



**Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar**

**Universidad Agraria de La Habana  
“Fructuoso Rodríguez Pérez”**



**Adecuaciones al sistema evaluativo de la roya parda  
(*Puccinia melanocephala* Sydow & P. Sydow) en pruebas de  
resistencia de cultivares de caña de azúcar en Cuba**

**Tesis presentada en Opción al Grado Científico de**

**Doctor en Ciencias Agrícolas**

**Autor: Ing. Joaquín Montalván Delgado, M. Sc**

**Mayabeque**

**2017**



**Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar**

**Universidad Agraria de La Habana  
"Fructuoso Rodríguez Pérez"**



**Adecuaciones al sistema evaluativo de la roya parda  
(*Puccinia melanocephala* Sydow & P. Sydow) en pruebas de  
resistencia de cultivares de caña de azúcar en Cuba**

**Tesis presentada en Opción al Grado Científico de**

**Doctor en Ciencias Agrícolas**

**Autor: Ing. Joaquín Montalván Delgado, M. Sc**

**Tutores: Ing Isabel Alfonso Terry, Dra. C**

**Ing. Eida Rodríguez Lema, Dra. C**

**Mayabeque**

**2017**

# Agradecimientos

Con la presentación de esta tesis culmina otra etapa que me compromete a ser más útil y necesario, por lo que mi principal agradecimiento está dirigido a nuestra Revolución, sin la cual no hubiese sido posible mi formación técnica, así como tampoco llegar a optar por este grado, atendiendo a mi procedencia social.

Así mismo, quiero expresar mi agradecimiento a todos aquellos compañeros que de una forma u otra han hecho posible la realización y presentación de este trabajo, destacar el gran apoyo de algunos para el cumplimiento de los objetivos trazados y otros que tan amable y desinteresadamente la han revisado, para contribuir a su perfeccionamiento. El orden en que aparecen no indica necesariamente diferencias en el reconocimiento:

- A las Doctoras Isabel Alfonso Terry y Eida Rodríguez Lema que sin su apoyo no hubiese sido posible la realización de esta tesis.
- A la Dirección y trabajadores de la ETICA Centro Oriental de Camagüey y en particular a los del Programa de Mejoramiento por su apoyo y estímulo constante.
- Al Doctor Nicolás Quintana de la UNICA por la ayuda brindada en el procesamiento estadístico de la información.
- A investigadores y técnicos de la red del INICA por la ayuda en la realización de esta investigación, en especial a los de las provincias de Mayabeque, Matanzas, Villa Clara, Holguín, Santiago de Cuba y la Sede Central.
- Un agradecimiento especial a mis hermanos y amigos José Rodríguez Zayas, Héctor Jorge Suárez y Alberto González Marrero por los aportes a esta investigación.
- A todos aquellos que de una forma u otra han colaborado en la culminación de este trabajo.

# Dedicatoria

A la Revolución

A mis Hijos

A la memoria de mi Padre

A mi Madre y demás familiares y amigos

# Pensamiento

"En su profesión el hombre no solo debe ambicionar el logro de su propia felicidad, sino también buscar la felicidad de todos los seres humanos...

Si el hombre crea solamente para sí mismo, podrá ser un famoso científico, un gran sabio, un excelente poeta, pero jamás será realmente un ser grande y perfecto".

Carlos Marx

## GLOSARIO DE ABREVIATURAS

**AFAG:** Área foliar afectada en toda la hoja

**AFA:** Área foliar afectada

**AFATM:** Área foliar afectada en el tercio medio

**AMMI:** Modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa, por su sigla en inglés, ***Additive main effect and multiplicative interaction***

**APM:** Ancho de la pústula mayor

**APMF:** Ancho de la pústula mas frecuente

**APMFG:** Ancho de la pústula más frecuente en toda la hoja

**APMFTM:** Ancho de la pústula más frecuente en el tercio medio

**AR:** Altamente resistente

**AS:** Altamente susceptible

**B:** Barbados

**C:** Cuba

**CM:** Cuadrado medio

**CPUST:** Cantidad de pústulas

**E1:** Evaluación 1

**E2:** Evaluación 2

**ECM:** Esperanza del cuadrado medio

**G:** General

**gl:** Grados de libertad

**H1:** Hoja +1

**H3:** Hoja +3.

**H5:** Hoja +5

**HR:** Humedad relativa

**INICA:** Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar

**Ja:** Jaronú

**LPM:** Largo de pústula mayor

**LPMG:** Largo de la pústula mayor en toda la hoja

**LPMTM:** Largo de la pústula mayor en el tercio medio

**LPUST:** Largo de pústula más frecuente

**MAS:** Muy altamente susceptible

**M. Gral:** Media general

**MR:** Moderadamente resistente

**MS:** Moderadamente susceptible

**My:** Mayarí

**NS:** Diferencia no significativa

**PAOPUST:** Porcentaje de área ocupada por pústulas

**PAOPUSTTM:** Porcentaje de área ocupada por pústulas en el tercio medio

**PAOPUSTG:** Porcentaje de área ocupada por pústulas en toda la hoja

**PAPFG:** Área de la pústula más frecuente en toda la hoja

**PAPFTM:** Área de la pústula más frecuente en el tercio medio

**PAPMG:** Área de la pústula mayor en toda la hoja

**PAPMTM:** Área de la pústula mayor en el tercio medio.

**PR:** Puerto Rico

**PUSTCMG:** Pústula por cm<sup>2</sup> en toda la hoja

**PUSTCMTM:** Pústula por cm<sup>2</sup> en el tercio medio

**PVFT:** Porcentaje de la variación fenotípica total.

**R:** Resistente

**S:** Susceptible

**SCYLV:** *Virus de la hoja amarilla* por su sigla en inglés ***Sugarcane yellow leaf virus***

**SCYP:** *Amarillamiento foliar* provocado por fitoplasma por su sigla en inglés ***Sugarcane Yellow Phytoplasma***

**Sig:** Significación

**S $\bar{x}$ :** Error estándar

**t. ha<sup>-1</sup>:** Toneladas por hectáreas

**TI:** Tercio inferior

**T. max:** Temperatura máxima

**T. med:** Temperatura media

**T.min:** Temperatura mínima

**TM:** Tercio medio.

**TS:** Tercio superior.

**TVD:** Primer dewlap visible, por sus siglas en inglés, ***Top visible dewlap***

**UEB:** Unidad Empresarial de Base

**VA:** Varianza ambiental

**VFT:** Variación fenotípica total

**VG:** Varianza genética

**VGA:** Varianza de la Interacción genotipo x ambiente

**$\bar{X}$ :** Media.

**$\mu\text{m}$ :** Micrómetro



## SÍNTESIS

En Cuba la metodología que se utiliza para la evaluación de la resistencia a la roya parda de la caña de azúcar adolece de aspectos cuantitativos, así como de la definición de las localidades representativas para las pruebas de resistencia y presenta limitada dotación de patrones. Esto favorece el escape de cultivares susceptibles y limita la explotación de aquellos que, presentando afectaciones, puedan plantarse por su alto potencial agro productivo. Para establecer nuevos criterios de evaluación que contribuyan al perfeccionamiento del Sistema Evaluativo de la Resistencia a la Roya Parda en el Programa de Mejoramiento de la Caña de Azúcar en Cuba se estudiaron seis patrones de reacción conocida y 11 cultivares comerciales. Fueron registradas las variables precipitaciones, humedad relativa, temperatura máxima, mínima y media, largo, cantidad y porcentaje de área foliar ocupada por pústulas y largo de la pústula mayor. La aplicación e interpretación de métodos estadísticos permitió concluir que las evaluaciones se deben realizar en el tercio medio de la hoja +3 de diez plantas a los tres y cinco meses de edad, con una escala de evaluación con nuevos criterios cuantitativos (porcentaje de área ocupada por pústulas por  $\text{cm}^2$  y largo de la pústula mayor). Se incluyen como patrones los cultivares SP70-1284 (moderadamente resistente), C88-380 (moderadamente susceptible) y C323-68 (susceptible). Se reclasifican C334-64 (moderadamente susceptible), Ja60-5 (altamente susceptible) y B4362 (muy altamente susceptible). Se recomienda una ecuación para el cálculo del porcentaje de área foliar afectada a partir de aspectos cuantificables que evitan el error visual.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1. Origen y dispersión de la caña de azúcar.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2. Importancia de la caña de azúcar .....</b>	<b>9</b>
<b>2.3. Enfermedades presentes en caña de azúcar .....</b>	<b>11</b>
<b>2.4. Roya parda de la caña de azúcar .....</b>	<b>12</b>
2.4.1. Sintomatología .....	14
2.4.2. Agente causal .....	15
2.4.3. Ciclo de vida.....	17
2.4.4. Ciclo de infección .....	19
2.4.5. Propagación .....	20
<b>2.5. Principales escalas usadas para evaluar roya parda en caña de         azúcar .....</b>	<b>21</b>
2.5.1. Aspectos principales de las escalas cualitativas para la evaluación de la roya parda de la caña de azúcar .....	24
2.5.2. Escalas cuantitativas.....	26
<b>2.6. Aspectos metodológicos relacionados con la evaluación de roya         parda en el Programa de Mejora de la Caña de Azúcar en Cuba .....</b>	<b>27</b>

<b>2.7. Control de la enfermedad .....</b>	<b>29</b>
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>31</b>
<b>3.1. Definición en el área foliar de la estación de muestreo representativa para la evaluación de la enfermedad .....</b>	<b>31</b>
3.1.1. Determinación del área foliar de la planta donde debe evaluarse la roya parda de la caña de azúcar .....	31
3.1.2. Definición de la ecuación para el cálculo del área ocupada por pústulas por cm <sup>2</sup> de la hoja.....	33
<b>3.2. Determinación de los ambientes evaluativos para las pruebas de resistencia a la roya parda de la caña de azúcar .....</b>	<b>33</b>
3.2.1. Efecto de la interacción genotipo x ambiente .....	35
3.2.2. Manifestación de las variables estudiadas ante las diferentes fuentes de variación .....	36
3.2.3. Análisis de las localidades de estudio .....	37
3.2.4. Definición de las edades optimas de la planta para evaluar la enfermedad.....	38
3.2.5. Análisis de la enfermedad en hojas de diferentes edades .....	38
<b>3.3. Evaluación de cultivares y patrones .....</b>	<b>38</b>
3.3.1. Manifestación de las variables analizadas en los diferentes cultivares .....	38

	pág.
3.3.2. Evaluación de los patrones de resistencia .....	39
3.3.2.1. Reacción y estabilidad de los patrones .....	39
3.3.2.2. Evaluación de patrones de resistencia ante la enfermedad .....	39
<b>3.4. Desarrollo de una escala de evaluación de la resistencia mediante el uso de variables cuantitativas .....</b>	<b>39</b>
3.4.1. Correlación existente entre las variables analizadas .....	39
3.4.2. Propuesta de modificación de la escala de evaluación de la enfermedad	40
3.4.3 Propuesta de modificación de la Metodología de evaluación de roya parda en el Programa de Mejora de la Caña de Azúcar en Cuba .....	40
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>41</b>
<b>4.1. Definición en el área foliar de la estación de muestreo representativa para la evaluación de la enfermedad .....</b>	<b>41</b>
4.1.1. Determinación del área foliar de la planta donde debe evaluarse la roya parda de la caña de azúcar .....	41
4.1.2. Definición de la ecuación para el cálculo del área ocupada por pústulas por cm <sup>2</sup> de la hoja .....	49
<b>4.2. Determinación de los ambientes evaluativos para las pruebas de resistencia a la roya parda de la caña de azúcar .....</b>	<b>53</b>
4.2.1. Efecto de la interacción genotipo x ambiente .....	53
4.2.2. Manifestación de las variables estudiadas ante las diferentes fuentes de variación .....	56

4.2.3. Análisis de las localidades de estudio .....	59
4.2.4. Definición de las edades óptimas de la planta para evaluar la enfermedad.....	66
4.2.5. Análisis de la enfermedad en hojas de diferentes edades .....	74
<b>4.3. Evaluación de cultivares y patrones .....</b>	<b>76</b>
4.3.1. Manifestación de las variables analizadas en los diferentes cultivares.	76
4.3.2. Evaluación de los patrones de resistencia .....	82
4.3.2.1. Reacción y estabilidad de los patrones .....	82
4.3.2.2. Evaluación de patrones de resistencia ante la enfermedad .....	85
<b>4.4. Desarrollo de una escala de evaluación de la resistencia mediante el uso de variables cuantitativas.....</b>	<b>89</b>
4.4.1. Correlación existente entre las variables analizadas .....	89
4.4.2. Propuesta de modificación de la escala de evaluación de la enfermedad	92
4.4.3 Propuesta de modificación de la Metodología de evaluación de roya parda en el Programa de Mejora de la Caña de Azúcar en Cuba .....	95
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>99</b>
<b>6. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>100</b>
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXOS .....</b>	

## 1. INTRODUCCIÓN

La agroindustria azucarera representó históricamente la actividad económica más importante de la economía cubana. Hoy es una fuente considerable de empleo y por su efecto multiplicador sobre otros sectores, constituye una referencia por excelencia (Martín, 2014).

Las enfermedades de la caña de azúcar han provocado cuantiosas pérdidas directas e indirectas y constituyen una de las preocupaciones principales de los productores cañeros (Rodríguez y col., 2014).

La enfermedad roya parda de la caña de azúcar, ampliamente distribuida en casi todas las áreas cañeras del mundo (Asnaghi y col., 2001; Muhammad y col., 2013; China y col. 2014), es causada por el hongo fitopatógeno *Puccinia melanocephala* Sydow & P. Sydow y está considerada entre las de mayor importancia por su afectación al cultivo (Egan, 1989; Peixoto y col., 2013, 2014).

Las pérdidas oscilan desde un 10 % hasta más de un 50 % en cultivares susceptibles (Hoy y Hollier, 2009 y Comstock y col., 2015).

En la zafra 1979-1980 las mermas ascendieron a 805 millones de pesos por concepto de sustitución del cultivar B4362 y la adquisición adicional de maquinaria agrícola, implementos e insumos agroquímicos para su control (GEPLACEA, 1981; Alfonso y col., 2000; Rodríguez y col., 2005a). En la actualidad existe en las áreas cañeras del país un 9,09 % de índice de infección de roya parda (INICA 2016).

El ambiente donde se cultiva la caña de azúcar está determinado por numerosos factores, algunos controlables y otros no, su combinación contribuye a la

formación de diferentes condiciones de desarrollo y producción, lo cual determina la reacción específica de los cultivares. Así mismo, la roya parda y demás enfermedades del cultivo están fuertemente determinadas en su desarrollo y distribución por las variaciones edafoclimáticas locales (Sahni y Chona, 1965).

En la lucha contra esta enfermedad, el uso de cultivares resistentes es la medida de control más efectiva, de ahí la importancia de contar con herramientas adecuadas para determinar la reacción de los mismos ante *Puccinia melanocephala* Sydow & P. Sydow, entre las cuales están las escalas de evaluación. (INICA, 2011; Stringer y col., 2013; Glaz y col., 2014; Zhao y col., 2015).

En las escalas se utilizan principalmente criterios cualitativos y las que se fundamentan en evaluaciones cuantitativas son bastante disímiles e imprecisas, debido a que incluyen clorosis y necrosis que son síntomas iniciales también de otras enfermedades foliares, además la vista humana responde a estímulos, cuyas intensidades aumentan logarítmicamente.

Esto trae como consecuencia que un mismo observador no pueda distinguir entre 15 ó 20 % del área foliar afectada y hace inexacta a esta variable tan utilizada en el mundo (Rodríguez y col., 2007). Como consecuencia, genotipos resistentes pueden ser juzgados como susceptibles (Weber y Fechmer, citados por Zadoks y Schein, 1979).

En Cuba, el sistema para evaluar la resistencia a la roya parda en el Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar (INICA, 2011) utiliza una escala que considera solo como aspecto cuantitativo el largo de las pústulas, con cinco

grados de reacción y seis cultivares patrones de respuesta conocida ante la enfermedad, posee limitada dotación en grados intermedios y patrones de susceptibilidad en un mismo grado con efectos diferentes en el deterioro a consecuencia de la misma, lo que favorece el escape de cultivares susceptibles y limita la explotación de otros, ya que considera dentro de los límites de rechazo a todos los cultivares comprendidos en los grados de susceptibles y altamente susceptibles.

Por otra parte, se realiza un gran número de evaluaciones en diferentes edades de desarrollo fenológico del cultivo y localidades del país sin contar con todos los elementos técnicos y estadísticos que denoten su representatividad para el estudio de la roya parda, esto conlleva a elevados gastos en recursos humanos y materiales, lo que encarece y dificulta el trabajo.

Desde finales del año 2006 se observó en áreas de producción y semilla afectaciones de roya parda con manifestaciones atípicas en los cultivares C90-530, SP70-1284 y C88-380 (Alfonso, 2008; INICA, 2007), lo que denota cierta pérdida de la resistencia o quizás sea el resultado de la interacción con cambios en las condiciones meteorológicas de los últimos años. En esa etapa el área ocupada por cultivares susceptibles, alcanzaba el 24,60 % del área cañera nacional y en algunas provincias sobrepasaba este valor.

Hoy, el país cuenta con una composición varietal a favor de la resistencia y un buen número de progenitores resistentes con posibilidades de empleo en el Programa.



Como la enfermedad es un criterio de selección se aplican métodos de infección artificial, logrando discriminar desde las primeras etapas la mayor cantidad posible de la población susceptible; de manera que queden las de familias de cultivares más resistentes y no haya altos porcentajes rechazados por esa causa al final del proceso.

Con estos progresos y el conocimiento epidemiológico de la enfermedad es posible manejar adecuadamente cultivares con cierto grado de susceptibilidad, siempre que desde el punto de vista agro productivo sean de interés.

Los cambios en la reacción ante la roya parda, el limitado número de patrones, así como la carencia en las escalas evaluativas de aspectos cuantitativos que permitan brindar con mayor certeza la reacción de resistencia, conllevaron a emprender estudios para establecer nuevos criterios que permitan perfeccionar la metodología vigente.

El análisis de los aspectos mencionados permitió deducir el siguiente problema científico:

### **Problema científico**

En el sistema evaluativo de la resistencia a la roya parda de la caña de azúcar en Cuba, se utiliza una escala con insuficientes aspectos cuantitativos, restringida dotación de patrones de reacción conocida, localidades de pruebas sin contar con todos los elementos técnicos y estadísticos que justifiquen su uso, lo que favorece el escape de cultivares susceptibles, aumentando el peligro, vulnerabilidad y riesgo de ocurrencia de epifitias en áreas de producción.

A partir, de la problemática anterior, se planteó la siguiente hipótesis.

## **Hipótesis**

El establecimiento de nuevos indicadores de evaluación de la roya parda de la caña de azúcar (*Puccinia melanocephala* Sydow and P. Sydow), la adecuación de la red de ambientes evaluativos y la ampliación de cultivares patrones de resistencia, podría incrementar la eficiencia del sistema evaluativo de la enfermedad en Cuba.

Con la finalidad de demostrar la hipótesis anterior se trazaron los siguientes objetivos:

### **Objetivo general**

- Establecer nuevos indicadores que contribuyan al perfeccionamiento del sistema evaluativo de la resistencia a la roya parda en el Programa de Mejoramiento de la Caña de Azúcar en Cuba.

### **Objetivos específicos**

- Definir en el área foliar la estación de muestreo representativa para la evaluación de la roya parda de la caña de azúcar.
- Determinar los ambientes evaluativos para las pruebas de resistencia a la enfermedad.
- Evaluar y seleccionar cultivares como patrones de resistencia a esta enfermedad.
- Perfeccionar la escala de evaluación de la resistencia mediante la inclusión de variables cuantitativas.

### **Novedad científica**

- Se optimiza en las Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento de la Caña de Azúcar en Cuba la metodología que se utiliza en el Sistema Evaluativo de la Resistencia a la Roya Parda, mediante la incorporación de indicadores contables y tangibles que descartan los errores que se introducen por el evaluador, lo que las hace más eficiente y confiable.
- Constituye el primer informe de una escala de evaluación que incluye el uso de cultivares moderadamente resistentes, moderadamente susceptibles y susceptibles, con una nueva estrategia de manejo de cultivares en producción, lo que favorece la plantación de aquellos con alto potencial agroproductivo en localidades de baja prevalencia de la enfermedad.
- Se propone, para el Programa de Mejoramiento de la Caña de Azúcar en Cuba, una red de ambientes evaluativos que permite definir la reacción de los cultivares intermedios y susceptibles, donde se precisa su máximo potencial de susceptibilidad para la toma de decisiones más efectivas en su posterior manejo.

### **Aplicación práctica**

- Las localidades de evaluación a la roya parda recomendadas en esta investigación, serán utilizadas por el Programa de Mejoramiento de la Caña de Azúcar en Cuba para las pruebas de resistencia a esta enfermedad de

los nuevos progenitores, cultivares foráneos y los obtenidos por el programa de mejora lo que constituye una mejora del sistema evaluativo.

- La incorporación de nuevos patrones de resistencia a la roya parda y la reclasificación de otros, facilitará definir la reacción de los cultivares que se recomiendan por el Programa de Mejoramiento de la Caña de Azúcar en Cuba.
- Se simplifica el procedimiento evaluativo de la roya parda de la caña de azúcar en el Programa de Mejoramiento haciéndolo más eficiente.
- Se establece, con una adecuada estrategia de manejo, en casos excepcionales y con una alta vigilancia fitosanitaria, la posibilidad del uso de cultivares susceptibles que desde el punto de vista agro productivo sean de interés.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Origen y dispersión de la caña de azúcar

La caña de azúcar (*Saccharum* spp.), tiene su origen genético en Nueva Guinea. Pertenece a la Familia de las *Poaceas*, es una planta C4 con alta eficiencia fotosintética (Zermeño-González y col., 2012), la cuota oscila entre 150 y 200 % sobre la media de otras plantas. Es un cultivo duradero y muy autocompatible. Según el cultivar y las condiciones locales, la planta puede formar entre cuatro y 12 tallos y llega a crecer de tres a cinco metros de altura. El contenido de azúcar (sacarosa) oscila entre 11 y 16 % y el de fibra entre 9 y 18 % (Humbert, 1979; Augstburger y col., 2000).

Cuando Alejandro el Grande invadió la India en el año 327 antes de Cristo, sus escribas anotaron que los habitantes masticaban una caña maravillosa que producía una especie de miel sin ninguna ayuda de las abejas (Degering, 1951). La caña de azúcar llegó a Persia y después a Egipto a través de las invasiones árabes y su uso se difundió en Europa con la extensión del cultivo en la región del Mediterráneo a principios del siglo XIII (Humbert, 1979).

De Islas Canarias, en 1493 Cristóbal Colón la llevó al Nuevo Mundo, a La Española (actual República Dominicana) (Deer, 1949; Luke, 1953), posteriormente se diseminó a otras regiones de América.

La introducción de la caña de azúcar en Cuba ha constituido un tema polémico. La fecha documentada más antigua corresponde a la encontrada en los archivos de la Villa de Santa María del Puerto del Príncipe (actual Camagüey). Martín y col.

(1987), sitúan el 13 de mayo de 1516, por el puerto del Guincho (Nuevitas), a bordo de la carabela Avemaría que venía de Santo Domingo por cuenta y riesgo de Pedro Díaz de Tabares, traía aperos de labranza, cabezas de ganado de varios tipos y semillas de caña de azúcar (Pérez y col., 2013).

## **2.2. Importancia de la caña de azúcar**

La caña de azúcar constituye uno de los cultivos más importantes del mundo, responsable del 70 % de la producción total de azúcar. Su capacidad productiva varía, entre las zonas cañeras tropicales y subtropicales, de 40 a 150 t.ha<sup>-1</sup> de caña y de 3,50 a 15 t.ha<sup>-1</sup> de azúcar (Romero y col., 2009).

Esta planta se cultiva en aproximadamente unos 70 países y ocupa alrededor de 13 millones de hectáreas. El 60 % de estas áreas (7.80 millones de hectáreas) se explota en el Continente Americano (35 países), donde se producen como promedio 450 millones de toneladas de caña por año y alrededor de 15 millones de litros de alcohol. Se obtienen, además, unos 50 subproductos con alto valor comercial y se generan más de 2,50 millones de empleos (Jalaja y col., 2008; Barreto y col., 2013; Martín, 2014; Gálvez, 2015). Las cifras ponen de manifiesto la gran importancia económica y social de la industria azucarera y justifican la dedicación de atenciones especiales al cultivo, para lograr altas producciones por unidad de superficie.

En Cuba, no es hasta los años 1844 y 1845 que el cultivo de la caña de azúcar cobra gran impulso, debido al azote de dos huracanes de gran intensidad que arrasaron prácticamente con todas las plantaciones cafetaleras. Desde ese

momento Cuba se convirtió en el principal productor y exportador de azúcar (Castro, 2002).

A pesar de la depresión que en el mercado internacional han experimentado los precios del azúcar, la industria azucarera continuará representando un rubro importante en la economía cubana, no sólo por su contribución al desarrollo agrícola e industrial, sino por su capacidad para crear gran cantidad de empleos, además de la captación de divisas, suplemento calorífico de la dieta alimentaria, producción de alcohol, componentes alimenticios para animales, bebidas gaseosas, levaduras, papel, dulces y reposterías (Varela, 2002).

Dada la caída de los precios del azúcar en el mercado mundial y la pérdida del mercado en los países de Europa del Este, a partir del 2002 se redujeron las áreas cañeras de 1,50 millones a 660 000 ha y se preservaron para caña de azúcar las más productivas, con el fin de aumentar la competitividad de la Industria Azucarera Cubana (MINAZ, 2010). Actualmente se destinan al cultivo 890 933 hectáreas de las cuales se encuentran con caña 677 671,6 ha (INICA, 2016).

La cantidad de azúcar producida por los países que se dedican a la explotación de esta industria ha experimentado fluctuaciones debido a diversos factores, entre los que inciden el ataque de las enfermedades e insectos plagas. El problema de las enfermedades es sin duda el que mayor preocupación le ocasiona al productor, lo que ha influido grandemente en el incremento de las investigaciones que se realizan en este cultivo en los últimos años (Rodríguez y col., 2014).

### 2.3. Enfermedades presentes en caña de azúcar

En la evaluación de las afectaciones económicas provocadas al cultivo por las enfermedades, todos los investigadores y productores azucareros coinciden en que las pérdidas producidas, tanto agrícolas como industriales, son cuantiosas, independientemente del país, la zona o los cultivares que se afecten (Wajid y col., 2013).

Para la caña de azúcar se informan en el mundo 140 enfermedades, se incluye a la roya ceniza en Sudáfrica (*Macruropyxis fulva* (L.A. Martin, S.A. McFarl. and Castl., sp. nov)) (Chinea, 2002; Aday y col., 2010; Rott y col., 2013; Chinea y col., 2014; Pérez y col., 2014; Martin y col., 2015).

Hace 50 años se informaban en Cuba 23 enfermedades en las plantaciones cañeras, en 1977 el número se incrementó a 46 y la cifra aumentó a 54 en 1994. Actualmente se informan unas 59 enfermedades, agrupadas según sus causas de la manera siguiente (Chinea y col., 2014; Rodríguez y col., 2014):

- Bacterias: 6
- Hongos: 36
- Virus: 4
- Fitoplasma: 1
- Plantas parásitas: 1
- Trastornos genéticos: 1.
- Daños mecánicos: 1.
- Trastornos ambientales: 4



- Causas indeterminadas: 5

Todas las plagas constituyen un peligro real o potencial para las plantas cultivadas, muchas de ellas han sido consideradas de poca importancia por no causar daños, otras han incidido rápida e inesperadamente, ocasionando graves pérdidas. Un caso típico de este fenómeno es la enfermedad roya parda de la caña que siempre se consideró como de menor importancia, tal es así que no aparecía en la lista de las enfermedades principales de la caña de azúcar (Martín y col., 1987). Sin embargo, actualmente es una de las más importantes en el área de América y el Caribe (Rodríguez y col., 2005; Alfonso y col., 2006; Chinea y col., 2014).

#### **2.4. Roya parda de la caña de azúcar**

La enfermedad roya parda de la caña de azúcar se informó en Java en 1890 por Krüger y en 1893 en Australia por Cobb. Más tarde, se registró en la India en 1918 sobre especies de *Saccharum*, pero no sobre cañas comerciales en producción (Alfonso y col., 2012). La primera ocasión que se notificó un brote serio en caña de azúcar fue en el año 1950 en Bombay, India (Hughes y col., 1969). Si bien inicialmente se creía que sólo existía *Puccinia kuehnii* (Krüg.) Butl., después se aclaró que *P. erianthi* Padwick y Khan se encontraba en algunas zonas y causaba más daño (Sandoval, 2001).

Se plantea que la entrada del patógeno al Continente Americano se realizó a través de una gran nube de esporas procedentes de África traída por los vientos, aunque no se descarta la posibilidad de que habría sido introducida por otras vías.

A pesar de que se observó por primera vez en República Dominicana, no puede afirmarse categóricamente que fue por este país por donde se presentó la enfermedad en el área.

La detección de grandes zonas atacadas por *Puccinia melanocephala* Sydow & P. Sydow en islas vecinas y países continentales relativamente lejanos como Venezuela y Panamá, hace suponer que entró simultáneamente en toda el área entre mayo y junio de 1978. El hecho de que algunos países la hayan encontrado un año después no significa necesariamente que no la tuvieran, sino simplemente que no la habían detectado (GEPLACEA, 1981).

Se considera a la roya parda de gran importancia económica y de amplia distribución mundial, ya que se registra en muchos países de Asia, África y América, lo que provoca pérdidas considerables en cultivos susceptibles con la consiguiente reposición de estos (Alfonso y col., 2012).

A mediados del año 1978 se informó en el Hemisferio Occidental en República Dominicana (Bernard, 1978; Presley y col., 1978), e incidió fuertemente sobre el cultivar B4362.

La roya parda de la caña de azúcar inicialmente se clasificó como *Puccinia kuehnii* (Krüg.) Butl, debido al poco conocimiento del agente causal. Posteriormente se confirmó como *Puccinia melanocephala* Sydow & P. Sydow (Pollack, 1978).

La enfermedad tomó por sorpresa a los productores cañeros, los cuales no conocían de la susceptibilidad del cultivar B4362, ni de la existencia de factores ambientales propicios para su propagación. Nunca se había presentado una

enfermedad que causara tanto daño en tan corto tiempo, pues entre 1978-80, se propagó en la mayoría de los países americanos (Flores y Osada, 1980).

De las enfermedades que se informan para la caña de azúcar en Cuba, la roya parda se ubica entre las de primer orden, por las pérdidas reales y potenciales que es capaz de ocasionar (Alfonso y col., 2006). Al aparecer la enfermedad sobre B4362 en 1978 la situación fitosanitaria de la industria azucarera se tornó crítica, ya que posteriormente se informó el carbón y Cuba no disponía de un programa de mejora para la resistencia a estas enfermedades (Jorge y col., 2003).

En el año 2015, la distribución de cultivares susceptibles en el área cañera cubana era del 59 %, sin alcanzar esta susceptibilidad el nivel de la B4362 por lo que los niveles de deterioro y pérdidas no fueron elevados (INICA, 2016).

En la Colección de Germoplasma, en condiciones naturales, predominaban los genotipos resistentes, en tanto que eran minoría los individuos intermedios (Chinea, 2002).

En la expresión de la enfermedad influyen la interacción de factores genéticos, fisiológicos (edad de las plantas) y ambientales (temperatura, humedad y otros) (Asnaghi y col., 2001).

#### **2.4.1. Sintomatología**

La enfermedad se caracteriza por la presencia de puntos cloróticos que aumentan en tamaño, principalmente en longitud, y adquieren una coloración púrpura. Las lesiones son de 1-10 mm de longitud y con el tiempo se observan las pústulas por

el envés de las hojas debido a la formación de uredosoros hipófilos sub-epidérmicos, los que rompen el tejido por presión y liberan densas masas de uredosporas de color marrón. Cuando el ataque es severo es posible encontrar un número considerable de lesiones que coalescen para formar áreas necróticas extensas e irregulares, que ocasionan la muerte de las hojas (Alfonso, 1987; Sandoval, 1996).

La necrosis intensa puede llegar a atizar y destruir los brotes de los plantones jóvenes en genotipos susceptibles. Se retarda el crecimiento de las plantas en los primeros seis meses de edad. Puede observarse un color herrumbroso en las hojas por la gran cantidad de pústulas presentes, por lo que se aprecia una apariencia de quemado en los cañaverales. El porcentaje de área foliar cubierta por puntos cloróticos, necróticos y pústulas, varía en dependencia de la resistencia de los cultivares (Koike, 1988; Ovalle, 1997; China y col., 2000; Nagliati, 2004).

#### **2.4.2. Agente causal**

La enfermedad roya parda de la caña de azúcar es causada por un hongo ubicado taxonómicamente en la Clase: *Urediniomycetes*, Orden: *Uredinales*, Familia: *Pucciniaceae*, Género: *Puccinia*, Especie: *Puccinia melanocephala* Sydow. & P. Sydow (Martínez y col., 2007).

Los Uredinales forman un Orden de la subdivisión Basidiomycotina, que comprende a un grupo extenso de individuos productores de las enfermedades conocidas como royas (Zuluaga y col., 2008).

El ciclo biológico de los integrantes de este Orden está formado por micelio, localizado o sistémico; espermogonios subepidérmicos o subcuticulares; ecidios con o sin peridio, ecidiosporas catenuladas o aisladas, de paredes delgadas, ornamentadas, sostenidas por pedicelos (Agrios, 2005).

El micelio de los Uredinales no presenta fíbulas como el de Hymenomycetes y Gasteromycetes, pero sí forma haustorios. Generalmente es intercelular, limitado a hojas y a otras partes del hospedante. Algunas veces es perenne y puede vivir sistémicamente en diferentes partes de la planta. Durante el ciclo de vida de estas especies puede estar ausente una u otra fase del mismo o presentarse todas. Las royas macrocíclicas pueden ser heteróicas y no todas completan su ciclo de vida, ya que algunas persisten indefinidamente por medio del estado uredosórico (Agrios, 2005).

Las especies de roya que atacan a la caña de azúcar presentan uredosporas de color naranja a pardo oscura, de forma ovoide, con tres o cuatro poros germinativos. La pared es hialina y equinulada y el pedicelio es hialino. *P. melanocephala* se distingue de *P. kuehnii* por presentar la primera uredosporas sin engrosamiento apical y por ser más pequeñas y oscuras, además por presentar gran cantidad de paráfisis (Comstock y col., 2008; Rott, 2016).

En la figura 1 se reflejan las estructuras de las uredosporas de la roya parda y naranja. La roya parda corresponde al cultivar altamente susceptible B4362 y la naranja a la Co213.

Las teleutosporas de *P. melanocephala* tienen forma de maza, redondeadas o en algunos casos aplanadas, con célula basal más larga que la apical y una ligera

constricción a nivel de septo. La célula apical es de color castaño con episporio engrosado apicalmente y la basal es más clara; con el pedicelio pardo rojizo. (Virtudazo y col., 2001).

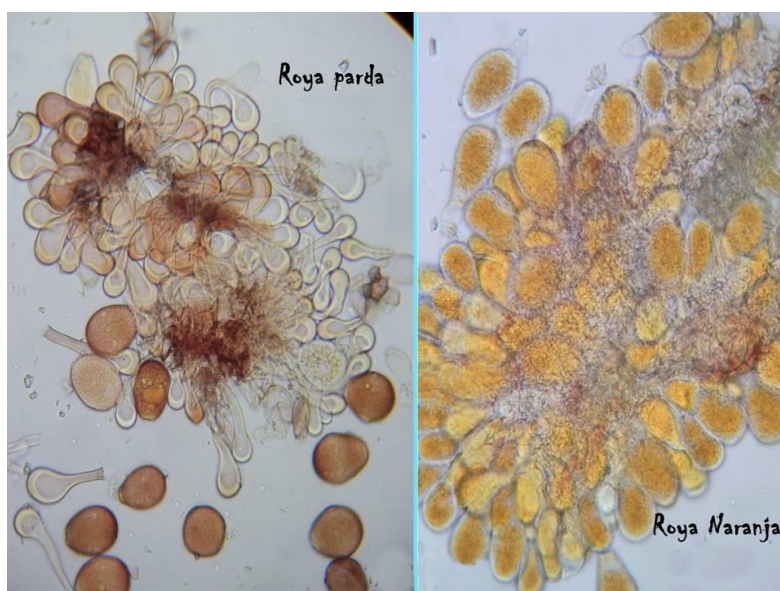


Figura 1. Uredosporas de las especies de roya parda (*P. melanocephala*) y naranja (*P. kuehnii*) tomadas por el autor

#### 2.4.3. Ciclo de vida

Aunque no se conoce el ciclo de vida completo de *P. melanocephala*, si se han apreciado estructuras similares a espermogonios y a ecidios, tanto en el haz como en el envés de las hojas analizadas (Sandoval, 2001).

El ciclo vital de las royas es uno de los más complejos de todo el reino Fungi, ya que producen hasta cinco tipos de fases con esporas diferentes, separados en tiempo y espacio, lo que hace difícil su conocimiento y control. El ciclo completo del hongo (hasta la aparición de las esporas infectivas), dura entre 8 y 18 días, en

dependencia de la susceptibilidad varietal y de las condiciones meteorológicas (Martínez y col., 2007).

Las basidiosporas, eciosporas y uredosporas atacan e infectan a las plantas hospedantes. Las teliosporas solo representan la fase invernante sexual del hongo, las cuales después de haber germinado producen el basidio (promicelio). Este último después de meiosis produce cuatro basidiosporas haploides que después de haber infectado al hospedante, producen un micelio haploide que forma espermogonios (anteriormente conocidos como picnios) que contienen espermacios haploides e hifas receptivas.

Los espermacios funcionan como gametos masculinos que no tienen la capacidad de infectar a las plantas, su función es la de fecundar a las hifas receptivas del tipo de apareamiento compatible y producir posteriormente un micelio y esporas dicarióticas. Este micelio forma ecias que producen eciosporas que después de haber infectado al hospedante forman más micelio dicariótico que a su vez produce uredios. Estos últimos producen uredosporas que también infectan y dan origen a más uredios y uredosporas y cuando el hospedante se aproxima a su madurez telias y teliosporas. De esta manera concluye el ciclo del hongo (Agrios, 2005).

La roya parda se transmite a través de las uredosporas. En el ciclo biológico de *P. melanocephala* se desarrollan las fases uredosporas (II) y teliosporas (III), para las condiciones de Cuba, sobre su hospedante principal, caña de azúcar. Las malezas más comunes de los campos cubanos no son reservorio de *P. melanocephala* para la propagación de la enfermedad (Sandoval, 2001).

Los estadios, (0) espermacio, (I) eciosporas, y (IV) basidiosporas y sus respectivas estructuras que las originan: espermogonios, ecidios, y basidios, no se han detectado sobre el hospedante principal. *Puccinia melanocephala* causa una roya heteroica que completa su ciclo en un hospedante alternativo (Zuluaga y col., 2008). En Cuba este hospedante es aún desconocido.

Las uredosporas de *P. melanocephala* son más pequeñas (28-33 x 17-26  $\mu\text{m}$ ), comparadas con las de *P. kuehnii*, (30-43 x 17-26  $\mu\text{m}$ ) (Purdy y Dean, 1983), pero estas últimas se diferencian de las de *P. melanocephala* en cuanto a su color y forma, ya que son ovales, de color amarillo pálido, con engrosamiento apical y pobre equinulación (Alfonso y col., 2008).

#### **2.4.4. Ciclo de infección**

Las esporas infectivas (uredosporas), de este agente patógeno se forman en los uredosoros dentro de las pústulas que se desarrollan en el envés de las hojas infectadas. En presencia de agua, estas esporas germinan y penetran en las hojas a través de los estomas (Tokeshi y Rago, 2005; Martínez y col., 2007).

La roya parda se favorece por las temperaturas frías (Newton, 2007). La producción de uredosporas continúa por más de 23 días después de la formación de los uredosoros. El número total de uredosporas producidas por pústulas está estimado para *P. melanocephala* en  $1,27 \times 10^4$  a un óptimo de temperatura de 18 °C (Hsieh y Fang, 1983).

La presencia de apresorios en los tubos germinativos puede registrarse sobre los estomas, independientemente del nivel de resistencia o susceptibilidad del



cultivar, lo que demuestra que *P. melanocephala* utiliza esta vía de reconocimiento de superficie para la penetración e infección. Entre cuatro y cinco días el uredosoro permanece cerrado, compuesto por abundantes paráfisis y uredosporas jóvenes de color amarillo claro.

A los seis días, cuando se rompe la pústula, aparecen las uredosporas maduras, color marrón, con menor proporción de uredosporas jóvenes y gran cantidad de paráfisis. El hongo es capaz de colonizar el haz y el envés de las células del mesófilo en un período de dos a cinco días, posterior a la penetración del micelio en la cavidad sub-estomática y por tanto, se logra el asentamiento del soro en dicha cavidad.

Las infecciones de roya parda en caña de azúcar se producen una vez que la lámina foliar esté mojada por la lluvia o el rocío, debido a la característica de la alta humedad relativa del aire en Cuba. Las esporas pueden mantenerse viables en los primeros 40 días entre valores de 60 y 95 % de humedad relativa del aire (Sandoval, 2001).

#### **2.4.5. Propagación**

Las esporas del hongo son transportadas a grandes distancias por la acción del viento, y en menor cantidad por el agua de lluvia o riego. Las plantas en etapa de desarrollo (menores de 90 días de edad), son las que presentan los mayores daños, sobre todo cuando se encuentran en terrenos mal drenados, y donde predominan los nublados, poca luminosidad por las tardes y lluvias intermitentes. La humedad relativa del aire mayor del 80 % y temperatura diurna de 18 a 25 °C

favorecen la multiplicación del hongo y la propagación de la enfermedad (Comstock y Ferreira, 1986). Otros autores encontraron que las esporas de roya parda pueden germinar en un rango de 20 a 32 °C (Sanjel y col., 2016).

Largos períodos fríos acompañados por alta humedad resultan muy favorables para el desarrollo de la enfermedad, la que muestra mayor severidad cuando estas condiciones coinciden con las etapas iniciales de crecimiento del cultivo (Bailey, 1979).

Alfonso (1987), demostró que la infección por roya parda se favorece notablemente con una temperatura media del aire de 24-25 °C. Otro factor que resultó importante fue la humedad relativa del aire, cuyo valor fluctuó entre 79,30 y 83,40 %, se apreció que al aumento de ésta le correspondió un aumento de la intensidad de la infección por la enfermedad. De igual importancia consideró la edad de la planta en el desarrollo de la enfermedad, ya que es evidente que plantas con edades comprendidas entre tres y seis meses manifiestan las mayores afectaciones en comparación con plantaciones superiores a los siete meses.

## **2.5. Principales escalas usadas para evaluar roya parda en caña de azúcar**

Universalmente la evaluación de enfermedades es reconocida como un problema (Esquivel, 1980; Curling, 1989; Chavarría, 2006; Rodríguez y col., 2006). Durante la Mesa Latinoamericana de Enfermedades de la Caña de Azúcar celebrada en La Habana en noviembre de 1986, los 10 miembros representantes de sus respectivos países reclamaron un consenso para unificar criterios en la evaluación

de enfermedades. No obstante, a esta polémica, aún en el año 2016, existen dificultades en los aspectos a tener en cuenta a la hora de definir la reacción de los nuevos cultivares obtenidos mediante el programa de mejora frente a la roya parda.

Un componente fundamental para el uso satisfactorio de las escalas descriptivas de evaluación de enfermedades lo constituye la experiencia del evaluador. Los usuarios deben familiarizarse con el cultivo y las enfermedades que lo afectan, para sensibilizar el sentido de la vista y el de la ubicación de la planta en el espacio, con el fin de poder estimar con suficiente precisión ese vínculo y definir con un criterio valedero, la categoría en que se encuentra la planta en relación a la enfermedad que se diagnostica (Rodríguez y col., 2007).

Se han establecido diferentes métodos y escalas para la evaluación de la severidad de los síntomas de roya parda en condiciones de infección natural, que diferencian las pústulas por su tamaño (pequeñas, medianas o grandes) y por la frecuencia de aparición de las mismas (Walker, 1987; Egan, 1989). Muchas de las escalas usadas en estudios de resistencia a la roya parda se basan en los grados dados por el tipo y tamaño de las lesiones (Alfonso y González, 1984; Cornide y col., 1997), o en el porcentaje de tejido afectado (Ordosgoitti y col., 1987; Chavarria, 2006).

A partir de la aparición de la roya parda en Cuba, se inició un amplio programa de evaluación de los cultivares existentes en áreas experimentales y de producción ante la enfermedad en diferentes regiones del país, para lo que se elaboraron

escalas y métodos de evaluación en condiciones de campo y laboratorio (Alfonso, 1987; Rodríguez y col., 2007).

El avance de las investigaciones y los resultados obtenidos de la epifitiología y transmisión de la resistencia, el incremento en los planes de cruzamientos de progenitores resistentes, y la aplicación del Sistema Evaluativo de Resistencia a Roya Parda, permitieron establecer procedimientos para evaluar la respuesta de los genotipos en diferentes etapas del Programa de Mejoramiento de la Caña de Azúcar en Cuba (INICA, 2011).

Todo esto permitió reducir, de forma notable, la presencia de ataques intensos de esta enfermedad en las áreas cañeras. Sin embargo, las escalas propuestas en el Esquema de Mejoramiento requieren de cambios, en aras de incrementar la eficiencia en la selección de los cultivares resistentes y otras categorías, de manera que posibiliten un manejo más adecuado a las circunstancias actuales y a corto plazo.

El Sistema actual de evaluación de la resistencia de los cultivares ante la roya parda, considera la reacción y el grado de afectación del hospedante a partir del área foliar afectada (INICA, 2011). El método de medir ésta para determinar la severidad del ataque es empleado internacionalmente (Sandoval, 1996), en diferentes cultivos, sin embargo, precisarlo en caña de azúcar por observación visual resulta en ocasiones complicado y a veces inexacto, atribuible a las características fenológicas del cultivo, el número de puntos de prueba de evaluación de la resistencia de los cultivares, así como la cantidad de evaluadores que en las mismas intervienen (INICA, 2011).

En estudios realizados por Rodríguez y col. (2007), relacionados con las escalas más utilizadas para evaluar la roya parda de la caña de azúcar, se pudo constatar que utilizan aspectos cualitativos y los términos “bastante” y “a groso modo”, que las hacen incuestionablemente imprecisas, pues las lesiones son tratadas de forma discreta (pequeña, medianas o grandes; pocas o muchas, presentes o no; separadas o unidas; pobres o muy desarrolladas y en todas las hojas o parte de ellas (Esquivel y Narváez, 1979; Liu, 1981; Alfonso y González, 1981).

### **2.5.1. Aspectos principales de las escalas cualitativas para la evaluación de la roya parda de la caña de azúcar**

Desde la aparición de la roya parda en Cuba se confeccionaron y aplicaron diversas escalas para la evaluación de la enfermedad las cuales evolucionaron a partir de la interacción del agente causal y el ambiente (Alfonso y González, 1981). En la tabla 1 se muestran las principales escalas cualitativas para evaluar la enfermedad. Puede apreciarse la ausencia de indicadores cuantitativos, sólo se refieren a aspectos apreciativos, que dependen del observador.

Tabla1. Escalas cualitativas para evaluar la roya parda de la caña de azúcar

<b>ESCALAS</b>	<b>Aspectos principales reflejados en las escalas</b>
Stakman y Harrar (1957)	Existencia o no de pústulas, denominadas como pequeñas medianas, grandes, separadas o unidas
Srinivasan y Muthaiyan (1965)	Puntos cloróticos necróticos, pústulas pequeñas, medianas o grandes
Scarletl (1979)	Puntos o manchas cloróticas pequeñas, pocas pústulas o no; pobre o muy desarrolladas, necrosis y muerte de hojas inferiores
Esquivel y Narváez (1979)	Ausencia o presencia de manchas y pústulas en todas las hojas, en las hojas medias en las viejas o inferiores
Liu (1981)	Pocas lesiones, unión de lesiones, lesiones grandes, presencia de pústulas, Secamiento, marchitez y quemado de las hojas más viejas
Alfonso y González (1981)	Puntos, manchas cloróticas y pústulas presentes o no, abundantes o no. En hojas jóvenes, medias o viejas
Chavarría (2006)	Manchas cloróticas, necróticas o pústulas en hojas jóvenes, medias o viejas

En el caso de las escalas cubanas elaboradas por Alfonso y González (1979, 1981) (Tabla 2), toman como base la descripción de síntomas y signos de forma cualitativa, lo que trae como consecuencia que algunas de las lesiones a las que se hace referencia, no sean exactamente de roya parda y muy bien podrían pertenecer a otra enfermedad.

Tabla 2. Escalas cualitativas para evaluar la roya parda en Cuba

Grado	Reacción	Escala de evaluación	
		Alfonso y González (1979)	Alfonso y González (1981)
0	I Inmune	Libre de Infección	No hay evidencias macroscópica de infección
1	AR Altamente Resistente	Pequeñas manchas cloróticas, abundantes o escasas en todas las hojas	Pequeñas manchas cloróticas abundantes o ligeramente abundantes. Síntomas parecidos a la peca amarilla (en cualquier hoja)
2	R Resistente	Manchas cloróticas, necróticas y algunas pústulas en las hojas viejas	Mancha cloróticas y necróticas. Síntomas parecidos al inicio de la enfermedad Raya Café, pero con pequeñas protuberancias en el envés de las hojas viejas
3	MR Moderadamente Resistente	Manchas cloróticas, necróticas y pústulas en las hojas medias y viejas	Se observan manchas cloróticas y necróticas con el centro carmelita, abundancia de pústulas en las hojas viejas
4	S Susceptible	Manchas cloróticas, necróticas y pústulas en hojas jóvenes, medias e inferiores	Manchas cloróticas y necróticas de color pardo oscuro, de gran tamaño, con abundantes pústulas en las hojas viejas y presencia de pústulas en las hojas

Rodríguez y col. (2007), emplearon una escala que considera el área foliar afectada con pústulas en dos cm<sup>2</sup> del tercio medio de la hoja. Estos autores aplicaron la ley de Weber y Fechmer (Zadoks y Schein, 1979). Estos mismos autores encontraron correlación entre las afectaciones por roya en los dos cm<sup>2</sup> y toda el área foliar, lo que aumentó la precisión de las observaciones.

### **2.5.2. Escalas cuantitativas**

En las escalas, donde la variable cuantitativa es el porcentaje de lesiones en el área foliar (Tabla 3), puede notarse que estos valores varían de acuerdo con el criterio del autor, de manera que, por ejemplo: el cultivar que para Ordosgoitti, y col. (1987), es moderadamente resistente, es susceptible para GEPLACEA (1981) y lo mismo se aprecia con la de Liu (1980), Sandoval y col. (1981), Cornide y col. (1997) y Alvarado (1989).

A lo anterior debe añadirse la indudable coincidencia de que, en los porcentajes expresados en estas escalas, no se refieren únicamente a las pústulas, por lo cual estas cifras admiten clorosis y necrosis, lesiones provocadas por roya, pero también por otras enfermedades en sus fases iniciales, tales como, mancha de ojo, mancha amarilla, raya café, mancha anular y algunas deficiencias nutricionales, entre otros síntomas, teniendo en cuenta que las observaciones visuales tienen el gran inconveniente de la imprecisión.

Por otra parte, algunas escalas de evaluación de la roya parda admiten la presencia de pústulas en la categoría de resistente (Stakman y Harrar, 1957; Esquivel y Narváez, 1979; Alfonso y González, 1979; Liu, 1980; GEPLACEA, 1981;

Ordosgoitti y col.,1987), mientras no la admiten otras sino a partir de la categoría MR (Srinivasan y Muthaiyan,1965; Scarletl,1979; Purdy y Dean,1983; Liu, 1981; Alvarado, 1989; Cornide y col., 1990).

Tabla 3. Escalas de evaluación de la roya parda según el porcentaje de área foliar afectada

Escalas	Porcentaje de área foliar afectada					
	AR	R	MR	MS	S	AS
Liu (1980)	0-15	-	20-25	30-35	-	-
GEPLACEA (1981)	0-5	5-10	10-20	-	20-75	-
Sandoval y col. (1981)	5	10	25	50	75	+75
Ordosgoitti y col. (1987)		1-5	6-15	-	16-35	+ 35
Alvarado (1989)	0	10-15	20-25	-	30-35	70-75
Cornide y col. (1997)	1	5	10	15	25	50
Chavarría (2006)		1-5	6-15		16-30	+ 30

Leyenda: AR: Altamente resistente MS: Moderadamente susceptible  
 R: Resistente S: Susceptible  
 MR: Moderadamente resistente AS: Altamente susceptible

Para el caso de la escala que se basa en la reacción hospedante- patógeno, la misma tiene en cuenta el largo de las pústulas para las evaluaciones de la resistencia de los cultivares frente a la roya parda (Alfonso y González, 1984).

## 2.6. Aspectos metodológicos relacionados con la evaluación de roya parda en el Programa de Mejora de la Caña de Azúcar en Cuba

Por la importancia de la enfermedad y sus características, se considera a la evaluación de la roya parda como un criterio primario de selección, por lo que la



discriminación de los individuos susceptibles debe iniciarse desde las primeras etapas.

En la metodología actual se utiliza la escala de Alfonso y González (1981) la que está constituida por solo cinco grados y descarta todo material que presenta pústulas por encima de 5 mm (grado 4, categoría susceptible) sin tener en cuenta el porcentaje de área ocupada por las mismas en el tejido foliar de la planta. Esto en ocasiones resulta drástico al perder material con un alto potencial agro productivo que podría ser manejado en un entorno fitosanitario compuesto por cultivares resistentes y zonas de baja prevalencia de la enfermedad.

Además, esta escala cuenta con al menos un patrón de resistencia para cada grado de la escala, pero por las limitantes planteadas anteriormente se considera necesario realizar adecuaciones que permitan un mejor manejo de los cultivares. Un ejemplo de esto es, que en el grado 4 y por ende en la región de rechazo, se encuentran los cultivares Ja60-5 y My5514, que realmente no presentan el mismo grado de deterioro. Sin embargo, la My5514 se cultiva aún en producción y la Ja60-5 está proscripta.

Por otra parte, se utilizan para la realización de pruebas de resistencia diez localidades (Quivicán, Jovellanos, Ranchuelo, Espartaco, Guayos, Ciro Redondo, Florida, Majibacoa, Guaro y Palma Soriano) que abarcan la mayoría de las zonas edafoclimáticas del país, y eran las localidades donde se realizaba selección, aunque se desconoce si son las más representativas para evaluar roya parda.

De igual manera se utilizan un excesivo número de evaluaciones fitopatológicas (a los tres, cuatro, cinco, seis y nueve meses de edad) lo cual es un trabajo muy engorroso e innecesario, basado en la literatura internacional y la experiencia acumulada de investigaciones realizadas desde que la roya parda se informó en Cuba lo que resultaría un considerable ahorro de recursos materiales y humanos (Tarazona, 2011; Arellano y col., 2011).

## **2.7. Control de la enfermedad**

Aunque se han utilizado productos químicos para el control de la enfermedad (Chavarría, 2006; Funes y col., 2015; Hoy y Kenneth, 2015; Rott y col., 2016), esta actividad resulta poco sostenible desde el punto de vista agroecológico y no ha estado históricamente considerado en las estrategias de desarrollo del cultivo en Cuba. Otra medida de lucha lo constituye la variación en la época de plantación (Rott, 2016a). El uso de cultivares resistentes constituye una de las medidas de control más eficiente para la roya parda, si se tiene en cuenta que la resistencia a esta enfermedad se considera heredable cuantitativamente (Chu y col., 1982; Alfonso y col., 2012; Xiao y col., 2013; Glaz y col., 2014; Zhao y col., 2015; Ángel y col., 2016; Hoy y col., 2016).

En los últimos años se han encontrado dos marcadores moleculares muy relacionado con la resistencia a la roya parda (Bru1 y Bru2), que se encuentran asociado con más del 80 % de los cultivares resistentes (Costet y col., 2012; Glynn y col., 2013; Comstock y col., 2015). Otros autores resaltan la presencia del marcador relacionado estrechamente con un fenotipo resistente, aunque su

ausencia no necesariamente corresponde a un fenotipo susceptible (Molina y col., 2013). Los progresos en los programas de mejora para la resistencia a la roya parda se deben mayormente a la heredabilidad de este carácter.

La resistencia estable, ante cualquier enfermedad en las plantas hospedantes puede ser evaluada en términos del número de años que estas mantengan el nivel original de resistencia, y su eficacia contra un amplio número de cepas diferentes del patógeno (Van der Plank, 1971).

Para identificar cultivares con resistencia estable es necesario exponerlos a ensayos repetidos en diferentes condiciones ambientales, en estudios multiambientales durante el mismo año o en la misma localidad por varios años (Nayak y col., 2008).

Leonard y Moll (1979) propusieron el empleo del modelo de análisis de estabilidad clásico de Eberhart y Russell (1966), para la determinación de la estabilidad de la resistencia o patogenicidad. Ellos consideraron cada cepa patógena como un ambiente separado a la cual se exponen los genotipos hospedantes y recíprocamente cada genotipo como un ambiente separado para cada una de las cepas patógenas.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

Las investigaciones se llevaron a cabo en la red de Estaciones Experimentales del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar.

#### **3.1. Definición en el área foliar de la estación de muestreo representativa para la evaluación de la enfermedad**

En la Estación de Guaro en septiembre del 2004, se plantó un experimento para determinar el área foliar de la planta a evaluar y las variables cuantitativas a incorporar en la escala.

En el ensayo se concibió un foco de infección de roya parda aportado por el cultivar altamente susceptible B4362 y se estudió durante las cepas de planta y primer retoño. Se plantaron los cultivares: PR980 (AR), My5514 (S), Ja60-5 (S), C334-64 (MR), C323-68 (S) y B4362 (AS).

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con tres réplicas. Cada cultivar contó con un área de 9,60 m<sup>2</sup> (seis metros de longitud y 1,60 de ancho). Cada dos cultivares y como borde de los experimentos se plantó B4362 para incrementar y homogenizar la presión de inóculo (INICA, 2011).

##### **3.1.1. Determinación del área foliar de la planta donde debe evaluarse la roya parda de la caña de azúcar**

Los chequeos se realizaron a las edades de tres y cinco meses, en los tercios inferior, medio y superior de las hojas +1, +3 y +5 [primera, tercera y quinta hoja con cuello visible según notación de Kuijper (Dillewijn, 1952)] de 10 tallos tomados al azar por réplica.

Las variables analizadas fueron área foliar afectada total de la hoja y en cada tercio de la hoja, por apreciación visual.

Se seleccionaron varias estaciones de muestreo conformadas por 2, 4, 6 y 8 cm<sup>2</sup> en cada tercio y hoja a evaluar, dirigida a la presencia de pústulas, se evaluaron en mm, las variables: largo y ancho de la pústula mayor y de la más frecuente (moda) y cantidad de pústulas. Se determinó el área de la pústula mayor y más frecuente mediante la multiplicación de largo por ancho, así como el porcentaje de área ocupada por pústulas por cada cm<sup>2</sup>.

Los datos obtenidos se analizaron según modelo de efectos mixtos a través de análisis de varianza de clasificación triple, tomando como fuente de variación las hojas, los tercios de estas (efectos fijos) y las estaciones de muestreo (efecto aleatorio).

Se utilizó la prueba Tukey ( $p \leq 0,05$ ;  $p \leq 0,01$  y  $p \leq 0,001$ ) para detectar las posibles diferencias entre las hojas y tercios y de ellas brindaba la mejor respuesta de la sintomatología. Además, se empleó la matriz de correlación de Pearson para definir las correlaciones de mayor fortaleza entre las variables cuantitativas de los tercios y la lámina foliar.

Los datos originales de las variables analizadas estadísticamente, fueron comprobados respecto a la normalidad y homogeneidad de varianza, mediante pruebas de Chi cuadrado y Bartlett-Box F. Los datos de porcentaje se transformaron según el seno inverso para su posterior procesamiento y el LPM según corrección de Yates (Lerch, 1977). Se utilizaron los paquetes estadísticos

IBM SPSS Statistical 21 (Copyright IBM y col., 2012) y Statgraphics plus versión 5,1. (Copyright, 2000).

### **3.1.2. Definición de la ecuación para el cálculo del área ocupada por pústulas por cm<sup>2</sup> de la hoja**

Con la finalidad de analizar la distribución de las distintas variables en la lámina foliar se determinó el índice de agregación utilizando para ello la expresión varianza/media.

Para determinar la constante en el ancho de las pústulas, se analizaron, de esta variable (epígrafe 3.1.1) 1 080 valores, mediante intervalos de confianza para cada tercio de hoja que se evaluó. De igual manera se realizó para la hoja y se definió el coeficiente a incluir en la expresión matemática.

### **3.2. Determinación de los ambientes evaluativos para las pruebas de resistencia a la roya parda de la caña de azúcar**

Se plantó un experimento, el cual se replicó en seis Estaciones Experimentales ubicadas en las localidades, provincias y suelos siguientes: Quivicán (Mayabeque, Ferralítico Rojo Típico), Jovellanos (Matanzas, Ferralítico Rojo Típico), Ranchuelo (Villa Clara, Pardo Gleyzoso Carbonatado), Florida (Camagüey, Pardo Mullido Carbonatado), Guaro (Holguín, Oscuro Plástico Gleysoso) y Palma Soriano (Santiago de Cuba, Pardo Mullido Carbonatado) (Hernández y col., 1999).

En la tabla 4 se muestran las coordenadas geos referenciales de cada una de las Estaciones Experimentales correspondientes a cada provincia en las cuales se llevaron a efecto los experimentos.

Las localidades que se mencionan representan diferentes condiciones edafoclimáticas del país y constituyen centros de prueba de resistencia para la roya parda en el Programa de Obtención de Variedades Comerciales de la Caña de Azúcar en Cuba.

Tabla 4. Coordenadas geo referenciales de las Estaciones Experimentales

<b>Estación Experimental</b>	<b>Coordenada N</b>	<b>Coordenada W</b>
Mayabeque	22° 47' 12''	82° 23' 13''
Matanzas	22° 47' 53''	81° 08' 33''
Villa Clara	22° 24' 36''	80° 10' 06''
Camagüey	21° 31' 09''	78° 15' 03''
Holguín	20° 40' 20''	75° 46' 59''
Santiago de Cuba	20° 13' 52''	76° 00' 50''

Estos experimentos se concibieron en septiembre del 2007, con la finalidad de realizar nuevos ajustes a la metodología actual de evaluación a la roya parda.

En todos estos ensayos se concibió un foco de infección de roya parda aportado por el cultivar altamente susceptible B4362 y se estudiaron durante las cepas de planta y primer retoño.

Se plantaron 11 cultivares utilizados actualmente en explotación comercial, seleccionados por su importancia para la producción y tener reacción diferente ante la enfermedad, los que representaban en diciembre 2015 el 46,30 % del área cañera nacional (INICA, 2016). Los cultivares seleccionados fueron: C1051-73, C132-81, C266-70, C323-68, C86-12, C86-503, C86-56, Co997, C88-380, C90-530 y SP70-1284. Además, se emplearon PR980 (AR), Ja64-11 (R) C334-64

(MR), Ja60-5 (S), My55I4 (S) y B4362 (AS), como patrones de resistencia a la enfermedad para los ensayos en foco de infección (INICA, 2011).

Las variables meteorológicas durante el periodo 2007-2009 en las distintas localidades se presentan en el Anexo 1. Puede apreciarse de manera mensual como se expresaron las variables precipitaciones, humedad relativa, temperatura mínima, media y máxima, las que se consideran dentro de los parámetros normales para las condiciones de Cuba (Planos y col., 2013).

Los experimentos se plantaron siguiendo el mismo diseño experimental descrito en el epígrafe 3.1

Las evaluaciones se realizaron sobre las hojas +1, +3 y +5 durante las edades de tres, cuatro, cinco, seis y nueve meses del cultivo. Se tomaron en cada réplica 2 cm<sup>2</sup> del tercio medio de cada hoja de 10 tallos. Se utilizó para ello una lupa graduada a 2 cm<sup>2</sup> (Sordi y col., 1988; Rodríguez y col., 2007; Tamayo, 2010 y Tamayo y col., 2012a). Se tuvo en cuenta la cantidad de pústulas (CPUST), largo de la pústula más frecuente (LPUST), largo de la pústula mayor (LPM) y porcentaje de área ocupada por pústulas en los 2 cm<sup>2</sup> (PAOPUST).

### **3.2.1. Efecto de la interacción genotipo x ambiente**

Para confirmar la presencia de la interacción genotipo x ambiente en los estudios replicados, se realizó un análisis de varianza de clasificación doble aportado por 17 genotipos y los 90 ambientes conformados por seis localidades, cinco evaluaciones y tres hojas, según un modelo de efectos aleatorios.



Se descompuso la varianza para las variables largo de la pústula más frecuente, largo de la pústula mayor, cantidad de pústulas y área ocupada por pústulas por  $\text{cm}^2$ , determinando así el peso de cada factor en la variación fenotípica total.

### 3.2.2. Manifestación de las variables estudiadas ante las diferentes fuentes de variación

Para todos los experimentos, se realizaron análisis de varianza de clasificación triple, donde se analizaron los factores cultivares, localidad, momento de evaluación y la hoja evaluada en dos trifactoriales (genotipo, localidad y evaluación) y (genotipo, localidad y hoja), de acuerdo al modelo de efecto mixto de Cochran y Cox (1965).

#### Modelo genotipo x localidad x evaluación

$$Y_{ijkl} = \mu + G_i + L_j + E_k + (GL)_{ij} + (GE)_{ik} + (LE)_{jk} + (GLE)_{ijk} + e_{ijkl}$$

Donde:  $Y_{ijkl}$ . Es la observación l, en la evaluación k, en la localidad j, del genotipo i

$\mu$ . Media general

$G_i$ . Efecto del i-ésimo genotipo

$L_j$ . Efecto de la j-ésima localidad

$E_k$ . Efecto de la k-ésima evaluación

$(GL)_{ij}$ . Efecto del i-ésimo genotipo en la j-ésima localidad

$(GE)_{ik}$ . Efecto del i-ésimo genotipo en la k-ésima evaluación

$(LE)_{jk}$ . Efecto de la j-ésima localidad en la k-ésima evaluación

$(GLE)_{ijk}$ . Efecto del i-ésimo genotipo en la la j-ésima localidad de la k-ésima evaluación

$e_{ijkl}$ . Error asociado a la l-ésima observación de j-ésima localidad del i-ésimo genotipo de la k-ésima evaluación

#### Modelo genotipo x localidad x hoja

$$Y_{ijkl} = \mu + G_i + L_j + H_k + (GL)_{ij} + (GH)_{ik} + (LH)_{jk} + (GLH)_{ijk} + e_{ijkl}$$

Donde:  $Y_{ijkl}$ . La observación  $l$ , en la hoja  $k$ , en la localidad  $j$ , del genotipo  $i$

$\mu$ .	Media general
$G_i$ .	Efecto del $i$ -ésimo genotipo
$L_j$ .	Efecto de la $j$ -ésima localidad
$H_k$	Efecto de la $k$ -ésima hoja
$(GL)_{ij}$ .	Efecto del $i$ -ésimo genotipo en la $j$ -ésima localidad
$(GH)_{ik}$ .	Efecto del $i$ -ésimo genotipo en la $k$ -ésima hoja
$(LH)_{jk}$ .	Efecto de la $j$ -ésima localidad en la $k$ -ésima hoja
$(GLH)_{ijk}$ .	Efecto del $i$ -ésimo genotipo en la $j$ -ésima localidad de la $k$ -ésima hoja
$e_{ijkl}$ .	Error asociado a la $l$ -ésima observación de la $j$ -ésima localidad del $i$ -ésimo genotipo de la $k$ -ésima hoja

### 3.2.3. Análisis de las localidades de estudio

Con las variables meteorológicas tomadas durante el período de estudio (septiembre 2007 – diciembre 2009) en las localidades donde se desarrollaron los seis experimentos en el foco de infección natural de roya parda (Anexo 1) y los resultados obtenidos de las evaluaciones experimentales (CPUST, LPUST, LPM y PAOPUST) se realizaron análisis de componentes principales y análisis factorial discriminante, utilizando la distancia de Mahalanobis con el propósito de definir donde se caracterizaba mejor la reacción de resistencia de los cultivares.

Con el promedio de 10 años de las variables meteorológicas (precipitaciones, humedad relativa del aire, temperatura máxima, mínima y media), de las localidades donde se plantaron los estudios se realizó una caracterización de los ambientes meteorológicos con la finalidad de detectar similitudes o diferencias entre las mismas.

#### **3.2.4. Definición de las edades optimas de la planta para evaluar la enfermedad**

Se utilizó la prueba de Tukey ( $p \leq 0,01$ ) de comparación múltiple de medias para determinar diferencias de respuesta entre momentos de evaluación.

Además, se empleó el análisis factorial discriminante para determinar la importancia y las edades óptimas de evaluación y la correlación de Pearson para verificar la factibilidad y correspondencia del número de evaluaciones de la nueva propuesta con las que se realizan en las metodologías actuales.

#### **3.2.5. Análisis de la enfermedad en hojas de diferentes edades**

Se utilizó la prueba de Tukey ( $p \leq 0,01$ ) de comparación múltiple de medias para determinar diferencias de respuesta entre hojas de diferentes edades.

### **3.3. Evaluación de cultivares y patrones**

#### **3.3.1. Manifestación de las variables analizadas en los diferentes cultivares**

Los datos obtenidos para cada cultivar en los experimentos descritos en el epígrafe 3.2., en las evaluaciones de campo para las variables cantidad de pústulas (CPUST), largo de la pústula más frecuente (LPUST), largo de la pústula mayor (LPM) y porcentaje de área ocupada por pústula (PAOPUST) se procesaron mediante análisis de varianza y prueba Tukey ( $p \leq 0,01$ ), con la finalidad de clasificar cada individuo, según su afectación en los distintos grados de resistencia.

### **3.3.2. Evaluación de los patrones de resistencia**

#### **3.3.2.1. Reacción y estabilidad de los patrones**

Se usaron las variables LPM y PAOPUST en los cultivares patrones establecidos, para verificar la estabilidad de los mismos mediante el uso de los Modelos de Efectos Principales Aditivos e Interacción Multiplicativa (AMMI<sub>1</sub>) (Gauch y Zobel, 1996)

#### **3.3.2.2. Evaluación de patrones de resistencia ante la enfermedad**

Para definir la reacción de los cultivares y patrones, se aplicó el modelo AMMI<sub>1</sub> (Gauch y Zobel, 1996) con las variables PAOPUST y LPM, así como el análisis de conglomerados con todas las variables estudiadas, según el método del vecino más cercano y la distancia Euclidiana. Los clusters se realizaron según las opciones del Statgraphpc, se utilizó el máximo agrupamiento de los cultivares a partir de las medias generales de cada cultivar para todas las variables en ambas cepas. Los nuevos cultivares patrones se definieron mediante la comparación de los grupos formados por el Análisis de Conglomerados y AMMI y los cultivares patrones de resistencia establecidos en las Normas Metodológicas (INICA, 2011).

### **3.4. Desarrollo de una escala de evaluación de la resistencia mediante el uso de variables cuantitativas**

#### **3.4.1. Correlación existente entre las variables analizadas**

A partir de los datos aportados por los experimentos que se describen en el epígrafe 3.2 y con la finalidad de comprobar la correlación existente entre las

variables cuantitativas y definir cual tomar en consideración para la evaluación de la enfermedad se utilizó la matriz de correlación de Pearson.

#### **3.4.2. Propuesta de modificación de la escala de evaluación de la enfermedad**

A los grupos aportados por el dendrograma de los cultivares (epígrafe 3.2.2.2), se le realizó un análisis de varianza de clasificación simple y pruebas de Tukey ( $p \leq 0,01$ ) para las variables CPUT, LPUT, LPM y PAOPUT. Se estableció un intervalo, con los valores máximos de estas para cada patrón. Esto permitió establecer una propuesta de rangos de reacción frente a la enfermedad, que contribuyen a realizar nuevos ajustes a la escala actual con la utilización de variables cuantitativas y tangibles, confeccionándose una escala basada en los resultados obtenidos.

#### **3.4.3. Propuesta de modificación de la Metodología de evaluación de roya parda en el Programa de Mejora de la Caña de Azúcar en Cuba**

Se integraron los resultados y se realizó la propuesta de modificación a la metodología de evaluación de la roya parda de la caña de azúcar en Cuba.

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Definición en el área foliar de la estación de muestreo representativa para la evaluación de la enfermedad**

#### **4.1.1. Determinación del área foliar de la planta donde debe evaluarse la roya parda de la caña de azúcar**

El análisis de varianza aportó diferencias significativas para las fuentes de variación hoja y tercios, así como para la interacción de primer orden hoja x tercio para las variables área foliar afectada, largo, ancho y área de la pústula mayor y más frecuente, así como el porcentaje de área foliar ocupada por pústulas. No se detectaron diferencias entre las estaciones de muestreo ni en las interacciones de primer y segundo orden donde interviene esta fuente de variación, lo que denota que la expresión de los síntomas por unidad de área ( $\text{cm}^2$ ) puede ser tomada en una estación de muestreo pequeña, siempre y cuando las evaluaciones se dirijan a la manifestación de los síntomas típicos de la enfermedad roya parda de la caña de azúcar. Con una estación de solo  $2 \text{ cm}^2$  se obtendría la misma información que al utilizar una mayor ( $8 \text{ cm}^2$ ) y se ahorraría tiempo al disminuir el área de muestreo (Tabla 5).

Sordi y col. (1988), realizaron muestreos en  $100 \text{ cm}^2$  de la hoja, a partir de la mitad apical, y comprobaron que, a pesar de ser una forma poco práctica, pues no podría efectuarse en el campo y demandaría un tiempo y esfuerzos grandes. El conteo del número de pústulas es una forma concreta de evaluación donde se

elimina el factor personal por el número aritmético (cuantitativo) claro e incuestionable.

Rodríguez y col. (2007), plantean que este tipo de evaluación cuantitativa es perfectamente factible en el campo, siempre y cuando se aplique para una pequeña área. Al disminuir la estación de muestreo para la evaluación se resuelve una de las problemáticas de las metodologías actuales de evaluación de la roya parda de la caña de azúcar en Cuba.

Tabla 5. Resultados del análisis de varianza para las variables área foliar afectada (AFA), ancho de la pústula mayor (APM), ancho de la pústula más frecuente (APMF) y porcentaje de área ocupada por pústulas (PAOPUST).

F. Variación	gl	Variables analizadas							
		AFA		APM		APMF		PAOPUST	
		CM	Sig.	CM	Sig.	CM	Sig.	CM	Sig.
Hoja	2	148 358,63	***	4,83	*	2,13	*	7 826,21	***
Tercio	2	150 786,06	***	6,11	*	1,73	*	18 695,78	***
Estación	3	337,81	NS	0,21	NS	0,21	NS	17,82	NS
Hoja x tercio	4	204,43	*	0,27	*	0,64	*	116,87	*
Hoja x estación	6	18,76	NS	0,13	NS	0,12	NS	0,99	NS
Tercio x estación	6	10,99	NS	0,10	NS	0,10	NS	0,58	NS
Hoja x tercio x estación	12	7,96	NS	0,06	NS	0,05	NS	0,42	NS
Error	4284	530,06		0,11		0,09		267,46	
Total	4320								
<b>S<math>\bar{x}</math></b>		2,10		0,03		0,03		1,49	

NS No diferencia significativa \* Significación  $p \leq 0.05$  \*\*\* significación  $p \leq 0.001$

Leyenda: AFA: Área foliar afectada; APM: Ancho de la pústula mayor; APMF: Ancho de la pústula más frecuente; PAOPUST: Porcentaje de área ocupada por pústulas; CM: Cuadrado medio

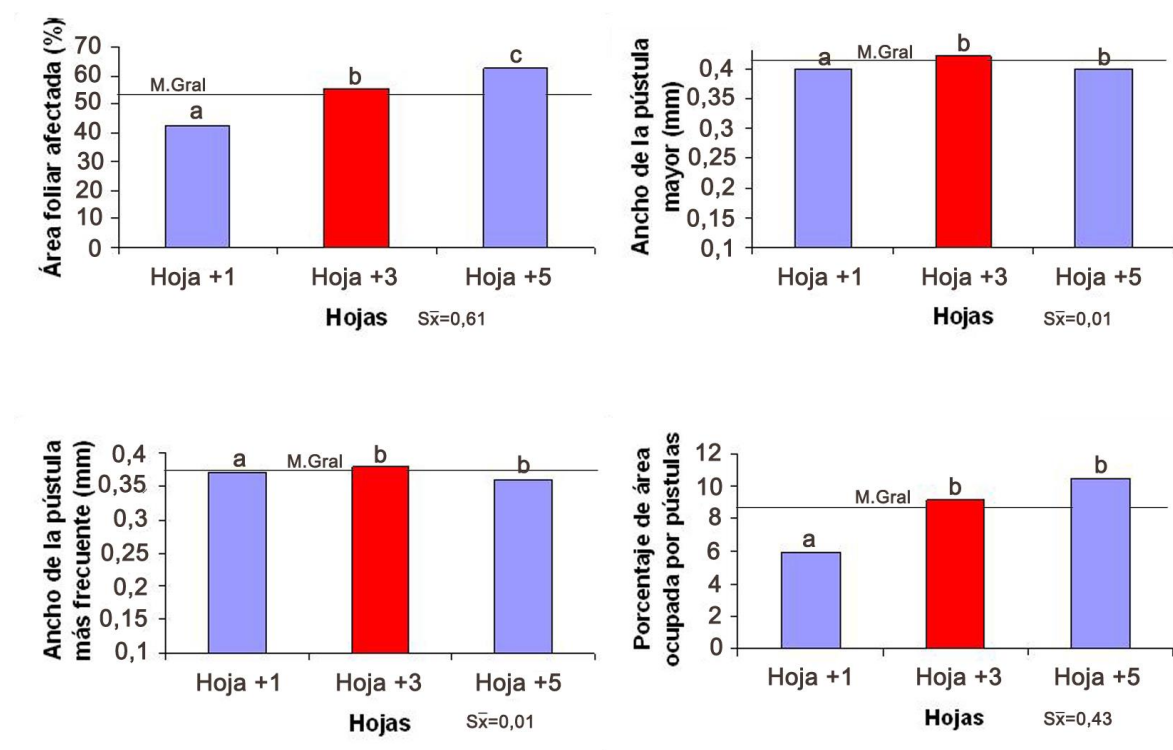
Los resultados relacionados con el área foliar afectada, el ancho de la pústula mayor y la más frecuente, así como el porcentaje de área ocupada por pústulas se muestran en la Figura 2.

La manifestación de la enfermedad mostró las mayores afectaciones en la hoja +5, lo que puede estar propiciado por reinfecciones ocurridas sobre la misma por estar un mayor tiempo expuesta a la presencia del patógeno. La hoja +3 representó la afectación media de la enfermedad en las plantas, lo que coincide con lo observado por Durán (1986) y Tokeshi (1986).

Con el uso de las hojas +5 y +1 en las evaluaciones de la sintomatología se corre el riesgo de sobreestimar o subestimar la reacción de los cultivares, mientras que la +3 brinda una información en consecuencia con la media general de la infección observada en las hojas evaluadas, por otra parte, se debe tener en cuenta que es una hoja con plena actividad fisiológica.

El sitio de la planta donde debían hacerse las evaluaciones de roya ha sido un aspecto muy discutido y así algunos consideran apropiada la hoja +1 (TVD), primer dewlap visible, por sus siglas en inglés (Purdy y Dean, 1983), o la hoja 0 como Sordi y col. (1988) aunque la mayoría tienen en cuenta a todas las hojas (Esquivel y Narváez, 1979; Alfonso y González, 1981; Sandoval y col., 1981; Sandoval, 1981; Liu, 1981, Cornide y col., 1990; Xavier y col., 2010).



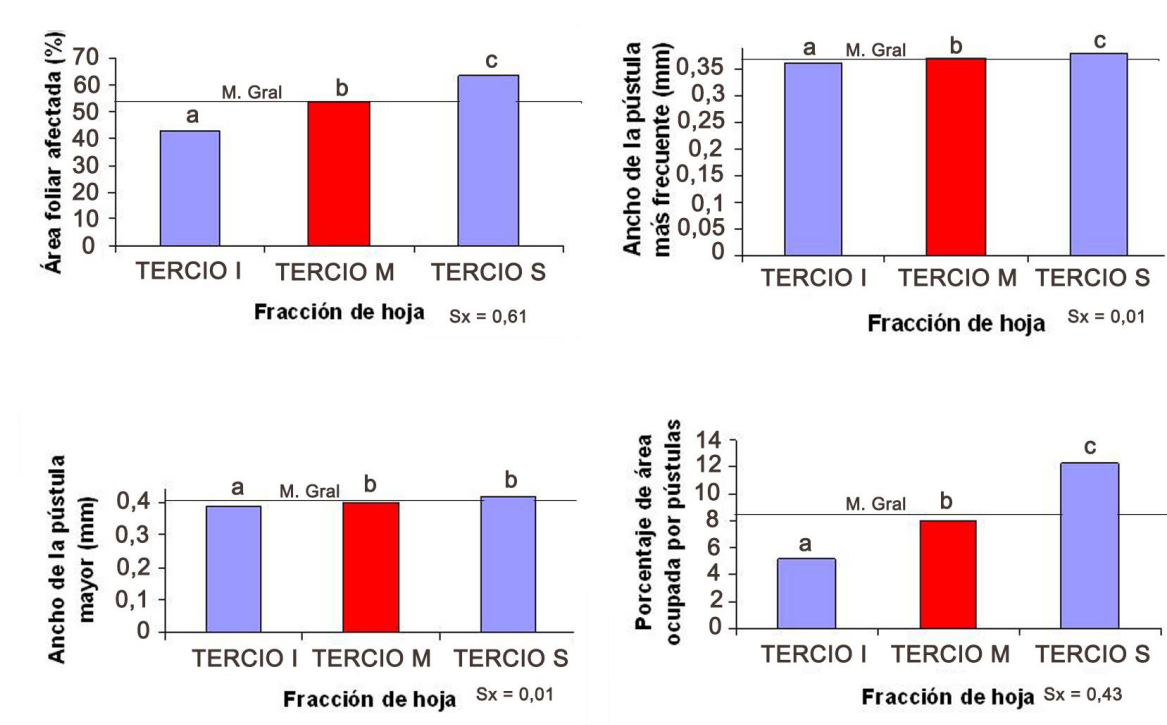


Letras desiguales difieren significativamente  $p \leq 0,001$

Figura 2. Manifestación de las variables área foliar afectada, ancho de la pústula mayor, de la más frecuente y porcentaje de área ocupada por pústulas en las distintas hojas que se evaluaron

Por su parte Ángel y col. (2010, 2016) utilizaron la hoja +3 para evaluar la reacción y severidad de la enfermedad en áreas de producción del Valle del Cauca en Colombia. En Brasil Almeida y col. (2015) también emplearon esa hoja para evaluar la manifestación de la roya parda en la progenie de dos cruces biparentales en dos localidades, mientras que Chapola y col. (2015) la utilizaron para evaluar los cultivares frente a la roya parda y roya naranja, todos ellos con buenos resultados.

Al analizar similares variables en los tres tercios de la hoja se pudo constatar que el tercio medio brindó la mejor caracterización de los síntomas, los cuales están en correspondencia con la afectación media de la hoja (Figura 3).



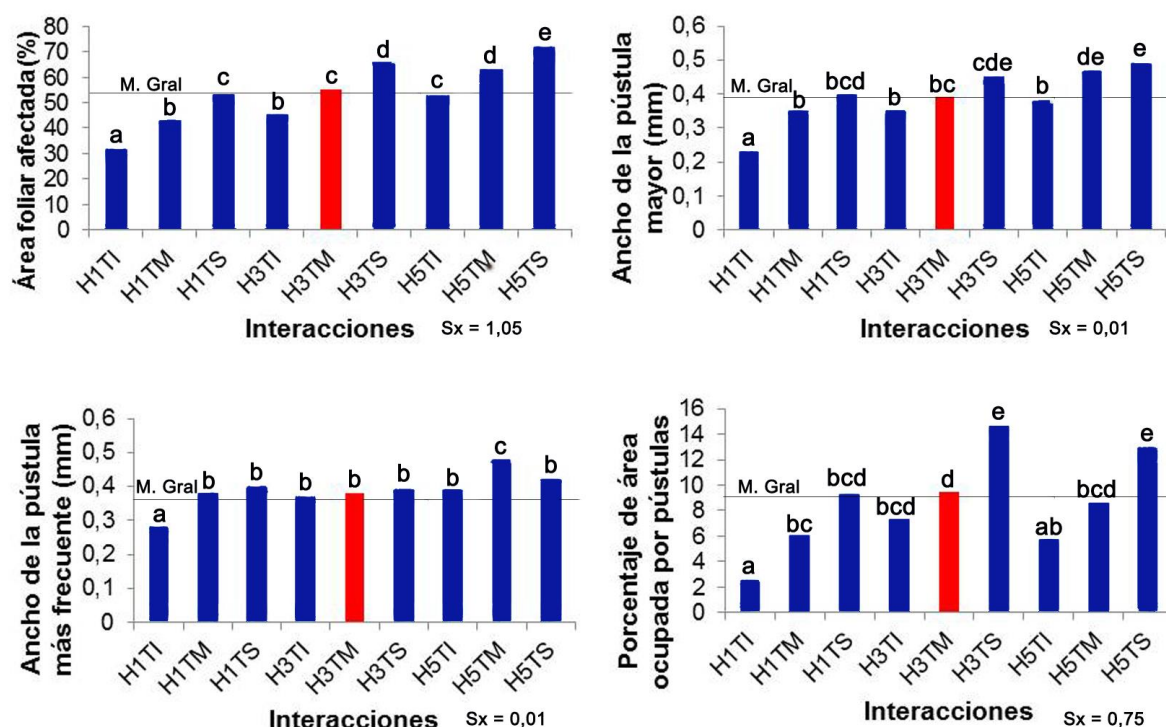
Letras desiguales difieren significativamente  $p \leq 0,001$

Leyenda: I. Inferior; M. Medio, S. Superior

Figura 3. Manifestación de las variables área foliar afectada, ancho de la pústula mayor y de la más frecuente y porcentaje de área ocupada por pústulas en las distintas fracciones de hojas que se evaluaron

Al analizar la interacción de primer orden hoja x tercio se aprecian diferencias entre las mismas con la formación de diferentes grupos para todas las variables. La mejor representación de los síntomas de la enfermedad se observó en el tercio

medio de la hoja +3, con valores cercanos a la media general de afectación para el carácter analizado (Figura 4).



Letras desiguales difieren significativamente  $p \leq 0,05$

Leyenda: H1. Hoja +1; H3. Hoja +3; H5. Hoja +5; TI. Tercio inferior; TM. Tercio medio; TS. Tercio Superior.

Figura 4. Representación gráfica de las interacciones entre las hojas y los tercios para las variables ancho de la pústula mayor y de la más frecuente, así como el área foliar afectada y porcentaje de área ocupada por pústula

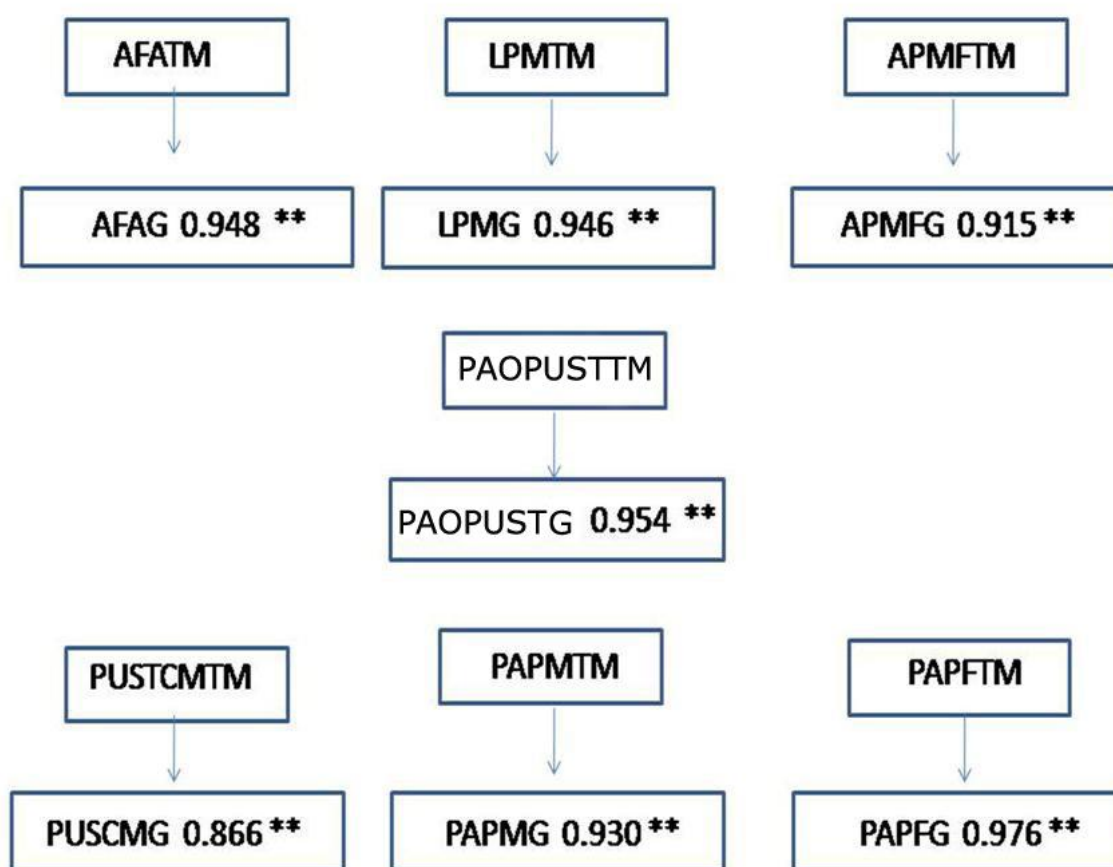
Esto posibilita dirigir el muestreo hacia el área de mayor agregación de síntomas (pústulas), evitando de esta manera correr el riesgo de incorporar equivocadamente a la evaluación síntomas que no son de roya y que pueden alterar el resultado a obtener. Además, la disminución del área a muestrear implica un considerable

ahorro de tiempo y elude el error introducido por el observador en las evaluaciones cualitativas, al sustituir estas por aspectos cuantitativos.

Los resultados del análisis de correlación entre las variables cuantitativas que se evaluaron en los 2 cm<sup>2</sup> del tercio medio y las afectaciones presentes en toda la hoja, mostraron coeficientes altamente significativos ( $P \leq 0,01$ ) (Figura 5).

Puede apreciarse que el tercio medio y toda la hoja mantienen una correlación alta y positiva, los coeficientes de correlación están por encima de 0,85, los que resultan altamente significativos. Se demuestra que la evaluación en el tercio medio de la hoja permite arribar a un resultado confiable en lo referente a la manifestación de los síntomas de la enfermedad sin la necesidad de evaluar la planta en su totalidad y estimar entonces la posibilidad de realizar los muestreos de las lesiones por cm<sup>2</sup>.

Estos resultados evidencian la posibilidad de reducción, estratificación y cuantificación de las variables a evaluar en el muestreo, ya que mantiene una alta asociación con la evaluación en toda la hoja, lo que contribuye a aumentar la precisión al disminuir el espacio de observación a 2 cm<sup>2</sup> por hoja. Con este sistema se soluciona una de las deficiencias de las escalas porcentuales, relacionada con el fenómeno visual que enunciaran en su Ley Webber y Fechner (Zadoks y Schein, 1979). La introducción de variables cuantitativas, es un elemento importante de acuerdo con Sordi y col. (1988)



AFATM: Área foliar afectada en el tercio medio.

AFAG: Área foliar afectada en toda la hoja.

LPMTM: Largo de la pústula mayor en el tercio medio.

LPMG: Largo de la pústula mayor en toda la hoja.

APMFTM: Ancho de la pústula más frecuente en el tercio medio.

APMFG: Ancho de la pústula más frecuente en toda la hoja.

PAOPUSTTM: Porcentaje de área ocupada por pústulas en el tercio medio.

PAOPUSTG: Porcentaje de área ocupada por pústulas en toda la hoja.

PUSTCMTM: Pústula por cm<sup>2</sup> en el tercio medio.

PUSTCMG: Pústula por cm<sup>2</sup> en toda la hoja.

PAPMTM: Área de la pústula mayor en el tercio medio.

PAPMG: Área de la pústula mayor en toda la hoja.

PAPFTM: Área de la pústula más frecuente en el tercio medio.

PAPFG: Área de la pústula más frecuente en toda la hoja.

Figura 5. Coeficientes de correlación de Pearson entre el tercio medio de la hoja y las afectaciones de la planta en general

#### 4.1.2. Definición de la ecuación para el cálculo del área ocupada por pústulas por cm<sup>2</sup> de la hoja

Los valores del índice de agregación para las variables en estudio, utilizando la razón varianza/media se muestran en la tabla 6.

Tabla 6 Cálculo del índice de agregación para las variables en estudio

Variable	Varianza	Media	Razón Varianza/media
AFA	530,06	53,44	9,92
APM	0,11	0,39	0,28
APMF	0,09	0,37	0,24
PAOPUST	267,46	8,50	31,47

Leyenda: AFA: Área foliar afectada; APM: Ancho de la pústula mayor; APMF: Ancho de la pústula más frecuente y PAOPUST: Porcentaje de área ocupada por pústulas

El índice de agregación permite definir como se distribuyen las variables en el espacio, lo que facilita entonces establecer el tipo de muestreo a utilizar. Southwood (1978) propuso la utilización de la relación que existe entre la varianza y la media. Si los valores resultantes de esta expresión son próximos a uno se puede decir que la población se distribuye al azar, valores de cero o cercanos a este nos dan una distribución espacial uniforme y si son superiores a uno, entonces el patrón es agregado.

Al tener presente estas consideraciones se puede definir que las variables AFA y PAOPUST responden a una distribución agregada y el ancho de las pústulas a una uniforme.

Autores como Vivas y col. (2002); Vivas y Notz (2011) y Hernández (2013), utilizaron este índice para determinar la distribución espacial de insectos plagas y de igual manera Ramírez y col. (2014) y Chaves (2014) para enfermedades de las plantas.

Los intervalos de confianza para cada uno de los tercios que se evaluaron sugieren, teniendo en cuenta la distribución uniforme del ancho de las pústulas, la posibilidad de tomar como constante para esta variable, con un alto grado de confiabilidad (95 %) un valor medio de estos intervalos, el cual podría fijarse en 0,38 mm, valor éste que se encuentra en el intervalo comprendido entre los límites inferior y superior de cada intervalo y representa la media general de los mismos (Tabla 7).

Con estos resultados las variables involucradas hacen más precisa la evaluación y mitigan el riesgo de incluir síntomas de otras enfermedades que en sus estadios iniciales se confunden con los de la roya parda, mientras el muestreo cuantitativo evita los errores de la vista humana al evaluar grandes áreas.

Tabla 7. Intervalos de confianza para el ancho de la pústula (mm) en cada sección de la hoja (95 % de confianza)

Intervalo de confianza		Intervalo de confianza		Intervalo de confianza		Intervalo de confianza		Intervalo de confianza	
Interacción	Límite inferior (mm)	Límite superior (mm)	Media (mm)	Error típico	Interacción	Límite inferior (mm)	Límite superior (mm)	Media (mm)	Error típico
General	0,37	0,40	0,38	0,01	E2-TI	0,25	0,34	0,29	0,02
G-TS	0,39	0,45	0,42	0,01	E1-H1-TS	0,32	0,48	0,40	0,04
G-TM	0,38	0,45	0,41	0,02	E1-H1-TM	0,26	0,43	0,34	0,04
G-TI	0,28	0,35	0,31	0,02	E1-H1-TI	0,09	0,25	0,17	0,04
G-H1-TS	0,36	0,47	0,41	0,03	E1-H3-TS	0,29	0,42	0,35	0,03
G-H1-TM	0,30	0,42	0,36	0,03	E1-H3-TM	0,30	0,43	0,36	0,03
G-H1-TI	0,12	0,24	0,18	0,03	E1-H3-TI	0,29	0,45	0,37	0,04
G-H3-TS	0,36	0,45	0,40	0,02	E1-H5-TS	0,39	0,57	0,48	0,04
G-H3-TM	0,35	0,44	0,39	0,02	E1-H5-TM	0,41	0,60	0,50	0,05
G-H3-TI	0,32	0,43	0,37	0,05	E1-H5-TI	0,38	0,58	0,48	0,05
G-H5-TS	0,38	0,49	0,43	0,03	E2-H1-TS	0,35	0,51	0,43	0,04
G-H5-TM	0,43	0,57	0,50	0,03	E2-H1-TM	0,28	0,47	0,37	0,05
G-H5-TI	0,34	0,46	0,40	0,03	E2-H1-TI	0,09	0,28	0,18	0,05
E1	0,36	0,41	0,38	0,01	E2-H3-TS	0,40	0,52	0,46	0,03
E1-TS	0,37	0,46	0,41	0,02	E2-H3-TM	0,36	0,48	0,42	0,03
E1-TM	0,36	0,45	0,40	0,02	E2-H3-TI	0,31	0,45	0,38	0,03
E1-TI	0,29	0,39	0,34	0,03	E2-H5-TS	0,32	0,46	0,39	0,03
E2	0,36	0,41	0,38	0,01	E2-H5-TM	0,39	0,59	0,49	0,05
E2-TS	0,39	0,47	0,43	0,02	E2-H5-TI	0,26	0,39	0,32	0,03
E2-TM	0,38	0,48	0,43	0,02	$\bar{x}$	0,32	0,45	<b>0,38</b>	

**Leyenda**

G: Toda la planta  
 TS: Tercio superior  
 TM: Tercio medio  
 TI: Tercio inferior  
 H1: Hoja +1  
 H3: Hoja +3

H5: Hoja +5  
 E1: Evaluación 1  
 E2: Evaluación 2  
 $\bar{x}$  : Media



Estos resultados sugieren entonces evaluar en el tercio medio de la hoja +3 con una plantilla (2 cm x 1 cm). La muestra se toma al azar en las poblaciones de pústulas registrando el número de estas en 2 cm<sup>2</sup> y longitud de la más frecuente, en 10 plantas por cada una de las réplicas.

Estas variables que representan la reacción de los cultivares y la severidad de la enfermedad pueden integrarse en otra:

$$\text{Pústulas/cm}^2 (\%) = \{[(\text{CPUT} * \text{LPUS} (\text{mm}) * 0,38(\text{mm})) / 200 \text{ mm}^2] * 100$$

$$\text{Pústulas/cm}^2 (\%) = \{[(\text{CPUT} * \text{LPUS} * 0,38(\text{mm}^2)) / 200 \text{ mm}^2] * 100$$

$$\text{Pústulas/cm}^2 (\%) = [(\text{CPUT} * \text{LPUS} * 0,38) / 200] * 100$$

$$\text{Pústulas/cm}^2 (\%) = (\text{CPUT} * \text{LPUS} * 0,38) / 2$$

**Donde:**

Pústulas/cm<sup>2</sup> (%) = Área ocupada por las pústulas en cada cm<sup>2</sup> o número de pústulas de 1 mm<sup>2</sup>/ cm<sup>2</sup>

LPUS = Longitud media de la pústula más frecuente en mm

CPUT = Número medio de pústulas en 2 cm<sup>2</sup>

0,38 = Ancho promedio de las pústulas en mm

El uso de estas variables cuantitativas en las evaluaciones de roya parda reviste gran importancia y utilidad al evitar las valoraciones apreciativas que por lo general son imprecisas y poco confiables, máxime si se tiene en cuenta que en estas intervienen observadores de diferentes localidades del país. Por otra parte,

hay que tener presente que la estimación visual de la severidad de una enfermedad es subjetiva y no repetible por lo que se necesitan métodos alternos que midan con más precisión la superficie dañada de un órgano vegetal (Sauceda y col., 2015).

Al incorporar estas nuevas variables al Sistema Evaluativo de la Resistencia a la Roya Parda en el Programa de Mejoramiento de la Caña de Azúcar en Cuba se incrementa la eficiencia de este.

## **4.2. Determinación de los ambientes evaluativos para las pruebas de resistencia a la roya parda de la caña de azúcar**

### **4.2.1. Efecto de la interacción genotipo x ambiente**

El análisis de varianza de clasificación doble para los factores conformados por los 17 genotipos y los 90 ambientes en las variables largo de la pústula mayor (LPM), porcentaje de área ocupada por pústulas (PAOPUST), cantidad de pústulas (CPUT) y largo de la pústula (LPUST), mostró diferencias significativas para todas las fuentes de variación y su interacción.

En la descomposición de la varianza (Tabla 8), se aprecia que el mayor peso en la variación fenotípica total correspondió a los cultivares, seguido por la interacción genotipo x ambiente y en menor cuantía para los ambientes, en los cuales fue inferior al 20 %.

Tabla 8. Descomposición de varianza de los análisis de clasificación doble de efectos aleatorios genotipos x ambientes

F. Variación	gl	Variables											
		LPM			PAOPUST			CPUST			LPUST		
		ECM	Sig	% VFT	ECM	Sig	% VFT	ECM	Sig	% VFT	ECM	Sig	% VFT
Genotipo (G)	16	1,27	***	54,98	3,44	***	33,92	7,28	***	40,92	0,66	***	51,56
Ambiente (E)	89	0,20	***	8,66	1,90	***	18,73	1,80	***	10,12	0,12	***	9,37
G x E	1 424	0,68	***	29,44	3,78	***	37,28	7,08	***	39,80	0,38	***	29,69
Error	3060	0,16	-	6,92	1,03	-	10,11	1,63	-	9,16	0,12	-	9,37
Total	4589	2,31	-	100,00	10,14	-	100,00	17,79	-	100,00	1,28	-	100,00
$\bar{x}$		0,73			0,96			1,86			0,54		
$S\bar{x}$		0,030			0,075			0,095			0,026		
CV		5,50			10,50			6,80			6,40		

\*\*\* significación  $p \leq 0.001$

Leyenda: LPM: Largo de la pústula mayor; PAOPUST: Porcentaje de área ocupada por pústulas; CPUST: Cantidad de pústulas; LPUST: Largo de la pústula más frecuente; ECM: Esperanza del cuadrado medio; VFT: Variación fenotípica total

Existe interacción genotipo x ambiente para la reacción de los cultivares frente a la enfermedad, lo que pone de manifiesto que los mismos presentan una respuesta diferente en cada localidad, pero los porcentajes que aportan los genotipos a la variación fenotípica total es superior a la aportada por el ambiente.

Este análisis constató la prevalencia de la varianza genotípica sobre la ambiental, la cual se situó entre los valores de 33,92 y 54,98 %. La reacción de los cultivares frente a la enfermedad roya parda está influenciada por el ambiente, pero la expresión fenotípica presenta un fuerte efecto genético, caracterizado por la

resistencia genética inherente a cada cultivar. Simón y col. (2016) arribaron a similares resultados al evaluar familias de caña de azúcar al concluir que los efectos genéticos predominaban en la expresión de la resistencia.

Estos resultados corroboran los obtenidos por Cornide y col. (1996), quienes al comparar las varianzas y parámetros genéticos de diferentes variables indicadoras del área foliar afectada por roya parda en progenies de caña de azúcar, evidenciaron la mayor importancia de la varianza genética.

Se debe señalar que después del efecto genético, le sucede en importancia la interacción genotipo x ambiente, con porcentajes de expresión que oscilaron desde 29,44 a 39,80 % y por último el ambiente con valores inferiores al 20%. Estos resultados indican que las variaciones encontradas en las localidades producen una manifestación diferencial de los cultivares frente a la enfermedad roya parda.

En estudios realizados sobre la interacción genotipo x ambiente relacionados con el rendimiento agrícola y azucarero de la caña de azúcar (González, 1995; Rodríguez, 2012; Parvizi, 2013) se apreció un efecto diferente, observando una mayor influencia del ambiente en la manifestación de las variables evaluadas, debido a que estas están más influenciadas por el componente ambiental que por el genético.

Los resultados sugieren la necesidad de emplear varios sitios de prueba para definir la reacción de los cultivares para utilizarlos con total libertad, con limitaciones y para zonas con baja prevalencia de la enfermedad o para su uso

como progenitor, aspecto de suma importancia para el Programa de Mejora de la Caña de Azúcar en Cuba.

Sandoval (2001), registró la manifestación de 7 aislamientos en 15 cultivares diferenciadores de roya según Alfonso (1994), donde el análisis bifactorial demostró la existencia de diferencias significativas entre cultivares, aislamientos e interacción. Además, estos resultados corroboran lo planteado por Tamayo (2010), quien encontró diferencias significativas entre cultivares, evaluaciones e interacciones de primer orden.

#### **4.2.2. Manifestación de las variables estudiadas ante las diferentes fuentes de variación**

En los análisis de varianza de clasificación triple para las fuentes de variación cultivar, localidad, evaluación y cultivar, localidad, hoja y las variables largo de la pústula mayor (LPM), porcentaje de área ocupada por pústulas (PAOPUST), cantidad de pústulas (CPUST) y largo de la pústula (LPUST) en caña planta se detectaron diferencias significativas al nivel de 0,01% para todas las fuentes de variación, así como en las interacciones de primer y segundo orden, a excepción de las interacciones localidad x hoja para la variable PAOPUST y cultivar x localidad x hoja para PAOPUST y LPUST (Tablas 9 y 10).

Tabla 9. Resultados del análisis de varianza (cultivar, localidad y evaluación) para las variables estudiadas en la cepa planta

F. Variación	gl	Variables Cepa Planta							
		LPM		PAOPUST		CPUST		LPUST	
		CM	Sig	CM	Sig	CM	Sig	CM	Sig
A: Cultivar	16	654,19	***	2 523,57	***	4 238,74	***	360,43	***
B: Localidad	5	183,12	***	375,54	***	1 129,08	***	104,80	***
C: N° Evaluación	4	92,27	***	170,59	***	401,48	***	55,39	***
AB	80	42,05	***	208,60	***	348,69	***	24,93	***
AC	64	5,97	***	52,36	***	55,03	***	5,26	***
BC	20	41,97	***	144,73	***	233,95	***	26,02	***
ABC	320	5,66	***	54,77	***	71,10	***	3,57	***
Error	4 080	1,09		5,28		6,81		0,75	
Total	4 589								
$S_{\bar{x}}$		0,06		0,14		0,05		0,22	

\*\*\* Significación  $p \leq 0,001$

Leyenda: LPM: Largo de la pústula mayor; PAOPUST: Porcentaje de área ocupada por pústulas; CPUST: Cantidad de pústulas; LPUST: Largo de la pústula más frecuente; CM: Cuadrado medio

Al analizar similares variables en la cepa de retoño (Tablas 11 y 12), se pudo apreciar que el análisis de varianza mostró diferencias significativas para todas las fuentes de variación.

Se encontraron diferencias significativas para todas las interacciones, excepto para las de primer orden Localidad x Hoja para la variable PAOPUST y en las de segundo orden Cultivar x Localidad x Hoja para las variables PAOPUST y CPUST.

Tabla 10. Resultados del análisis de varianza (cultivar, localidad y hoja) para las variables estudiadas en la cepa planta

F. Variación	gl	Variables Cepa Planta							
		LPM		PAOPUST		CPUST		LPUST	
		CM	Sig	CM	Sig	CM	Sig	CM	Sig
A: Cultivar	16	654,19	***	2 523,57	***	4 238,70	***	360,43	***
B: Localidad	5	183,12	***	375,54	***	1 129,10	***	104,80	***
C: Hoja	2	148,58	***	448,90	***	1 115,79	***	56,31	***
AB	80	42,05	***	208,60	***	348,69	***	24,93	***
AC	32	7,75	***	61,60	***	73,19	***	3,42	***
BC	10	17,42	***	12,71	NS	46,53	***	6,98	***
ABC	160	2,54	***	16,05	NS	15,65	**	1,27	NS
Error	4 284	1,57		9,44		12,33		1,12	
Total	4 589								
S $\bar{x}$		0,32		0,79		0,90		0,27	

\*\*\* Significación  $p \leq 0,001$

NS No diferencia significativa

\*\* Significación  $p \leq 0,01$

Leyenda: LPM: Largo de la pústula mayor; PAOPUST: Porcentaje de área ocupada por pústulas; CPUST: Cantidad de pústulas; LPUST: Largo de la pústula más frecuente; CM: Cuadrado medio

Tabla 11. Resultados del análisis de varianza (cultivar, localidad y evaluación) para las variables estudiadas en la cepa retoño

F. Variación	gl	Variables Cepa Retoño							
		LPM		PAOPUST		CPUST		LPUST	
		CM	Sig	CM	Sig	CM	Sig	CM	Sig
A: Cultivar	16	528,92	***	1 337,98	***	2 868,93	***	357,59	***
B: Localidad	5	230,58	***	398,78	***	2 163,39	***	121,19	***
C: N° Evaluación	4	56,76	***	57,41	***	128,34	***	42,27	***
AB	80	41,60	***	103,62	***	395,16	***	26,54	***
AC	64	8,94	***	31,39	***	55,12	***	6,85	***
BC	20	63,12	***	155,88	***	485,75	***	32,46	***
ABC	320	7,68	***	38,57	***	68,97	***	5,48	***
Error	4 080	0,96		2,83		6,75		0,70	
Total	4 589								
S $\bar{x}$		0,33		0,56		0,87		0,30	

\*\*\* Significación  $p \leq 0,001$

Leyenda: LPM: Largo de la pústula mayor; PAOPUST: Porcentaje de área ocupada por pústulas; CPUST: Cantidad de pústulas; LPUST: Largo de la pústula más frecuente; CM: Cuadrado medio

Tabla 12. Resultados del análisis de varianza (cultivar, localidad y hoja) para las variables estudiadas en la cepa retoño

F. Variación	gl	Variables Cepa Retoño							
		LPM		PAOPUST		CPUT		LPUST	
		CM	Sig	CM	Sig	CM	Sig	CM	Sig
A: Cultivar	16	528,92	***	1 337,98	***	2 868,93	***	357,59	***
B: Localidad	5	230,58	***	398,78	***	2 163,39	***	121,19	***
C: Hoja	2	89,21	***	193,48	***	522,98	***	53,26	***
AB	80	41,60	***	103,62	***	395,16	***	26,54	***
AC	32	6,53	***	17,23	***	36,64	***	3,98	***
BC	10	12,15	***	4,86	NS	42,26	***	8,12	***
ABC	160	2,28	***	3,74	NS	12,48	NS	1,59	***
Error	4 284	1,76		6,46		13,71		1,23	
Total	4 589								
$S\bar{x}$		0,34		0,66		0,96		0,29	

\*\*\* Significación  $p \leq 0,01$

NS No diferencia significativa

Leyenda: LPM: Largo de la pústula mayor; PAOPUST: Porcentaje de área ocupada por pústulas; CPUT: Cantidad de pústulas; LPUST: Largo de la pústula más frecuente; CM: Cuadrado medio

#### 4.2.3. Análisis de las localidades de estudio

El análisis de Componentes Principales para identificar las variables más importantes en la caracterización de los ambientes y la manifestación de la enfermedad mostró que la primera componente extrajo el 45,48 %, la segunda el 28,22 % y la tercera el 17,91 % (Tabla 13). La suma del porcentaje de las tres



componentes resultó el 91,61%, por lo que con estas componentes son suficientes para la explicación de la variabilidad total. Se muestran los valores propios y las coordenadas de los vectores para la caracterización de los ambientes estudiados.

Tabla 13. Análisis de componentes principales para la caracterización de las localidades de prueba. Valores y vectores propios

<b>Valores propios</b>	<b>Comp. 1</b>	<b>Comp. 2</b>	<b>Comp. 3</b>
Valor	4,09	2,54	1,61
%	45,48	28,22	17,91
Valor acumulado	4,09	6,63	8,24
% Acumulado	45,48	73,70	91,61
<b>Coordenadas de los vectores propios</b>			
Cantidad de pústulas	0,01	<b>0,44</b>	<b>- 0,54</b>
Humedad relativa del aire	<b>0,41</b>	0,18	0,28
Precipitaciones	- 0,35	- 0,11	<b>- 0,46</b>
Largo de la pústula más frecuente	<b>0,37</b>	- 0,38	- 0,06
Porcentaje de área ocupada por pústulas	<b>0,42</b>	0,16	- 0,34
Temperatura máxima	<b>0,45</b>	- 0,1	0,02
Temperatura media	0,16	<b>0,50</b>	0,14
Temperatura mínima	0,13	<b>0,43</b>	<b>0,52</b>
Largo de la pústula mayor	<b>0,37</b>	- 0,37	0,07

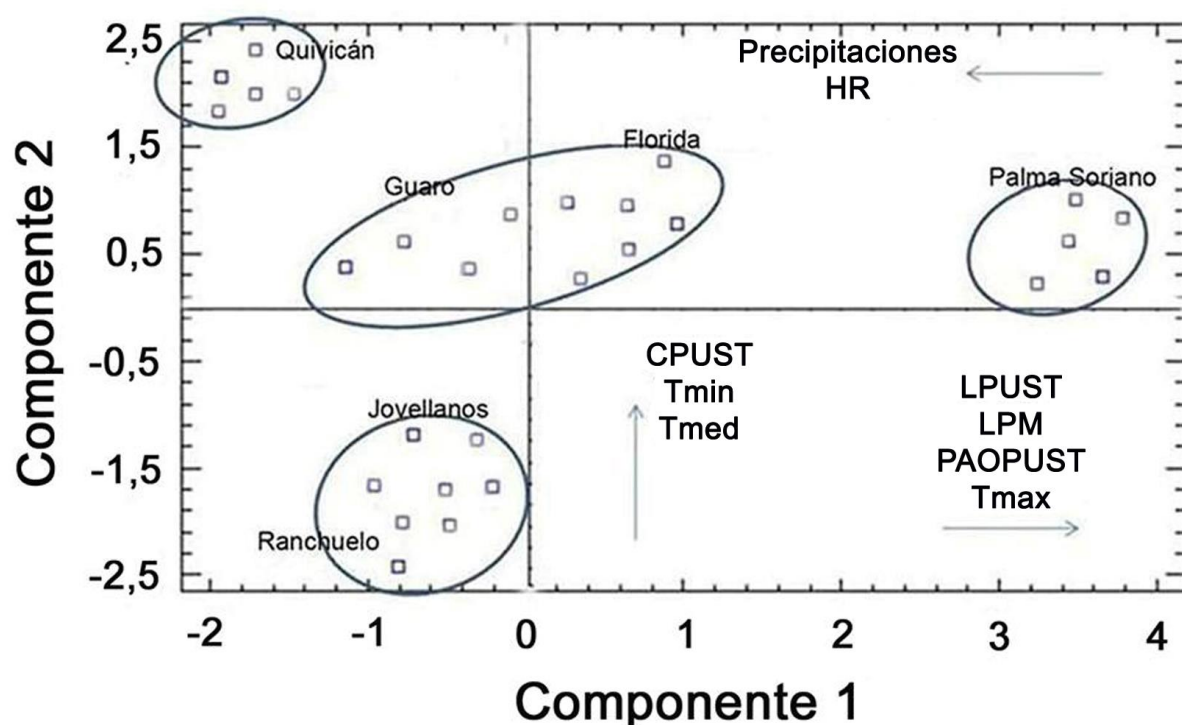
Las temperaturas y humedad relativa tienen la mayor influencia en la reacción de las variables biológicas medidas [porcentaje de área ocupada por pústulas (PAOPUST), largo de la pústula mayor (LPM), largo de la pústula más frecuente (LPUST) y cantidad de pústulas (CPUST)]. Estos resultados coinciden con los

obtenidos por Vengetsamy (2009), Barrera (2010) y Barrera y col. (2013) quienes encontraron marcado efecto de las mismas variables en la manifestación de los síntomas de roya parda sobre las láminas foliares de la caña de azúcar.

Este planteamiento quedó demostrado con el análisis de componentes principales al observar en las dos primeras componentes el peso de cada una de las variables que se señalan, en tanto que en la tercera fue significativa la precipitación y repiten su importancia las variables CPUT y temperatura mínima.

Los coeficientes de correlación entre las variables en cada componente son relativamente bajos, debido a que las condiciones ambientales presentan influencia sobre el desarrollo de la enfermedad en el hospedante, pero el mayor aporte a la presencia o no de la roya parda lo brinda el cultivar, como quedó definido en el acápite 4.2.1. Esto coincide con lo informado por Lacava (2010).

La representación gráfica de este análisis para las dos primeras componentes (Figura 6), muestra diferentes grupos, formados por las distintas localidades estudiadas.



Leyenda: CPUST: Cantidad de pústulas; LPUST: Largo de la pústula más frecuente; LPM: Largo de la pústula mayor; PAOPUST: Porcentaje de área ocupada por pústulas; HR: Humedad relativa; Tmin: Temperatura mínima; Tmed: Temperatura media; Tmax: Temperatura máxima

Figura 6. Representación de los ambientes estudiados en el plano de las dos primeras componentes

Florida y Guaro forman un grupo con características similares para la manifestación de la enfermedad y otro por Jovellanos y Ranchuelo. Esto permite seleccionar una de las dos localidades incluidas en los grupos, en lugar de mantener las cuatro. El análisis sugiere además la importancia de mantener las dos restantes (Palma Soriano y Quivicán) como puntos de prueba basado en su reacción diferencial respecto a las anteriores.

Alfonso y col. (2011), utilizaron la variable tamaño de pústula mayor como un aspecto importante a tener en cuenta en las evaluaciones de resistencia de los

cultivares en diferentes localidades, lo que permite aseverar la reacción diferencial que mantienen los mismos en las localidades como una manifestación de la interacción genotipo x ambiente.

Arellano y col. (2011) sugieren que para definir la reacción de los cultivares frente a la roya parda estos deben ser evaluados en distintas localidades, ratificando su categoría de resistencia en diferentes niveles de infección.

Palma Soriano se caracterizó por las menores precipitaciones y una humedad relativa del aire del 73,88 %, inferior al resto de las localidades. En Jovellanos, Ranchuelo y Quivicán se observan las mayores precipitaciones y las menores temperaturas mínimas (Tabla 14). Además, las temperaturas en sentido general, mantienen una manifestación similar, motivado quizás por las características que presenta Cuba de ser larga y estrecha y las temperaturas están influenciadas por la brisa marina, lo que suaviza apreciablemente las variaciones de las principales variables meteorológicas (Planos y col., 2013). Sin embargo, estas no son uniformes y cada localidad presenta sus características, lo que se manifiesta en la formación de grupos contrastantes (Figura 6).

Tabla 14. Caracterización meteorológica de las localidades de prueba durante el periodo 2000 - 2009

<b>Localidad</b>	<b>Precipitaciones (mm)</b>	<b>T, Máx (°C)</b>	<b>T, Min (°C)</b>	<b>T, Med (°C)</b>	<b>HR (%)</b>
Quivicán	1 455,74	30,42 b	19,95 b	25,19 b	78,29 bc
Jovellanos	1 564,78	30,73 bc	18,86 a	24,14 a	79,88 c
Ranchuelo	1 308,66	30,98 bcd	19,18 a	25,58 d	77,18 b
Florida	1 290,80	31,09 cd	21,16 d	24,16 a	78,86 c
Guaro	1 102,81	29,59 a	20,81 c	25,25 c	79,87 c
Palma Soriano	987,75	31,44 d	19,75 b	25,60 d	73,88 a

Letras iguales significan grupos iguales  $p \leq 0,01$

Leyenda: Tmax: Temperatura máxima; Tmin: Temperatura mínima; Tmed: Temperatura media; HR: Humedad relativa

Los resultados anteriores se confirmaron con un análisis discriminante, el cual muestra el 87,25 % de buena clasificación (Tabla 15).

Esto denota la importancia que tiene cada localidad de estudio, en la clasificación de los cultivares, ya que en cada uno de los centros de prueba se evalúan materiales diferentes. Es por esto que se sugiere mantener las seis localidades para realizar pruebas de resistencia y utilizar Quivicán, Ranchuelo, Florida y Palma Soriano para validar excepcionalmente los de reacción susceptible. De acuerdo con estos resultados se forman cuatro grupos con los ambientes en caña planta y retoño, el grupo uno formado por las localidades de Ranchuelo y Jovellanos, el dos por Florida y Guaro, el tres por Quivicán y el cuatro por Palma Soriano.

Tabla 15. Resultados del análisis discriminante por localidades

	Porcentaje de buena clasificación	Clasificados según modelo					
		Quivicán	Jovellanos	Ranchuelo	Florida	Guaro	Palma Soriano
Quivicán	78,62	<b>401</b>	0	0	41	67	1
Jovellanos	91,96	0	<b>469</b>	0	0	0	41
Ranchuelo	96,07	0	5	<b>490</b>	3	10	2
Florida	84,12	29	0	0	<b>429</b>	13	39
Guaro	83,72	38	0	0	4	<b>427</b>	41
Palma Soriano	89,02	28	0	0	28	0	<b>454</b>
Total	87,25	496	474	490	505	517	578

Estos resultados corroboran lo planteado por Infante y col. (2009), cuando expresan que la interacción genotipo-ambiente es un problema muy específico, por lo que se debe tener precaución al hacer generalizaciones de los casos.

González (2016) plantea que la interacción genotipo-ambiente es un fenómeno universal que está presente en todos los estudios experimentales y en todas las etapas de selección de cultivares con las consecuencias generales y particulares de cada caso.

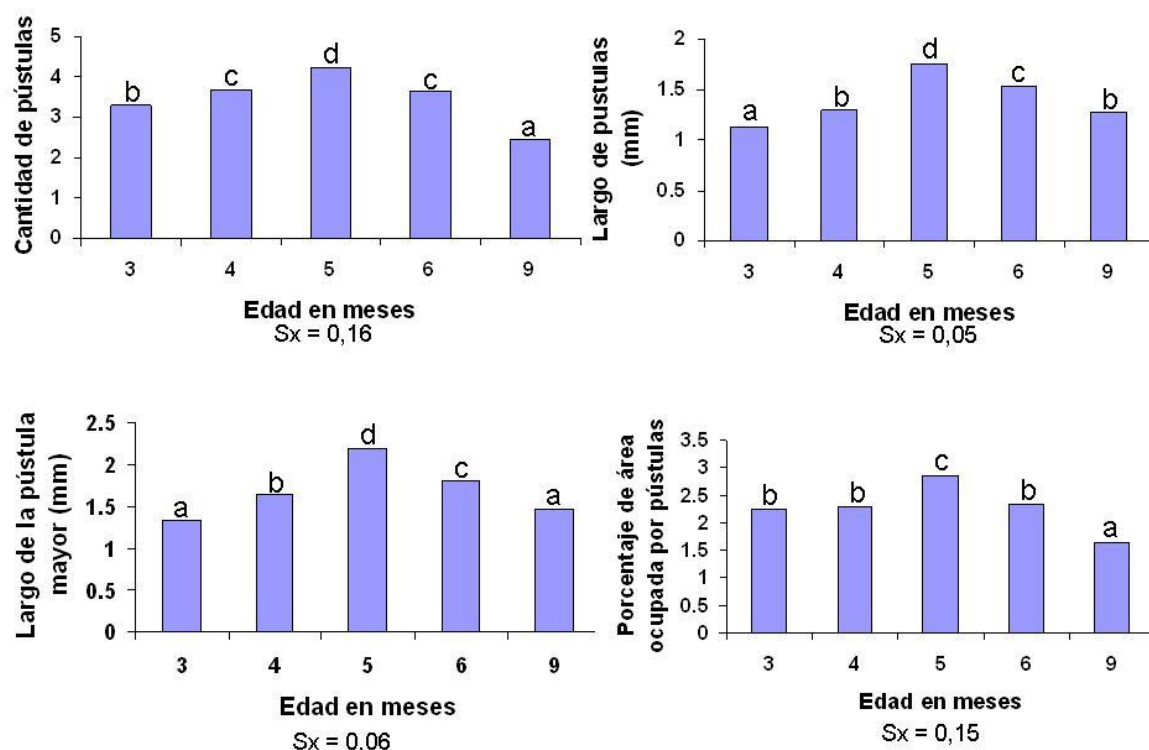
De igual manera Xavier y col. (2013), al estudiar 140 familias de caña de azúcar derivadas de cruces biparentales, concluyen que la manifestación de la roya parda se encuentra influenciada por las condiciones ambientales. Estos autores encontraron respuesta diferencial en dos localidades estudiadas en Brasil.

Los resultados del análisis factorial discriminante ratifican los obtenidos por el de componentes principales, lo que se sustenta en el porcentaje de clasificación de los individuos en cada una de estas localidades.

#### **4.2.4. Definición de las edades óptimas de la planta para evaluar la enfermedad**

Al analizar las edades de evaluación con relación a las variables estudiadas en ambas cepas (Figuras 7 y 8), se pudo apreciar que los menores valores para todas, correspondieron en sentido general, con la evaluación de los nueve meses y los mayores a los cinco.

Estos resultados coinciden con los obtenidos en Mauricio por Ricaud y Autrey (1979), quienes encontraron que la enfermedad fue más severa en cañas jóvenes, pero después de la siembra o el retoñamiento, cuando se cierra el campo, se reduce notablemente la infección.

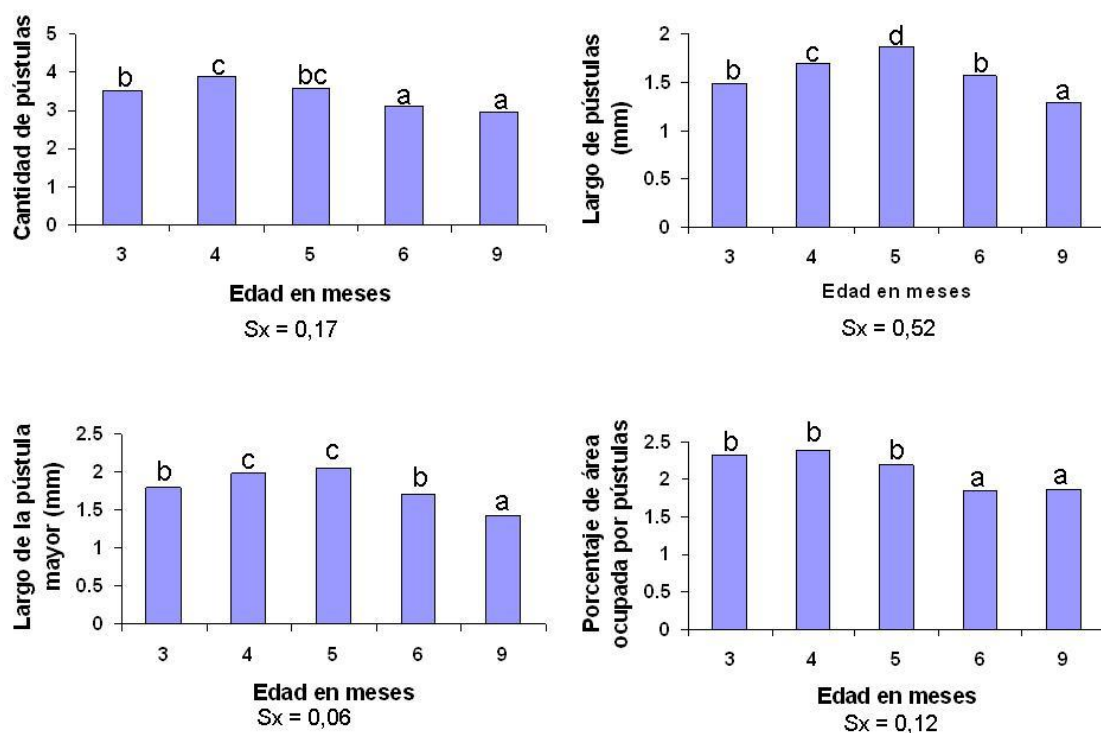


Letras desiguales difieren al  $p \leq 0,01$

Figura 7. Resultados de la prueba Tukey para las variables analizadas en las diferentes edades durante la cepa de caña planta

Por su parte Flores y Osada (1979), plantearon que las mayores infecciones aparecen en campos de menos de 100 días y que las plantaciones mayores de ocho meses sufren menor daño. En el presente trabajo las mayores manifestaciones de la enfermedad se presentan, a los 150 días disminuyendo las afectaciones en edades superiores a los seis meses.





Letras desiguales difieren al  $p \leq 0,01$

Figura 8. Resultados de la prueba Tukey para las variables analizadas en las diferentes edades durante la cepa de retoño

Se corroboran también los resultados de Sandoval y col. (1983), quienes plantearon que, en las condiciones de Cuba, los brotes de roya parda en B4362 ocurrían con severidad desde las primeras etapas del desarrollo de las plantas, por lo que el índice de infección de la enfermedad alcanzaba valores elevados hasta cerca de los cinco a siete meses, con un decrecimiento posterior a medida que se acercaba al final del ciclo vegetativo.

En dependencia del cultivar, la gama de síntomas puede ser desde abundante y bien esporulado, hasta la presencia de puntos necróticos o una ligera clorosis. No obstante, el número de pústulas por hojas se ha usado como criterio para

determinar la susceptibilidad de cultivares de caña de azúcar, aun cuando en investigaciones se ha demostrado que no hay correlación entre el número de pústulas y el número de uredosporas producidas en diferentes especies (Purdy y Dean, 1983; Hsieh y Fang, 1983).

En Islas Reunión, la máxima severidad de la enfermedad en un cultivar susceptible se registró entre dos y tres meses de crecimiento y la sintomatología varía en dependencia de la localidad (Peros, 1993).

Los resultados de esta investigación concuerdan con los obtenidos por Recio y col. (1994) con anterioridad en Cuba, relacionados con la dinámica de la roya parda de la caña de azúcar. Estos autores llegaron a la conclusión de que la mayor producción de pústulas se produce entre los 100 y 145 días de edad (tres – cinco meses), coincidiendo con las primeras etapas de crecimiento del cultivo, mayor precipitación y temperaturas frescas.

Por otra parte, Alomá y col. (1994) registraron en tres localidades representativas de Cienfuegos, provincia que no se incluyó en estos estudios, que la mayor expresión de la enfermedad se acentuaba a los seis meses, algo muy específico para esta provincia, y que las variables meteorológicas ejercían una gran influencia en este sentido.

Suranto y col. (1999), hacen alusión a la relación de la edad con la manifestación de la enfermedad en los cultivares de la zona tropical al sur de Sumatra, Indonesia, con valores máximos en caña planta entre tres y cinco meses de edad y en primer retoño entre dos y cuatro meses.

Por otra parte, Sandoval (2001) determinó que la enfermedad disminuye de forma drástica después de los primeros seis meses, tanto en caña planta como en retoño.

Las plantas después de los seis meses de edad presentan una recuperación, cuyo grado depende del nivel de susceptibilidad del cultivar (CENICAÑA, 2008).

Lo anterior corrobora lo planteado por Infante y col. (2009), quienes expresan que las plantas jóvenes de dos a seis meses de edad son más sensibles a la roya parda que las maduras, por lo que a menudo la severidad de la enfermedad disminuye con la edad. Se debe tener en cuenta que, en el período de mayor crecimiento de la planta, disminuye la afectación de la enfermedad y hay una mayor producción de tejidos sanos y con ello la recuperación del cultivo. Por su parte Tarazona (2011), en Colombia, plantea que las plantaciones son más afectadas en el período comprendido entre las seis semanas y los seis meses de edad.

En estudios realizados en Ecuador para evaluar la reacción de somaclones de caña de azúcar frente a la roya parda, se puso de manifiesto que las mayores afectaciones ocurren entre los tres y los seis meses de edad, con una mayor manifestación de los síntomas a los seis meses (Arellano y col., 2011).

Los resultados anteriores concuerdan con lo planteado por Infante y col. (2009) quienes determinaron que el cultivar y la edad de la planta son factores importantes para el desarrollo de la roya en el cultivo de la caña de azúcar.

Los resultados de este trabajo son similares a los obtenidos anteriormente en Cuba y otros países cañeros, ratificando que el periodo de máxima manifestación de la enfermedad coincide con las edades comprendidas entre los tres y cinco meses del cultivo. Esto permite dirigir las evaluaciones de roya parda hacia este período de desarrollo fenológico del cultivo e introducir adecuaciones a las metodologías actuales de evaluación de la enfermedad en nuestro país.

En la tabla 16 se muestran los resultados del análisis discriminante para las diferentes edades de evaluación, donde se aprecia que el porcentaje de buena clasificación es de 74,35 % para las edades de tres, cinco y nueve meses como las mejores clasificadas, sin existir grandes diferencias entre las dos últimas.

Tabla 16. Resultados del análisis discriminante para las edades de evaluación

Edades (meses)	Porcentaje de buena clasificación	Clasificados según modelo (meses)				
		Tres	Cuatro	Cinco	Seis	Nueve
Tres	76,96	<b>471</b>	134	7	0	0
Cuatro	45,42	159	<b>278</b>	131	44	0
Cinco	90,52	0	0	<b>554</b>	57	1
Seis	66,50	21	104	80	<b>407</b>	0
Nueve	92,32	0	0	0	47	<b>565</b>
Total	74,35	651	516	772	555	566

Esto confirma lo que se planteó anteriormente, al considerar que con las evaluaciones a los tres y cinco meses de edad se puede llegar a conclusiones satisfactorias de la reacción de los cultivares ante la enfermedad, y descartar la de los nueve meses, que, aunque se aprecia el 92,32 % de buena clasificación, no aporta nuevos elementos, debido a que todos los individuos manifiestan afectaciones inferiores.

Esto se debe a la resistencia de los cultivares al llegar a edades superiores a los siete meses, donde se crean condiciones no favorables para el desarrollo del patógeno, como son la edad avanzada y el incremento de las temperaturas. Por otra parte, la complejidad en el proceso de evaluación debido al desarrollo vegetativo del cultivo se hace muy engorroso y trabajoso, factores estos que atentan contra la calidad y rigor del resultado de la evaluación.

Los conteos de pústulas a los tres y nueve meses resultaron inferiores a los efectuados en las restantes evaluaciones en ambas cepas; esto no implica la exclusión de la primera evaluación debido a que a esta edad la planta es aún lo suficientemente joven para que el patógeno se establezca en su tejido foliar.

Desde el punto de vista epifítico, el desarrollo de una enfermedad está en dependencia de la compatibilidad o no del hospedante y el patógeno, si existe, se produce la colonización con la posterior manifestación de los síntomas, de lo contrario el hospedante no será infectado. Lo opuesto ocurre a los nueve meses de edad donde el hospedante, dado su desarrollo fenológico, adquiere cierta resistencia que limita el desarrollo del patógeno sobre sus tejidos.

Los resultados obtenidos aportan nuevos elementos a las metodologías actuales al simplificar, de cinco evaluaciones a solo dos, se sugiere eliminar las de los cuatro, seis y nueve meses de edad, lo que significa ahorro de recursos e incrementa la eficiencia del sistema evaluativo.

Un análisis de correlación que se realizó para verificar si era factible y existía correspondencia entre las cinco evaluaciones que se realizan en la actualidad y las dos que se proponen, manifestó que existe una alta correlación para las variables que se analizaron, con coeficientes altamente significativos ( $> 0,90$ ) (Tabla 17).

Tabla 17. Coeficientes de correlación de Pearson entre las 5 evaluaciones (3, 4, 5, 6 y 9 meses) y las dos que se proponen (3 y 5 meses)

Parámetro	Coeficiente de correlación
CPUST	0,92 **
LPUST	0,95 **
LPM	0,95 **
PAOPUST	0,95 **

\*\* Correlación significativa al nivel de 0,01

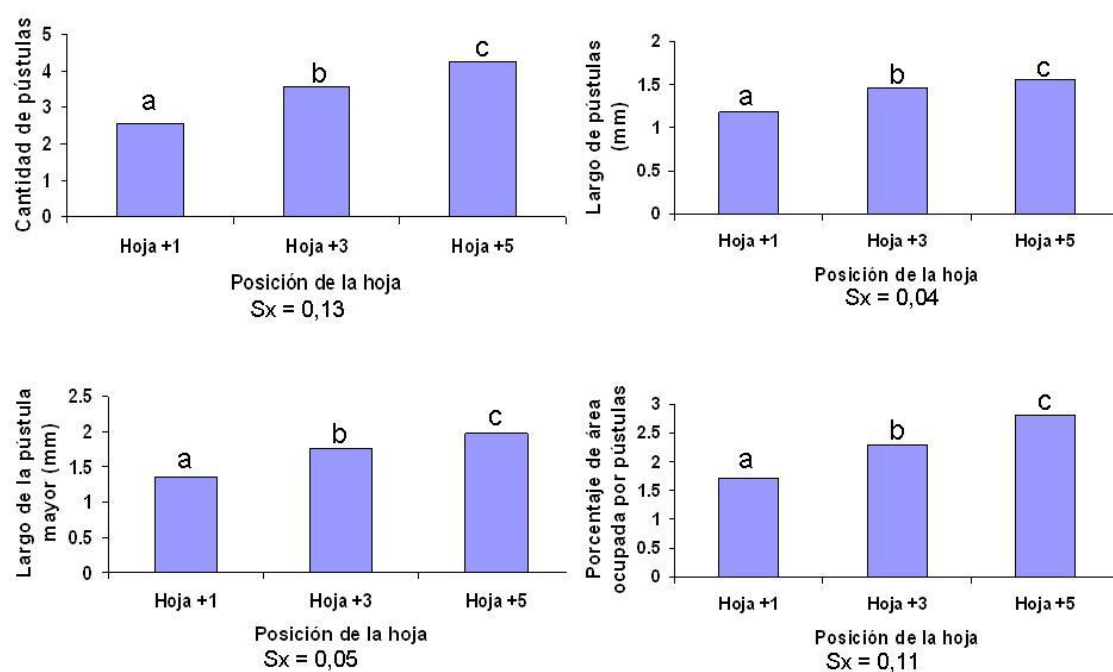
Leyenda: CPUST: Cantidad de pústulas; LPUST: Largo de la pústula más frecuente; LPM: Largo de la pústula mayor; PAOPUST: Porcentaje de área ocupada por pústulas

Estos resultados permiten corroborar que con solo dos evaluaciones (tres y cinco meses de edad) es suficiente para arribar a un resultado satisfactorio, pues existe similitud en estos y los que se obtendrían al evaluar a los tres, cuatro, cinco, seis

y nueve meses. Además, implica un considerable ahorro de tiempo, recursos y un alto nivel de confiabilidad.

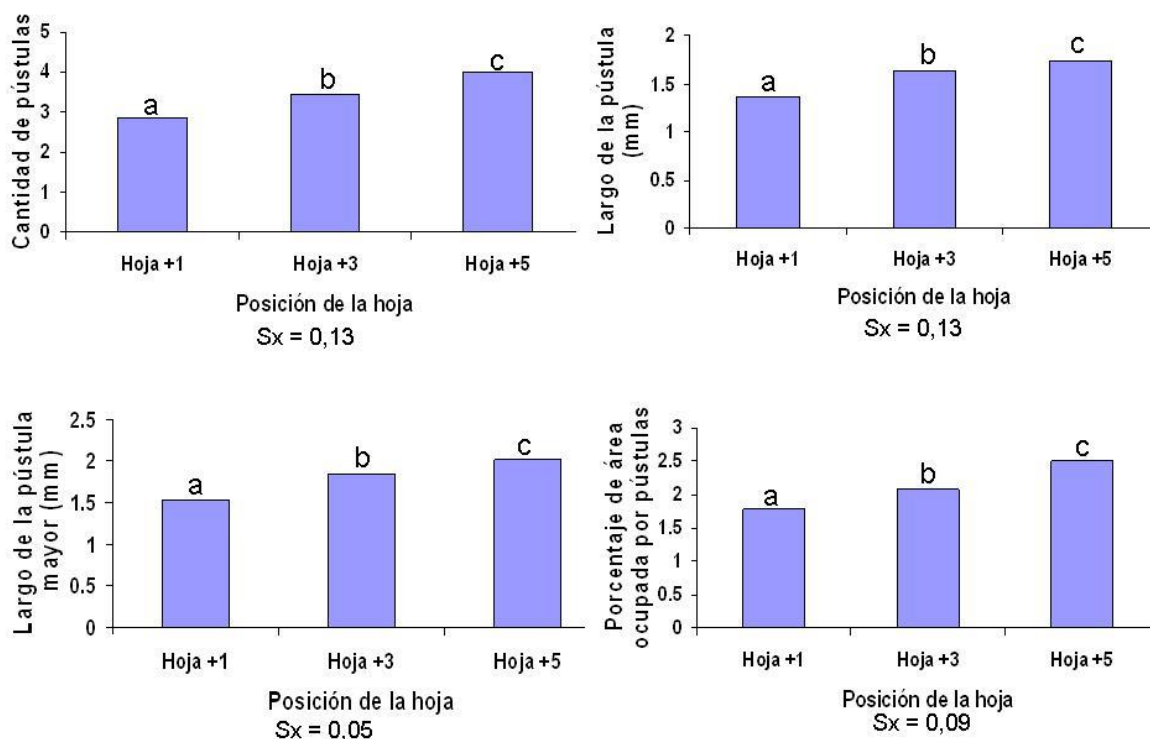
#### 4.2.5. Análisis de la enfermedad en hojas de diferentes edades

Al analizar la reacción de las variables en las hojas evaluadas (Figuras 9 y 10), se pudo constatar que en ambas cepas se manifestaron diferencias para las mismas, los menores valores coinciden para la hoja +1, la cual se diferenció del resto. En la cepa de caña planta se aprecia una mayor afectación sobre la hoja +5, lo que confirma los resultados obtenidos en el epígrafe 4.1. Similar reacción se manifiesta en la cepa de retoño.



Letras desiguales difieren al  $p \leq 0,01$

Figura 9. Resultados de la prueba Tukey para las variables analizadas en hojas de diferentes edades durante la cepa de planta



Letras desiguales difieren al  $p \leq 0,01$

Figura 10. Resultados de la prueba Tukey para las variables analizadas en hojas de diferentes edades durante la cepa de retoño.

Rodríguez y col. (2006) al realizar mediciones en la hoja +3, en el cultivar B4362 encontraron que a los cuatro - seis meses de edad existía un área ocupada por pústulas del 45-50 %. En estos estudios en similares edades este cultivar se afectó un 48 % en la misma hoja (Tabla 20).

Estos resultados corroboran los obtenidos en un primer estudio, descrito en el epígrafe 4.1 y se ratifica realizar las evaluaciones en la hoja +3, la cual brinda una acertada información de la afectación de la planta por el patógeno.



### **4.3. Evaluación de cultivares y patrones**

#### **4.3.1. Manifestación de las variables analizadas en los diferentes cultivares**

La reacción de los cultivares en las cepas de caña planta y primer retoño para LPM, PAOPUST, CPUST y LPUST, mostró diferencias entre los mismos en cada una de las variables estudiadas (Tablas 18 y 19).

En la tabla 19 se observa la formación de diferentes grupos para cada una de las variables analizadas en caña planta (LPM, PAOPUST, CPUST y LPUST), donde los mayores valores de las medias corresponden al cultivar altamente susceptible B4362. Para el LPM el valor fue de 6,44 mm, aunque estos valores llegaron hasta 10,80 mm y se formaron 10 grupos.

Para el PAOPUST, variable importante, ya que integra aspectos fundamentales de la manifestación de la enfermedad, los valores oscilaron desde 0 hasta 50 %, con una media de 12,77 % y se formaron ocho grupos. En lo referente a la CPUST el valor fue de 14,72 pústulas/cm<sup>2</sup>, los que llegaron a 28 y se formaron ocho grupos. Para LPUST fue de 4,81 mm, llegando hasta 7,91 mm y se formaron nueve grupos.

Tabla 18. Valores de las variables analizadas en los diferentes cultivares en la cepa caña planta

Cultivares	Cepa Planta							
	LPM		PAOPUST		CPUST		LPUST	
	Media	Sig,	Media	Sig,	Media	Sig,	Media	Sig,
C266-70	0,53	a	0,51	a	0,51	a	0,52	a
C132-81	0,52	a	0,51	a	0,52	a	0,51	a
PR980	0,53	a	0,51	a	0,55	a	0,51	a
C1051-73	0,68	ab	0,62	ab	0,84	a	0,63	ab
C86-56	0,68	ab	0,64	ab	0,91	a	0,65	ab
Co997	0,59	a	0,58	a	0,94	ab	0,56	a
C90-530	0,77	ab	0,72	ab	1,06	ab	0,67	ab
Ja64-11	0,80	ab	0,72	ab	1,15	ab	0,69	ab
C86-12	1,01	b	0,78	ab	1,20	ab	0,92	bc
C86-503	1,41	c	1,31	abc	1,97	bc	1,14	cd
SP70-1284	1,70	cd	1,55	bcd	2,53	c	1,41	de
C334-64	1,91	de	2,25	d	4,01	d	1,54	e
C88-380	2,16	e	2,21	cd	4,62	d	1,71	e
My5514	3,73	g	4,19	e	7,17	e	3,04	g
C323-68	2,61	f	4,21	e	7,48	e	2,13	f
Ja60-5	2,87	f	4,67	e	8,76	f	2,31	f
B4362	6,44	h	12,77	f	14,72	g	4,81	h
$S_{\bar{x}}$	0,11		0,27		0,30		0,09	

Letras desiguales difieren al  $p \leq 0,01$

Leyenda: LPM: Largo de la pústula mayor; PAOPUST: Porcentaje de área ocupada por pústulas; CPUST: Cantidad de pústulas; LPUST: Largo de la pústula más frecuente

Según los datos obtenidos se consideran con mayor resistencia los cultivares C266-70, C132-81, PR980, Co997, C1051-73, C86-56, C90-530, Ja64-11 y C86-12, los que presentaron menor afectación para las variables analizadas. La

reacción de algunos cultivares como C1051-73, C86-12 y C90-530 no se corresponde a los informados por Jorge y Santana (2011) quienes determinaron a las dos primeras como intermedias y a la tercera como susceptible, lo que pudo deberse a las dificultades actuales de las metodologías vigentes de evaluación de la roya parda en el Programa de Mejoramiento Genético, donde cultivares resistentes pueden ser catalogados como intermedios e incluso susceptibles.

El cultivar B4362 mostró los valores más altos de la media en todas las variables, para mantener su condición de patrón de susceptibilidad. Este cultivar predominaba en el área cañera nacional cuando se informó la enfermedad en Cuba, con pérdidas que superaron los 805 millones de pesos (Cartaya, 1981; GEPLACEA, 1981; Rodríguez y col., 2005; Alfonso y col., 2006).

Junto al cultivar altamente susceptible B4362, se encontraron otros que, aunque menos afectados que este, mantienen su condición de susceptibilidad, tales como, My5514, C323-68 y Ja60-5.

Algo similar a lo observado en la cepa de caña planta se aprecia en retoño (Tabla 18), al analizar el LPM donde el cultivar B4362 (AS), mostró los mayores valores (10,20 mm) con una media de 5,80 mm, seguida por los susceptibles Ja60-5, My5514 y C323-68.

El PAOPUST fue mayor en el cultivar altamente susceptible (B4362), con media de 9,40 %, y decrece hasta obtener valores de 0,51 y 0,52 en los cultivares más resistentes C132-81 y PR980, respectivamente. En las restantes variables

(CPUST y LPUST), los cultivares mantuvieron una tendencia similar a los resultados obtenidos en la cepa de caña planta.

Los cultivares B4362, Ja60-5, C323-68 y My5514 mostraron los mayores valores para las variables analizadas seguidas por C88-380, C334-64, SP70-1284, C86-503, C86-12, Ja64-11 y C1051-73, en contraste con C132-81, PR980, C90-530, C86-56 y C266-70 que mantuvieron las menores afectaciones para todas las variables analizadas.

En Venezuela se estudiaron los cultivares C323-68 y SP70-1284 y mostraron una reacción similar, al definir a C323-68 como susceptible y SP70-1284 con niveles de severidad más bajos (Colmenares y col., 2009).

El cultivar B4362, proveniente del Caribe, carece de genes de resistencia horizontal hacia las diversas razas de *P. melanocephala*, lo que no sucede con otros que se plantan por más de 30 años y mantienen su estabilidad de resistencia a la enfermedad roya parda en caña en diferentes países y ambientes (Tokeshi, 1980).

Tabla 19. Valores de las variables analizadas en los diferentes cultivares en la cepa retoño

Cultivares	Cepa Retoño							
	LPM		PAOPUST		CPUST		LPUST	
	Media	Sig,	Media	Sig,	Media	Sig,	Media	Sig,
C266-70	0,78	abc	1,13	abc	1,28	abc	0,74	bc
C132-81	0,52	a	0,51	a	0,51	a	0,51	a
PR980	0,55	ab	0,52	a	0,55	a	0,54	ab
C1051-73	1,35	ef	1,58	cd	2,28	cd	1,25	d
C86-56	0,92	bcd	0,82	ab	1,10	ab	0,86	bc
Co997	0,61	ab	0,54	a	0,60	a	0,60	ab
C90-530	0,59	ab	0,61	a	0,72	a	0,57	ab
Ja64-11	1,16	cde	1,06	abc	2,12	bcd	1,09	cd
C86-12	1,22	def	0,95	abc	1,52	abcd	1,13	cd
C86-503	1,58	fg	1,40	bcd	2,21	cd	1,27	d
SP70-1284	1,55	efg	1,41	bcd	2,45	d	1,38	d
C334-64	2,40	h	2,03	e	4,71	e	2,03	e
C88-380	1,90	g	1,58	de	4,48	e	1,83	e
My5514	3,51	j	4,13	f	7,13	fg	3,09	g
C323-68	3,17	ij	3,83	f	6,65	f	2,61	f
Ja60-5	2,90	i	3,95	f	8,19	g	2,48	f
B4362	5,80	k	9,40	g	11,75	h	4,85	h
$\bar{Sx}$	0,11		0,22		0,32		0,10	

Letras desiguales difieren al  $p \leq 0,01$

Leyenda: LPM: Largo de la pústula mayor; PAOPUST: Porcentaje de área ocupada por pústulas; CPUST: Cantidad de pústulas; LPUST: Largo de la pústula más frecuente

B4362 es quizás el cultivar más susceptible a la roya parda en el Caribe, pero hay que tener en cuenta que el hongo requiere condiciones ambientales favorables para su desarrollo y propagación. En realidad, la susceptibilidad de B4362 es tan

alta, que en poco tiempo el hongo detiene el crecimiento normal de las plantas, porque el área foliar es severamente afectada y las hojas no realizan su función principal que es la fotosíntesis (Juárez y Valdés, 2000).

Desde finales de 1983 y principios de 1984, la Ja60-5 que por su resistencia sustituyó a la B4362 (AS), comenzó a manifestar síntomas severos de esta enfermedad en diferentes áreas cañeras del país. Esto denota la capacidad parasítica de *P. melanocephala*, que se adapta rápidamente a las nuevas condiciones impuestas, lo que provocó la ruptura de la resistencia en Ja60-5 y se produjeron severos daños en este cultivar (Alfonso y col., 2012).

Casos similares a los de Cuba sobre Ja60-5 sucedieron en Argentina cuando LCP85-384 ocupaba el 44 % de la superficie del cultivo. *P. melanocephala* quebró la resistencia genética de este cultivar y se incrementó rápidamente la fuente de inóculo (Cuenya y col., 2013).

En la Florida al liberar un grupo de cultivares, que al seleccionarlos en condiciones naturales como resistentes y plantarlos en diferentes localidades, mostraron afectaciones por roya parda (Dean y Purdy, 1984; Raid, 1989; Comstock y col., 2010). Los cultivares CL54378, CP78-1247 catalogados como moderadamente resistentes por presentar muy pocas pústulas en las hojas, fueron liberados y posteriormente mostraron una alta susceptibilidad en todo el sur del Estado. Estos autores pensaron en la presencia de una nueva raza, sin embargo, lo que ocurrió realmente fue una adaptación del patógeno a este nuevo cultivar.

### **4.3.2. Evaluación de los patrones de resistencia**

#### **4.3.2.1. Reacción y estabilidad de los patrones**

Los patrones utilizados en las pruebas de resistencia frente a la roya parda PR980 (AR), Ja64-11 (R), C334-64 (MR), Ja60-5 (S), My55I4 (S) y B4362 (AS), mantuvieron su reacción ante la enfermedad (INICA, 2011). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Tamayo (2010), quien encontró una reacción similar de los patrones, así como la formación de grupos donde el mayor porcentaje de genotipos estudiados se comportó en las categorías de resistencia.

Los cultivares SP70-1284 (MR) y C88-380 (MS) pueden ser recomendados para su incorporación como patrones en las Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento Genético y ampliar la evaluación de reacción intermedia junto a C334-64. Estos mantienen medias generales en las localidades de estudio de las variables LPM y PAOPUST, que los sitúan entre las categorías extremas de resistencia.

Existe coincidencia con lo expresado por el INICA (2011), quien recomienda a B4362 y Ja60-5 como fuentes de inóculo y de variabilidad patogénica en los estudios de resistencia en foco de infección natural. Lo anterior reafirma sus altos potenciales para el desarrollo de epifitotias de roya parda, además como suministradores de inóculo de manera alta y estable, lo que sugiere que los mismos se mantengan como patrones susceptibles de esta enfermedad en el Programa de Mejoramiento Genético del INICA.

Al realizar la representación gráfica mediante el Biplot AMMI<sub>1</sub> con el valor de la CP1 en las ordenadas y la media de la variable porcentaje de área ocupada por pústulas en las abscisas, para ambas cepas, la Interacción genotipo x ambiente es descrita en términos de susceptibilidad diferencial de los cultivares frente a la roya parda (Figuras 11 y 12).

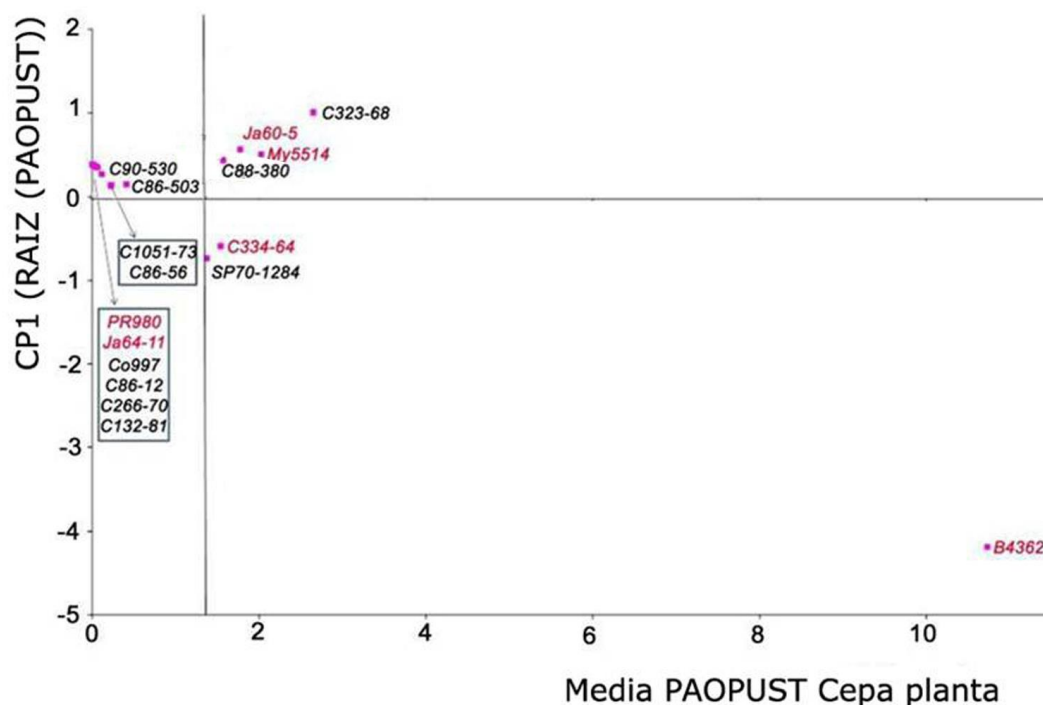


Figura 11. Representación Biplot, AMMI<sub>1</sub> del nivel de respuesta de los cultivares. Cepa caña planta para la variable porcentaje de área ocupada por pústulas (PAOPUST)

Los genotipos sobre una misma vertical, tienen medias similares para el carácter evaluado, mientras que los que aparecen sobre la misma horizontal, muestran patrones de interacción similares. Los cultivares con valores de la CP1 cercanos a cero, son los que presentan mayor estabilidad a través de los diferentes



ambientes de evaluación y los más alejados de cero tienen mayor inestabilidad en el carácter evaluado (Tamayo y col., 2012).

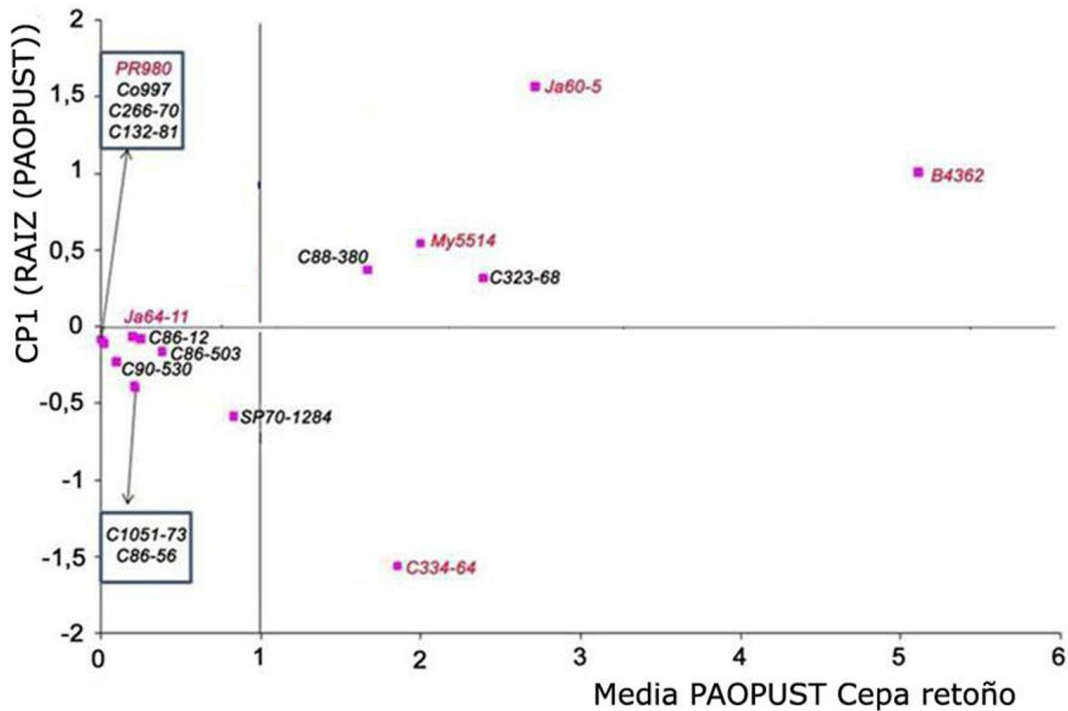


Figura 12. Representación Biplot, AMMI<sub>1</sub>, del nivel de respuesta de los cultivares. Cepa retoño para la variable porcentaje de área ocupada por pústulas (PAOPUST)

Los resultados obtenidos demuestran la estabilidad en el nivel de reacción de respuesta de los patrones de resistencia en las cepas planta y primer retoño, para la variable área ocupada por pústulas. Los patrones PR980 y Ja64-11 mostraron resistencia, C334-64 una respuesta intermedia, pero con tendencia de variación a la susceptibilidad, mientras el resto, Ja60-5, My5514 y B4362, manifestaron susceptibilidad.

Según los resultados de este estudio, B4362 y My5514 considerados como susceptibles a roya parda, siguen el patrón de susceptibilidad descrito, al igual que los resistentes.

El patrón B4362 en todas las localidades varía en su porcentaje de afectación, aunque siempre es altamente susceptible, por lo que para los propósitos del sistema de evaluación puede ser empleado para representar ese tipo de reacción.

Se considera intermedio el patrón C334-64, sin embargo, en este estudio, manifiesta cierta inestabilidad tendiente a la susceptibilidad a la roya parda. Esta reacción se considera normal en cultivares intermedios, lo que puede deberse a una mayor dependencia de los factores del ambiente.

Los genotipos que cambian su reacción con el ambiente son los de reacción intermedia y algunos susceptibles. Precisamente para eso es que se utilizan los patrones de evaluación y se hacen los ajustes de curvas de regresión de manera que se elimine el efecto ambiental (Alfonso y col., 2008; 2012; Tamayo y col., 2012).

#### **4.3.2.2. Evaluación de patrones de resistencia ante la enfermedad**

Los resultados del AMMI posibilitan conocer los distintos niveles de reacción ante la enfermedad y se distinguen como resistentes Co997, C132-81, C266-70, C1051-73, C86-56, C86-12 y C90-530 (Figuras 11 y 12). De igual forma se detectan aquellos que manifestaron cierto nivel de susceptibilidad y el orden de ésta.

Al no contar con patrones de susceptibilidad intermedia, es difícil establecer un rango de valores para los caracteres evaluados y que agrupe a los genotipos en determinado nivel intermedio de susceptibilidad a la enfermedad. Sin embargo, los resultados del  $AMMI_1$  permiten identificar el nivel de susceptibilidad de los cultivares, así como, la estabilidad de estos en cada carácter evaluado, por lo que se puede inferir que C88-380 y SP70-1284 mantienen una reacción intermedia ante la enfermedad.

En un mismo gráfico se puede visualizar similitudes y diferencias entre los cultivares y sus respuestas frente a la enfermedad, así como entre los ambientes de evaluación. Además, facilita la valoración del manejo de los cultivares para su empleo comercial y en los programas de mejora genética (Tamayo 2010).

La variable LPM, para el caso de la representación  $AMMI_1$  (Figuras 13 y 14), tiene la manifestación siguiente: los individuos utilizados como patrones PR980 y Ja64-11 conjuntamente con Co997, C266-70, C132-81, C1051-73, C86-56 y C90-530 son los de mayor estabilidad y coinciden con los de mayor resistencia a la roya parda. Muy cercano a este grupo se encuentran ubicados los cultivares C86-12 y C86-503, con un ligero incremento en esta variable.

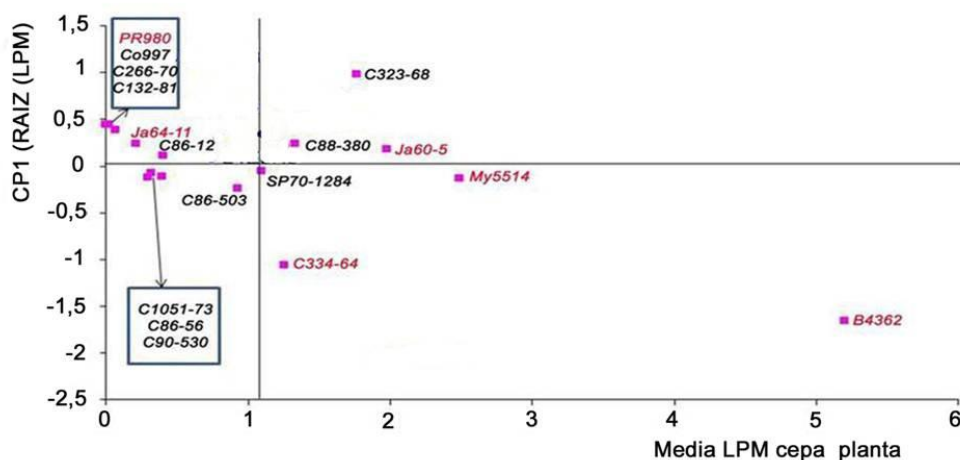


Figura 13 Representación Biplot AMMI 1 del nivel de respuesta de los cultivares.

Cepa caña planta para la variable largo de la pústula mayor (LPM)

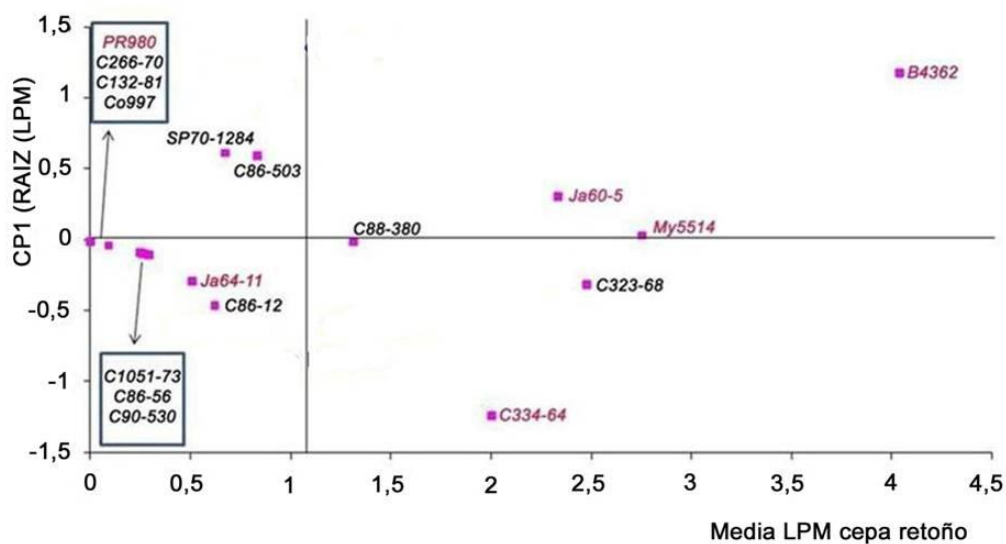


Figura 14. Representación Biplot AMMI 1 del nivel de respuesta de los cultivares.

Cepa retoño para la variable largo de la pústula mayor (LPM)

El empleo de las variables PAOPUST y LPM es de gran utilidad para determinar el grado de resistencia de los cultivares a la enfermedad, por lo que se propone su inclusión en la escala a utilizar en las evaluaciones relacionadas con la roya parda de la caña de azúcar.

En el análisis de conglomerado (Figura 15), se observa la formación de 7 grupos basados en la reacción de los cultivares, lo que permite realizar una clasificación correcta de los individuos.

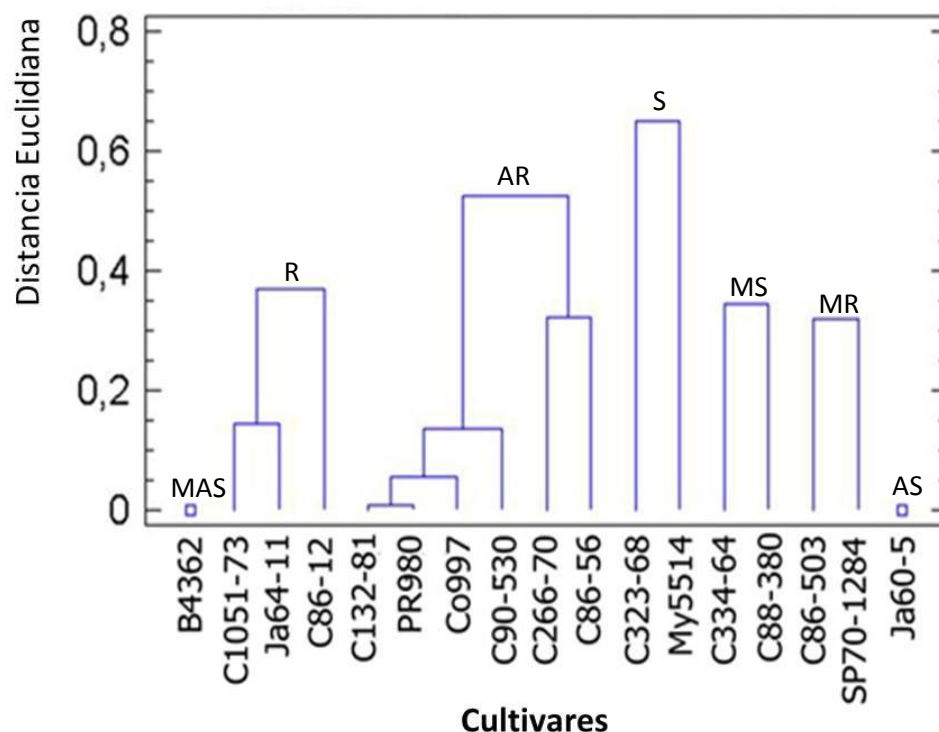


Figura 15. Análisis del agrupamiento según la reacción de los cultivares evaluados

El grupo con las menores afectaciones quedó conformado por C1051-73, C132-81, C266-70, C86-12, C86-56, C90-530 y Co997, así como los patrones de marcada resistencia a la enfermedad PR980 y Ja64-11.

Los cultivares My5514, C323-68 y Ja60-5 reaccionan como susceptibles, pero con diferentes intensidades de afectación, lo que posibilita su inclusión como patrones, pero en diferentes categorías. El cultivar C334-64 presenta reacción moderadamente susceptible, conjuntamente con C88-380 y SP70-1284 moderadamente resistente, los cuales deben ser incluidos como nuevos patrones, pues mantuvieron respuesta similar con valores próximos a la media general.

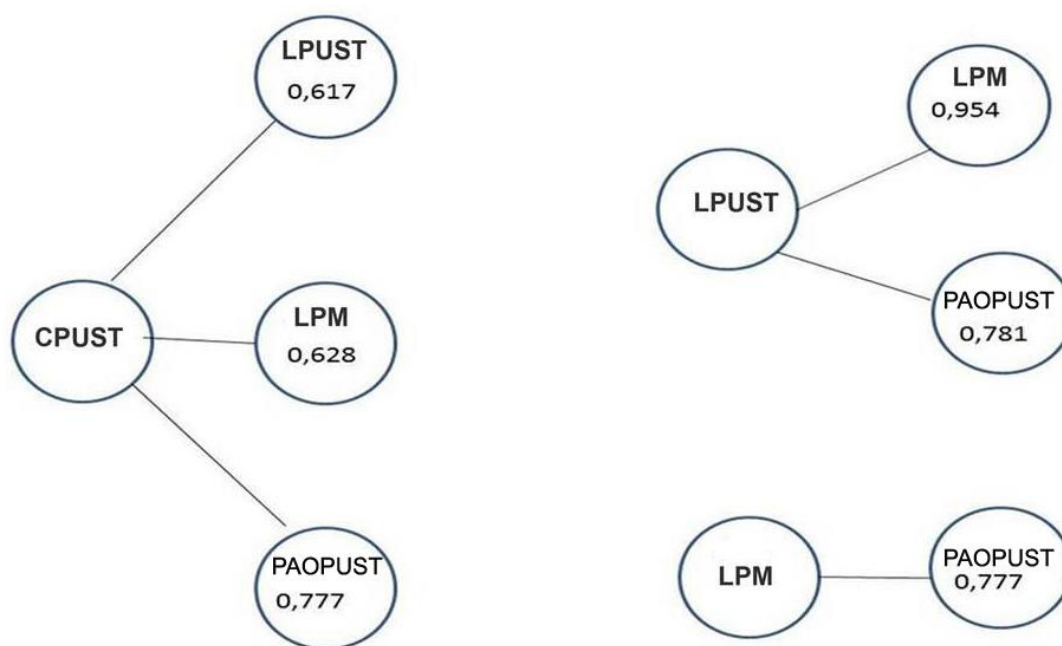
Estos resultados devienen en una nueva mejora de las metodologías actuales al contar con un mayor número de patrones, lo que permite una mejor caracterización y clasificación en lo referente a la reacción frente a esta enfermedad.

En estudios similares realizados por Tamayo (2010), se pudo apreciar mediante la utilización de los modelos AMMI que los patrones PR 980 y Ja64-11 presentan una gran estabilidad y resistencia a roya parda.

#### **4.4. Desarrollo de una escala de evaluación de la resistencia mediante el uso de variables cuantitativas**

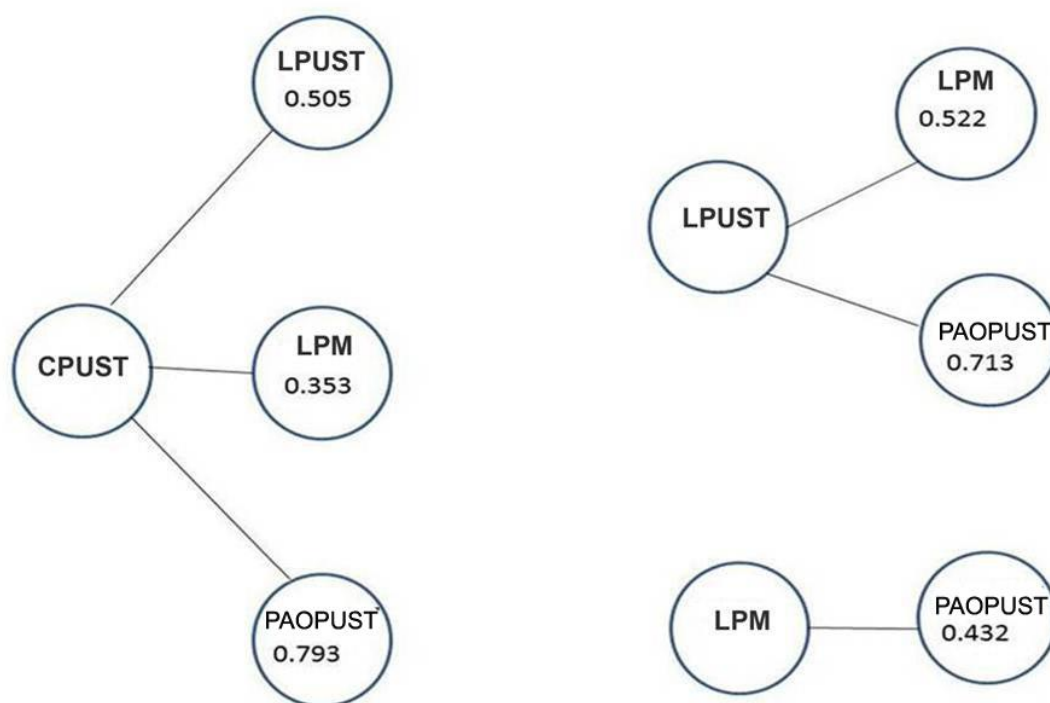
##### **4.4.1. Correlación existente entre las variables analizadas**

Existe correlación entre las variables estudiadas en ambas cepas (Figuras 16 y 17), de 0,617 a 0,954 en caña planta y de 0,353 a 0,793 en retoño, que resultan positivas entre las variables cuantitativas para las cepas de caña planta y primer retoño.



Leyenda: LPM: Largo de la pústula mayor; PAOPUST: Porcentaje de área ocupada por pústulas;  
CPUST: Cantidad de pústulas; LPUST: Largo de la pústula más frecuente

Figura 16. Correlación de Pearson para las variables estudiadas en caña planta.  
Significativa al nivel de  $p \leq 0,01$



Leyenda: LPM: Largo de la pústula mayor; PAOPUST: Porcentaje de área ocupada por pústulas; CPUST: Cantidad de pústulas; LPUST: Largo de la pústula más frecuente

Figura 17. Correlación de Pearson para las variables estudiadas en retoño. Significativa al nivel de  $p \leq 0,01$

Esta correlación fue altamente significativa y posibilita evaluarlas e incluirlas en las futuras modificaciones en las metodologías actuales y constituye una nueva mejora del sistema evaluativo de la roya parda.

Correlaciones obtenidas en estudios similares (Tamayo, 2010) demuestran la posibilidad del uso de las variables LPUST y LPM como aspectos importantes a tener en cuenta en las evaluaciones de roya parda, con coeficientes de correlación entre ellas superiores a 0,90, lo que posibilita su inclusión en las

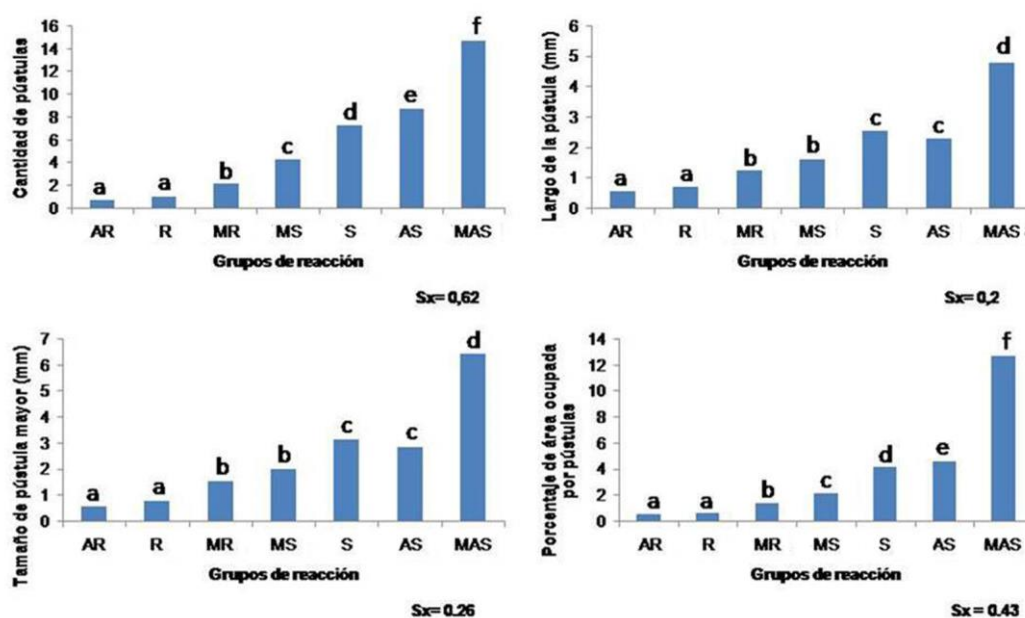


posibles modificaciones del sistema de evaluación e incluirlas en las escalas cuantitativas.

#### 4.4.2. Propuesta de modificación de la escala de evaluación de la enfermedad

El análisis de varianza para verificar la diferencia o similitud entre los grupos formados en el dendrograma que se mostró en la figura 15, arrojó diferencias significativas para todas las variables en ambas cepas.

Los resultados de las dójimas de Tukey se muestran en la figura 18. En estas se aprecia claramente la diferencia existente entre cada grupo formado. En cada uno de ellos se encuentra un cultivar estable y bien caracterizado frente a la roya parda lo que evidencia la posibilidad de incluirlo como patrón para el grado correspondiente de la escala que se propone.



Letras desiguales difieren al  $p \leq 0.01$

Figura 18. Resultado del análisis de varianza del dendrograma (Figura 15) y la dójima de Tukey para los grupos formados (cepa caña planta)



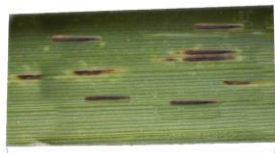
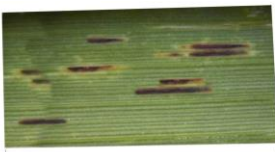
Para la conformación de la escala se tuvo en cuenta, además, los valores máximos obtenidos por los patrones de reacción estable en las distintas variables a considerar en las evaluaciones (Tabla 20).

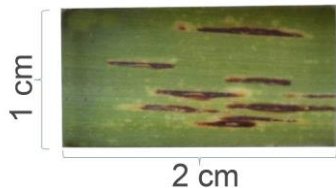
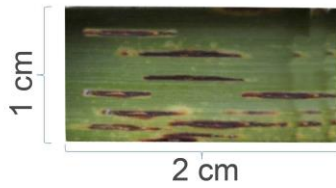
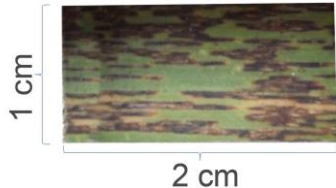
Tabla 20. Valores de las distintas variables en los cultivares patrones recomendados

Patrón	Cepa caña planta				Cepa retoño			
	PAOPUST	LPM	CPUST	LPUST	PAOPUST	LPM	CPUST	LPUST
PR980	0,26	0,79	1,18	0,40	0,08	0,42	0,40	0,42
Ja64-11	1,05	1,33	8,22	0,78	3,89	2,47	15,5	2,44
SP70-1284	6,00	3,33	12,00	2,47	3,59	3,05	8,78	2,34
C334-64	4,79	5,11	15,00	3,11	6,69	4,72	30,33	3,50
C88-380	5,20	3,89	16,00	2,56	5,30	3,20	23,22	2,89
My5514	7,49	6,77	24,00	3,79	9,21	6,11	15,61	5,43
C323-68	11,72	6,05	21,00	3,83	10,37	5,67	12,88	4,00
Ja60-5	19,64	5,05	32,83	4,28	8,55	5,60	32,50	5,43
B4362	48,78	10,00	31,94	7,94	28,38	10,78	24,22	7,47

Leyenda: PAOPUST: Porcentaje de área ocupada por pústulas; LPM: Largo de la pústula mayor; CPUST: Cantidad de pústulas; LPUST: Largo de la pústula más frecuente

**Propuesta de Escala para la Evaluación de la Roya Parda en el Programa de Mejoramiento de la Caña de Azúcar en Cuba**

GRADO	CATEGORÍA	SÍNTOMAS	
1	AR (Altamente resistente)	Síntomas poco visibles, presencia de clorosis y necrosis. Pueden presentarse pústulas de hasta 1 mm de largo que ocupan menos del 1% del área foliar de un cm <sup>2</sup> . Patrón PR980	 1 cm 2 cm
2	R (Resistente)	Presencia de puntos cloróticos y necróticos. Pústulas de 1,10 a 3 mm de largo, que pueden estar rodeadas de clorosis y ocupar de 1,1 a 4 % del área foliar de un cm <sup>2</sup> . Patrón Ja64-11	 1 cm 2 cm
3	MR (Moderadamente resistente)	Presencia de clorosis, necrosis y pústulas de 3,10 a 4 mm que pueden ocupar de 4,1 a 6 % del área foliar de un cm <sup>2</sup> . Patrón SP70-1284	 1 cm 2 cm
4	MS (Moderadamente susceptible)	Presencia de pústulas de 4,10 a 6 mm de largo que generalmente se encuentran rodeadas de un halo clorótico. También pueden presentarse en áreas necróticas. Las pústulas pueden ocupar de 6,1 a 7 % del área foliar de un cm <sup>2</sup> . Cultivares patrones C334-64 y C88-380	 1 cm 2 cm

5	S (Susceptible)	Pústulas de 5,10 a 7 mm de largo rodeadas o no de área clorótica. Puede aparecer necrosis alrededor de las pústulas, las que pueden ocupar de 7,1 a 12 % del área foliar de un cm <sup>2</sup> . Cultivares patrones My5514 y C323-68	
6	AS (Altamente susceptible)	Pústulas de 5,10 a 7 mm de largo rodeadas o no de área clorótica. Puede aparecer necrosis alrededor de las pústulas, las que pueden ocupar de 12,1 a 20% del área foliar de un cm <sup>2</sup> . Patrón Ja60-5	
7	MAS (Muy altamente susceptible)	Pústulas mayores de 7 mm de largo que pueden unirse formando parches. Puede producirse amarillamiento y necrosado del área foliar. El porcentaje ocupada por pústula es mayor al 20% del área foliar de un cm <sup>2</sup> . Patrón B4362	

#### 4.4.3. Propuesta de modificación de la Metodología de evaluación de roya parda en el Programa de Mejora de la Caña de Azúcar en Cuba

La integración de los resultados obtenidos durante el proceso de investigación permitió realizar modificaciones a la metodología actual de evaluación de la

resistencia a la roya parda de la caña de azúcar en Cuba (Anexo 1). Las enmiendas que se sugieren a la misma se reflejan en la siguiente propuesta.

### **Metodología para la Evaluación de Roya Parda de la Caña de Azúcar en Etapas Finales del Esquema de Obtención de Cultivares en Cuba.**

Esta metodología está dirigida a las pruebas de resistencia a roya parda, las que se desarrollarán en: Quivicán, Jovellanos, Ranchuelo, Florida, Guaro y Palma Soriano. En el período comprendido entre los meses de septiembre a octubre, paralelo a los estudios replicados de ciclo de frío, se plantará la prueba de resistencia para hacer coincidir las condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad con la etapa de mayor susceptibilidad de la planta.

Se utilizará un diseño experimental de bloques al azar con tres réplicas. Cada parcela contará con un área de 9,60 m<sup>2</sup> (un surco de seis metros de longitud y 1,60 de ancho) por réplica. Los genotipos se distribuyen al azar. Cada dos cultivares y en los bordes se planta B4362 para incrementar y homogeneizar la presión de inóculo

Se emplean como cultivares patrones de resistencia PR980 (AR), Ja64-11 (R), SP70-1284 (MR), C334-64 y C88-380 (MS), My5514 y C323-68 (S), Ja60-5 (AS) y B4362 (MAS). Se ubican de forma aleatoria como el resto de los cultivares. Las evaluaciones se realizarán en los plantones centrales de cada surco, en la hoja +3 (según notación de Kuijper), de 10 plantas, a los 3 y 5 meses de edad en la cepa de caña planta.

Se utiliza una estación de muestreo de 2 cm<sup>2</sup> en el tercio medio de la hoja y se determina la cantidad de pústulas, el largo medio de la pústula más frecuente y el largo de la pústula mayor. Estos datos permitirán realizar el cálculo del área ocupada por pústulas mediante la ecuación:

$$\text{Pústulas / cm}^2 (\%) = (\text{CPUT} * \text{LPUS} * 0,38) / 2$$

Dónde:

Pústulas / cm<sup>2</sup> (%) = Área ocupada por las pústulas en cada cm<sup>2</sup>.

CPUT = Número de pústulas en 2 cm<sup>2</sup>.

LPUS = Longitud de la pústula más frecuente en la muestra en mm.

0,38 = Ancho medio en mm de la pústula

Para definir la reacción de los cultivares se utilizará la escala que se refleja en el epígrafe 4.4.2.

Además, se realizará una regresión lineal con los valores esperados y reales de los cultivares patrones para descartar la posible influencia del ambiente y poder brindar un resultado más confiable de la reacción del material que se evalúa.

La aceptación o rechazo del material evaluado depende del grado de reacción:

- Aceptar todos los cultivares AR y R.
- Los cultivares MR y MS que se seleccionen deben ser manejados adecuadamente.

- Para definir la reacción de los cultivares S, con perspectivas comerciales, estos deben ser probados en las localidades de Quivicán, Ranchuelo, Florida y Palma Soriano. Posteriormente debe trazarse la estrategia para su manejo teniendo en cuenta ubicarlas en zonas donde la prevalencia de la enfermedad sea baja y que en el entorno se planten cultivares resistentes.
- Rechazar todos los cultivares AS y MAS.

La aceptación de cultivares S, MR y MS en la metodología propuesta está condicionada a un correcto manejo de los mismos y permite en un entorno de resistencia, el cultivo y explotación de los comprendidos en esta categoría que manifiesten un alto potencial agro productivo.

## 5. CONCLUSIONES

1. Se demostró que el tercio medio de la hoja +3 brinda la mejor representación de los síntomas de roya parda.
2. Se determinó que la ecuación  $CPUST * LPUST * 0,38) / 2$  permite el cálculo del área ocupada por pústulas [Pústulas / cm<sup>2</sup> (%)].
3. Las temperaturas (máxima, mínima y media) y la humedad relativa del aire tienen la mayor influencia en la reacción de las variables biológicas.
4. Se demostró que las localidades de Quivicán, Jovellanos, Ranchuelo, Florida, Guaro y Palma Soriano son útiles para evaluar la resistencia a la roya parda y se proponen Quivicán, Ranchuelo, Florida y Palma Soriano para definir los cultivares MR, MS y S.
5. Las edades óptimas para evaluar la reacción de los cultivares ante la enfermedad son a los 3 y 5 meses, período en el que se presentan las mayores manifestaciones de los síntomas.
6. Se mejora la metodología actual mediante el uso de una escala cuantitativa de 7 grados para evaluar la resistencia a la roya parda, donde se reafirman los patrones actuales y se incorporan SP70-1284 (MR) y C88-380 (MS). Se reclasifican My5514 y C323-68 como (S), Ja60-5 (AS) y B4362 (MAS).



## 6. RECOMENDACIONES

- Incorporar la Metodología propuesta, como parte de las Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento de la Caña de Azúcar en Cuba, para la evaluación de la resistencia a la roya parda de los cultivares obtenidos por el proceso de mejora.
- Capacitar al personal técnico vinculado al proceso de obtención de cultivares de caña de azúcar en Cuba sobre las modificaciones y forma de aplicación de la nueva metodología.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aday, O. C.; F. Barroso; F. Díaz; Esther Lilia Martín; L. Pérez; Isabel Alfonso; J. Pérez y J. Barroso. Presencia de la roya naranja (*Puccinia kuehnii* (Krüger) Butler en áreas experimentales de caña de azúcar (*Saccharum spp* híbrido) de la región central de Cuba. Fitosanidad Vol. 14 No. 2 Junio pp: 83 – 89, 2010.
2. Agrios, G. Plant Pathology. Fifth Edition. Department of Plant Pathology. University of Florida. ISBN 0-12-044565-4. 948 pp, 2005.
3. Alfonso, Isabel. Bases fitopatológicas para el control de la roya de la caña de azúcar en Cuba. Tesis Doctoral; INICA: 92 pp., 1987.
4. Alfonso, Isabel. Patogenicidad de aislamientos de *Puccinia melanocephala* Sydow & P. Sydow. Jornada Científica del INICA; Resúmenes: 71, 1994.
5. Alfonso, Isabel. Informe del proyecto “Optimización del procedimiento metodológico para evaluar la enfermedad de la roya parda de la caña de azúcar”. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Cuba. 60 pp., 2008.
6. Alfonso, Isabel; Eida Rodríguez y R. Acevedo. La roya parda de la caña de azúcar en Cuba. Editorial Académica Española. ISBN-13: 9783659063145. 72 pp., 2012.

7. Alfonso, Isabel; J. Delgado; Y. Rufin; O. Aday; J. Montalván; Mónica Tamayo; Eida Rodríguez, R. Acevedo; María La O y R. González. Tamaño de pustula mayor, una variable categórica para evaluar la roya parda en caña de azúcar. En Resúmenes Seminario Internacional de Sanidad Agropecuaria (SISA 2011), 2011.
8. Alfonso, Isabel; J. R. Pérez; María LaO; Eida Rodríguez y Mérida Rodríguez. Roya naranja en caña azúcar: Alerta fitosanitaria para el Caribe. En: Actas del VI Seminario Científico Internacional de Sanidad Vegetal. Palacio de Convenciones, La Habana, Cuba: 22-26, 2008.
9. Alfonso, Isabel; Ma Teresa Cornide; Ileana Sandoval; I. Rodríguez.; Eulalia Ojeda y J. Vallina. Sistema Evaluativo de la Resistencia a las Principales Enfermedades de la Caña de Azúcar en Cuba. Roya (*Puccinia melanocephala* Sydow. & P. Sydow). Revista Cuba & Caña: p. 33-42, 2000.
10. Alfonso, Isabel y R. González. Comportamiento de un grupo de variedades ante la roya de la caña de azúcar en Cuba. II Jornada Cient. INICA; 29, 1979.
11. Alfonso, Isabel y R. González. Comportamiento de un grupo de variedades de caña de azúcar ante la roya (*Puccinia melanocephala*, Sydow). Rev. Ciencias de la Agríc. A.C.C. No. 8: 3-8, 1981.

12. Alfonso, Isabel y R. González. Evaluación de algunos clones y variedades ante la roya de la caña de azúcar. *Ciencias de la Agricultura*.2 (7): 11, 1984.
13. Alfonso, Isabel; R. González.; J. Rodríguez; J. Montalván y F. Alfonso. La roya de la caña de azúcar en el programa de obtención y selección de variedades. XV Congreso Científico. III Taller de Mejoramiento y Conservación de Recursos Fitogenéticos, INCA, p. 99, 2006.
14. Almeida, T. W.; M. Cristina; G. Da Silva; C. de Olivera; F. Satti; L. Plinio; S. Augusto; A. Pereira; H. Paulo; M. Simpaio. Evaluation of sugarcane families for resistance to Brown rust disease using generalized linear mixed model. XI Pathology and IX Entomology Workshops. "Exchange innovative pest and disease management strategies in the sugarcane agrosystem" September. Guayaquil Ecuador. Abstract Book. BP 3 p. 8, 2015.
15. Alomá, Regla; H. García y H. Jorge. La edad de evaluación y su importancia para la clasificación de los ambientes en los estudios de roya (*Puccinia melanocephala* H & P. Syd.) en la provincia de Cienfuegos. En Jornada Científica INICA; Resúmenes: 82, 1994.
16. Alvarado, J. L. La roya *Puccinia melanocephala* Sydow de la Caña de Azúcar en México. *Azúcar*. S.A. de C. V; 10-14, 1989.

17. Ángel, J. C.; A. Gutiérrez; J. López; María Guzmán; L. Cardona and J. Victoria. Monitoring the severity and variability of Brown rust (*Puccinia melanocephala*) in sugarcane varieties in the Cauca valley. Colombia. 11 pp. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol. Vol 27. 5 pp., 2010.
  
18. Ángel, J. C.; J. Victoria; Marcela Cadavid and C Ángel. The race is on: review, advances and challenges for integrated and sustainable management of sugarcane brown rust and orange rust in Colombia. Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists, volume 29, 1776-1785, 2016.
  
19. Arellano, C.; M. Ramos; S. Komeva; J. Pilco; G. Chávez y C. Astolfo. Evaluación de la resistencia a la roya parda (*Puccinia melanocephala* Syd) de somaclones de caña de azúcar (*Saccharum sp* híbrido) obtenidos en El Ecuador. Fitosanidad, Vol. 15, Num. 4, Diciembre pp. 245-250 ISSN 1562-3009. Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal. Cuba, 2011.
  
20. Asnaghi, C.; A. D'Hont; J. C. Glaszmann and P. Rott. Resistance of sugarcane cultivar R570 to *Puccinia melanocephala* isolates from different geographic locations. Plant Diseases: 21(3):282-286, 2001.
  
21. Augstburger, F.; J. Berger; U. Censkowsky; P. Heid; J. Milz, y C. Streit. Cultivo Ecológico de Caña de Azúcar Agricultura Orgánica en el Trópico y Subtrópico. Guías de 18 Cultivos. Caña de Azúcar. Naturland. 20 pp., 2010.

22. Bailey, R. A. Sugarcane rust in South Africa. Sugarcane Pathologist; Newsletter: 8-25, 1979.
23. Barrera, W. Effects of environmental variables and crop growth on development of brown rust epidemics in sugarcane. Degree of Master of Science B.S., Earth University. Costa Rica. 78 pp., 2010.
24. Barrera, W; J. Hoy and B. Li. Effects of temperature and moisture variables on brown rust epidemic in sugarcane. Journal of Phytophatology, Vol. 161 Issue 2. pp 96 – 106. February, 2013.
25. Barreto, F. Z.; T. W. A. Balsalobre; H. P. Hoffmann and M. S. Carneiro. Validation of Bru 1 molecular markers linked to resistance to brown rust in a sugarcane germplasm collection. Resúmenes del 59 Congreso Brasileño de Genética. ISBN 978-85-89109-06-02 pp. 112. 2013.
26. Bernard, F. A. Roya de la caña de azúcar. Boletín Técnico El Cañero, 7(8-9):1-8, 1978.
27. Cartaya, G. Informe del Departamento Fitosanitario del MINAZ. Ciudad de la Habana. Cuba 21 pp., 1981.
28. Castro, F. R. Un ambicioso y grandioso programa de superación de los trabajadores azucareros. Tabloide especial (24):8, 2002.
29. CENICAÑA. Roya. Enfermedad de importancia económica. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. 2003-2008;

- (Consultado: 28 abr 2008). Disponible en: [http:// www.cenicana.org/](http://www.cenicana.org/), 2008.
30. Cochran, W. G. y G. M. Cox. Diseños experimentales. 4ta re-impresión. México DF.; Edit. F. Trillas: 661p, 1965.
  31. Colmenares, C.; J. Montilla; H. Nass y M. López. Comportamiento de ocho cultivares de *Saccharum spp.* ante la roya de la caña de azúcar, *Puccinia melanocephala*, mediante variables epidemiológicas. Fitopatología Venezuela. Vol. 22 Num.1 p 8-12, 2009.
  32. Comstock, J. C.; N. Glynn and R. Wayne. Sugarcane rust in Florida. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol., Vol. 27, 10 pp., 2010.
  33. Comstock, J. C. and S. A. Ferreira. Sugarcane rust: Factors affecting infection and symptom development. In: Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol. Congr. XIX, Jakarta: 403-410, 1986.
  34. Comstock, J. C.; S. G. Sood and N. C. Glynn. First report of *Puccinia kuehnii*, causal agent of orange rust of sugarcane in the United States and western hemisphere. Plant Disease 92 (1): 175, 2008.
  35. Comstock, J. C.; S. Sood; D. Zhao; M. Kanaan; P. Rott and R. Raid. Presence of BRU1 brown rust resistance in the CP sugarcane development programs. XI Pathology and IX Entomology Workshops. "Enhancing innovative pest and disease management strategies in the

- sugarcane agrosystem” September. Guayaquil, Ecuador. Abstract Book, BP 2 p. 7, 2015.
36. Copyright. Statgraphics plus versión 5,1, 2000.
  37. Copyright IBM y col. IBM SPSS Statistical 21, 2012.
  38. Cornide, Ma.Teresa; Eulalia Ojeda; J. Vallina; Lidia Lera; A. Espinosa y H. Leonart. Estudio epidemiológico de la resistencia a la roya de la caña de azúcar en un grupo de clones y progenies comerciales. Rev. Cultivos Tropicales 18 (3): 83-86, 1997.
  39. Cornide, Ma. Teresa; Ileana Sandoval e Isabel Alfonso. Metodología para la evaluación de la enfermedad de la roya de la caña de azúcar (*Puccinia melanocephala*) durante el proceso de obtención de variedades. A. C. C. II S. V. MINAZ- INICA, MINAGRI, ANP. MES. Mimeografiado. 2da. Versión, 1990.
  40. Cornide, Ma. Teresa; J. Vallina y M. Álvarez. Estimación de las varianzas genéticas de la resistencia a la roya de la caña de azúcar por un diseño factorial de cruces: área foliar atacada. Agrociencia Vol 30 Num. 1 pp 55 -62. 1996.
  41. Costet, L.; Le Cunff, L; Royaert, S.; Raboin, L. M.; Hervouet, C.; Toubi, L.; Telismart H.; Garsmeur O.; Roucelle Y.; Pauquet J.; Nibouche S.; Glaszmann J.; Hoarau J. and D’Hont. Haplotype structure around Bru1 reveals a narrow genetic basis for brown rust resistance in modern



- sugarcane cultivars. Theor. Appl. Genet. DOI 10.1007/s00122-012-1875-x, 2012.
42. Cuenya, M.; E. Chavanne; S. Ostengo; M. García; M. Ahmed; D. Costilla; C. Díaz; M. Espinosa; J. Díaz y N. Delgado. Tuc00-19: Una nueva variedad de caña de azúcar altamente productiva y de maduración temprana. Gacetilla Agroindustrial. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). Tucumán. Argentina. Número 77 ISSN: 0328-6789. 15 pp. Marzo, 2013.
  43. Curling, F. F. Resistencia da cana de açúcar a ferrugen (*Puccinia melanocephala* H & P. Sydow Tesis presentada al Título de Máster en Ciencias. Universidad Federal de Vicosa. Minas erais, Brasil 58 pp., 1989.
  44. Chapola, R.; D. Cursi; A. Fernández y H. Hoffmann. Reaction of sugarcane genotypes to orange rust and to Brown rust. XI Pathology and IX Entomology Workshops. “Enhancing innovative pest and disease management strategies in the sugarcane agrosystem” September. Guayaquil, Ecuador. Abstract Book, BPP 29 p. 36, 2015.
  45. Chavarría, E. Escalas descriptivas para las evaluaciones de enfermedades de la Caña de azúcar. Dirección de investigación y extensión de la caña de azúcar. LAICA. San José. Costa Rica 53 pp., 2006.

46. Chaves, N. y C. M. Araya. Distribución espacial del amachamiento del frijol (*Aphelenchoides beseyi* Christie) en campo. Agronomía Mesoamericana Vol. 25 n. 1 San Pedro Jan./ Jun. 5 pp., 2014.
47. China, A. Situación fitopatológica de la caña de azúcar en Cuba. Revista ATAC Julio-diciembre, Vol. 63, (2): 26, 2002.
48. China, A.; H. Nass; C. Daboin y María Dolores Díes. Enfermedades y daños de la caña de azúcar en Latinoamérica. Imprecolor. Barquisimeto. Venezuela 107 pp., 2000.
49. China, A.; R. Acevedo; Eida Rodríguez y María 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. pp. 41-47, 2014.
50. Chu, T. L.; J. L. Serapion and J. L. Rodriguez. Varietal reaction and inheritance trends of susceptibility of sugarcane to rust (*Puccinia melanocephala* Sydow & P Sydow). Journal Agriculture Univ. Puerto Rico, LXVI: 99-108, 1982.
51. Dean, L. and H. L. Purdy. Races of the sugarcane rust fungus *Puccinia melanocephala* found in Florida. Sugar Cane: 1-15, 1984.
52. Deer, N. The history of sugar. Vol 1. Chapman and Hall, London. 1949.
53. Degering, E. F. Carbohydrate and Sugar foods. An outline of organic Chemistry. 6<sup>th</sup>ed. Barnes and Noble, New York, 1951.

54. Dillewijn, C. Van. Botánica de la caña de azúcar. Ediciones Revolucionarias, Instituto del Libro, La Habana, 460 pp., 1952.
55. Durán, J. R. "Informe de la República de Costa Rica a la Mesa Redonda Latinoamericana sobre Enfermedades de la Caña de Azúcar". Ciudad de la Habana. Cuba. Noviembre. FAO- ATAC- MINAZ. 15 pp., 1986.
56. Eberhart, S. A. and W. A. Russell. Stability parameters for comparing varieties. Crop Sci.6:19-40, 1966.
57. Egan, B. T. Rust. En: Diseases of Sugar Cane: Major Diseases. Ricaud C.; B. T. Egan; A. G. Gillaspie Jr. and C. G. Hughes. (Eds). Elsevier Science Publishers B. V. 400 p., 1989.
58. Esquivel, E. A. La roya de la caña de azúcar (*Puccinia* spp). Aspectos básicos y revisión de la situación actual. Boletín GEPLACEA No 14, 1980.
59. Esquivel, E. y L. Narváez. Observaciones sobre la resistencia de clones de *Saccharum* spp a la roya *Puccinia melanocephala* Sydow en la República de Panamá. Primera Reunión. Técnica de GEPLACEA sobre carbón y roya de la caña de azúcar GEPLACEA, Panamá; 12-15, 1979.
60. Flores, C. S. y S. Osada. La Roya de la Caña de Azúcar. (*Puccinia* sp), en México. IMPA Córdova. Veracruz Mexico 10 pp., 1979.
61. Flores, C. S. y S. Osada. La roya de la caña de azúcar (*Puccinia* spp) en el Continente Americano. Mem. IX Conv. Nal. ATAM.; México: 70-74, 1980.

62. Funes, C.; D. D. Enriquez; R. P. Bertani; C. M. Joya; V. González; E. R. Romero and L. D. Ploper. Sugarcane Brown rust control and its effect on yields of LCP85-384 during four growing seasons in Tucumán, Argentina. XI Pathology and IX Entomology Workshops. "Enhancing innovative pest and disease management strategies in the sugarcane agrosystem" September. Guayaquil Ecuador. Abstract Book. BP 28 p 33, 2015.
63. Gálvez, G. ¿Sin azúcar no hay país? Revista de la Arquidiócesis de La Habana. WWW. Palabranueva.net. Fecha de consulta 17 de marzo del 2015.
64. Gauch, H. G. and Zobel R. W. AMMI analysis of yield trials. In Genotype-by-Environment Interaction. Editors M.S. Kang and H.G. Gauch, CRC Press, Boca Raton, Florida 122: 85, 1996.
65. GEPLACEA. La Roya de la caña de azúcar (*Puccinia spp*). En Reunión de Expertos de Alto Nivel sobre la prevención y control de las enfermedades del carbón y la roya de la caña de azúcar. (Documento Básico de Referencia). La Habana 31 marzo-3 de abril, 50-60 p, 1981.
66. Glaz, B; S. Edme; R. Davidson; S. Sood; D. Zhao; R. Gilbert; J. C. Comstock; H. Sandhu; N. Glynn and P. McCord. Evaluation of new Canal Point Sugarcane Clones: 2011- 2012 Harvest, ARS -175. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Washington, D. C., 46 pp., 2014.

67. Glynn NC, Laborde C, Davidson RW, et al.. Utilization of a major brown rust resistance gene in sugarcane breeding. *Molecular Breeding* 31: 323-331. 2013.
68. González, A. Caracterización del efecto ambiental en estudios de regionalización de variedades de caña de azúcar (*Saccharum spp*) en la provincia de Las Tunas. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. INICA. Universidad Agraria de La Habana. 152 pp., 1995.
69. González, A. Comunicación personal. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. La Habana, Cuba, 7 de abril del 2016.
70. Hernández, A; Pérez, J.M; Bosch, D. y Rivero, L. Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. Instituto de Suelos. La Habana. AGRINFOR, 64 p, 1999.
71. Hernández, L.; J. López; C. García; F. Osorio; M. Nava. Dinámica espacio temporal de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) en *Murraya paniculata* (L) Jack en Cuitlahuac, Veracruz. *Acta Zoológica Mexicana* 29 (2): 334-345, 2013.
72. Hoy, J. and C. Hollier Effect of brown rust on yield of sugarcane in Louisiana. *Plant Disease*. Vol 93. No 11 pp 1171 – 1174. November, 2009.

73. Hoy, J. and G. Kenneth. Best Management Practices for Minimizing the Impact of Brown Rust in Sugarcane. LSU AgCenter. Pathology 5 pp., 2015.
  
74. Hoy, J.; N. Baisakh; M. C. Avellaneda; C. A. Kimbeng and AL Hale. Detection, breeding and selection of durable resistance to brown rust in sugarcane. Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists, volume 29, 1034-1039, 2016
  
75. Hsieh, W. H. and J. G. Fang. The uredospore production of *Puccinia melanocephala* and *Puccinia kuehnii* in sugarcane. Plant Prot Bull. (Taiwan); 25(4):239-244, 1983.
  
76. Hughes, C. G.; E. V. Abbott and C. A. Wismer. Sugar-Cane Diseases of the World. Volumen II. Edición Revolucionaria Instituto del Libro. 354 pp., 1969.
  
77. Humbert, R. P. El cultivo de la caña de azúcar. Edición revolucionaria. Editorial Pueblo y Educación. Plaza de la Revolución. Ciudad de La Habana. 719 pp., 1979.
  
78. Infante, Danay; B. Martínez; E. González y Noyma González. *Puccinia kuehnii* (Krüger) Butler y *Puccinia melanocephala* H. Sydow & P. Sydow. en el cultivo de la caña de azúcar. Rev. Protección Veg.; Vol. 24 No. 1, 2009.

79. INICA. Informe Anual del Servicio Fitosanitario de la caña de Azúcar. 84 pp., 2007.
80. INICA. Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba. Revista Cuba & Caña ISSN 1028-6527. La Habana, Cuba, PUBLINICA. 346p, 2011.
81. INICA. XXIII Reunión Nacional de Variedades, Semilla y Sanidad Vegetal. 26-27 abril. Revista Cuba & Caña. Suplemento Especial. ISSN 1028 - 6527. La Habana 49 pp. Abril, 2016.
82. Jalaja, N. C.; D. Neelamathi and T. V. Sreenivasan. Micropropagation for quality seed production in sugarcane in Asia and the pacific. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome; Asia - Pacific Consortium on Agricultural Biotechnology New Delhi; Asia – Pacific Association of Agricultural Research Institutions, Bangkok. ISBN 978–92-5-105828-2 60pp., 2008.
83. Jorge, H.; Ibis Jorge y Saddys Segrera. (Editores). Programa de Fitomejoramiento, Impacto en la Producción Azucarera Cubana. Publinica. ISBN 959-7140-03-9. 99 pp., 2003
84. Jorge, I. e I. Santana (editores). Principios y conceptos básicos para el manejo de variedades y semilla de caña de azúcar en la agroindustria azucarera cubana. PUBLINICA. ISSN: 1028 – 6527. 135 pp., 2011.

85. Juárez, J. F. y A. Valdés. Resistencia varietal a la enfermedad de la roya de la caña de azúcar *Puccinia melanocephala*. Proyecto para determinar la resistencia varietal al Mosaico, la Roya, el Carbón y la Escaldadura de la caña de azúcar. Ed. Programa Nacional de Variedades del FOCYCAÑA. México, DF, Octubre: 19-30, 2000.
86. Koike, H. Sugar-cane diseases. A guide for field identification. FAO Rome (Italy) cod 14 Agris H 20 ISBN 92-5-102534-7 127 pp., 1988.
87. Lacava, G. Análise da herança da resistência à ferrugem da cana de açúcar *P. melanocephala* H and P Sydow. Tesis presentada en opción al Grado Científico de Máster en Ciencias. Universidad Federal de Sao Carlos. Centro de Ciencias Biológicas. 45 pp., 2010.
88. Lerch, G. La Experimentación en las Ciencias Biológicas y Agrícolas. Editorial Científico Técnica. La Habana 452 pp., 1977.
89. Leonard, K. J. and R. H. Moll. Durability of general resistance: Evaluation of cultivar x isolate interactions. Proc. Symp. IX Congress of Plant Protection. Vol. 1 pp.190-193. Washington DC. USA., 1979.
90. Liu, L. J. Evaluation of sugarcane resistance to rust in Puerto Rico and the Dominican Republic. Proc. ISSCT, 17; 1384-13-92, 1980.
91. Liu, L. J. Observations and considerations on sugarcane rust incidence, varietal reaction and possible occurrence of biologic races. Sugarcane Pathologist's Newsletter; 5-10, 1981.



92. Luke, J. W. Soil groups of the coastal plain in the Dominican Republic and their response to sugar cane varieties and fertilization. VIII Cong. ISSCT, pp. 138-188, 1953.
93. Martín, Marianela. La caña es más que azúcar. Juventud Rebelde. Diario de la Juventud Cubana. 3 de septiembre. Edición Digital, 2014.
94. Martin, L.A.; D.L. Evans; L. Castlebury; J. Sifundza; J. Comstock; S. Rutherford and S. McFarlane. An update on the new species of rust infecting sugarcane in southern Africa. International Society os sugar cane Technolologists XI Patholgy and IX Entomology Workshops. September 14-18, Guayaquil, Ecuador. Programme and Abstracts, 2015.
95. Martín, J. R.; G. Gálvez; R. de Armas; R. Espinosa; R. Vigoa y A. León. La Caña de Azúcar en Cuba. Editorial Científico Técnico. La Habana. 612 pp., 1987.
96. Martínez, E.; S. G. Barrios; L. Robesti y P. R. Santos. Manejo Integrado de plagas. Ediciones Centro Nacional de Sanidad Vegetal, La Habana, Cuba; Servicio de Sanidad Vegetal, Departamento de Agricultura, Ganadería y Pesca de Cataluña, Tarragona, España y Proyecto Biopreparados, La Habana; Cuba:526, 2007.
97. Muhammad, K.; S. Afghan; Y. Pan and J. Iqbal. Genetic variability among the brown rust resistant and susceptible genotypes of sugarcane by RAPD technique. Pak. J. Bot., 45 (1): 163-168, 2013.

98. MINAZ. Balance Fondo de Tierra del MINAZ. 15 pp., 2010.
99. Molina, L; J. L. Queme and F. Rosales. Comparative analysis between phenotype and bru1 marker for incidence to brown rust in sugarcane. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol., Vol. 28, 6 pp., 2013.
100. Nagliati, D. Identificação dos sintomas de ferrugem em áreas cultivadas com cana de açúcar. Tesis presentada en opción al título de Master en Ciencias. Universidad de Sao Paulo. Instituto de Ciencias Matemáticas y de Computación. 123 pp., 2004.
101. Nayak, D. L.; K. Bose; S. Singh and P. Nayak. Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis of host-pathogen relationship in rice-bacterial blight pathosystem. Plant Pathol. Jour.24 (3):337-351, 2008.
102. Newton, W. Detecciones de roya de la caña de azúcar, *Puccinia kuehnii*, en el condado de Palm Beach, Florida, Estados Unidos NAPPO Phytosanitary Alert System. Pub: 07/27/2007. (Consultado: 17 abr 2008). Disponible en: <http://www.pestalert.org/espanol/oprDetail.cfm?oprID=270>, 2007.
103. Ordosgoitti, A.; A. Aponte y G. V. González. Reacción de variedades de caña de azúcar a la roya en la Región Central de Venezuela. Caña de Azúcar. Vol. 1. 5. No. 2. Julio- Dic. FONAIAP, 1987.

104. Ovalle, W. Manual para identificación de enfermedades de la caña de azúcar. Centro Guatemalteco de investigación y capacitación de la caña de azúcar. Cengicaña. 83 pp., 1997.
105. Parvizi, M. Bases genéticas para la selección de poblaciones clonales de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*) bajo diferentes condiciones ambientales de la provincia de Juzestán, Irán. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. INICA. Universidad Agraria de La Habana. 148 pp., 2013.
106. Peixoto, R. F. Junior; A. V. O. Figueira; M. G. A. Landell; D. S. Nunes; L. R. Pinto; A. Sanguino; I. A. Anjos and S. Creste. Development and characterization of microsatellite markers for *Puccinia melanocephala*, causal agent of sugarcane brown rust. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol., Vol. 28, 4 pp., 2013.
107. Peixoto, R. F. Junior; S. Creste; M. Landell; D. Nunes; A. Sanguino; M. Campos; R. Venkovsky; E. Tambarussi and A. Figueira. Genetic diversity among *Puccinia melanocephala* isolate from Brazil assessed using simple sequence repeat markers. Genet Mol Res sept 26; 13 (3) 7852-63 doi: 10.4238, 2014.
108. Pérez, H.; I. Santana e I. Rodríguez. Manejo Sostenible de Tierras en la Producción de Caña de Azúcar. Grupo azucarero AZCUBA. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. ISBN: 978-959-300-051-2. 290 pp., 2013.

109. Pérez, L.; E. L. Martín; F. Barroso; E. Martínez; O. Borrás and I. Hernández: Definitive Identification of Orange Rust of Sugarcane Caused by *Puccinia kuehnii* in Cuba», New Disease Report, vol. 20, <http://www.bspp.org.uk/publications/new-disease-reports/> (consulta: 4 de Septiembre del 2014).
110. Peros, J. P. Host and environmental influences on infection of sugarcane by *Puccinia melanocephala*. Sugar Cane Mar-Apr; (2):13-17. <http://prodinra.inra.fr/record/110851>, 1993.
111. Planos, E; R. Vega y A. Guevara. Editores. Impacto del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba. Instituto de Meteorología, Agencia de Medio Ambiente. Ministerio de Ciencia, Medio Ambiente y Tecnología. La Habana. Cuba. ISBN: 978-959-300-039-0. 430 pp., 2013.
112. Pollack, Flora. Caribbean Plant Protection. Commission. FAO Quarterly Report, 7(1):3, 1978.
113. Presley, J. T.; R. Perdomo and J. D. Ayat. Sugarcane rust found in the Dominican Republic. Plant. Diseases. Report, 62(10):843, 1978.
114. Purdy, L. H. and J. L. Dean. Rust, an old disease with new importance in Sugarcane. Sugar; 78 (12):30-32, 1983.
115. Raid, R. N. Physiological specialization in sugarcane rust (*Puccinia melanocephala*) in Florida. Plant Disease (USA); 72(2): 183, 1989.

116. Ramírez, J.; J. Sánchez; D. Figueroa y C. de León. Asociación especial de largo plazo de *Sporisorium reilianum* en el cultivo del maíz. Rev. Mex. Mic. Vol. 40 ISSN 0187-3180 5 pp. Xalapa dic, 2014.
117. Recio, A.; F. Valladares; J. Montalván y L. Pardo. Algunas consideraciones en la dinámica de la roya de la caña de azúcar (*Puccinia melanocephala*). Caña de Azúcar. Volumen12 No. 2 Julio – Diciembre. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Venezuela. p. 73-84, 1994.
118. Ricaud, C. and J. C. Autrey. Identify and importance of sugar cane rust in Mauritius. Sugar Cane Pathologist News Letter. 22: 15-16, 1979.
119. Rodríguez, J.; A. Molina; Céspedes A. y L. Cabrera. Consideraciones sobre la evaluación de la roya común de la caña de azúcar. Problemas de las escalas. Estación Provincial de Investigaciones de la EPICA Mayarí. 10pp., 2007.
120. Rodríguez, J.; L. Cabrera; M. C. Argota; A. Molina; Annia Corrales; R. Cruz y A. Céspedes Particularidades de las escalas para la evaluación cuantitativa de a Roya común (*Puccinia melanocephala* H & P Sydow) en la provincia Holguín. EPICA Holguín. 9 pp., 2006.
121. Rodríguez, J.; Y. Rodríguez; G. Martín; L. Peña; J. Ibarra y Leticia 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. EPICA Holguín 15 pp., 2005.
122. Rodríguez, Mérida.; Eida Rodríguez e Isabel Alfonso. SEFIT: premisas para el desarrollo de una agricultura ecológica sostenible en la caña de azúcar. Memorias 40 Aniversario del INICA, ISBN 959-246-122-8, 2005a.
123. Rodríguez, Mérida; Eida Rodríguez; Isabel Alfonso y A. Fuentes. Capítulo 8. Enfermedades y Plagas. En Instructivo Técnico para el Manejo de la Caña de Azúcar. Grupo Azucarero AZCUBA. INICA ISBN: 978-959-300-036-9. Ed. Santana I.; Maribel González; S. Guillén y R. Crespo. pp. 209-256. Edición Ana María Muñoz Bachs, 2014.
124. Rodríguez, R. Perfeccionamiento del programa de mejora genética de la caña de azúcar (*Saccharum spp*) para la obtención de nuevos genotipos tolerantes al estrés por déficit hídrico. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. INICA. Universidad Agraria de La Habana. 130 pp., 2012.
125. Romero, E.; J. Scandaliaris; P. Digonzelli; M. F. Leggio; J. Giardina; J. Fernández; S. Casen; J. Tonatto y L. Alonso. La caña de azúcar. Características y eco fisiología. En. Manual del Cañero. Romero E.; Digonzelli P y Scandaliaris J (Eds). Estación experimental agroindustrial. Obispo Colombres. Tucumán. Argentina. ISBN 978 – 987 – 21283 – 7 – 1. p. 13-23, 2009.

126. Rott, P. New investigations into sugarcane rusts in Florida. SC Pathology Workshop 8-31. 9 pp. 2016.
127. Rott, P. Effect of planting date on progress of sugarcane rusts in Florida. SC Pathology Workshop 8-31. 9 pp. 2016a.
128. Rott, P.; J.C. Comstock; B.J. Croft; R. Magarey; A.S. Saumtally; G. Smith.. Common Names of sugarcane diseases and their causal agents. *ISPPwed Plant Pathology Online*.  
[http://www.isppwed.org/names\\_sugarcane\\_pathogen](http://www.isppwed.org/names_sugarcane_pathogen). Fecha de consulta: 24/10/2013. 2013.
129. Rott, P.; C. Kaye; M. Naranjo; J. M Shine Jr; S. Sood; J. C. Comstock and R. N. Raid. Controlling sugarcane diseases in Florida: a challenge in constant evolution. Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists, volume 29, 595-600, 2016.
130. Sahni, M. L. and B. L. Chona. Studies of sugar cane rust in India. Indian Phytopathology. 18 (2): 191-203, 1965.
131. Sandoval, Ileana. Informe sobre la investigación de enfermedad de la roya en Cuba. Rev. ATAC 40; 2; 12-24., 1981.
132. Sandoval, Ileana. Biología y epifitiología de *Puccinia melanocephala* H & P Sydow en Cuba. Tesis de Doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal, 150 pp., 1996.

133. Sandoval, Ileana. La roya de la caña de azúcar en Cuba. Ed. Berta G. González, Sánchez AVR, Lazo R. La Habana: INISAV. Centro de Información y Documentación de Sanidad Vegetal (CIDISAV). Ciudad de la Habana, Cuba. ISBN 959-246-040-X: 107 pp., 2001.
134. Sandoval, Ileana; L. Coello y B. Piedra. Estudio preliminar del comportamiento de variedades comerciales y precomerciales de caña de azúcar en condiciones naturales frente al patógeno *Puccinia erianthi*. Ciencias y Tca. en la Agric. Vol. 2. No. 1 Julio, CIDA; 91-101, 1981.
135. Sandoval, Ileana; V. Picornell; R. Chavez y A. Ramos. *Puccinia melanocephala* H. & P. Sydow. Biologic and Ecological Aspects. XVIII Congress ISSCT. Biological Commission. Tomo I, pp. 539-561, 1983.
136. Sanjel, S.; M. Hincapie; B. Chaulagain; S. Sood; J. C. Comstock; R. N. Raid and P. C. Rott. Progress of severity of orange rust and brown rust during two crop seasons in Florida. SC. Pathology workshop 8 -31. 9 pp. 2016.
137. Saucedo, C. P; G. A. Lugo; H. Villaseñor; L. Partida y A. Reyes. Un método preciso para medir severidad de roya de la hoja (*Puccinia triticina* Eriksson) en trigo. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 38 (4) 427 – 434, 2015.
138. Scarlett, B. Investigations on sugarcane rust in Jamaica. Sugar Industry Research Institute. Mandoville, Jamaica, 1979.
139. Simón, G.; N. Collamino; L. Gray y J. Mariotti. Heredabilidad de la resistencia a la roya común (*Puccinia melanocephala* H. and P. Sydow)



- en familias FS de caña de azúcar (*Saccharum* spp). RIA. Vol. 42 Num. 1 pp 54-65. Argentina. Abril, 2016.
140. Sordi, R. A.; H. Arizono e S. Matsuoka. Indicadores de heredabilidade e avaliação de resistência de clones RB à ferrugem da cana-de-açúcar. Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro, v. 106, n.1, p. 3-10, 1988
141. Southwood, T. R. T. Ecological methods. Second ed. Chapman and Hall Co London, UK. 524 pp., 1978
142. Srinivasan, K. V. and M. C. Muthaiyan. A note on physiologie races in *Puccinia erianthi*, Padwick, affecting sugarcane varieties. XII ISSCT Congress; 1126-1128, 1965.
143. Stakman, F. C and J. G. Harrar. Principles of plant pathology. The Ronald Press Co; 217-329, 1957.
144. Stringer, J.; B. Croft; E. Deamano and S. Bhuiyan. Analysis of sugarcane disease screening trial over years with a mixed models to improve ratings of varieties. Proc. Int. Soc. Sugarcane Technol., Vol 28, 2013.
145. Suranto, TA, U. Harsanto and K. Widyatmoko. Studies of sugarcane rust in the tropical wet regions of Indonesia En Procc. ISSCT XXIII Congress. ISBN 974-7315-83-1 588-599 pp., 1999.
146. Tamayo, Mónica. Perfeccionamiento metodológico para evaluar roya parda *Puccinia melanocephala* Sydow & P. Sydow en caña de azúcar. Tesis

Presentada en opción al título académico de Máster en Sanidad Vegetal.

Mención Fitopatología. Universidad Agraria de la Habana. 80 pp., 2010.

147. Tamayo, Mónica; J. Montalván; Yaquelín Puchades; Isabel Alfonso; P. Pablos; R. González; Vivian Chacón; O. Rodríguez y H. Solís. Estudio metodológico para evaluar roya parda de la caña de azúcar. Ciencia en su PC enero - marzo. Pp 1 -12, 2012a.
148. Tamayo, Mónica; Yakelín Puchades; R. Rodríguez; R. González; H. Jorge; Isabel Alfonso; Eida Rodríguez y María LaO. Modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa aplicado a la evaluación de la roya parda de la caña de azúcar. Fitosanidad 16 (3) pp. 129 -135. Diciembre, 2012.
149. 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. 51 pp., 2011.
150. Tokeshi, H. Doenças da cana-de-açúcar. Ed.IAA Planalsucar, SP Brasil.; 70 pp., 1980.
151. Tokeshi, H. Informe de la República de Brasil a la Mesa Redonda Latinoamericana sobre enfermedades de la Caña de Azúcar. Ciudad de La Habana. Cuba. Noviembre. FAO-ATAC-MINAZ, 1986
152. Tokeshi, H. and A. Rago. Doenças da cana-de-açúcar. In: Kimati, H., Amorim, L., Rezende, J.A.M., Bergamin Filho, A., Camargo, L.E.A.

- (eds.). Manual de Fitopatología: Doenças de plantas cultivadas, 185–196. Editora Ceres, São Paulo, 2005.
153. Van der Plank, J. E. Stability of resistance to *Phytophthora infestans* in cultivars without R genes”. Potato Res., 14: 263-270, 1971.
154. Varela, M. y J. Castillo. Modelos con término multiplicativo. Aplicación en el análisis de la interacción Genotipo Ambiente. Informática y Bioestadística. INCA: 7, 2002.
155. Vengetsamy, P. Studies on Brown Rust (*Puccinia melanocephala*) of Sugarcane in South Africa. Tesis en opción al grado científico de Master en Ciencias. Disciplina de Patología de las Plantas. Universidad de KwaZulu- Natal. South Africa. 156 pp. Diciembre, 2009.
156. Virtudazo, E. V.; H. Nojima and M. Kakishima. Taxonomy of *Puccinia* species causing rust disease on sugarcane. Mycoscience 42, 167-175, 2001.
157. Vivas, L. E manual de insectos plagas del arroz. Primera edición. INIA SINGENTA. Maracay. Venezuela. Comunicación Gráfica C. A. 30 pp., 2002.
158. Vivas, L. E y A. Notz. Distribución espacial en poblaciones de *Oebalus insulares* Stal (Hemiptera: Pentatomidae) en el cultivo del arroz en Calabozo, estado Guárico, Venezuela. Revista Científica UDO Agrícola 11 (1) 109 – 125, 2011.

159. Wajid, A.; M. Khushi; S. Muahammad; A. Habib and I. Javed. Use of RAPD markers to characterize commercially grown rust resistant cultivars of sugarcane. International Journal of Biosciences (IJB). ISSN 2220-6655 Vol. 3, No. 2, p. 115-121, 2013.
160. Walker, D. I. T. Breeding for disease resistance. Pages 455-502 in: Sugarcane Improvement through Breeding. D. J. Heinz, ed. Elsevier Press, Ámsterdam, 1987.
161. Xavier, M. A; D. Perecin; M. G. A. Landell; P. Figueiredo; L. R. Pinto; S. Cresre; and M. B. B. Soares. Evaluation of brown rust resistance (*Puccinia melanocephala*) in sugarcane progenies. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol. Vol 27. 5 pp, 2010.
162. Xavier, M. A.; B. S. Gonçalves; M. G. A. Landell; P. Figueiredo; D. Perecin and L. R. Pinto. Brown rust (*Puccinia melanocephala*) incidence in sugarcane families in Sao Paulo State, Brazil. Proc ISSCT XXVIII Congress. Vol 28 3 pp., 2013.
163. Xiao, Y; F. Wen; Y. Huang; L. Xin; Z. Luo; J. Yin; H. Shan and R. Zhang. Evaluation of sugarcane introgression lines for resistance to brown rust disease caused by *Puccinia melanocephala*. Trop. Plant Pathol. Vol 38. No 2 Brasília Mar./Apr. 4 pp., 2013.
164. Zadoks, J. C. y R.D. Schein. Epidemiology and Plant Disease Management. New York. Oxford Univ. Press 427 p, 1979.

165. Zermeño - González, A.; Villatoro-Moreno, J. J.; Cortés-Bracho, M.; Cadena-Zapata, E. A.; Catalán-Valencia, M. A.; García- Delgado, y Munguía-López, J. P. Estimación del intercambio neto de CO<sub>2</sub> en un cultivo de caña de azúcar durante el ciclo de plantilla. *Agrociencia* 46(6):579-591, 2012.
166. Zhao, D; R. Wayne; M. Baltazar; J. C. Comstock; P. McCord and S. Sood. Screening for Sugarcane Brown Rust in the Firts Clonal State of the Canal Point Sugarcane Breeding Program. *Agronomy*. Volume 5. Issue 3. ISSN: 2073 4395. pp 341- 362, 2015.
167. Zuluaga, C. M.; P. Buriticá y M. Marín-Montoya. Generalidades de los Uredinales (Fungi: Basidiomycota) y de sus relaciones filogenéticas. *Acta Biol. Colom.* Vol. 14 No 1 pp 41-56, 2008.

## ANEXO 1

Manifestación de las variables meteorológicas en la localidad de Quivicán (Mayabeque)

Año	Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2007	Lluvia									103,50	93,20	0,27	15,00
2008		4,30	22,00	105,40	175,80	38,80	342,40	16,40	214,90	229,00	158,00	33,70	24,30
2009		51,70	241,20	33,60	62,40	54,50	323,60	197,80	103,80	325,80	61,20	336,90	96,80
2007	HR									81,35	83,90	74,81	77,63
2008		75,90	76,70	75,31	70,98	71,40	78,99	75,56	77,08	79,50	79,67	76,03	75,96
2009		75,30	71,67	69,33	67,67	74,70	78,67	76,00	76,33	79,33	75,33	73,67	78,33
2007	Tmín									22,45	22,82	17,88	17,48
2008		16,80	18,36	18,26	18,95	22,40	22,85	22,50	22,51	23,01	21,22	17,36	16,67
2009		15,20	17,83	16,27	19,23	21,10	21,83	23,37	23,33	23,10	22,20	19,07	19,13
2007	Tmáx									32,33	31,33	28,97	28,96
2008		27,40	29,23	29,32	30,19	32,6	32,40	33,42	33,27	32,51	30,44	27,35	27,78
2009		26,60	27,63	28,20	30,63	31,9	32,77	33,77	33,87	33,23	32,47	29,27	28,53
2007	Tmed									27,39	27,08	23,43	23,22
2008		22,10	23,79	23,79	24,57	27,50	27,62	27,96	27,89	27,76	25,83	22,35	22,23
2009		20,90	22,73	22,23	24,93	26,50	27,30	28,57	28,60	28,17	27,33	24,17	23,83

# ANEXO 1 (Continuación)

Manifestación de las variables meteorológicas en la localidad de Jovellanos (Matanzas)

Año	Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2007	Lluvia									337,90	242,00	8,30	14,30
2008		5,60	62,00	16,40	165,20	86,20	158,60	263,50	415,70	344,20	209,70	178,00	38,60
2009		9,50	19,00	21,10	29,70	244,40	265,80	159,30	219,70	410,40	88,60	33,90	31,60
2007	HR									85,00	88,00	82,00	80,00
2008		76,00	76,00	74,00	73,00	73,00	80,00	80,00	91,00	83,00	83,00	83,00	83,00
2009		78,00	73,00	71,00	68,00	74,00	83,00	80,00	81,00	85,00	83,00	82,00	82,00
2007	Tmín									22,70	20,00	17,20	18,90
2008		16,50	16,80	17,40	18,50	20,70	22,20	21,70	22,20	22,30	20,80	17,10	15,80
2009		14,40	13,10	15,60	18,40	20,20	21,70	22,90	22,80	22,40	21,30	18,30	17,80
2007	Tmáx									32,30	31,30	28,40	29,40
2008		28,20	30,60	30,50	30,90	33,60	33,10	33,50	33,40	32,90	30,80	27,10	27,00
2009		27,00	26,50	29,10	31,20	32,70	31,90	33,50	33,60	32,90	32,00	29,20	29,10
2007	Tmed									25,80	25,70	22,00	22,40
2008		21,20	22,90	23,40	23,60	26,10	26,40	26,40	26,70	26,50	24,80	21,60	21,00
2009		20,20	19,50	21,60	24,40	25,40	25,80	27,40	27,10	26,40	25,80	23,10	22,70

# ANEXO 1 (Continuación)

Manifestación de las variables meteorológicas en la localidad de Ranchuelo (Villa Clara)

Año	Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2007	Lluvia									140,30	275,20	20,30	26,80
2008		62,10	17,60	59,20	141,30	86,10	152,0	175,10	375,60	241,00	95,50	81,60	127,3
2009		13,90	19,20	8,20	7,40	217,10	228,10	156,40	101,40	220,70	37,90	86,30	66,70
2007	HR									84,00	87,00	83,00	83,00
2008		79,00	77,00	76,00	73,00	72,00	78,00	76,00	80,00	83,00	82,00	82,00	82,00
2009		78,00	74,00	68,00	66,00	73,00	80,00	77,00	76,00	81,00	79,00	80,00	81,00
2007	Tmín									22,00	22,60	17,30	17,30
2008		15,60	16,80	17,90	18,00	20,60	22,30	22,10	22,40	22,50	21,50	17,70	17,00
2009		14,40	13,60	15,00	18,60	20,20	22,00	23,20	23,00	22,40	21,40	18,30	18,10
2007	Tmáx,									32,30	31,60	28,50	28,70
2008		27,70	30,10	30,80	30,90	33,70	33,40	34,40	33,90	33,00	31,40	27,70	27,00
2009		26,80	26,90	29,30	32,00	33,20	32,80	34,40	34,50	33,70	32,50	29,80	29,60
2007	Tmed									22,00	22,60	17,30	17,30
2008		15,60	16,80	17,90	18,00	20,60	22,30	22,10	22,40	22,50	21,50	17,70	17,00
2009		14,40	13,60	15,00	18,60	20,20	22,00	23,20	23,00	22,40	21,40	18,30	18,10



## ANEXO 1 (Continuación)

Manifestación de las variables meteorológicas en la localidad de Florida (Camagüey)

Año	Variabl	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2007	Lluvia									194,80	363,40	1,10	17,30
2008		0,90	4,03	8,10	10,00	164,00	90,70	46,80	47,30	473,60	68,00	33,90	18,30
2009		8,00	1,36	61,60	2,27	268,60	350,00	45,70	32,10	98,20	35,00	7,60	12,07
2007	HR									82,46	91,00	79,90	83,46
2008		77,80	72,30	70,86	70,30	74,30	76,27	80,33	77,56	81,20	79,97	81,23	82,63
2009		79,00	74,50	69,06	68,73	78,65	80,26	75,47	76,00	79,23	78,23	77,16	76,80
2007	Tmín									23,28	22,81	20,34	19,60
2008		19,24	19,36	19,80	19,87	21,73	23,70	23,80	23,86	23,70	22,90	20,51	19,60
2009		17,93	18,09	17,80	20,83	21,65	22,69	24,70	24,14	23,44	23,27	20,51	20,58
2007	Tmáx									32,03	31,93	29,77	29,50
2008		30,15	30,06	31,60	32,22	33,40	33,22	34,83	33,86	33,10	30,73	27,70	27,26
2009		27,76	28,23	28,96	31,43	31,73	31,85	33,53	33,90	33,50	32,86	30,76	30,97
2007	Tmed									27,78	26,56	24,90	24,30
2008		24,60	25,30	25,66	25,76	27,43	28,47	29,30	28,73	27,23	26,83	23,16	23,47
2009		22,86	23,26	23,36	26,13	26,71	27,31	29,15	29,00	28,46	28,03	25,63	25,77

# ANEXO 1 (Continuación)

Manifestación de las variables meteorológicas en la localidad de Guaro (Holguín)

Año	Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2007	Lluvia									107,00	327,50	92,00	95,50
2008		12,20	66,00	133,00	34,00	21,50	39,50	0,00	22,00	87,50	136,50	168,00	107,20
2009		8,50	7,50	39,81	0,00	50,00	118,00	8,00	53,00	103,00	104,00	78,00	86,50
2007	HR									80,00	85,00	78,00	82,00
2008		75,00	77,00	77,00	76,00	77,00	78,00	75,00	77,00	81,00	78,00	81,00	82,00
2009		80,00	75,00	75,00	81,00	83,00	86,00	79,00	80,00	81,00	83,00	84,00	83,00
2007	Tmin									22,90	23,50	21,80	20,90
2008		19,20	19,50	19,80	20,50	22,50	24,20	24,90	24,20	24,00	23,40	21,70	20,90
2009		18,30	18,80	19,70	21,70	22,50	22,80	25,50	25,10	23,10	23,80	21,20	21,20
2007	Tmax									32,00	30,30	28,10	28,20
2008		27,70	28,70	28,60	28,80	30,90	31,20	32,70	33,00	31,50	30,40	27,70	27,00
2009		27,20	26,60	27,80	30,10	30,00	31,40	33,00	32,60	32,80	31,00	28,70	29,00
2007	Tmed									27,00	26,30	25,10	24,30
2008		23,50	24,50	24,50	24,80	26,60	27,70	28,60	28,30	27,60	27,00	24,80	24,20
2009		23,00	22,60	23,30	25,10	25,70	26,40	28,60	28,30	27,50	27,00	25,00	24,90

## ANEXO 1 (Continuación)

Manifestación de las variables meteorológicas en la localidad de Palma Soriano (Santiago de Cuba)

Año	Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2007	Lluvia									187,00	173,10	119,30	42,00
2008		0,00	38,00	46,00	72,00	102,00	66,90	28,50	140,70	179,10	28,80	130,50	0,00
2009		15,00	0,00	0,00	88,00	125,30	98,69	123,80	113,90	123,80	120,60	68,70	15,00
2007	HR									72,50	80,00	79,50	74,00
2008		70,50	66,50	65,50	68,00	70,50	72,50	69,00	71,50	75,00	74,50	77,50	75,00
2009		74,90	72,07	70,07	69,36	72,64	74,89	74,21	75,21	76,36	78,46	78,46	76,89
2007	Tmin									21,20	22,00	19,40	17,70
2008		15,60	16,80	18,10	18,90	20,70	21,10	21,60	21,90	22,30	21,60	19,60	18,10
2009		16,40	16,54	17,77	18,89	20,72	21,56	21,46	21,76	21,69	21,36	19,37	18,00
2007	Tmax									33,20	30,30	28,60	29,50
2008		29,10	30,80	31,20	31,20	32,30	32,50	33,60	33,30	32,00	31,50	28,50	28,40
2009		29,40	30,56	31,18	32,03	32,07	32,67	33,39	33,01	32,70	31,46	30,14	29,39
2007	Tmed									27,20	26,15	24,00	23,60
2008		22,30	23,80	24,65	25,05	26,50	26,80	27,60	27,60	27,15	26,55	24,05	23,25
2009		22,90	23,55	24,48	25,46	26,40	27,11	27,43	27,39	27,19	26,41	24,75	23,70

## ANEXO 2.

Modificaciones propuestas a la metodología de evaluación de la resistencia a la roya parda de la caña de azúcar

