

**CONFIABILIDAD DE LAS PRUEBAS DE RESISTENCIA EN CAÑA DE AZÚCAR
(SACCHARUM SPP.HÍBRIDO): ENSAYOS VS ROYA PARDA**

**RELIABILITY OF SUGARCANE RESISTANCE TESTS (SACCHARUM SPP. HYBRID): TESTS
AGAINST BROWN RUST**

**Yaquelin Puchades, Joaquín Montalván, Osmany Aday Omelio Carvajal, Javier Delgado,
Mónica Tamayo ,José Rodríguez, Mercedes Delgado, Eida Rodríguez , Mérida Rodríguez**

Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), Carretera CUJAE, Km 2 ½, Boyeros,
La Habana, Cuba

E mail: yaquelin.puchades@inicasz.azcuba.cu

Resumen

Puccinia melanocephala, causante de la roya parda, es un patógeno dañino de la caña de azúcar en la mayoría de los lugares del mundo donde se cultiva la gramínea. Una de las estrategias más eficaces para su control es la utilización de cultivares resistentes. Para ello los ensayos de resistencia a la enfermedad emplean cultivares controles que permiten la discriminación en las categorías: altamente resistente, resistente, moderadamente resistente, moderadamente susceptible, susceptible, altamente susceptible y muy altamente susceptible. El objetivo del presente trabajo fue examinar la eficacia de los ensayos de resistencia a la roya de la caña de azúcar, llevados a cabo entre los años 2020 y 2023, en la clasificación de la resistencia de nuevos cultivares. Para ello se analizaron datos de cuatro localidades y ensayos que evaluaron 16 cultivares comerciales. Los resultados demostraron que los controles de roya parda se mantienen estables a través del período evaluado y diferencian cinco categorías de resistencia. De los cultivares comerciales estudiados, tres se consideran susceptibles. Se comprueba la necesidad de mantener el monitoreo sistemático de las plantaciones cañeras y la capacitación a los fitosanitarios, así como el análisis sistemático de las pruebas de resistencia a enfermedades para emitir recomendaciones oportunas y garantizar la economía y sostenibilidad del cultivo.

Palabras clave: clasificación de cultivares, manejo fitosanitario, *Puccinia melanocephala*

Abstract

Puccinia melanocephala, the cause of brown rust, is a damaging pathogen of sugarcane in most parts of the world where it is grown. One of the most effective strategies for its control is the use of resistant varieties. For this purpose, control cultivars are used in disease resistance tests, which allow the following categories to be distinguished: highly resistant, resistant, moderately resistant, moderately susceptible, susceptible, highly susceptible and very highly susceptible. The aim of this work was to investigate the effectiveness of sugarcane rust resistance trials conducted between 2020 and 2023 in classifying the resistance of new cultivars. Data from four locations and trials evaluating 16 commercial varieties were analyzed. The results showed that brown rust control remained stable throughout the study period and that five resistance categories were distinguished. Of the commercial cultivars studied, three are considered susceptible. The need for systematic monitoring of sugarcane plantations and training of phytosanitary staff, as well as

systematic analysis of disease resistance tests, is demonstrated in order to provide timely recommendations and ensure the economic and sustainability of the crop.

Keywords: Cultivar classification, phytosanitary management, *Puccinia melanocephala*.

Introducción

La caña de azúcar (*Saccharum spp.* híbrido) es un cultivo industrial de gran importancia a nivel mundial, tanto para la producción de azúcar como de bioenergía en regiones tropicales y subtropicales. Sin embargo, la industria azucarera enfrenta desafíos debido a los efectos adversos derivados del cambio climático, que amplifican el impacto de las enfermedades y plagas de insectos (Bordonal *et al.*, 2018). Las enfermedades que afectan este cultivo no solo reducen su rendimiento, sino que también pueden repercutir negativamente en la economía local y en la seguridad alimentaria (Sorvali *et al.*, 2021).

Una de las estrategias más eficaces para el control de patógenos es la utilización de cultivares resistentes. Esta práctica ayuda a reducir los efectos adversos, se complementa con otras medidas de manejo integrado (Pataky *et al.*, 2011) y ha demostrado ser beneficiosa para el sector agrícola, los productores y el medio ambiente (Maheshwari *et al.*, 2020). Generalmente, los programas de mejora de la caña de azúcar evalúan todas los nuevos cultivares para identificar su resistencia a enfermedades como el carbón, la escaldadura foliar, el mosaico, las royas parda y anaranjada, así como la pudrición roja (Stringer *et al.*, 2012).

La roya parda, causada por el hongo (*Puccinia melanocephala* (Syd. & P.Syd), está presente, prácticamente en todas las áreas de cultivo de caña de azúcar. Se calcula que las pérdidas pueden oscilar entre 10 y 20 toneladas por hectárea, lo que podría llevar a una reducción de hasta el 50% en la producción (Oliveira *et al.*, 2024).

Debido a la naturaleza parasítica de *P. melanocephala*, la evaluación de la resistencia de los nuevos cultivares de caña de azúcar se desarrolla en experimentos de campo, con diseños que aseguren el desarrollo de la enfermedad. La estimación del grado de infección de las hojas se hace visualmente por especialistas fitosanitarios. La valoración depende de la experiencia del evaluador y puede variar en el tiempo, lo que afecta la repetibilidad de las observaciones (Pires da Silva *et al.*, 2023).

La incorporación de cultivares controles, de resistencia conocida, a los ensayos de resistencia, permite asegurar la confiabilidad de tales pruebas y asignar una calificación de resistencia que represente la aptitud del cultivar para uso comercial. El objetivo de este trabajo fue examinar la eficacia de los ensayos de resistencia a la roya de la caña de azúcar, llevados a cabo entre los años 2021 y 2023, en la clasificación de la resistencia de nuevos cultivares.

Materiales y métodos

Se realizó un análisis de los datos recopilados de los ensayos de resistencia a la roya parda de la caña de azúcar del período 2020-2023 en cuatro localidades de prueba del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA): Jovellanos (Matanzas); Ranchuelo (Villa Clara) Florida (Camagüey) y Palma Soriano (Santiago de Cuba). Los ensayos de resistencia a la roya parda se establecieron con un diseño de bloques al azar con tres réplicas. Cada cultivar contó con un área de 9.60 m². Cada dos cultivares y como borde de los experimentos se plantó B4362 (cultivar altamente susceptible a la roya parda) para incrementar y homogenizar la presión de

inóculo. Todas las evaluaciones se realizaron de acuerdo con la metodología propuesta por Montalván *et al.* (2018). La variable evaluada fue el porcentaje de área ocupada por pústulas en 2cm² del tercio medio de la hoja +3 (nomenclatura de Kuijper).

Se emplearon nueve cultivares controles de comportamiento conocido frente a la roya parda representativos de diferentes grados de afectación por la enfermedad: PR980 (altamente resistente, AR), Ja64-11 (resistente, R), SP70-1284 (moderadamente resistente, MR), C88-380 (moderadamente susceptible, MS), C334-64 (MS), C323-68 (susceptible, S), My5514 (S), Ja60-5 (altamente susceptible, AS) y B4362 (muy altamente susceptible, MAS). Adicionalmente se evaluaron los cultivares comerciales: C97-445, C87-51, C90-530, C92-325, C86-12, C86-156, B80250, CP52-43, Co997, C1051-73, C137-81, C120-78.

Los análisis estadísticos se realizaron con el programa Statistica v:8.0. Para cada cultivar control se calcularon los parámetros estadísticos, media, mediana y desviación estándar. Se realizó un análisis de varianza factorial para determinar las diferencias entre los cultivares controles y las localidades de prueba. Se compararon las respuestas esperadas y observadas de los cultivares de control.

La clasificación de los cultivares comerciales en cada localidad y ensayo, se comprobó mediante la curva de regresión entre los grados de los cultivares controles y los porcentajes porcentaje de área foliar ocupada por pústulas en cada caso. Según la clasificación se formularon recomendaciones para la gestión fitosanitaria de las plantaciones de caña de azúcar.

Resultados y discusión

El análisis de la varianza reflejó diferencias significativas entre localidades y cultivares, pero no entre los años de evaluación (que se consideraron como repeticiones) (Tabla 1). No se detectaron diferencias significativas en las interacciones localidad y cultivar, lo que demuestra estabilidad de los cultivares estándar (control).

Tabla 1: Análisis de varianza del porcentaje de área foliar afectada (densidad de pústulas en 2cm² en el tercio medio de la hoja +3) por roya marrón en cultivares de caña de azúcar.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	p
Localidad (L)	3	84.11	<0.01
Cultivar_Control (C)	8	277.86	<0.01
L x C	24	12.78	ns
Réplicas (Años)	3	4.49	ns
Error	107	16.08	

Los nueve cultivares controles de los ensayos de resistencia a roya parda, que representan siete categorías de resistencia según los procedimientos actuales, tendieron a agruparse en cinco categorías fundamentales: resistentes (R), moderadamente resistentes (MR), moderadamente susceptibles (MS), susceptibles (S) y altamente susceptibles (Tabla 2). Las diferencias fundamentales con la actual metodología estuvieron dadas por la no diferenciación entre las

categorías altamente resistente (AR) y resistente (R), así como por una menor susceptibilidad de los testigos C88-380, C323-68 y Ja60-5, lo que significa una reducción en su clasificación esperada (determinada por el porcentaje de área foliar afectada).

Tabla 2: Evaluación de cultivares controles frente a roya parda en el periodo 2018-2021

Cultivar Control	porcentaje de área foliar afectada (2 cm²)		Categoría esperada	Categoría observada
PR980	0.26	e	Altamente Resistente	Resistente
Ja64-11	0.61	e	Resistente	Resistente
SP70-1284	3.21	d	Moderadamente Resistente	Moderadamente Resistente
C88-380	2.23	d	Moderadamente Susceptible	Moderadamente Resistente
C334-64	4.88	c	Moderadamente Susceptible	Moderadamente Susceptible
C323-68	4.94	c	Susceptible	Moderadamente Susceptible
My5514	7.02	b	Susceptible	Susceptible
Ja60-5	7.30	b	Altamente Susceptible	Susceptible
B4362	19.80	a	Muy Altamente susceptible	Altamente susceptible

Las diferencias detectadas entre los valores esperados y los observados no son notables, ya que se encontraron entre los límites de una categoría y la siguiente (anterior o posterior). Para otorgar una calificación a los nuevos cultivares en estudio, es fundamental comparar sus resultados con los de los cultivares de referencia y, según la respuesta de estos, definir los grupos de resistencia que se identifican en cada ensayo.

Si los resultados obtenidos en este trabajo se mantienen consistentes a lo largo de varios años y en diferentes localidades de prueba, se recomienda ajustar la categoría que representa cada control. De esta manera, la clasificación se simplificaría a resistente, moderadamente resistente, moderadamente susceptible, susceptible y altamente susceptible. Esta simplificación no modificaría la propuesta de Montalván *et al.* (2018), en lo que se refiere a aceptar para su explotación comercial los cultivares moderadamente susceptibles, siempre que se ubiquen en zonas de baja prevalencia de la enfermedad y próximos a cultivares resistentes, así como sólo explotar cultivares susceptibles (en condiciones similares a las descritas para los moderadamente susceptibles) solo cuando sus resultados productivos sean significativamente superiores a los

controles establecidos para el rendimiento agro-azucarero por el Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba.

En correspondencia con los resultados anteriores, se evaluaron 16 cultivares comerciales (tres de los controles son cultivares comerciales: SP70-1284, C323-68 y My5514): seis se consideraron Resistentes, seis moderadamente resistente, dos moderadamente susceptible y dos Susceptibles. La Figura 1 representa la variabilidad en la respuesta de los cultivares comerciales a través de las localidades en estudio, lo que confirmó la importancia de la vigilancia fitosanitaria en las plantaciones de caña de azúcar, así como la preparación sistemática del personal encargado de las evaluaciones.

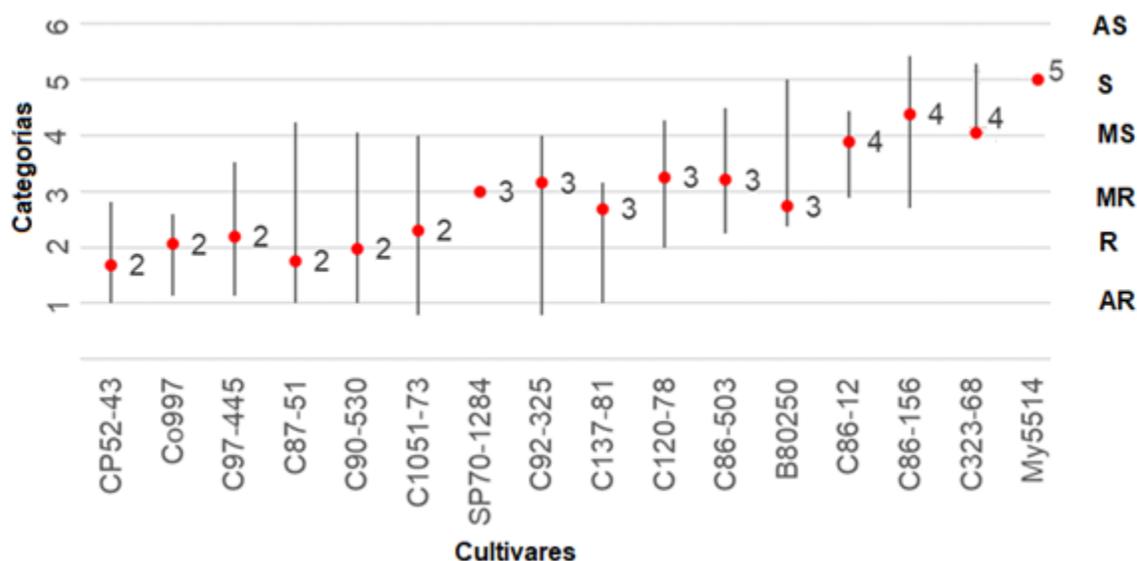


Figura 1. Categoría de resistencia vs roya parda de cultivares comerciales basada en múltiples ensayos de clasificación. Los números de la figura denotan el valor de clasificación propuesto con los resultados de este estudio. 1= altamente resistente; 2= resistente; 3= moderadamente resistente; 4= moderadamente susceptible; 5= susceptible. (El punto rojo denota la clasificación general (en todas las localidades), las barras de error denotan la variación de la clasificación por localidad).

Siempre hay que tener en cuenta que las evaluaciones de enfermedades están sujetas a errores de estimación, especialmente cuando se basan en determinaciones visuales. El error de estimación puede depender de la facilidad del método utilizado, el tiempo necesario para realizar una evaluación, la formación, la instrucción y la experiencia (Chiang y Bock; 2021).

La capacitación de los evaluadores puede ser beneficiosa para optimizar la evaluación de la enfermedad, sobre todo si se considera la similitud de los síntomas entre la roya parda y otras enfermedades foliares. En la Figura 2 se ilustran los síntomas de la mancha de hoja causada por *Phyllosticta sp. Caum*, así como las lesiones provocadas por el ácaro *Abacarus sacchari* Channabasavanna, observadas en los cultivares C90-530 y C97-445, respectivamente, que con frecuencia conducen a diagnósticos errados.

Para diferenciar entre los síntomas ocasionados por *Puccinia melanocephala*, *Phyllosticta sp* y *Abacarus sacchari*, el principal elemento a considerar es la presencia de pústulas y polvo de

esporas de color marrón-rojizo indicativos de roya parda. Adicionalmente las lesiones ocasionadas por *Phyllosticta sp* son circulares, aunque irregulares y las afectaciones por *Abacarus sacchari* conducen a una textura foliar más dura. En cualquier caso, las condiciones ambientales pueden modificar la apariencia de los síntomas; por lo que es recomendable complementar el diagnóstico visual con análisis de laboratorio cuando sea posible.

Figura 2. Síntomas observados en cultivares comerciales similares a roya parda. A) hoja de C97-445 afectada por *Abacarus sacchari*; B) hoja de C90-530 afectada por *Phyllosticta*

Bhuiyan *et al.* (2020) afirmaron que para obtener una mayor precisión en la clasificación de los cultivares, es necesario aumentar el número de pruebas de resistencia. Es probable que con sólo tres pruebas se obtenga una buena calificación en algunos casos, pero es una cuestión que debe investigarse.

Investigaciones anteriores en Cuba han demostrado que el uso de cultivares sin superar el 20 % del área de cada ingenio azucarero, junto con un monitoreo constante de las plantaciones comerciales y la introducción de nuevos genotipos que sean resistentes o intermedios, ha sido clave para prevenir brotes epidémicos de roya parda (La O *et al.*, 2018). Sin embargo, es fundamental recordar las recomendaciones fitosanitarias para el manejo de cultivares moderadamente resistentes y moderadamente susceptibles, entre los cuales se incluyen ocho de los cultivares analizados en este estudio. Su uso está condicionado a un manejo adecuado y a su localización en zonas con baja incidencia de la enfermedad, lo que contribuye a mantener una presión de inóculo baja.

El presente trabajo demuestra la importancia de mantener el análisis sistemático de las pruebas de resistencia a enfermedades. Este proceso sistemático refuerza la confiabilidad de los datos obtenidos en los ensayos, facilita la toma de decisiones fundamentadas para la liberación de nuevos materiales genéticos y permite emitir recomendaciones oportunas que garanticen la economía y sostenibilidad del cultivo.

Conclusiones

Los cultivares controles de las pruebas de resistencia a roya parda mantienen estabilidad en su respuesta a la enfermedad a través del tiempo y las localidades.

Los cultivares controles de los ensayos de resistencia a la roya parda de la caña de azúcar permiten identificar cinco categorías de resistencia: Resistente, Moderadamente Resistentes, Moderadamente Susceptibles, Susceptibles y Altamente Susceptibles.

La capacitación a los especialistas fitosanitarios es determinante para asegurar el diagnóstico preciso de roya parda en cultivares comerciales.

Recomendaciones

Las áreas comerciales plantadas con cultivares clasificados ante la roya parda como moderadamente resistentes y moderadamente susceptibles deben mantenerse en estricta vigilancia fitosanitaria debido al riesgo que representan como fuente de infección para otros cultivares.

Bibliografía

Bhuiyan, S. A., Deomano, E., Stringer, J., Magarey, R., Eglinton, J., Wei, X., Piperidis, G. (2020). Development of a new variety-rating system for sugarcane smut using improved statistical methods. *Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists*, 42, 223–228.

Chiang, K. S. y Bock, C. H. (2021). Understanding the ramifications of quantitative ordinal scales on accuracy of estimates of disease severity and data analysis in plant pathology. *Tropical Plant Pathology*. <https://doi.org/10.1007/s40858-021-00446-0>

Figueiredo, E. B., de Oliveira, B. G. y La Scala, N. (2018). Sustainability of sugarcane production in Brazil: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38,1, 1–23. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0490-x>

La O, M., Perera, M. F., Bertani, R. P., Acevedo, R., Arias, M. E., Casas, M. A., Pérez, J., Puchades, Y., Rodríguez, E., Alfonso, I., Catganaro, A. P. (2018). An overview of sugarcane brown rust in Cuba. *Scientia Agricola*, 75,3, 233–238. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2016-0381>

Maheshwari, G. y Mathur, S., Gauba, P. (2020). Disease resistant plants: A review. *OmniScience: A Multi-disciplinary Journal*, 10,3, 1–6.

Montalván, J., Alfonso, I., Rodríguez, E., Puchades, Y., Rodríguez, J., Aday, O., Carvajal, O., Delgado, J. (2018). Evaluación de la resistencia a roya parda de la caña de azúcar en Cuba. *Centro Agrícola*, 45,2, 47–54.

Oliveira, G. K., Barreto, F. Z., Balsalobre, T. W. A., Chapola, R. G., Hoffmann, H. P., Carneiro, M. S. (2024). Molecular evaluation and phenotypic screening of brown and orange rust in *Saccharum* germplasm. *PLoS ONE*, 19(7), e0307935. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0307935>

Pataky, J. K., Williams, M. M., Headrick, J. M., Nankam, C., du Toit, L. J., Michener, P. M. (2011). Observations from a quarter century of evaluating reactions of sweet corn hybrids in disease nurseries. *Plant Disease*, 95, 1492–1506.

Pires da Silva, I. O., de Freitas, R. G., Cursi, D. E., Chapola, R. G., Rios do Amaral, L. (2023). Recognition of sugarcane orange and brown rust through leaf image processing. *Smart Agricultural Technology*, 4, 100185. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100185>

Sorvali, J., Kaseva, J. y Peltonen-Sainio, P. (2021). Farmer views on climate change – a longitudinal study of threats, opportunities and action. *Climatic Change*, 164, 1–19. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03020-4>

Stringer, J., Croft, B., Bhuiyan, S., Deomano, E., Magarey, R., Cox, M., Xu, X. (2012). A new method of statistical analysis for sugarcane disease screening trials. *Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists*, 34, 1–10.

Yaquelin Puchades (<https://orcid.org/0000-0001-6608-4997>), Joaquín Montalván (<https://orcid.org/0000-0002-2679-4633>), Osmany Aday (<https://orcid.org/0000-0002-9128-8120>), Omelio Carvajal, Javier Delgado, Mónica Tamayo (<https://orcid.org/0000-0002-2981-6172>), José Rodríguez, Mercedes Delgado, Eida Rodríguez (<https://orcid.org/0000-0002-2283-428X>), Mérida Rodríguez (<https://orcid.org/0000-0002-7528-2204>)