B4362 (grado V). Las evaluaciones se realizaron en las cepas de planta y primer retoño a las edades de tres, cuatro, cinco, seis y nueve meses en las hojas +1, +3 y +5. Los parámetros evaluados fueron: largo y número de pústulas, tamaño de la pústula mayor, y área ocupada por pústulas. A los datos obtenidos se les realizaron análisis de varianzas y la prueba de Tukey para detectar las diferencias entre los cultivares. Se utilizó el paquete estadístico SPSS así como las interacciones principales aditivas y multiplicativas (Modelos AMMI). Existen diferencias en todos los factores analizados (cultivar, hoja y momento de evaluación) y en las variables analizadas (tamaño de pústula mayor y área ocupada por pústula). Los patrones de resistencia mantuvieron el comportamiento esperado y el mayor porcentaje de cultivares se comportó como resistente.

Palabras clave: AMMI, cultivares, enfermedades, *Puccinia melanocephala*, pústulas

ABSTRACT

With the purpose to analyze the behavior of a group of sugarcane cultivars in the presence of brown rust (*Puccinia melanocephala* Sydow and P. Sydow) in the area of the Territorial Sugarcane Research Station Oriental Center Camagüey, it was carried out an experiment with 11 sugarcane cultivars (C1051-73, C132-81, C266-70, C323-68, C86-12, C86-503, C86-56, C88-380, C90-530, Co997, SP70-1284) and six patterns of well-known reaction PR980 (I grade), Ja64-11 (II grade), C334-64 (III grade), My5514 y Ja60-5 (IV grade) y B4362 (V grade). The evaluations were made at the plant and ratoon shoot at the ages of three, four, five, six and

nine months in the leaves +1, +3 y +5. The evaluated parameters were: length and the number of pustules, size of the biggest pustule, and the occupied area by pustules. It was made an analysis of variance and Tukey's test to find the differences between the cultivars. The statistical packet SPSS such as the main additive and multiplicative interactions (AMMI Models) were used. There are differences in every analyzed factors (cultivar, leaf and evaluation moment) and in the analyzed variables (TPM and occupied area by pustule). The resistance patterns kept the expected behavior and the biggest cultivars percentage behaved like resistant.

Keywords: AMMI, cultivars, diseases, *Puccinia melanocephala*, pustules

INTRODUCCIÓN

La roya de la caña de azúcar producida por el hongo *Puccinia melanocephala* Sydow and P. Sydow es una de las enfermedades de mayor importancia que afecta este cultivo (Asnaghi *et al.*, 2001; Alfonso *et al.*, 2012; Muhammad *et al.*, 2013; Chinae *et al.*, 2014). Desde que se informó en Cuba en 1978, causó pérdidas cuantiosas en el cultivar B4362, el cual por su alta susceptibilidad quedó totalmente eliminado de las áreas cañeras.

El ambiente donde se desarrolla el cultivo de la caña de azúcar está constituido por numerosos factores y su combinación contribuye a la formación de diferentes condiciones de desarrollo y producción, lo que determina el comportamiento específico de los cultivares. Así mismo, las enfermedades están fuertemente determinadas en su desarrollo y distribución, por las variaciones edafoclimáticas locales (Xavier *et al.*, 2013).

Se han utilizado modelos estadísticos flexibles, como el Modelo de Efectos Principales Aditivos e Interacción Multiplicativa (AMMI) que permite una mejor comprensión de la interacción Genotipo – Ambiente (Tamayo *et al.*, 2012). El modelo combina el Análisis de Varianza regular (ANOVA) para los efectos principales aditivos, con la descomposición en valores y vectores o Análisis de Componentes Principales (ACP) para la estructura multiplicativa de la interacción y tiene como objetivo explicar la interacción asociada a un ANOVA bifactorial, a partir de una representación Biplot de filas (genotipos) y columnas (ambientes), lo que da la posibilidad de estudiar el grado de estabilidad de los genotipos al ser probados en diferentes ambientes (Varela y Castillo, 2002).

Durante 1978, se comenzó un programa de evaluaciones de caña de azúcar frente a la enfermedad en las diferentes zonas

edafoclimáticas del país. Para ello, diversos investigadores confeccionaron escalas y métodos de evaluación en condiciones de campo y laboratorio (Rodríguez *et al.*, 2005). Gracias al avance de las investigaciones, de los resultados obtenidos en estudios epidemiológicos y de transmisión de resistencia, así como al incremento de la búsqueda de resistencia a través de los planes de cruzamiento y la aplicación del sistema evaluativo de resistencia a roya, se ha reducido de forma significativa la presencia de ataques severos en nuestras áreas cañeras (Jorge *et al.*, 2011).

Desde 1983, cuando se observaron respuestas diferenciales de algunos cultivares frente al patógeno (Alfonso, 1993) se evidenció en Cuba la presencia de diferentes razas fisiológicas de la roya parda. Por eso, algunos investigadores refieren que la permanencia constante de este patógeno en el campo hace factible la aparición de razas más virulentas que pueden infectar cultivares considerados como resistentes (Raid, 1989; Sandoval, 2001).

A mediados de la década del 2000 se informaron ataques intensos de la enfermedad en diferentes provincias del país con sintomatología atípica. Por todo lo antes expuesto se hace necesario intensificar la vigilancia, teniendo en cuenta que nacionalmente aún se plantan cultivares susceptibles en un alto porcentaje del área destinada al cultivo. Por estas razones nos propusimos los objetivos de evaluar y comparar la reacción de un grupo de cultivares de caña de azúcar y de los patrones de resistencia a roya parda en las condiciones de Camagüey mediante el uso de variables cuantitativas y poner en funcionamiento un sistema que permita una evaluación eficiente de la enfermedad en el Esquema de Obtención de Variedades utilizando los modelos AMMI en la clasificación de genotipos y definir los momentos óptimos de evaluación.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en áreas de la ETICA de Camagüey durante el período 2007 -2009 sobre un suelo pardo con carbonatos. Los cultivares estudiados fueron: C1051-73, C132-81, C266-70, C323-68, C86-12, C86-503, C86-56, C88-380, C90-530, Co997 y SP70-1284. Se utilizaron además los patrones PR980 (AR), Ja64-11 (R), C334-64 (MR), My5514 y Ja60-5 (S) y B4362 (AS).

Se empleó un diseño de bloques al azar con tres replicas, a razón de 12 bloques por réplica. Las evaluaciones se realizaron a los tres, cuatro, cinco, seis y nueve meses de edad en las cepas caña planta y primer retoño, en las hojas +1, +3 y +5. Se analizaron 2 cm² del tercio central de cada hoja (Rodríguez *et al.*, 2007; Tamayo, 2010; Tamayo *et al.*, 2010a) se tuvo en cuenta la cantidad de pústulas (CPUST), el largo de la pústula más frecuente (LPUST), el tamaño de la pústula mayor (TPM) y el porcentaje de área ocupada por pústulas (PAPUST). Igualmente, fue considerado el comportamiento de las precipitaciones, la

humedad relativa y las temperaturas durante el periodo de estudio.

Para el procesamiento estadístico se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 10 y los modelos AMMI del tabulador de datos EXCEL. Se realizaron análisis de varianza factoriales para detectar las diferencias entre los distintos factores de variación, procediendo con posterioridad a la prueba de Tukey para la formación de los grupos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de varianza para las variables tamaño de la pústula mayor (TPM) y porcentaje de pústulas (cm²) en las cepas caña planta y primer retoño respectivamente, mostraron marcadas diferencias entre los cultivares, momentos de evaluación y número de hojas para ambos parámetros en las dos cepas estudiadas.

Los resultados de la dódima de Tukey reporta la formación de grupos en los parámetros TPM y porcentaje de área ocupada por pústulas (cm²) en las cepas planta y primer retoño (Tabla 1).

Tabla 1. Comparación de las medias aportadas por los genotipos para el parámetro TPM y el porcentaje de área ocupada por pústulas

Variedad	Planta		Retoño	
	TPM	% área con pústulas	TPM	% área con pústulas
C90-530	0,05 ab	0,016 a	0,0 a	0,0 a
C132-81	0,0 a	0,0 a	0,01 a	0,003 a
Co997	0,0 a	0,0 a	0,04 a	0,012 a
PR980	0,0 a	0,0 a	0,05 a	0,02 a
C266-70	0,0 a	0,0 a	0,12 ab	0,05 a
Ja64-11	0,07 ab	0,002 a	0,17 ab	0,05 a
C86-56	0,06 ab	0,02 a	0,22 ab	0,09 a
C1051-73	0,0 a	0,0 a	0,43 bc	0,45 a
SP70-1284	0,15 ab	0,07 a	0,68 cd	0,41 a
C86-12	0,30 b	0,15 a	0,817 d	0,4 a
C86-503	0,22 ab	0,13 a	0,818 d	0,47 a
C88-380	1,20 c	0,92 bc	0,9 d	0,44 a
Ja60-5	1,72 d	1,61 d	1,54 e	1,51 b
C334-64	1,25 c	1,13 c	2,0 f	2,05 bc
C323-68	1,27 c	0,61 b	2,44 g	2,22 c
My5514	2,20 e	1,26 cd	2,65 g	1,83 bc
B4362	5,26 f	7,56 e	5,51 h	8,11 d
Sx	0,24	0,33	0,25	0,45
E.S. (\bar{x})	13,08	18,7	10,2	18,9

Letras desiguales difieren $p \leq 0,01$ Prueba de Tukey, Sx: desviación típica

El cultivar B4362 alcanzó el mayor tamaño de pústulas, lo cual está en correspondencia con su nivel de susceptibilidad. Este cultivar se diferencia significativamente del resto en ambas cepas.

Los cultivares que presentaron menores tamaños de pústulas y que son catalogados como más resistentes corresponden al grupo formado por: C132-81, Co997, C266-70 y C1051-73. Los genotipos C90-530, C86-56, SP70-1284 y C86-503 se encuentran en un grupo intermedio mientras que C86-12 formó un grupo independiente. Resultados similares han sido obtenidos por otros autores (Tamayo *et al.*, 2009) quienes encontraron la formación de grupos similares.

Al analizar el porcentaje de pústulas se pudo constatar que los menores porcentajes correspondieron a: C90-530, C132-81, Co997, C266-70, C1051-73, SP70-1284, C86-12 y C86-503. Las mayores afectaciones incumbieron a B4362. Si tenemos presente que en nuestras condiciones se utilizó un control, se puede ver que el resto de los patrones utilizados se comporta conforme a su reacción: PR980 (Altamente resistente), Ja64-11 (Resistente), C334-64 (Moderadamente resistente), My5514 y Ja60-5 (Susceptibles).

La utilización de este parámetro (Porcentaje de pústulas por centímetro cuadrado) nos permite disponer de un resultado más confiable, pues el mismo está sustentado sobre las observaciones contables que no dependen de la apreciación del observador y que sin lugar a dudas, no introduce errores que surgen cuando las mediciones son realizadas por diferentes evaluadores.

Al analizar el área ocupada por pústulas en los distintos momentos de evaluación (Tabla 2) se observa que en la cepa de caña planta las evaluaciones a los 6 y 9 meses de edad poseen resultados similares por lo que podemos inferir que con uno de ellos es suficiente. En la cepa de retoño no existieron similitudes en las distintas evaluaciones, demostrándose que todas las evaluaciones poseen su importancia.

En las condiciones de este estudio, las mayores afectaciones en la provincia de Camagüey ocurren antes de los tres meses de edad, donde se manifiestan con mayor claridad los signos típicos de la roya parda, la presencia de pústulas, disminuyendo progresivamente la sintomatología. Otros autores exponen que las afectaciones por roya parda comienzan desde muy temprano, antes de los primeros seis meses de edad (Suranto *et al.*, 1999; Infante *et al.*, 2009;

Tarazona, 2011).

Tabla 2. Comparación de los momentos de evaluación en las cepas de planta y retoño para el porcentaje de área ocupada por pústulas

Momento de evaluación	PAPUST en planta	Sig.	PAPUST en retoño	Sig.
3 meses	1,82	d	2,59	e
4 meses	1,06	c	1,40	d
5 meses	0,65	b	0,74	c
6 meses	0,24	a	0,43	b
9 meses	0,19	a	0,16	a
Sx	0,33		0,45	
C.V. (%)	18,7		18,9	

Letras desiguales difieren al $p \leq 0,01$ Prueba de Tukey, Sig.: significación

Al analizar el comportamiento de las hojas evaluadas (Tabla 3) se aprecia que los mayores porcentajes de afectación correspondieron a la hoja +5, aunque existe un valor intermedio en la hoja +3.

La representación gráfica de los efectos principales en las diferentes hojas, para el carácter Porcentaje de área ocupada por pústulas en las abscisas y el valor del CP1 en las ordenadas (Figura 1), muestra la interacción Genotipo x Ambiente (G x E), descrita en términos de susceptibilidad diferencial de los cultivares frente a la roya parda. Los patrones B4362, My5514, Ja60-5 y C334-64 manifiestan afectaciones de mayor a menor en el orden señalado. El porcentaje mayor de individuos se comportó como resistente.

Según la representación gráfica del modelo AMMI2, los vectores cuyo punto final se encuentran más alejados del origen de

Tabla 3. Comparación de las medias obtenidas en las hojas en las cepas de planta y retoño para el porcentaje de área ocupada por pústulas

Hoja evaluada	Media en planta	Sig.	Media en retoño	Sig.
+1	0,31	a	0,72	a
+3	0,79	b	1,02	b
+5	1,27	c	1,45	c
Sx	0,33		0,45	
C.V. (%)	18,7		18,9	

Letras desiguales difieren al $p \leq 0,01$ Prueba de Tukey Sig.: significación

coordinadas, contribuyen relativamente más a la interacción que aquellos cuyos vectores finalizan más próximos al origen (Figura 2). Los puntos cuyas direcciones de vectores coinciden tienen un patrón de interacción similar. De acuerdo con estas consideraciones, se pueden agrupar los momentos de evaluación en tres grupos, uno formado por las primeras evaluaciones en la hoja +5, otro con las segundas evaluaciones en la hoja

+5, y otro grupo formado por las evaluaciones cuartas y quintas en cualquiera de sus hojas.

Las temperaturas mostraron una tendencia similar a las históricas en el periodo de estudio (Figura 3) por lo que se considera que la manifestación de la enfermedad no estuvo influenciada por este parámetro. Sin embargo, al analizar las precipitaciones (Figura 4) se puede apreciar que los volúmenes totales de

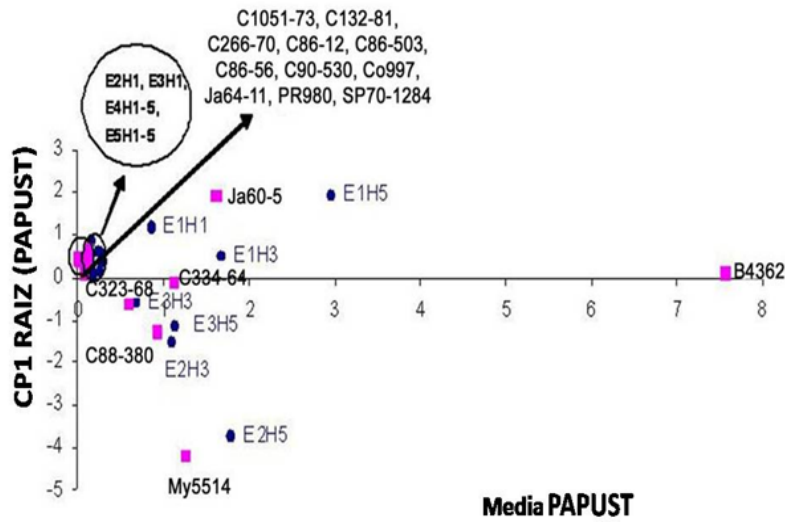


Figura 1. Representación Biplot del nivel de respuesta de los cultivares para el carácter porcentaje de área ocupada por pústulas

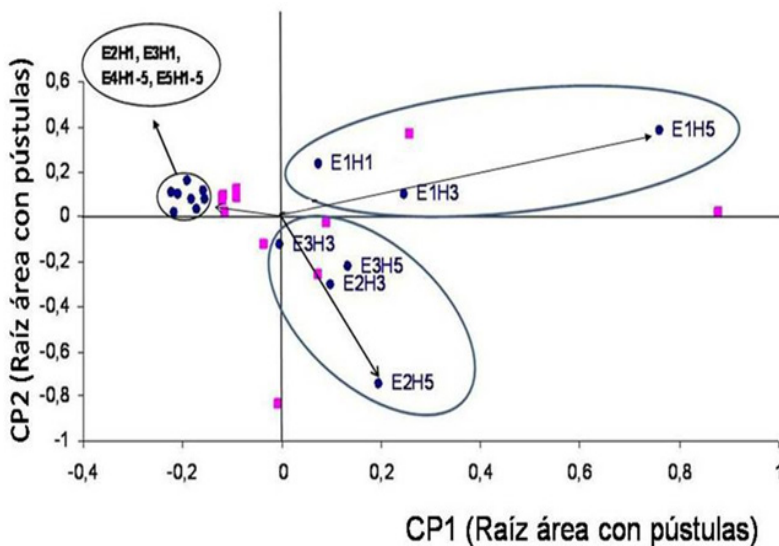


Figura 2. Representación Biplot para el carácter % de pústulas por cm2 relacionado con los momentos de evaluación

E1: Evaluación 3 meses; E2: Evaluación 4 meses; E3 Evaluación 5 meses; E4: Evaluación 6 meses; a E5, Evaluaciones 9 meses; H1: Hoja +1; H3: Hoja +3; H5: Hoja +5

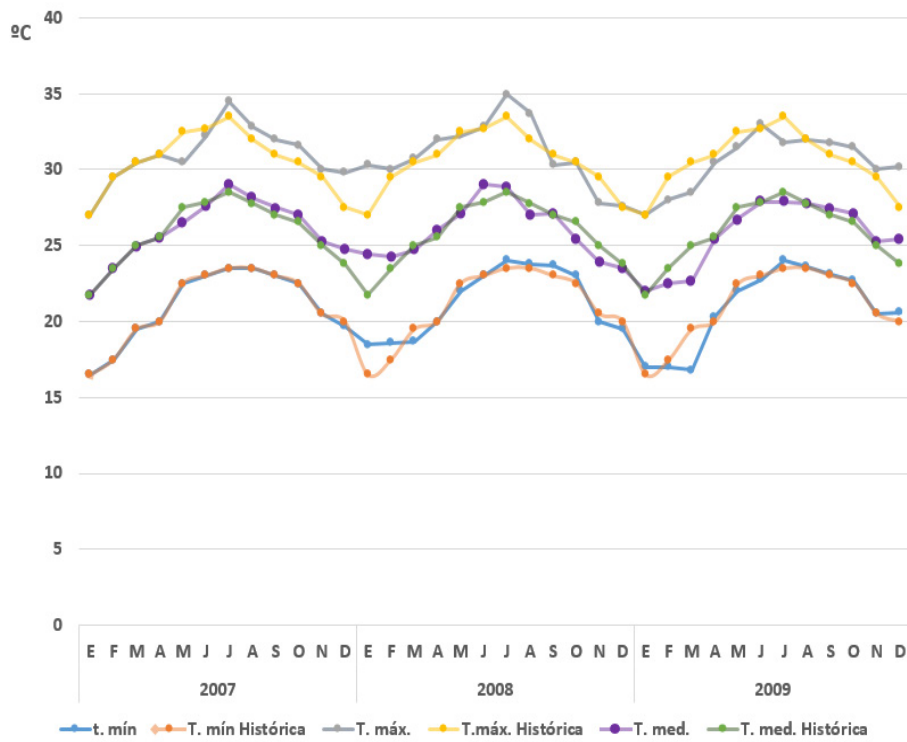


Figura 3. Comportamiento de las temperaturas en el periodo de estudio

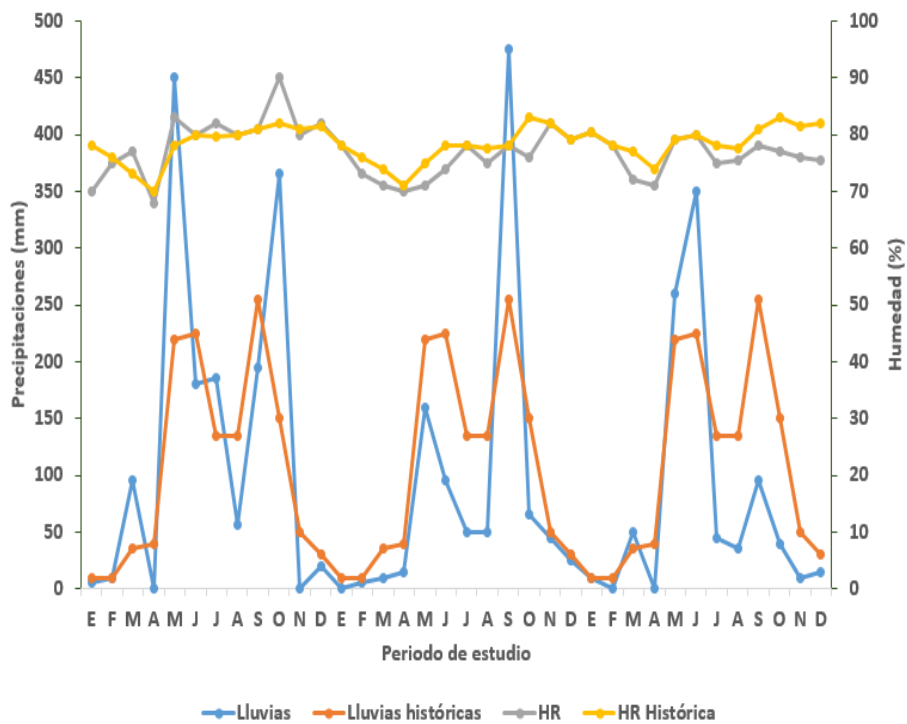


Figura 4. Representación de las precipitaciones y la humedad relativa

precipitaciones son similares en los distintos años, pero la distribución de las lluvias en el periodo de estudio fue diferente a las históricas, llegando a alcanzar en los últimos años volúmenes muy por encima de las medias históricas en los meses de mayo, junio, septiembre y octubre, lo cual si pudo influir en la expresión de los síntomas.

Es bueno señalar que la observación de variaciones en el comportamiento de algunos cultivares ante la roya parda, en algunas localidades del país puede ser por diversos aspectos ajenos a las variaciones climáticas.

CONCLUSIONES

1. En la localidad de Camagüey el 81 % de los cultivares que se estudiaron se comportaron como resistentes, presentando las mayores afectaciones por roya parda a la edad aproximada de los tres meses.

2. Los modelos AMMI nos permitieron graficar el comportamiento de los genotipos estudiados, así como la interacción Cultivar Momento de evaluación, mostrando la mayor interacción con las observaciones 1 y 2 en la hoja +5 y las 4 o 5 en cualquiera de sus hojas.

BIBLIOGRAFIA

- ALFONSO, I. Variación patogénica de aislamientos de roya de la caña de azúcar (*P. melanocephala* H. and P. Sydow) en Cuba. Resumen Ampliado VI Congreso Iberoamericano de Fitopatología, 63:33-34, 1993.
- ALFONSO, I., E. RODRÍGUEZ y R. ACEVEDO. La roya parda de la caña de azúcar en Cuba. Editorial Académica Española, España. 2012, 72 p. ISBN: 9783659063145.
- ASNAGHI, C., A. D'HONT, J.C. GLASZMANN, P. ROTT. Resistance of sugarcane cultivar R570 to *Puccinia melanocephala* isolates from different geographic locations. *Plant Diseases*, 21(3): 282-286, 2001.
- CHINEA, A., R. ACEVEDO, E. RODRÍGUEZ y M. La O. Enfermedades de la caña de azúcar y evolución de las técnicas para su detección y diagnóstico en Cuba. Memorias del evento por el 50 aniversario del INICA, INICA, La Habana, Cuba. Pp. 41-47, 2014.
- JORGE, H., R. GONZÁLEZ, M. CASAS e I. JORGE. *Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba*. PUBLINICA, La Habana, Cuba. 2011, 308 p.
- MUHAMMAD, K., S. AFGHAN, Y. PAN and J. IQBAL. Genetic variability among the brown rust resistant and susceptible genotypes of sugarcane by RAPD technique. *Pakistan Journal of Botany*, 45 (1): 163-168, 2013.
- RAID, R.N. Physiological specialization in sugarcane rust (*Puccinia melanocephala*) in Florida. *Plant Disease*, 72 (2): 183, 1989.
- RODRÍGUEZ, J., Y. RODRÍGUEZ, G. MARTÍN, L. PEÑA, J. IBARRA y L. DALEY. Recomendaciones para un Manejo Integral más eficiente y sostenible de plagas y enfermedades de la caña de azúcar en la Empresa Azucarera Fernando de Dios. Relevante en XVI Fórum Provincial de Ciencia y Técnica, CITMA, Holguín, Cuba. 2005, 15 p.
- RODRÍGUEZ, J., A. MOLINA, A. CÉSPEDES y L. CABRERA. Consideraciones sobre la evaluación de la roya común de la caña de azúcar. Problemas de la escalas. Estación Provincial de Investigaciones de la EPICA Mayarí, Holguín, Cuba. 2007, 10 p.
- SANDOVAL, I. La roya de la caña de azúcar en Cuba. INISAV, Centro de Información y Documentación de Sanidad Vegetal (CIDISAV), Ciudad de la Habana, Cuba. 2001, 107 p. ISBN 959-246-040-X.
- SURANTO, T.A., U. HARSANTO, K. WIDYATMOKO. Studies of sugarcane rust in the tropical wet regions of intanesis. En: En: ISSCT. Procc. ISSCT Congress., 221, t2, pp. 588-591, 1999.
- TAMAYO, M., J. MONTALVÁN, Y. PUCHADES, I. ALFONSO, R. GONZÁLEZ y P. PABLOS. Roya común en caña de azúcar, estudio metodológico y relación genética como índice de consanguinidad. Memorias de la Jornada Científico – Productiva 45 Aniversario del INICA, INICA, Florida, Camagüey, Cuba. 2009.

- TAMAYO, M. Perfeccionamiento Metodológico para evaluar roya parda *Puccinia melanocephala* Sydow y P. Sydow en caña de azúcar. Tesis Presentada en opción al título académico de Master en Sanidad Vegetal. Mención Fitopatología. Universidad Agraria de la Habana, Mayabeque, Cuba. 2010, 80 p.
- TAMAYO, M., J. MONTALVÁN, Y. PUCHADES, I. ALFONSO, P. PABLOS, R. GONZÁLEZ [*et al.*]. Estudio metodológico para evaluar roya parda de la caña de azúcar. *Revista ATAC*, 2: 33–36, 2010a.
- TAMAYO, M., Y. PUCHADES, R. RODRÍGUEZ, R. GONZÁLEZ, H. JORGE, I. ALFONSO [*et al.*]. Modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa aplicado a la evaluación de la roya parda de la caña de azúcar. *Fitosanidad*, 16 (3): 129-135, 2012.
- TARAZONA, G.A. Manejo fitosanitario del cultivo de la caña panelera. Medidas para la temporada invernal. Bogotá D.C., Colombia. Código 00.09.28.11. 2011, 51 pp.
- VARELA, M. y J. CASTILLO. Modelos con término multiplicativo. Aplicación en el análisis de la interacción Genotipo Ambiente. Informática y Bioestadística. INCA, La Habana, Cuba. 2002, 7 p.
- XAVIER, M.A., B.S. GONÇALVES, M.G.A. LANDELL, P. FIGUEREIDO, D. PERECIN and L.R. PINTO. Brown rust (*Puccinia melanocephala*) incidence in sugarcane families in Sao Paulo State, Brazil. *Procc. ISSCT XXVIII Congress*. Vol 28: 3 pp, 2013.

Recibido el 23 de diciembre de 2015 y aceptado el 10 de noviembre de 2016