



UNIVERSIDAD DE MATANZAS  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA



**Tesis presentada en opción al Título Académico de  
Máster en Ciencias Agrícolas  
Mención Sistema Agroecológico y Sostenible de Producción**



Resistencia de cultivares al carbón de la caña de azúcar: un enfoque agroecológico para su control.

Autora: Lic. Lucy Teresa Bacallao Madan

**Matanzas, 2021**



UNIVERSIDAD DE MATANZAS  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA



**Tesis presentada en opción al Título Académico de**  
**Máster en Ciencias Agrícolas**  
**Mención Sistema Agroecológico y Sostenible de Producción**



Resistencia de cultivares al carbón de la caña de azúcar: un enfoque agroecológico para su control.

Autora: Lic. Lucy Teresa Bacallao Madan

Tutor: Dr.C. José Ramón Pérez Milián

**Matanzas, 2021**

## **Dedicatoria**

A mi hija Yanelis Hernández Bacallao y a la memoria de mi esposo José Antonio Hernández Galán.

## **Agradecimientos**

A mis padres, de los que me siento orgullosa, por educarme para ser la persona que actualmente soy.

A la Revolución Cubana, por brindarme la posibilidad de formarme profesionalmente.

A mi tutor, Dr. C. José Ramón Pérez Milián, por confiar en mí, para la realización de esta tesis y por sus horas dedicadas a transmitirme ese caudal de conocimientos.

Al Colectivo de profesores de la Maestría de la Universidad de Matanzas.

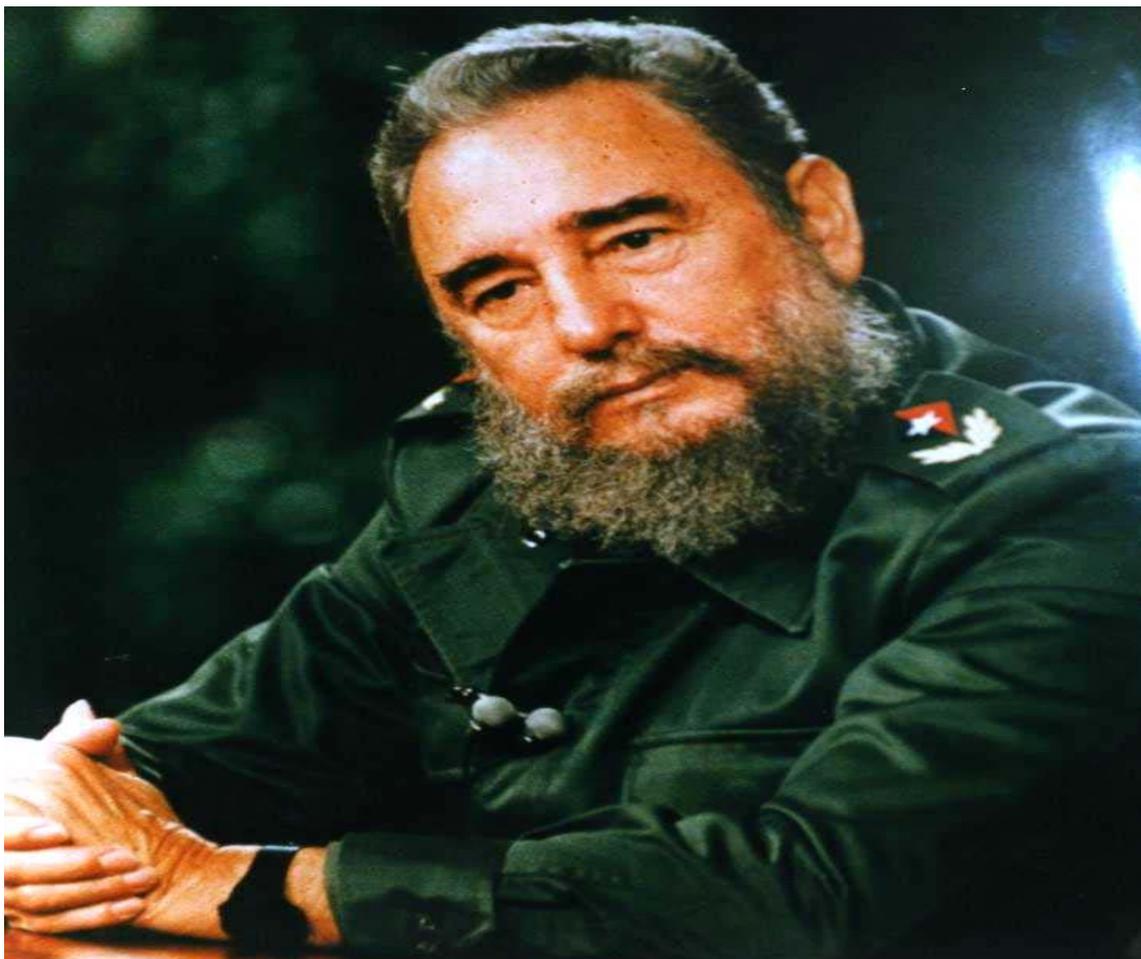
Al Colectivo de trabajadores de la EPICA Matanzas y en particular a los del Programa de Fitomejoramiento, por su colaboración en la ejecución de las investigaciones realizadas.

A todos, infinitas gracias.

**Pensamiento:**

...“Nosotros debemos ser el país que tenga las más altas técnicas en caña,...nosotros debemos ser el país que tenga las variedades mejores...”

Fidel 15 de enero de 1960



Opinión del tutor

La tesis presentada por la Lic. Lucy Teresa Bacallao Madan aborda una temática muy importante para la fitosanidad de la caña de azúcar en Cuba y en particular en lo referido a la obtención de nuevos cultivares, debido al impacto negativo demostrado por la enfermedad estudiada durante los últimos años. La Aspirante ha elaborado su Documento de Maestría a partir de los resultados obtenidos en EPICA Matanzas, así como otras investigaciones realizadas por investigadores del centro durante su colaboración en el exterior, y que ella estudió, lo cual le facilitó reunir un grupo de resultados que le permitan realizar importantes propuestas para el trabajo de selección de los cultivares en el PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENETICO DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN CUBA. Aunque la aspirante no está vinculada directamente al trabajo de investigación en la actividad del fitomejoramiento, posee conocimientos adquiridos durante el desempeño de su labor y el estudio para el trabajo de tesis. Sus conclusiones se corresponden con las tendencias mundiales en esta materia, pero con sustanciales y novedosas propuestas que seguramente cambiarán en el futuro algunos conceptos relacionados con este tema en Cuba. Tomando en consideración estos elementos y la participación personal de la Aspirante en la conducción del protocolo diseñado, así como el ejercicio de la defensa solicito al tribunal la aprobación del documento para alcanzar el grado de Máster en Ciencias a la aspirante.

Dado en Jovellanos, Matanzas a los 31 días del mes de julio de 2020, y como tutor dejo constancia al firmar la presente opinión.

---

Dr.C. José Ramón Pérez Milián, Investigador Titular

---

**Síntesis**

---

El carbón de la caña de azúcar es causado por el hongo *Sporisorium scitamineum* (et al.) (Piepenbring et al., 2002) (Syn: *Ustilago scitaminea* H. and P. Sydow). Las mayores pérdidas ocurren en los retoños directamente relacionadas con el número de cosechas; su vinculación con la productividad se estima a partir de las pérdidas de volúmenes estimados de algunos cultivares sobre los cuales se proyectaba un aporte importante desde el punto de vista económico. El presente trabajo tiene como objetivo proveer a los mejoradores de instrumentos innovadores que permiten la liberación hacia áreas comerciales de aquellos cultivares capaces de resistir y contrarrestar los efectos de la infección por el hongo. Para su cumplimiento se realizaron estudios de poblaciones en las diferentes etapas del esquema de selección y se probó que el porcentaje de tallos con látigos se incrementa a partir del empleo de la inoculación artificial y que cultivares muy susceptibles en esta etapa, no presentan tallos con látigos en condiciones naturales. Se producen lamentables limitaciones de cultivares que representan una buena opción para la producción; extracción de látigos, no controla la enfermedad y se elimina la mitad del material seleccionado en todo el proceso por el carbón. Se recomienda un mayor aprovechamiento de su resistencia estructural muy frecuente en las relaciones planta-patógeno, que podría salvar o explotar importantes cultivares para la producción azucarera.

---

Palabras clave: caña de azúcar, carbón, daños, selección, cultivares

**Abstract**

The smut of sugarcane is caused by the fungus *Sporisorium scitamineum* (et al.) (Piepenbring et al., 2002) (Syn: *Ustilago scitaminea* H. and P. Sydow). The bigger loss occurs in the sprouts which is directly related to the number of crops; its link with the productivity is esteemed from the considered volume loss of some cultivars on which an important contribute was been shown from an economic point of view. This study has the objective to provide to the enhancers of innovative instruments that allow the release towards comercial areas of those cultivars able to resist themselves and oppose the effects of the infection because of the fungus. For it's a complishment studies were made of population in the different stages of the selection diagram and it was proved that the percentage of stalks, of the burnt sugarcane that look like a whip, gets increased from the use of the artificial inoculation and that susceptible cultivars in this stage, do not exhibit stems with whips in natural conditions. Sorrowful limitations of cultivars are produced which represents a good option for the production, the extraction of infected whips doesn't control the disease and half of the selected material gets eliminated in the entire process for the smut It is advised to mainly use its structural resistance which often in the pathogenic plant relationships, which could save or exploit important cultivars for the sugar production.

Key Words: Sugar cane, smut, dangerous, selection y cultivars

**Tabla de contenidos.**

1. INTRODUCCIÓN.....	1
<b>Problema científico.</b> .....	3
<b>Hipótesis</b> .....	3
<b>Objetivo general.</b> .....	4
<b>Objetivos específicos.</b> .....	4
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
<b>2.1. Caña de azúcar.</b> .....	5
2.1.1. Taxonomía de la caña de azúcar.....	5
2.1.2. Origen de la caña de azúcar.....	6
<b>2.2. Enfermedades de la caña de azúcar.</b> .....	6
2.2.1. Enfermedades más comunes en la caña de azúcar. ....	7
2.2.2. Identificación y diagnóstico de las enfermedades.....	10
2.2.3. Enfermedades de la Caña de Azúcar más importantes detectadas en Cuba.....	10
<b>2.3. El carbón de la caña de azúcar.</b> .....	12
2.3.1. Importancia económica. ....	14
2.3.2. Medidas de prevención:.....	15
2.3.3. Criterios para el manejo de enfermedades.....	15
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
<b>3.1. Evaluación del carbón en las diferentes etapas del esquema de selección de cultivares.</b> .....	18
3.1.1. Evaluación natural en etapa de posturas.....	18
3.1.2. Evaluación en etapa de Lotes Clonales. ....	19
<b>3.2. Evaluaciones en la etapa de Estudios Multiambientales o Estudios Replicados.</b> .....	19
3.3 Procedimiento seguido para la conducción de los estudios por inoculación artificial. .....	20

<b>3.4. Criterios de selección.....</b>	<b>21</b>
<b>3.5 Estudios del saneamiento mediante la extracción de látigos en el campo.....</b>	<b>21</b>
<b>3.6. Estudio del incremento de la enfermedad carbón de la caña de azúcar en condiciones naturales. ....</b>	<b>24</b>
<b>3.7. Evaluación de la resistencia de los cultivares como criterio de selección.....</b>	<b>24</b>
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>25</b>
<b>4.1. Evaluación del carbón en las diferentes etapas del esquema de selección de cultivares. ....</b>	<b>25</b>
4.1.1. Evaluación natural en etapa de posturas.....	25
4.1.2. Evaluación en etapa de Lotes Clonales. ....	26
<b>4.2. Evaluación del carbón en etapa de estudios multiambientales o Estudios Replicados. ....</b>	<b>28</b>
<b>4.3. Estudios del saneamiento mediante la extracción de látigos en el campo.....</b>	<b>30</b>
<b>4.4. Estudio del incremento de la enfermedad en condiciones naturales. ....</b>	<b>32</b>
<b>4.5 Evaluación de la resistencia de los cultivares como criterio de selección.....</b>	<b>34</b>
<b>5-RESUMEN.....</b>	<b>37</b>
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>40</b>
<b>7. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>41</b>
<b>8-REFERENCIAS .....</b>	<b>43</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con informes de la FAO, la caña de azúcar *Saccharum spp.* (Híbrido), cuenta actualmente con más de 21 millones de hectáreas plantadas en el mundo y es considerado como el cultivo agrícola más importante de la humanidad (FAO, 2016); constituye una importante fuente de empleo y alimentación de alto valor. Su producción se relaciona, fundamentalmente, con las condiciones edafoclimáticas, las tecnologías aplicadas y la incidencia de plagas.

El incremento paulatino de la producción de caña como una de las fuentes principales de ingresos, constituye un objetivo económico en nuestro país; sin embargo, la dependencia del clima, las pocas posibilidades de riego, prácticas inadecuadas de manejo de los suelos y los efectos nocivos de plagas, constituyen las causas fundamentales de la reducción de los volúmenes de producción anual de caña.

Se considera que el cambio climático figura entre los mayores impactos identificados para el sector agrícola debido a la ocurrencia de eventos climatológicos extremos, erosión creciente de los suelos y extensión geográfica de las plagas y enfermedades de los cultivos, debido a su efecto directo sobre el hábitat de los agentes patógenos y de sus vectores eventuales; influye sobre los parámetros de transmisión o de dinámica de las enfermedades, y aunque su crecimiento se torna ineludible, el mayor riesgo está en su desplazamiento, lo que traerá consigo presencia de las mismas en lugares posiblemente insospechados.

Entre las causas que presentan grandes disminuciones en los rendimientos de las cosechas al nivel mundial, quizás la más importante sea los daños ocasionados por las plagas (Hogarth and Berding, 2006). Según Hogarth y Allisopp (2012), las pérdidas económicas anuales que ocurren en la caña de azúcar en Australia por el incremento de plagas se estiman en 195 millones de dólares australianos y se considera al carbón *Sporisorium scitamineum* (Syd.) M. Piepenbr., M. Stoll & Overw., como una de las más influyentes.

Conservar y aprovechar al máximo la riqueza del patrimonio genético del planeta será crucial para la supervivencia de la humanidad. Para el sector agrícola no es solo una opción, sino un imperativo y los recursos genéticos serán una parte

esencial de cualquier estrategia de adaptación. Las características de los cultivares utilizados en la producción agrícola han ido cambiando; las variedades antiguas, que presentaban alta variabilidad entre individuos fueron estrechando su base genética para responder rápidamente a ambientes de alto potencial y uso de insumos.

Los cultivares que se obtienen en el INICA deben poseer aceptables niveles de resistencia ante las principales enfermedades presentes en el área, como respuesta a las necesidades del sector; una composición adecuada de cultivares favorece la conservación de la diversidad genética, reduce la probabilidad de ataque de plagas al disminuir la concentración de inóculo y la disponibilidad de hospedantes, todo ello con un costo mínimo para la empresa y el ambiente (INICA, 2017).

Sin embargo, existen factores no genéticos que actúan previo al proceso de infección y afectan la susceptibilidad de las plantas, sometiénolas a un estado de “predisposición”; la planificación del manejo del cultivo o el combate de una enfermedad por cualquiera de las estrategias conocidas, no se puede visualizar como un procedimiento lógico, si se ignora la relevancia que tiene este aspecto, ya que sin darse cuenta de ello se puede colocar al cultivo bajo estas condiciones y luego provocará extrañeza los altos niveles de severidad o incidencia de una enfermedad presente en el campo.

Como un complemento de relevante importancia y significación práctica, el INICA cuenta con los servicios de Variedades y Semilla (SERVAS) y Fitosanitario (SEFIT), responsables de la ubicación y manejo correcto de los cultivares recomendados para cada área, evitando de esta forma que desde su inicio estos sufran del pernicioso estrés tecnológico, inducido por un inapropiado manejo de la plantación como pueden ser la incorrecta ubicación edafoclimática, sobrepasar los límites de área establecidos, plantación con semillas que no reúnan los requisitos de calidad relativos a la sanidad y estado fisiológico óptimos, etc. (INICA, 2018).

En Cuba, la caña de azúcar aún continúa siendo el cultivo más extendido con alrededor de 700 000 ha plantadas. Se ejecuta anualmente un programa de mejora con diferentes objetivos, aunque la resistencia a enfermedades principales es común para todos los cultivares que alcancen la categoría de comerciales, por esta

razón, cada año se elimina entre 30-50% de la población en estudio en sus diferentes fases. El Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA) tiene como principal objeto social la selección de cultivares para diferentes zonas edafoclimáticas, en las cuales se identifican como principales factores abióticos las características del suelo y requerimientos hídricos y entre los bióticos, la severidad del ataque de las plagas (INICA, 2018).

Con el objetivo de contrarrestar estos efectos, desde 1998 se desarrolla en Cuba el proyecto “Manejo Conservacionista y Sostenible del Cultivo de la Caña de Azúcar” (TPC/CUB/8822), con el cual se pretende mejorar los rendimientos agrícolas de este cultivo mediante la introducción de técnicas modernas de manejo agrícola sostenible y conservacionista (Cuellar *et al.*, 2003).

El control del carbón mediante el uso de cultivares resistentes es una práctica sostenible pero su dificultad radica en encontrar aquellos genotipos que además de resistentes alcancen niveles de producción que cumplan con los estándares de calidad desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo para la producción de azúcar; sobre la base de estos elementos, se plantea para la investigación el siguiente problema científico:

**Problema científico.**

Las pérdidas causadas por el carbón de la caña de azúcar en Cuba y su propagación generalizada en el país, así como las limitadas posibilidades de lucha mediante el empleo de fungicidas que afectan el equilibrio biológico, definen la necesidad de obtener cultivares con adecuados niveles de resistencia, como alternativa agroecológica sostenible para su control.

**Hipótesis**

Las pérdidas causadas por el carbón de la caña de azúcar podrían reducirse sin afectar el medio ambiente si se lograra obtener cultivares resistentes a la enfermedad, como una alternativa de control sostenible.

**Objetivo general.**

Proveer a los mejoradores de instrumentos innovadores que permitan la liberación hacia áreas comerciales de aquellos cultivares capaces de resistir el ataque y contrarrestar los efectos de la infección por el hongo *Sporisorium scitamineum*.

**Objetivos específicos.**

1. Estudiar la infección natural del carbón de la caña de azúcar en las diferentes etapas del programa de mejora.
2. Evaluar la transmisión del carácter resistencia al carbón en los principales progenitores empleados a partir del estudio de sus descendencias.
3. Recomendar el empleo de progenitores resistentes para su explotación en el programa de obtención de nuevos cultivares.

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Caña de azúcar.**

El azúcar constituye, desde hace cientos de años, uno de los componentes más importantes y universalmente utilizados de la dieta humana. Su importancia viene dada en su aporte energético a bajo costo, en combinación con su capacidad de endulzar. Se produce en las más diversas condiciones climáticas, prácticamente en la mayoría de los países del mundo. En las regiones de clima templado se obtiene a partir de la remolacha y en las zonas tropicales y subtropicales, de la caña de azúcar (Rivacoba y Morín, 2005).

La caña de azúcar es el resultado de un número de cruces y retrocruces dentro de las diferentes especies de *Saccharum*. Estudios detallados de taxonomía clásica del género *Saccharum* fueron realizados por Daniels y Roach (1987), con el propósito de utilizarlos en hibridaciones artificiales, para mejorar sus caracteres agronómicos, así como obtener resistencia a plagas insectiles, enfermedades y condiciones ambientales adversas.

El género *Saccharum* junto a otros tales como *Erianthus section Rhipidium*, *Sclerostachya*, *Narenga* y *Miscanthus section Diandra*, forman parte del denominado complejo *Saccharum*. Esta designación formal, no taxonómica, fue propuesta por Mukherjee (1957).

#### **2.1.1. Taxonomía de la caña de azúcar.**

La Taxonomía APG III según Arévalo y Chinea (2012), es filogenética, basada en criterios moleculares del ADN contenido en el núcleo, mitocondrias y cloroplastos y es estructurada en:

- 1- **Super-reino:** *Eukaryota*
- 2- **Reino:** *Plantae*
- 3- **Clado:** *Angiospermae*
- 4- **Clado:** *Monocotyledoneae*
- 5- **Clado:** *Commelinides*
- 6- **Orden:** *Poales*
- 7- **Familia:** *Poaceae*

**8- Clado:** *PACCAD*: compuesto de las Subfamilias: *Panicoideae*, *Arundinoideae*, *Chlorideae*, *Centothecoideae*, *Aristoideae* y *Danthonoideae*.

**9- Subfamilia:** *Panicoideae*

**10-Tribus:** *Andropogoneae*

**11-Género:** *Saccharum*

**12-Especies** (*officinarum*, *robustum*, *barberi*, *sinense*, *spontaneum* y *edule*).

**13-Variedades** (Caña Blanca, Cristalina, Criolla).

**14- Cultivares**(C87-51,C86-12,Co997 y SP70-1284y otros)

### **2.1.2. Origen de la caña de azúcar.**

La caña de azúcar, *Saccharum spp.* (Híbrido), como planta cultivada se originó en Nueva Guinea (Grassl, 1974), y en su proceso evolutivo representó un papel importante la introgresión entre los géneros *Ripidium*, *Sclerostachya* y *Miscanthus*, con un alto nivel de variación y ploidía, lo que originó un grupo de especies que componen el género *Saccharum*: *S. spontaneum* Lin., la más variable en su número de cromosomas ( $2n= 40$  a  $128$ ) y sus formas se derivaron a *S. robustum* Brand., *S. sinense* Roxb., *S. barberi* Jesw. y *S. officinarum* Lin.; esta última fue el producto más eficiente de este proceso evolutivo (Bremer, 1925; Grassl, 1977).

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

Las enfermedades de la Caña de Azúcar constituyen uno de los principales factores que inciden, de forma negativa, en la producción cañera mundial; durante los últimos años se ha incrementado considerablemente el número de organismos patógenos en este cultivo y por tal motivo, es de suma importancia dominar la situación fitosanitaria de las plantaciones cañeras para estar en condiciones de prevenir o reducir las pérdidas ocasionadas por enfermedades en las cosechas (Chinea et al., 2012; Chinea,2019).

La Caña de Azúcar *Saccharum spp.*, es hospedante de unas 140 enfermedades a nivel mundial, las que le causan daños significativos, afectando la cantidad y calidad de la cosecha; se han informado unas 86 patologías causadas por hongos, de las cuales 36 están presentes en Cuba, de un total de 61 enfermedades reportadas en el país.

### **2.2.1. Enfermedades detectadas en Cuba en la caña de azúcar.**

Hasta la fecha, se han detectado en Cuba 61 enfermedades sobre este cultivo, agrupadas, según su origen, de la forma siguiente: causadas por virus, 4; bacterias, 6; hongos, 36; plantas parásitas, 1; trastornos genéticos, 1; daños mecánicos, 1; trastornos ambientales, 4 y, por causas indeterminadas, 5. Se considera que una de las 4 enfermedades virales, la hoja amarilla de la caña de azúcar por virus, también es causada por un fitoplasma.

#### **Enfermedades virales**

1. Mosaico – *mosaic- Potyvirus*
2. Raya clorótica - *chlorotic streak- Virus*
3. Hoja amarilla por virus-*yellow leaf – Polerovirus*
4. Vírus baciliforme - *baciliform virus- Vírus*

#### **Enfermedades fitoplasmáticas**

1. Hoja amarilla por fitoplasma – *Phytoplasma leaf yellows-Phytoplasma*

#### **Enfermedades bacterianas**

1. Escaldadura foliar –leaf scald–*Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson
2. Gomosis - gumming–*Xanthomonas campestris* pv. *Vasculorum* (Cobb) Dye
3. Pudrición bacteriana de la vaina –*bacteria leaf sheath rot–Erwinia herbicola*
4. Raquitismo de los retoños –ratoon stunting disease–*Leifsonia xyli* ubsp. *Xyli* Davis *et al.*
5. Raya moteada –mottled stripe–*Pseudomonas rubrisub albicans* (Chris. y Edg.) Krass.
6. Raya roja, pudrición del cogollo - red stripe, top rot – *Acidovorax avenae* sub sp. *Avenae* (Lee *et al.*) Stapp.

#### **Enfermedades fungosas**

(Nombre del organismo causal a partir del estado perfecto del hongo)

1. Carbón - smut –*Ustilago scitaminea* Syd. Sinónimo, *Sporisorium scitamineam* Piepenbring, Overw. and Stoll.
2. Carbón de la inflorescencia – floral smut – *Ustilago scitamineam* Sydow. Sinónimo, *Sporisorium scitamineum* Piepenbring, Overw. and Stoll.
3. Chamuscado de la hoja – leaf scorch –*Stagonospora sacchari* Lo y Ling.

4. Enfermedad de la corteza –rind disease–*Phaeocystostroma sacchari* (Ell. y Ev.).  
B. Sutton
5. Enfermedad de la banda esclerótica –banded sclerotial disease–*Pellicularia sasakii* (Shirai) Ito.
6. Enfermedad de la piña – pineapple disease –*Ceratocystis paradoxa* (Dade) C. Moreau.
7. Enfermedad del hongo cristal estrellado - stellate-crystal fungus –*Himantia stellifera* Johnston.
8. Fumagina - sooty mould –*Fumago sacchari* Speg.; *Capnodium* spp.
9. Iliau - iliau –*Gnomonia iliau* Lyon
10. Mancha amarilla - yellow spot –*Mycovellosiella koepkei* (Krüger) Deighton
11. Mancha anular - ring spot –*Leptos phaeria sacchari*. B. de Haan
12. Mancha concéntrica - target blotch –*Helminthosporium* sp.
13. Mancha de la hoja por *Alternaria* – *Alternaria* leaf spot –*Alternaria tenuis* C. G. Nees.
14. Mancha de la hoja por *Pestalotia* – *Pestalotia* leaf spot –*Pestalotia fuscescens* Sor. Var *sacchari* Wakker.
15. Mancha de la hoja por *Phyllosticta* – *Phyllosticta* leaf spot –*Phyllosticta sorghina* Sacc.
16. Mancha de ojo - eye spot –*Bipolaris sacchari* (E. Butler apud. Butl. y Kahn) Shoemaker [= *Drechslera sacchari* (E. Butler) Subram. y Jain].
17. Mancha parda - brown spot –*Cercospora longipes* Butler.
18. Mancha roja de la hoja - red leaf spot –*Dimeriella sacchari* (v. B. de Haan) Hansford en Abbott
19. Mancha roja de la vaina - red spot of leaf sheath –*Mycovellosiella vaginae* (Krüger) Deighton
20. Marchitez - wilt – *Fusarium sacchari* E. Butler
21. Marchitez de las posturas - seedling blights –*Drechslera halodes* (Drechsler) Subram. y Jain.
22. Pokkah boeng – pokkah boeng –*Gibberella fujikuroi* (Sawada) Wollenweber.
23. Moteado blanco – White speck – *Elsinoe sacchari* Lo.

24. Pudrición de la base del tallo, de la raíz y de la vaina - basal stem, root and sheath rot –*Marasmius sacchari* Wakker.
25. Pudrición de la raíz – root rot –*Pythium arrhenomanes* Drechs., *Pythium* spp., *Rhizoctonia* spp.
26. Pudrición de la vaina por *Cytospora* – *Cytosporan* sheath rot –*Cytospora sacchari* E. Butl.
27. Pudrición del tallo por *Fusarium* - *Fusarium* sett or stem rot–*Gibberella fujikuroi* (Sawada) Wollenweber.
28. Pudrición del tallo por *Schizophyllum*–*Schizophyllum* rot–*Schizophyllum commune* Fr.
29. Pudrición roja - red rot–*Colletotrichum falcatum* Went; *Physalo sporatucum anensis* Speg.
30. Pudrición roja de la vaina - red rot of leaf sheath–*Pellicularia rolfsii* (Sacc.) West.
31. Pudrición seca –dry rot–*Botryosphaeria quercuum* (Schw.) Sacc.
32. Pudrición seca del cogollo - dry top rot–*Sorosphaera vascularum* (Matz) Schröt.
33. Pudrición zonal de la base –zonate foot rot - *Fomes* sp.
34. Raya parda–Brown stripe –*Cochliobolus stenospilus* (Drechs.) Mats. Y. Yaman.
35. Roya - rust–*Puccinia melanocephala* H. y P. Sydow
36. Roya naranja-*Puccinia Kuehnii* (kruger) Buttler

### **Plantas parásitas**

1. Cúscuta–*dodder*.

### **Trastornos genéticos**

1. Jaspeadura de la hoja y el tallo –*variegation leaf and stalk*.

### **Daños mecánicos**

1. Copa enmarañada - *tangle top*.

### **Trastornos ambientales**

1. Bandas cloróticas –*banded chlorosis*- temperaturas bajas.
2. Clorosis piedra caliza –*limestone chlorosis* - deficiencia de hierro.
3. Clorosis de los retoños –*ratoon chlorosis* - deficiencia de hierro.
4. Daños por el rayo –*lightning injury* - descargas eléctricas de las tormentas de verano.

5. Daños por granizada- *hail storm injuri*- tormenta local severa

#### **Causas indeterminadas**

1. Agallas del tallo –*stem galls*.
2. Cepa racimosa –*cluster stool*.
3. Mancha clorótica de la hoja –*chlorotic leaf blotch*.
4. Proliferación de yemas - *múltiple buds*.
5. Punteado de la hoja –*leaf stipple*.

#### **2.2.2. Identificación y diagnóstico de las enfermedades.**

Después de 105 años transcurridos desde las incipientes descripciones de las primeras enfermedades detectadas sobre diferentes variedades de caña de azúcar existentes en Cuba en aquella época, se pone de manifiesto que las técnicas utilizadas para identificar y diagnosticar los organismos y agentes causales de los procesos patológicos han evolucionado de forma paulatina, en la medida del desarrollo de la Patología de cada enfermedad.

#### **2.2.3. Enfermedades de la Caña de Azúcar más importantes detectadas en Cuba.**

La vinculación de las enfermedades con la productividad de la Caña de Azúcar en Cuba ha sido marcada de forma significativa por pérdidas (Carvajal et al., 2002) no solamente de volúmenes estimados de un cultivar, sino de muchos de los principales individuos sobre los cuales se proyectaba un aporte importante desde el punto de vista económico. Así, se han causado lamentables limitaciones para el cultivo comercial de cultivares que en su momento constituyeron la principal opción para la producción nacional de azúcar.

Es conocido que en el país se erradicó, por su susceptibilidad al mosaico, la variedad Cristalina que entre 1920-1930 ocupó el 89,3% del área cañera nacional. Por esta misma causa, en 1968 se proscribió el cultivar C236-51 que comenzaba a extenderse en Cuba debido a sus excepcionales características agroproductivas. Entre 1980 y 1990 colapsaron, de forma traumática para producción de la Industria Azucarera Cubana, B4362 por su susceptibilidad a la roya marrón *P. melanocephala*

y Ja60-5 debido al ataque de este patógeno además del carbón *S. scitamineum*, según Pérez Milián (2013).

Según información hasta finales del año 2019 (Chinea et al., 2019), en el país están presentes 61 enfermedades de la caña de azúcar, originadas por diferentes causas, como se presentan a continuación:

Tabla No 1 Inventario de enfermedades de la caña de azúcar en Cuba:

<b>ENFERMEDADES</b>	<b>CANTIDAD</b>
Fitoplasmas	1
Virus	4
Bacterias	6
Hongos	37
Trastornos Genéticos	1
Trastornos Ambientales	5
Causas Indeterminadas	6
Daños Mecánicos	1

Aunque desde el punto de vista de la sanidad vegetal, ningún organismo patógeno presente en el país debe ser descartado por su importancia momentánea, asumimos que de las 61 enfermedades que han sido detectadas sobre el cultivo de la caña de azúcar en Cuba, seis son consideradas de mayor importancia económica, debido a su incidencia en la producción y el mejoramiento genético del cultivo, las cuales señalamos a continuación:

1. Carbón (*Sporisorium scitamineum*) (et al.) M. Piepenbr., M. toll & Overw.
2. Roya (*Puccinia melanocephala* H. Sydow y P. Sydow.)
3. Mosaico de la caña de azúcar (Potyvirus)
4. Raquitismo de los retoños (*Leifsonia xyli* subsp. *xyli*) Davis et al.
5. Escaldadura foliar *Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson
6. Virus de la hoja amarilla (Polerovirus)

### 2.3. El carbón de la caña de azúcar.

La enfermedad conocida como carbón de la caña de azúcar es causada por el hongo *Sporisorium scitamineum* (et al.) (Piepenbring et al., 2002) (Syn: *Ustilago scitaminea* H. and P. Sydow), cuyo efecto nocivo puede manifestarse por sustracción de sustancias nutritivas o a causa de las toxinas que elabora con su metabolismo y vierte en el hospedante, causándole trastornos en el proceso fisiológico, crecimiento y desarrollo. Las mayores pérdidas por el carbón ocurren en los retoños, incrementándose en función del número de cosechas realizadas a la plantación (Montalbán, 2017).

Infecta los tejidos meristemáticos de los tallos, se desarrolla sistémicamente e induce la formación de estructuras reproductivas en la región apical de la planta, las cuales dan origen al látigo; las teliosporas se forman y maduran dentro de estas estructuras y es a partir de ellas que se disemina la enfermedad (Figura 1).



**Ilustración 1**



**Ilustración 2**

Figura 1. Factores involucrados en el desarrollo de la enfermedad: Cultivar BT77-42 susceptible mostrando los látigos de carbón en condiciones naturales en Panamá (Izquierda y B42231 en el Banco de Germoplasma del INICA). Fotos Dr. Pérez Milián y Dr. Chinaea

Históricamente, el carbón fue observado por primera vez en el año 1877 en la región de Natal, Sudáfrica y no se detectó en el Hemisferio Occidental hasta la década del cuarenta cuando apareció en Argentina en 1940. Según se ha publicado, está presente en todas las condiciones edafoclimáticas donde se cultiva la caña de azúcar y se considera que la elevación de las temperaturas, como producto del cambio climático, aumentará su presencia y severidad en aquellas regiones donde se incrementen las mismas (25-30°C) y las condiciones de humedad (Montalbán, 2017).

Después de la aparición en Jamaica en 1976, se elaboró en Cuba un sistema de protección que contemplaba, como principales medidas, además de las cuarentenarias, el monitoreo sistemático de las plantaciones, la ubicación de “caza esporas” a todo lo largo y ancho del país y la prueba de nuestros principales cultivares establecidos y en desarrollo, en países donde la enfermedad estaba presente. En octubre de 1978 se detectó por primera vez en Cuba en la entonces Empresa Cañera “Amancio Rodríguez”, al Sur de la Provincia Las Tunas, atacando severamente el cultivar B42231.

El carbón puede reducir significativamente la producción, encontrándose la severidad de los ataques y las pérdidas económicas desde insignificantes hasta niveles muy altos, dependiendo del nivel de susceptibilidad de los cultivares. La ocurrencia de la enfermedad durante un estado temprano de crecimiento del cultivo (40-60 días), puede causar la pérdida total del mismo; a los 80-120 días causa una drástica reducción de los rendimientos y la calidad, mientras que muy tarde (200-270 días), se muestra como una infección secundaria provocando menos efectos adversos (Magarey y Sheahan, 2011).

Se considera que, como regla, causa una reducción del rendimiento agrícola entre 1 y 1,1 t de caña/ha<sup>-1</sup> por cada unidad porcentual de tallos con látigos, aunque también se emplea para el cálculo la fórmula  $P = 0,007(f)^2 + \%CH$ , propuesta por González (1987) en la que:

0,007 = Coeficiente calculado

f = porcentaje de tallos con látigos en el campo.

CH = Cepas herbáceas.

La fórmula propuesta es considerada más realista a partir de que incluye en los cálculos las cepas herbáceas; sin embargo, algunos estudios en Cuba han mostrado que la estimación del daño por ambas vías resulta similar.

Por lo general, las pérdidas son mayores a medida que aumenta el número de cosechas del campo, y están sujetas a la efectividad del manejo de las plantaciones y a las prácticas de control. La severidad de la enfermedad en cultivares susceptibles depende principalmente de tres factores (Anónimo, 1986):

- a) Tipo de infección, ya sea primaria o secundaria.
- b) Tipo de cepa, planta o soca.
- c) Época de la infección, temprana o tardía.

### **2.3.1. Importancia económica.**

El carbón de la caña puede reducir significativamente la producción. La severidad de los ataques y las pérdidas económicas van desde insignificantes hasta niveles bastante altos, dependiendo del nivel de susceptibilidad de los cultivares. En algunos países, el carbón fue considerado de mucha importancia, mientras que en otros no ha sido significativo. Algunos investigadores han planteado que puede causar pérdidas entre 17 y 22%, otros superiores a 50% en cultivares susceptibles. Además de disminuir el tonelaje, también ocasiona reducciones en la calidad de la caña.

Olufolaji (1987) estudió los efectos del carbón de la caña de azúcar sobre el rendimiento, encontrando reducciones significativas de las toneladas de caña y de azúcar por hectárea, a medida que crecían los niveles de infección.

La Asociación Africana del Azúcar (1988) estudió cultivares altamente resistentes y susceptibles bajo condiciones de infección natural. Se les inoculó el patógeno y se demostró que las plantas de cultivares resistentes no disminuían su rendimiento, mientras que las plantas de los susceptibles sí. Amer *et al.* (1988) reportaron que en caña planta puede perderse 0,46 t/ha por cada 1% desinfección de los tallos con la enfermedad carbón de la caña de azúcar.

Valladares y González (1990) señalan que la reducción en las cualidades y rendimientos causados por el carbón de la caña de azúcar fueron demostradas en

un estudio realizado en la Estación Experimental de la Caña de Azúcar en Florida, Camagüey. El deterioro mostrado en el decrecimiento en el peso de los tallos, en el diámetro, en el peso de la caña y en la calidad del jugo, fue muy superior en retoño que en caña planta. Rivero (2002), reportó que las pérdidas económicas estimadas debido a los daños originados por el carbón en la UBPC “La Josefa”, provincia de Cienfuegos, ascendieron a \$ 212839,92 USD. Ayala y Martín (2000) reportaron que cuando los campos tienen más de 10 000 látigos de carbón por hectárea, pueden tener una merma de 10 a 15t/ha; a esto habrá que añadir los gastos indirectos que se pagan por salario al personal que efectúa el entresaque y quema de las plantas enfermas.

### **2.3.2. Medidas de prevención:**

- ✓ Capacitación del personal de campo en la identificación de los síntomas de la enfermedad, biología, medios de diseminación, prevención, control, etc.; con la finalidad de detectar oportunamente la enfermedad.
- ✓ Formación de brigadas de detección de la enfermedad, para obtener información completa y precisa sobre la situación fitosanitaria de los campos y detectar lo más pronto posible, la presencia de la enfermedad.
- ✓ Iniciar estudios para determinar la resistencia de cultivares con que cuentan y si fuera necesario, realizar la introducción de nuevos cultivares del Exterior.
- ✓ Mantenimiento de bancos de semilla con cultivares resistentes, son recomendables siempre que sean inspeccionados con frecuencia.

### **2.3.3. Criterios para el manejo de enfermedades.**

En los diferentes países donde se practican procesos de mejora para la obtención de cultivares comerciales, las enfermedades son consideradas como criterios primarios de selección y de hecho, resulta la causa de las mayores discriminaciones de poblaciones.

Durante las últimas décadas el número y la intensidad de las enfermedades se ha incrementado vertiginosamente, lo que ha llevado a los mejoradores a clasificar las

mismas en Menores y Mayores y, en dependencia de ello, ser consideradas dentro del esquema como criterios de selección.

Benda (1986), citado por González (1998), recomendó cuatro estrategias a seguir para la resistencia a las enfermedades, que se basa, fundamentalmente, en lo antes descrito de su clasificación en Mayores y Menores. Para la aplicación de una estrategia dada se toma en consideración, además, los siguientes aspectos:

- ✓ Importancia económica real o potencial de la enfermedad.
- ✓ Estado del arte sobre los estudios de las interacciones Hospedante – Patógeno.
- ✓ Nivel de propagación.
- ✓ Composición varietal a favor o en contra de la resistencia.
- ✓ Tipo de herencia de la resistencia.
- ✓ Fuentes de resistencia; dotación de progenitores resistentes y su posibilidad de empleo en las campañas de hibridación.
- ✓ Otros aspectos del agente patógeno y la enfermedad.

Tomando en consideración los aspectos antes indicados, se forman las siguientes categorías de estrategias:

#### **2.3.3.1. Estrategia I.**

Cuando la enfermedad es menor y no hay condiciones que favorezcan su desarrollo, es decir, solamente se hacen observaciones bajo condiciones naturales de infección y no se discrimina por ese carácter. Se incluyen aquí todas las enfermedades Menores.

#### **2.3.3.2. Estrategia II.**

La enfermedad es menor, pero hay condiciones que favorecen su desarrollo o la enfermedad es potencialmente Mayor, pero no alcanza una propagación que cause daños económicos de consideración; la composición de cultivares favorece a la resistencia. La resistencia se hereda fácilmente y hay un abundante surtido de progenitores que pueden ser empleados en las campañas de hibridación. En este caso, las pruebas de resistencia se efectúan en una de las etapas finales de

selección y puede o no ser tomada como criterio de selección, o asegurarse métodos de manejo, en caso de ser susceptibles.

#### **2.3.3.3. Estrategia III.**

La enfermedad es prácticamente de importancia económica, pero los estudios de las relaciones Hospedante - Patógeno o los de herencia de la resistencia no se han concluido o resulta una enfermedad cuya resistencia es de herencia compleja. En este caso, hay cierto avance en la composición de cultivares a favor de la resistencia y se cuenta con posibilidades de empleo de un buen número de progenitores resistentes a la misma. En este caso, la enfermedad es un criterio de selección y se deben aplicar métodos de infección artificial desde las primeras etapas de selección, logrando discriminar en esas la mayor cantidad posible de la población susceptible, de manera que queden para las etapas finales las poblaciones de familias de cultivares más resistentes y no hayan altos porcentajes de cultivares rechazados por esa causa al final del proceso de selección.

#### **2.3.3.4. Estrategia IV.**

Considera los mismos aspectos de la Estrategia III, pero se aplica en los casos en que no se cuenta con una adecuada dotación de progenitores resistentes; en este caso, se aplica un Programa Paralelo de Obtención de Progenitores para esa enfermedad en específico.

Un aspecto importante a tomar en consideración para la definición del conjunto de estrategias para las enfermedades es el hecho de que en un Programa de Selección no pueden coexistir muchas enfermedades con Estrategias III y IV, pues ello implica la discriminación de un elevado porcentaje de individuos en las fases iniciales del esquema, lo que conspira contra la variabilidad genética de las poblaciones resultantes de la selección por resistencia a las enfermedades y en consecuencia, limita mucho las posibilidades de obtención de cultivares con otros caracteres deseables y que son también criterios de selección.

En concordancia con lo anterior y por su potencial de daños, en Cuba hay ocho enfermedades que pueden ser consideradas como Mayores, aunque desde luego,

no todas constituyen criterios de selección con el mismo peso y por consiguiente, se aplica con ellas estrategias diferentes para la resistencia.

El carbón se considera un criterio primario de selección y no se cuenta aún con una adecuada dotación de progenitores resistentes a esta enfermedad, es además de herencia compleja y, en muchas ocasiones, hay que recurrir al empleo de progenitores susceptibles, por lo que las evaluaciones del material genético comienzan desde las primeras etapas de selección (etapa de posturas aviveradas).

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Evaluación del carbón en las diferentes etapas del esquema de selección de cultivares.**

Se evaluaron poblaciones procedentes del programa de fitomejoramiento de la caña de azúcar en Cuba; las investigaciones fueron desarrolladas en áreas de la EPICA "Antonio Mesa Hernández" de Jovellanos, Matanzas, sobre suelo Ferralítico rojo típico, en caña planta y primer retoño, durante el periodo comprendido entre 2006 y 2013, desde la etapa de posturas hasta las pruebas de resistencia. Se aplicaron las atenciones culturales indispensables para el desarrollo normal de la plantación. Fueron realizadas dos evaluaciones en caña planta y primer retoño, con la frecuencia siguiente: la primera, antes de los tres meses y la última antes de la cosecha, en las que se determinó la cantidad de látigos apicales, látigos laterales, proliferación de yemas y aspecto herbáceo (Figura 2)

También se ejecutaron experimentos con cultivares comerciales y en desarrollo, en la Compañía Azucarera "La Estrella" S. A., (CALESA) de Panamá en 2013 por parte de un equipo de investigadores cubanos, en las que se incluyeron cultivares obtenidos en Cuba.

##### **3.1.1. Evaluación natural en etapa de posturas.**

El procedimiento experimental seguido aparece en el Manual de Normas y Procedimientos del Programa de Fitomejoramiento del INICA (Jorge et al., 2011). Por cada individuo, se evaluó una cepa que es lo que se planta por cada uno. Se discriminan todas aquellas cepas que presenten látigos o cepas herbáceas y por lo tanto, no continúan en el proceso.

### **3.1.2. Evaluación en etapa de Lotes Clonales.**

#### **3.1.2.1. Evaluación de la infección natural del carbón en la etapa de Lote Clonal I (LC I).**

Con los individuos seleccionados del lote de posturas se plantó el LCI en el campo, en bloques de 30-40 surcos por bloque y 25-30 clones por surco, cada uno representado por una cepa (empleando dos trozos de tres yemas cada uno). En esta fase sólo se efectúan observaciones bajo condiciones naturales, siguiendo el mismo procedimiento que en la etapa de posturas.

#### **3.1.2.2. Evaluación de la infección por carbón en la etapa de Lote Clonal II (LC II).**

Los clones procedentes del LCI que arriben a esta etapa son sometidos a una inoculación artificial para una discriminación masiva por susceptibilidad al momento de la plantación, consistente en la inmersión de los trozos de semilla en una suspensión en agua común de  $5 \times 10^6$  teliosporas/mL durante 15 minutos. Por cada genotipo se plantó un área de dos metros de longitud con un total de 10 propágulos de tres yemas por cada genotipo.

El inóculo se tomó de diferentes cultivares y se comprobó que la viabilidad de las teliosporas fue superior al 85%.

Deben ser descartados todos los clones que muestren cepas de constitución herbácea (síntoma de alta susceptibilidad) y aquellos que rebasen el 5% de tallos con látigos.

### **3.2. Evaluaciones en la etapa de Estudios Multiambientales o Estudios Replicados.**

En esta etapa es donde se efectúa la prueba decisiva de evaluación del cultivar ante la enfermedad, sometiéndola a una inoculación artificial, para lo que se planta un ensayo con diseño de Bloques al Azar con tres réplicas, en la segunda quincena de abril o la primera de mayo. Se plantó con trozos dobles, a 1,60 m de camellón y 0,40 m de narigón, dos surcos de cada cultivar, lo que garantiza un total de 40 trozos de semilla en cada réplica.

La semilla se tomó de un banco que se plantó con el material seleccionado de los LC II, de manera que a la hora de plantar la prueba tenía entre 8 y 10 meses de edad, crecido bajo las mismas condiciones, lo que garantiza la requerida homogeneidad; para la inoculación se tomó solamente los dos tercios superiores de los tallos, cuyas yemas facilitan la penetración del inóculo a través de su tejido no diferenciado.

### **3.3 Procedimiento seguido para la conducción de los estudios por inoculación artificial.**

Para la conducción de los ensayos con inoculación artificial se empleó el siguiente procedimiento:

- a) Se recolectaron látigos de carbón en diferentes campos infectados.
- b) Los látigos se conservaron a temperatura de  $\pm 20^{\circ}\text{C}$ ., hasta lograr la pérdida total de la humedad.
- c) Se extrajeron las esporas de todos los látigos, que fueron conservadas en envases de vidrio a temperatura de  $\pm 20^{\circ}\text{C}$ .
- d) El día antes de la plantación se preparó el inóculo en agua, con una concentración de esporas de 2g/Litro ( $\pm 2 \times 10^6$  teliosporas/ $\text{mL}^{-1}$ ).
- f) Se sumergieron los propágulos en la suspensión de esporas durante 10 min.
- g) Los propágulos inoculados fueron dejados en reposo durante 24 horas.
- h) Para los estudios multiambientales se plantó en el campo dos réplicas, de dos surcos con 7,5 m de cada cultivar.

Los testigos susceptibles empleados fueron MZC74-274 en Panamá y Ja60-5, en Cuba; las evaluaciones se realizaron durante las cepas de caña y soca, determinándose cada año el porcentaje de tallos con látigos. La evaluación final de cada cultivar se realizó de acuerdo con la escala que se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Escala de valores empleada para evaluar la resistencia de los cultivares frente al carbón de la caña de azúcar (Escala de Hutchinson).

Grado	Infección (%)	Grado	Reacción
0	0,0 – 1,0	I	Inmune
1	1,1 – 2,0	MAR	Muy altamente resistente
2	2,1 – 3,0	AR	Altamente resistente
3	3,1 – 5,0	R	Resistente
4	5,1 – 8,0	MR	Moderadamente resistente
5	8,1 – 11,0	INT	Intermedia
6	11,1 – 15,0	MS	Moderadamente susceptible
7	15,1 – 22,0	S	Susceptible
8	22,1 – 30,0	AS	Altamente susceptible
9	> 30,0	MAS	Muy altamente susceptible

En los campos comerciales seleccionados se establecieron 6 estaciones de muestreo en forma diagonal, compuestas por dos secciones de surcos de 10 m de longitud cada una. Los muestreos se realizaron entre los 15 y 90 días de edad de la planta y antes de la cosecha. En cada estación de muestreo se registró la cantidad total de tallos, cantidad de tallos enfermos, cantidad de cepas y de ellas la cantidad que presentaron aspecto herbáceo, determinándose el porcentaje de tallos enfermos y el porcentaje de cepas herbáceas.

### 3.4. Criterios de selección

Los cultivares que presentan una respuesta entre los grados de la escala ajustada del 7 al 9, son rechazados y se seleccionan los del 1 al 4; aquellos con reacción entre los grados 5 y 6 son considerados Intermedios (INT) y Moderadamente susceptibles (MS), según González, 1997.

### 3.5 Estudios del saneamiento mediante la extracción de látigos en el campo.

Se seleccionaron dos campos muy infectados por carbón (10% de tallos con látigos o más), para efectuar el saneamiento; se creó una brigada para la extracción de los látigos, que fue habilitada con medios para el corte y bolsas de polietileno para depositar los látigos, tomando las medidas para que no se rompiera la membrana plateada que cubre las esporas (Figura 2).



Figura 2. Brigada extrayendo los látigos de un campo muy infectado por el carbón.

Después de efectuada la extracción de los látigos, las bolsas cerradas fueron depositadas en un lugar cercano al área estudiada y todo el material extraído, sin sacarlo de las bosas fue incinerado (Figura 3).

Antes de comenzar el saneamiento, se realizó un conteo de látigos en el campo objeto de estudio, para lo cual se trazó visualmente una diagonal que comenzó y concluyó a 10 metros del borde. En ésta se seleccionaron siete Estaciones de Muestreo (EM) equidistantes, cada una compuesta por 4 secciones de surco de 10 metros (Figura 4), donde se realizó el conteo de tallos y cepas con látigos, para determinar el porcentaje de infección. A los veinte días posteriores al saneamiento en la misma EM, se repitió el conteo.



Figura 3. Incineración de bolsas plásticas con látigos de carbón extraídos durante el saneamiento.

Para el análisis estadístico, los datos se procesaron según las características del experimento, mediante el paquete estadístico SPSS. Se realizó análisis de varianza al 5% de probabilidad de error y la prueba Duncan para detectar posibles diferencias entre los tratamientos.



Figura 4. Esquema empleado para determinación del porcentaje de tallos y cepas infectadas por carbón en un campo de caña.

### **3.6. Estudio del crecimiento de la enfermedad carbón de la caña de azúcar en condiciones naturales.**

Entre los años 2009 y 2012 se siguió el crecimiento de dicha enfermedad en una empresa donde se cosechan cultivares con altos grados de susceptibilidad frente al carbón. Con este objetivo, se realizó un monitoreo en toda la empresa (232 campos), tres meses posteriores a la cosecha, para determinar el número de campos infectados por el carbón; de los campos infectados, en 2009 se seleccionaron 20, en representación de las diferentes zonas edafoclimáticas (Norte, Sur, Este y Oeste), por lo que se evaluaron cinco campos por área.

La propagación de la enfermedad se determinó en siete puntos de la diagonal del campo, siguiendo el mismo protocolo que el descrito en el epígrafe 3.5, y el promedio de todos los campos (porcentaje) por cada año se asumió como el crecimiento porcentual de tallos con látigos para la empresa.

### **3.7. Evaluación de la resistencia de los cultivares como criterio de selección.**

En el epígrafe 3.4 se describe el criterio asumido para categorizar la resistencia de los cultivares a partir del grado alcanzado, en correspondencia con la escala de valores empleada. En esta oportunidad se realizaron estudios empleando la inoculación artificial, pero comparando su correspondencia con la reacción natural en campo.

Para la ejecución de los experimentos se seleccionaron cultivares con reacción contrastante en condiciones naturales; en esta oportunidad se tomaron como testigos el cultivar Ragnar (R) y MZC74-235(S), según datos históricos de la empresa durante 20 años. El procedimiento seguido para este estudio fue según lo descrito en el epígrafe 3.3.

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

### **4.1. Evaluación del carbón en las diferentes etapas del esquema de selección de cultivares.**

El Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), a través de su red de estaciones y grupos de servicios tiene la responsabilidad de recomendar cultivares de caña de azúcar que no constituyan riesgos para la ocurrencia de epifitias, que como es conocido, muchas veces alcanzan proporciones traumáticas para cualquier sistema agrícola, pero está también altamente comprometido con la calidad y productividad de la materia prima que llega al ingenio.

En este sentido, se presenta un análisis de los resultados obtenidos durante siete años consecutivos (2006 a 2013) en la EPICA Matanzas, con poblaciones obtenidas a partir de cruces biparentales con combinaciones caracterizadas frente a la enfermedad, con el que se demuestra también que la resistencia es un carácter que no se incorpora con facilidad en las progenies obtenidas.

#### **4.1.1. Evaluación natural en etapa de posturas.**

En poblaciones de posturas plantadas entre los años 2006 al 2013 (222957 genotipos evaluados) fueron infectados por carbón 3590 (1,61%), según se presenta en la tabla 3. Como en esta etapa cada individuo está representado por una sola cepa, todos los que presentaron síntomas de carbón fueron eliminados, según establece el Manual de Normas y Procedimientos del Programa de Fitomejoramiento del INICA (Jorge et al., 2011).

**Tabla 3. Resultados de la selección en posturas y la discriminación por infección de carbón.**

Año de evaluación	Del lote de posturas en el campo		
	Evaluadas	Afectadas	(%)
2006	24 711	460	1,86
2007	43 247	758	1,75
2008	29 927	772	2,58
2009	10 523	129	1,23
2010	14 463	328	2,28
2011	30 549	330	1,08
2012	39 885	629	1,58
2013	29 652	184	0,6
<b>Promedio</b>	<b>222 957</b>	<b>3 590</b>	<b>1,61</b>

#### 4.1.2. Evaluación en etapa de Lotes Clonales.

##### 4.1.2.1. Evaluación de la infección natural del carbón en la etapa de Lote Clonal I (LC I).

En los lotes clonales I, plantados con la selección de los lotes de posturas de cada campaña, durante la evaluación de los años 2006 al 2011, existía una población total de 22241 clones (Tabla 4), de los cuales fueron descartados por carbón 524 (2,3%).

Tabla 4. Resultados de la selección frente al carbón en el lote Clonal I.

Año de evaluación	Selección plantada en el lote clonal I		
	Total	Afectadas	%
2006	1 282	62	4,8
2007	7 830	152	1,9
2008	3 807	64	1,7
2009	6 000	65	1,08
2010	1 460	120	8,2
2011	1 862	61	3,3
<b>Total</b>	<b>22 241</b>	<b>524</b>	<b>2,3</b>

#### 4.1.2.2. Evaluación de la infección por carbón en etapa de Lote Clonal II.

En esta etapa del proceso de selección el porcentaje de eliminación de genotipos por carbón, según se presenta en la Tabla 4, se incrementa bruscamente, cuando se compara con las etapas precedentes (posturas y LC I).

Tanto en el lote de posturas como en el LC I, por metodología establecida, el genotipo debe expresar de forma natural las relaciones Hospedante – Patógeno - Ambiente, pues no se ejerce ninguna presión mediante la inoculación artificial, contrario a lo que ocurre a partir del lote clonal II, donde todos los genotipos son inoculados con una concentración de teliosporas de  $2 \times 10^6$ .

Durante el periodo analizado se registró la eliminación del 45,4% de toda la población seleccionada (Tabla 5); también se expresa en esta tabla que las selecciones probadas proceden de ascendencias caracterizadas ante la enfermedad carbón de la caña de azúcar, donde se observa que la segunda combinación con menos genotipos discriminados por concepto de susceptibilidad corresponde a S x S, mientras que las combinaciones S x R (60,4%) y R x R (54,7%) aportaron la mayor cantidad (porcentaje) de genotipos susceptibles.

Tabla 5. Resultados de la selección en lote clonal II (inoculados) en cruces biparentales durante 5 años consecutivos.

Caracterización de la resistencia de los progenitores	Total de genotipos en campo		
	Evaluados	Afectados	Eliminación (%)
R X R	128	70	54,7
R X Int.	33	16	48,5
R X S	47	20	42,6
Int. X R	33	19	57,6
Int. X Int.	55	26	47,3
Int. X S	143	40	28,0
S X R	91	55	60,4
S X Int.	149	69	46,3
S X S	81	30	37,0
<b>Total</b>	<b>760</b>	<b>345</b>	<b>45,4</b>

Leyenda. R, resistente; Int., Intermedio, S, susceptible.

Visto de esta forma, podríamos asumir que la resistencia de la caña de azúcar frente al carbón es un hecho fortuito o un resultado del azar, negando el axioma de Browning (1980) cuando planteó que la resistencia y la avirulencia son la regla mientras que la susceptibilidad y la virulencia son la excepción.

#### 4.2. Evaluación del carbón en etapa de estudios multiambientales o Estudios Replicados.

En los estudios de resistencia, conocidos como pruebas estatales, donde se llevan aquellos cultivares que en el resto de los estudios igualan o superan a los testigos empleados en sus bondades agroindustriales, y que hasta ese momento han alcanzado la categoría de "cultivar comercial", el 25,12%, como promedio de cinco años, son eliminados por susceptibilidad ante la enfermedad (Tabla 6).

Tabla 6. Resultados de la prueba de resistencia al carbón en la última etapa del esquema de selección de cultivares comerciales.

Año	Genotipos en pruebas de resistencia				Genotipos eliminados (%)
	Total	R	Int.	S	
2008	79	21	18	40	50,6
2010	36	17	15	4	11,1
2012	137	73	31	33	24,08
2014	95	60	31	4	4,2
2016	67	24	20	23	34,3
<b>Total</b>	<b>414</b>	<b>195</b>	<b>115</b>	<b>104</b>	<b>25,12</b>

Leyenda: R= resistente; Int.= intermedia; S= susceptible

Como se observa (Tabla 6), existe una marcada diferencia del porcentaje de discriminación de genotipos por susceptibilidad al carbón entre los años de estudio. Así, en el 2008 se eliminó el 50,6%; contrariamente al 2014, cuando solo el 4,2%, de la población evaluada resultó susceptible. Esta situación puede deberse a los siguientes factores:

- a) Escapes frecuentes de cultivares a la inoculación del hongo.
- b) Dificultades en el "screening" o Lote Clonal II.
- c) Insuficiente población de tallos evaluada.
- d) Influencias del ambiente.

e) Coincidencia casual de resistencia en la población evaluada.

En resumen, se cuantificó que, en cinco años, el Programa de Fitomejoramiento en la EPICA Matanzas ha descartado en las diferentes etapas del esquema por susceptibilidad al carbón, 449 genotipos seleccionados, o sea, que igualaban o superaban al testigo (Figura 5).

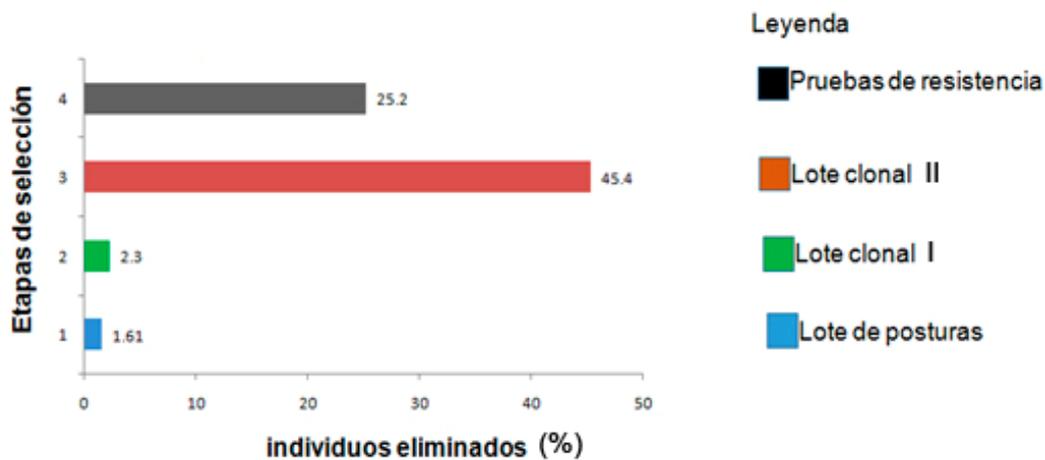


Figura 5. Eliminaciones por carbón mediante la inoculación de teliosporas en los últimos 5 años.

La explotación de cultivares resistentes es el método más eficaz para el control del carbón; este procedimiento tiene como inconveniente la eliminación excesiva de genotipos dentro del proceso de selección, lo cual muchas veces se traduce en una baja frecuencia en la selección de cultivares aptos para su explotación comercial, hecho que se suma a los cálculos de las pérdidas ocasionadas por la enfermedad y ratifica su importancia.

En un análisis realizado durante siete años (2006 a 2013) en la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA) Matanzas, se observó que a medida que avanza el proceso de selección, el porcentaje de individuos eliminados, como promedio aumenta en cada una de las etapas sucesivas, como se muestra en la Figura 5.

Como se observa, los mayores porcentajes de individuos discriminados por la enfermedad ocurren a partir del momento en que se emplea la inoculación artificial,

con una concentración de teliosporas de  $2 \times 10^6$ / mL, equivalente a 2 gramos de estas en 100 L de agua, en el Lote Clonal II y Pruebas de resistencia.

En Cuba, la caña de azúcar aún continúa siendo el cultivo más extendido, con alrededor de 700 000 ha plantadas. Se ejecuta anualmente un programa de mejora con diferentes objetivos, aunque la resistencia a enfermedades principales es común para todos los cultivares que alcancen la categoría de comerciales; por esta razón, cada año se elimina entre 30 y 50% de la población en estudio, de sus diferentes fases.

El INICA tiene como principal objetivo la obtención de cultivares para las diferentes zonas edafoclimáticas; como principales requerimientos abióticos para los cultivares comerciales están las características del suelo y requerimientos hídricos y entre los bióticos, la resistencia al ataque de las plagas.

Los cultivares que se obtienen en el INICA deben poseer niveles aceptables de resistencia ante las principales enfermedades presentes en el área, como respuesta a las necesidades del sector; una adecuada composición de cultivares favorece la conservación de la diversidad genética, reduce la probabilidad de ataque de plagas al disminuir la concentración de inóculo y la disponibilidad de hospedantes, todo ello con un costo mínimo para la empresa y el ambiente.

Sin embargo, existen factores no genéticos que actúan previo al proceso de infección y afectan la susceptibilidad de las plantas, sometiéndolas a un estado de “predisposición”; la planificación del manejo del cultivo o el combate de una enfermedad, por cualquiera de las estrategias conocidas no se puede visualizar como un procedimiento lógico, si se ignora la relevancia que tiene este aspecto, ya que sin darse cuenta de ello, se puede colocar al cultivo bajo estas condiciones y luego provocará extrañeza los altos niveles de severidad o incidencia de una enfermedad presente en el campo (Pérez, 2004).

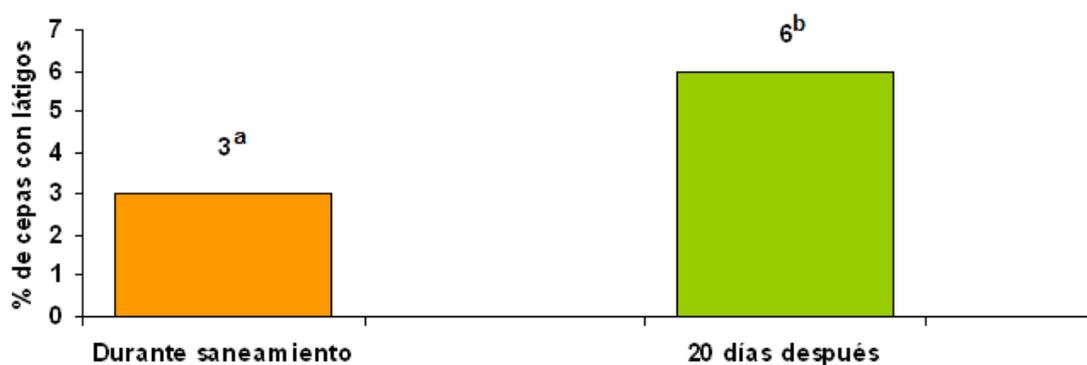
#### **4.3. Estudios del saneamiento mediante la extracción de látigos en el campo.**

En el manejo de la enfermedad se emplea como medida fundamental la plantación de cultivares resistentes; también durante mucho tiempo se consideró que la extracción de tallos con látigos reduce la infección de los campos, pero algunas

investigaciones realizadas por Pérez Milián.(2013) demuestran que este procedimiento no siempre resulta efectivo.

Resultados de estudios desarrollados para esta tesis demuestran que en plantaciones con cultivares susceptibles, infectados por la enfermedad, el porcentaje de látigos se incrementó, significativamente, después de realizar la extracción de los mismos.

En la Figura 6 se observa que 20 días después del saneamiento, el porcentaje de cepas con brotes mostrando los látigos se incrementó significativamente.

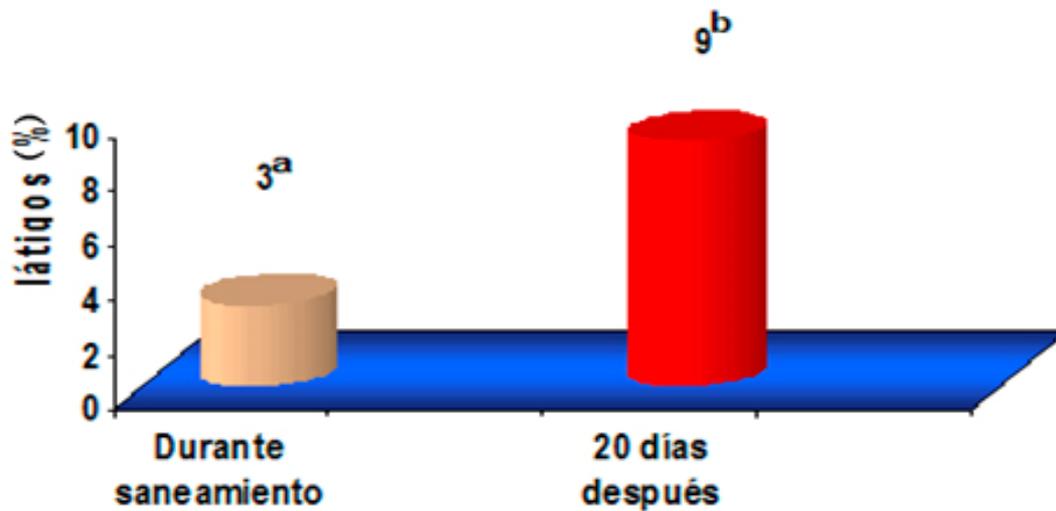


<sup>a,b</sup> Diferencias significativas (Duncan 0,05)

Figura 6. Incremento del porcentaje de cepas con látigos después del trabajo de saneamiento ejecutado.

En los tallos individuales el incremento es mucho mayor (6%), como se representa en la Figura 7; estos resultados niegan la acción del saneamiento como una medida de control, aun cuando esta medida pueda contribuir a la disminución de esporas del hongo en el ambiente. Pérez, Milián (2013) señala que la causa de esta situación puede deberse a dos razones fundamentales:

- a) El estado de predisposición en los cultivares susceptibles altamente infectados, crea las condiciones para que exista en el área alta concentración de esporas en el ambiente.
- b) La efectividad del saneamiento es mayor cuando se realiza en campos que no hayan alcanzado altos niveles de infección.
- c) Que los encargados del saneamiento identifiquen las plantas enfermas antes de la emergencia del látigo.



<sup>a,b</sup> Diferencias significativas (Duncan 0,05).

Figura 7. Incremento del porcentaje de tallos con látigos en un campo de caña después de ejecutadas actividades de saneamiento.

#### 4.4. Estudio del crecimiento de la enfermedad en condiciones naturales.

Los resultados del monitoreo de crecimiento hasta agosto de 2011 reflejan que durante los últimos años se ha observado un resurgir de la enfermedad, situación que afecta a cultivares muy importantes para la empresa (Figura8).

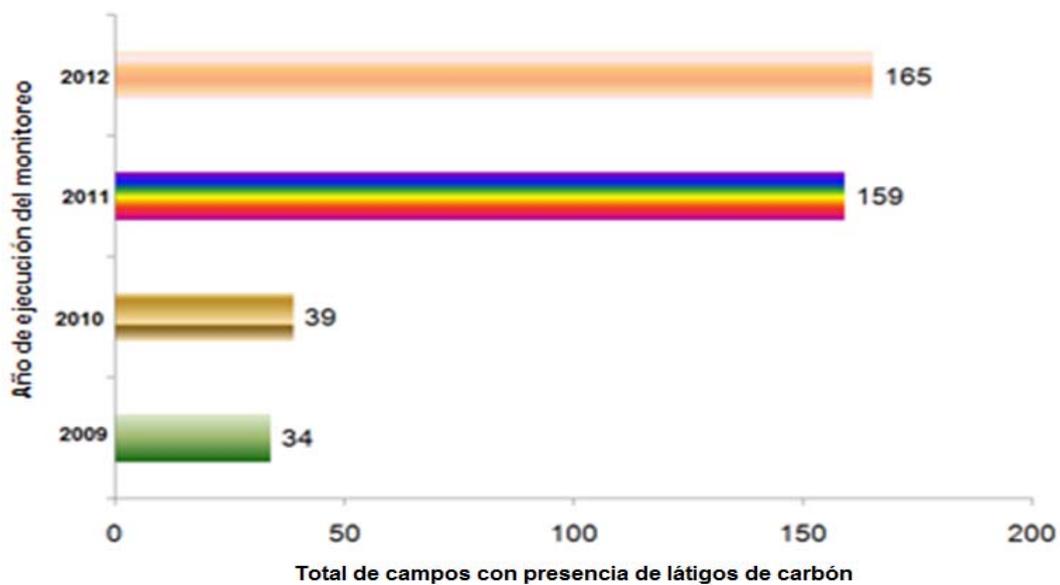


Figura 8. Presencia de la enfermedad carbón de la caña de azúcar en campos de CALESA, según resultados de tres años de monitoreo.

Como queda evidenciado en la Figura 8, en 2009, solo 34 campos presentaban tallos con látigos de carbón, mientras que en 2012 se registró un total de 165, lo que marca un incremento de 131 campos infectados. En la Figura 8 también se observa el crecimiento de campos enfermos registrado entre el año 2010 y 2011, con una diferencia de 41.

El crecimiento de la enfermedad no solo se extendió a otros campos, sino que dentro de los campos se observa también que el número de cepas infectadas pasó de 4% en 2009 a 6,5% en 2011 (Figura9); esta situación se traduce en que, de cada 100 cepas en los campos, más de 6 presentan al menos 1 tallo infectado por la enfermedad.

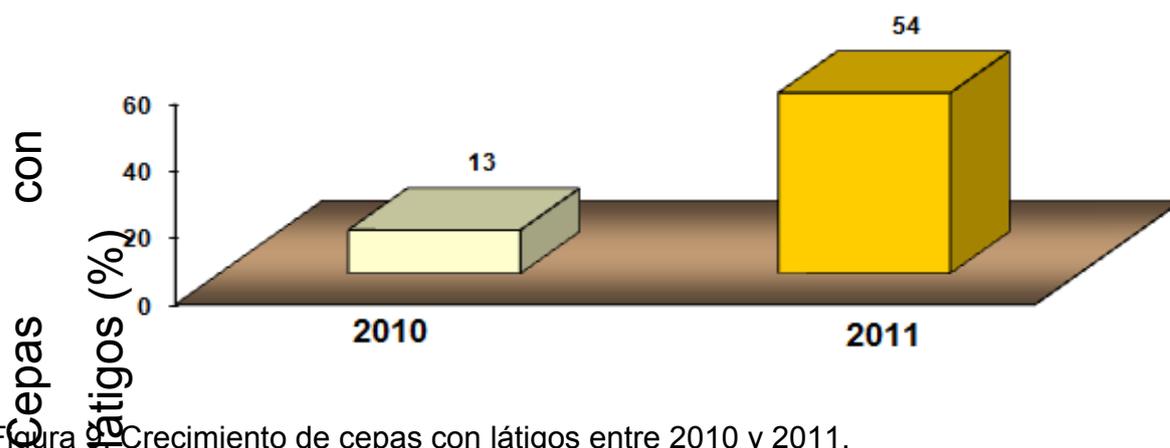


Figura 9. Crecimiento de cepas con látigos entre 2010 y 2011.

Como se observa en la Figura 9, el total de cepas con tallos enfermos se incrementó drásticamente de un año a otro, lo cual da una medida de la extensión de la enfermedad por toda el área; cada tallo con látigo se convierte en un reservorio para la propagación de la enfermedad en los campos plantados con cultivares susceptibles, con la sucesión de las cosechas y factores del ambiente como el viento y el hombre. En la Figura 10 se presenta el incremento de tallos mostrando los látigos entre el primer año o comienzo del estudio (2009) y el último (2012).

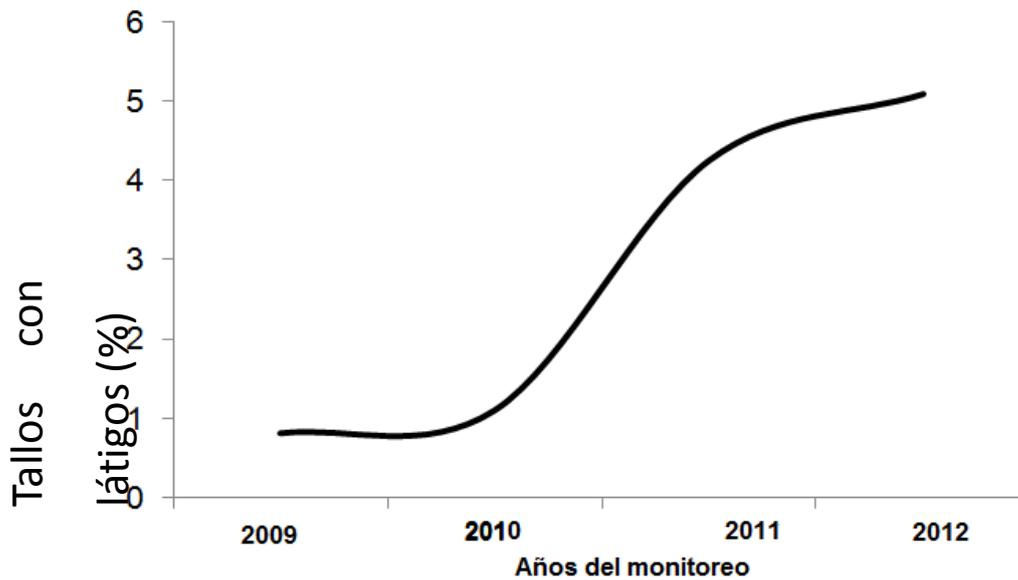


Figura 10. Incremento del porcentaje de tallos con látigos de carbón en la empresa estudiada, durante cuatro años de investigación.

A continuación, se hace referencia a la distribución porcentual de todos los campos de la empresa en relación con la presencia del carbón, destacándose que en el año 2012 ya existían 23 campos con más de 10% de tallos con látigos.

Tabla 7. Resultados de la distribución potencial de todos los campos.

Tallos con látigos (%)	Total de campos
0	27
÷1-5	128
÷6-9	8
≥10	23

#### 4.5 Evaluación de la resistencia de los cultivares como criterio de selección.

Cuba, por el programa de fitomejoramiento, mediante el cual se puede conocer la respuesta genética de la planta ante la presencia del patógeno y es lo que permite la liberación de cultivares hacia las áreas comerciales, resistentes a la enfermedad (Jorge *et al.*, 2012).

Los estudios realizados demostraron que, bajo condiciones de inoculación artificial, el cultivar Ragnar alcanzó la máxima categoría de susceptibilidad (MAS), al igual que el testigo susceptible MZC74-235. Sin embargo, en condiciones naturales prácticamente no se observan tallos con látigos en el mismo, aun cuando es uno de los que más años de explotación tiene en la empresa (Tabla 8).

Tabla 8. Comparación del grado de infección de cultivares de caña de azúcar por inoculación artificial y su reacción en condiciones naturales.

Cultivar	Inoculación artificial				Mayor porcentaje de Infección en campo.	
	Cepa	Infección	Grado escala	Reacción (%)	Cepa	Infección (%)
MZC74-235	Soca	45,00	9	MAS	Soca	45,00
Ragnar	Soca	35,93	9	MAS	3R	0,31
B74125	Soca	27,66	8	AS	4R	16,94
BT7742	Soca	15,88	7	S	3R	17,32
B80689	Soca	0,00	0	I	3R	0,0

Leyenda: MAS, muy altamente susceptible; AS, altamente susceptible; S, susceptible; I, inmune

Este hecho reviste mayor interés si tenemos en cuenta que este cultivar se desarrolla en un escenario donde la propagación de la enfermedad (porcentaje de látigos por hectárea) en tres años presentó una tasa de incremento anual superior a 2,5%, destacándose el incremento registrado en algunos cultivares entre 2010 y 2011, según se discutió en el epígrafe precedente.

No menos significativo resulta el hecho de que en esta empresa los cultivares más importantes BT7742 y B74125, S y AS en pruebas de inoculación artificial, están muy infectados por el carbón, lo cual queda demostrado por el estudio de 19 campos, los cuales ocupan más de 470 ha de caña presentan como promedio 18,97% y 16,40% de tallos con látigos, respectivamente, lo cual asegura una alta concentración de inóculo en el ambiente estudiado (Tabla 8).

Tabla 9. Infección (%) por carbón en 19 campos (472,38 ha) de la empresa estudiada y de los dos cultivares más propagados.

<b>Cultivar BT7742</b>			<b>Cultivar B74125</b>		
<b>Nº</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>látigos(%)</b>	<b>Nº</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>látigos(%)</b>
1	40,88	26,85	1	28,8	25,44
2	6,0	23,88	2	31,88	22,53
3	35,91	22,7	3	25,47	20,74
4	40,88	21,44	4	11,57	19,57
5	16,7	21,14	5	14,92	15,15
6	17,16	20,31	6	11,57	12,82
7	33,45	18,25	7	25,16	10,62
8	17,45	12,84	8	29,21	10,41
9	34,79	11,5	9	19,21	10,3
10	31,37	10,85			
<b>Promedio</b>	<b>274,59</b>	<b>18,97</b>		<b>197,79</b>	<b>16,40</b>

Presumiblemente en este ambiente, un cultivar que no posea algún tipo de defensa química (Activa) o estructural (Pasiva), no puede escapar a la infección por la enfermedad carbón de la caña de azúcar.

## 5-RESUMEN

Algunos resultados publicados señalan que los niveles de daños por la enfermedad carbón de la caña de azúcar varían con la susceptibilidad de los cultivares infectados y la intensidad de los ataques y se han estimado pérdidas que son, desde despreciables en algunos casos, hasta 50-70% en los más susceptibles; estando originadas estas reducciones por el efecto depresivo de los componentes del rendimiento agrícola (Valladares y González, 1990). Diferentes investigaciones han demostrado una caída del rendimiento que oscila entre 0,6 y 1,7 toneladas de caña por cada 1% de tallos enfermos (Victoria, 2012;Pérez Vicente, 2001).

Existen experiencias que demuestran que cultivares altamente susceptibles en pruebas de inoculación artificial son explotados comercialmente durante muchos años, sin que hayan ocurrido epifitias por esta causa. En Cuba, el cultivar C323-68, en pruebas de resistencia, resulta susceptible (S) al carbón y se explota comercialmente desde hace más de 40 años; actualmente ocupa, según el último Censo Nacional de Cultivares (INICA, 2019), 6,1% del área con caña, sin que se hayan presentado situaciones críticas de epifitias generalizadas.

Aún, cuando el 34% del área cañera Nacional está plantada con cultivares entre intermedios (INT) y Muy Altamente Susceptibles (MAS) frente al carbón, los informes del Servicio Fitosanitario (SEFIT) no registran el surgimiento de epifitias por esta enfermedad y solo se publican 0,22% de tallos enfermos y 0,55%; de cepas herbáceas, como promedio de todo el País (INICA, 2019).

El desarrollo de una epifitia de carbón en las áreas comerciales no está determinado solamente por el grado de susceptibilidad de los cultivares plantados, sino por el manejo que con ellos se haga, especialmente el porcentaje del área que ocupan y su distribución espacial, debiéndose establecer estrategias encaminadas a lograr el predominio de los cultivares con reacción resistente (De Prada *et al.*, 2000).

Las interacciones plantas-patógeno pueden presentar varios tipos de asociaciones, que dependen en gran medida del contenido genético de cada organismo. La resistencia inducida es una forma de defensa activa que involucra la expresión diferencial de genes y cambios metabólicos que ocurren como consecuencia de un proceso de reconocimiento específico entre la planta y el organismo causal.

El ataque de patógenos es una condición desfavorable que generalmente activa una serie de mecanismos de defensa cuyo fin es detener, aminorar o contrarrestar la infección. La especificidad en las interacciones planta-patógeno, depende tanto del genotipo de la planta, como el del patógeno. Sin embargo, algunos cultivares normalmente permanecen sanos debido en parte a la manifestación de varios mecanismos de defensa.

Es conocido que el carbón invade los tejidos de la planta después de penetrar a través de las escamas de la yema y que existe alta correlación entre la cantidad y disposición de las mismas, con la infección por el organismo causal de la enfermedad. Este tipo de resistencia, que en fitopatología se conoce como mecanismo de defensa estructural constitutiva, considerada la primera línea de defensa de la planta, y que generalmente no involucra una respuesta activa del hospedante ante la presencia del patógeno, como ocurre cuando el cultivar es genéticamente resistente, parece ser el rasgo distintivo de estos cultivares, condición que pudiera estar presente en otros que componen una población en estudio.

La explotación de cultivares resistentes es el método más eficaz para el control del carbón; este procedimiento tiene como inconveniente la eliminación excesiva de genotipos dentro del proceso de selección, lo cual muchas veces se traduce en una baja frecuencia en la selección de cultivares adecuados para su explotación comercial, hecho que se suma a los cálculos de las pérdidas ocasionadas por la enfermedad y ratifica su importancia (Rott y Comstock, 2003; Rott, 2018).

Algunos de los cultivares eliminados durante el proceso de selección podrían ser portadores de esta condición; sin embargo, el procedimiento actual, imprescindible en algún momento, pero que presumiblemente produce una ruptura de la resistencia estructural en muchos cultivares, los priva de esta opción y por lo tanto, pueden perderse por esta causa importantes genotipos desde el punto de vista comercial.

El carbón presenta actualmente baja incidencia en las plantaciones comerciales en Cuba, pero continúa siendo una enfermedad principal para la caña de azúcar, debido a su mayor impacto negativo dentro del proceso de selección, debido al alto

porcentaje de individuos que se eliminan a partir del Lote Clonal 7 II y Pruebas de Resistencia.

Tanto en el lote de posturas como en el Clonal, por metodología establecida (Jorge *et al.*, 2012), el genotipo debe expresar de forma natural las relaciones Caña de azúcar – *Sporisorium scitamineum*, pues no se ejerce ninguna presión mediante la inoculación artificial. Por otra parte, el sostenido trabajo llevado a cabo con la obtención y liberación hacia áreas comerciales de cultivares con adecuados niveles de resistencia, seguramente ha contribuido de manera significativa a la baja concentración de inóculo en el ambiente.

Se conoce que la composición de cultivares general en una unidad de producción no es posible variarla sustancialmente en un período corto de tiempo, dado principalmente por la dificultad en la producción de altos volúmenes de propágulos de los cultivares a sustituir, sugiriendo el establecimiento de medidas alternativas de fitosanidad hasta que se logre un predominio real de cultivares con niveles de resistencia adecuados.

Toda medida alternativa que contribuya a disminuir la presión de inóculo en el ambiente, tendrá un efecto positivo en la reducción de los niveles de infección en el tiempo y contribuirá a la sostenibilidad del cultivo (González, 2007; Piñón, 2002; Cuellar *et al.*, 2003).

El Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar a través de su red de estaciones provinciales y territoriales tiene la responsabilidad de recomendar cultivares de caña de azúcar que no constituyan riesgos para la ocurrencia de epifitias, cuyas proporciones han resultado traumáticas en cualquier sistema agrícola, pero está también altamente comprometido con la calidad y productividad de la materia prima que llega al ingenio.

En este contexto, solo queda la posibilidad de análisis futuros al respecto y establecer o adecuar procedimientos que involucren toda la experiencia y conocimientos adquiridos y se introduzcan y/o establezcan nuevos cultivares que respondan a las exigencias productivas actuales sin riesgos para este importante sector productivo y fundamental para el desarrollo de la Industria Azucarera del País.

## **6. CONCLUSIONES.**

Sobre la base del análisis de los resultados expuestos, hemos llegado a las siguientes conclusiones:

1. El porcentaje de tallos con látigos, desde los lotes de posturas hasta las pruebas de resistencia, se incrementa con la inoculación artificial; en el Lote de Posturas y Lote Clonal I, generalmente son muy bajos.
2. La extracción de látigos (saneamiento) en campos infectados, no resulta efectiva para el control de la enfermedad, después que la misma se ha establecido.
3. Se demostró que cultivares muy altamente susceptibles (MAS) en pruebas de inoculación artificial, pueden ser cultivados con éxito en áreas comerciales, sin riesgos de epifitias.
4. La resistencia de los cultivares continúa siendo el método de control más eficaz, pero es necesario aprovechar la defensa estructural que presentan algunos genotipos.

## **7. RECOMENDACIONES.**

1. Incluir aspectos morfológicos de la yema en la selección de cultivares resistentes frente al carbón de la caña de azúcar.

2. Aplicar los resultados de la presente tesis en los programas de estudio de la especialidad Fitopatología en la carrera de Ingeniería Agronómica.
3. Actualizar el Manual de Normas y Procedimientos del Programa de Fitomejoramiento de la Caña de Azúcar en Cuba.
4. Continuar perfeccionando la metodología para la obtención de genotipos resistentes y tolerantes al carbón de la caña de azúcar.

---

## 8-REFERENCIAS.

1. Amer, J.; (1988). Yield losses in sugar cane variety C126-260 due to sugar cane smut in Florida. *SugarCane*.1. Enero- Febrero: p.13-16.
2. Anónimo. 1986. *Smut disease in sugar cane*.*Sugar Cane*.(3):25-28.
3. Arévalo, R.A. y Chinaea, M. A. 2012. Taxonomía APG III en *Saccharum spp.* (Caña de azúcar). Cuba & Caña. No. 1. INICA-AZCUBA. p. 62-68.
4. Ayala, G. F. y Sánchez, M.R, 2000. "Resistencia varietal a la enfermedad del Carbón de la caña de azúcar". Cámara Nacional de las Industrias Azucareras y Alcoholeras. México, 83 p.
5. Bremer, G. 1925." *The chromosomes of primitive forms of genus Saccharum*". *Genética*, 7: p. 293-322.
6. Browning, J. A. 1980. " *Genetic protective mechanism of plant-pathogen populations: their co-evolution and use in breeding for resistance*". In Harris, M. K. Ed. " *Biology and Breeding for resistance to arthropods and pathogens in agricultural plants*". Texas Agric. Sta. College Station, TX. p.52-75.
7. Cabrera, M. L., Chinaea, M. A., Pérez O. G. y otros (2004). "Habilidad Combinatoria para resistencia al carbón". *Memorias diversificación*, 2004, ISBN,959-7165-17-1.ICIDCA.LaHabana.CD-ROM pp.189-193.
8. Carvajal, J. O.; Pérez, O. G. y Chinaea, M. A.2002. Resistencia genética a enfermedades mayores de la caña de azúcar en Cuba. 1er Simposio Internacional sobre vigilancia fitosanitaria y su relación con la protección al entorno, p.169.
9. Chinaea, M. A., Rodríguez, Eida Pérez, O. G., Chinaea H., A. y Pérez P., Y. 2012. "Actualización del inventario de enfermedades de la caña de azúcar en Cuba". *Revista ATAC*, N. 1, pp. 33-37.
- 10.Chinea, M. A.; Zayas B. E.; Bruner, S. C. y otros.2019. "Inventario de enfermedades de la Caña de Azúcar en Cuba: Tercera Etapa" *Rev. Cuba y Caña*, INICA.Vol.22, Suplemento Especial 3, pp. 8-14.
11. Cuellar, I., M. E. de León, A. Gómez, D. Piñón, R. Villegas e I. Santana. 2003. "Caña de azúcar: Paradigma de sostenibilidad". Ediciones PUBLINICA, MINAZ 175 pp.,

- 
12. Daniels, J. and B. T. Roach. 1987. "*Taxonomy and evolution*". In: Heinz, D.J. "*Sugar cane improvement through breeding*". Amsterdam. Oxford, p. 7-84.
  13. De Prada, F., G. Pérez, A. Tomeu y H. Jorge. 2000. "Establecimiento de una colección núcleo para el rendimiento agroazucarero y la resistencia a enfermedades". Archivo del Programa de Fitomejoramiento, INICA, 39pp.
  14. FAO. 2016. "El cultivo de la caña de azúcar". Disponible en: <http://azuquita> (2012). Centro de información del Paraquat en nombre de Syngenta Crop Protection-AG.
  15. González, H. R.; Chinea, M. A.; Carvajal, J. O. y Pérez. O.G. 2007. "Mejoramiento para la resistencia a enfermedades de la caña de azúcar en Cuba. Actualidad y perspectivas". Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. [roberto@inica.edu.cu](mailto:roberto@inica.edu.cu).
  16. González, R. 2007. "Bases para el control del carbón de la caña de azúcar (*Ustilago scitaminea* Sydow)". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas, Instituto Superior de Ciencias Agrícolas de La Habana. p 13-17.
  17. Grassl C. O. 1977. "*The origin of the sugar cane producing cultivars of Saccharum*". *Sugar Cane Breed.*
  18. Grassl, C. O., 1974. "*The origin of the sugar cane*". *ISSCT Sugar cane Breed. Newsl*, 34:10-18.
  19. Hogarth, D. M. and Allisopp, P. G., (2012). "*Manual of cane growing*". Brisbane, 463pp. <http://www.fertilizar.org.ar/articulos/articulos.asp>. -.
  20. Hogarth, D. M. and Berding, N. 2006. "*Breeding for a better industry: Conventional Breeding*". *Sugar Cane International*, 24:26-31. [http://www.cenicana.org/investigacion/variedades/sanidad\\_vegetal.php?opcion=1&opcion2=1](http://www.cenicana.org/investigacion/variedades/sanidad_vegetal.php?opcion=1&opcion2=1)
  21. INICA. 2017. Sanidad Vegetal. En XXIV "Reunión Nacional de Variedades, Semilla y Sanidad Vegetal", pp.10-17.
  22. INICA. 2018. Sanidad Vegetal. En XXV "Reunión Nacional de Variedades, Semilla y Sanidad Vegetal", pp.84-100.

- 
23. INICA.2019. Sanidad Vegetal. En XXVI "Reunión Nacional de Variedades, Semilla y Sanidad Vegetal", pp.2-35.
24. Jorge, S. H., Bernal, N., Jorge, I., Mesa, J., González, F., González, A. y Cabrera, L. 2011. Selección. Capítulo 6. "Normas y procedimientos del mejoramiento genético de la caña de azúcar en Cuba". Eds. Jorge, H y Jorge, I. Revista Cuba & Caña, Edición Especial. pp. 187-190.
25. Jorge, S. H., González, H. R., Casas, M. A. y Jorge, G. Ibis (Eds.).2012. "Normas y procedimientos del mejoramiento genético de la caña de azúcar en Cuba". INICA, MINAZ, 315 pp.
26. Magarey R. C., Sheahan T.J., Sefton M. Kerkwyk R. E, Bull J. I.2011. "*Yield losses from sugarcane smut: indications from Herbert mill data and from individual crop assessments*". *Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists* 33, (electronic format) 9 pp.
27. Montalbán, D. J. 2017. "Contribuciones al sistema evaluativo de la resistencia a la roya parda (*Puccinia melanocephala* Sydow & P. Sydow) de la Caña de Azúcar en Cuba". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas, Instituto Superior de Ciencias Agrícolas de La Habana, 115 pp.
28. Mukherjee, S. K. 1957. "*Origin and distribution of Saccharum*". *Bot. Gaz. v. 119 p. 55-61*.
29. Olufolagí, B. 1987. "*Yield loss through cane smut in Nigeria*". *Sugar Cane. 2*. Marzo – Abril. p 21.
30. Pérez Milián, J. R. 1985. "El Raquitismo de los Retoños (RSD) de la Caña de Azúcar en Cuba". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas, Instituto Superior de Ciencias Agrícolas de La Habana, 112pp.
31. Pérez Milián, J. R. 2013. "Acciones básicas para el establecimiento de un sistema de Manejo Integrado de Plagas (MIP) en el Ingenio Ofelina del grupo CALESA", Panamá. Informe de proyecto de colaboración, 30pp.
32. Pérez Milián, J. R., *et al.* (2019). "Reacción de nuevos cultivares de caña de azúcar frente al raquitismo de los retoños *Leifsonia xyli* e impacto de la enfermedad en la producción de los campos afectados". Informe de Proyecto de Investigación, INICA, 25pp.

- 
33. Pérez, Yaritza; O. Cardoso; O. Nápoles; O. Vega, y otros. 2004. "Pérdidas ocasionadas por el carbón de la caña de azúcar en la provincia Ciego de Ávila". Jornada Científica 40 Aniversario INICA, Sección Biológica p.86.
34. Piepenbring, M., Stoll, M. and Oberwinkler, F. 2002. "*The generic position of Ustilago maydis, Ustilago scitaminea, and Ustilago escolenta (Ustilaginales).*" *Mycological Progress* 1: p.p. 71-80.
35. Piñón, G. Dolores. 2002. "Hacia una fitoprotección ecológica de plagas". Manual para productores. Ediciones PUBLINICA, MINAZ, 68 pp.
36. Rivacoba, R. y Morín, R. 2005. "Caña de azúcar y sostenibilidad. Enfoques y experiencias cubanas".
37. Rivero, XX. 2002. Manual de Procedimientos del SEFIT. Ministerio del azúcar, Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Cuba..
38. Rodríguez, H. A.; H. Nass y L. Alemán. (2010). "Situación actual de las enfermedades de la caña de azúcar en Venezuela". Caña de azúcar. 9 (02). P. 99-109. Venezuela.
39. Rott, P. 2018. "*Achieving sustainable cultivation of sugar cane.*" *Volume 2: Breeding, pest, and diseases University of Florida* pp. 1-14
40. Rott. P., Comstock, C. J. Ccroft, J. B., Kusalwong, A. and Saumtally, S. 2003. "*Advances and challenges in sugarcane pathology*". *A review of the Pathology Workshop. Proc. ISSCT* 25:607-613, (2005).
41. Rutherford, R. S., Mcfarlane, S. A., Antwerpen, T. and Mcfarlane, K. (2003). "Use sugarcane varieties to minimize losses from diseases in South Africa". *Proc. S. Afr. Sug. Technol. Ass.*, 77:180-188.
42. Suárez, J. H. (2007) Programa de Fitomejoramiento p.168-179
43. Valladares, F y R. González. 1990. "*Depressive effect of sugar cane smut (Ustilago scitaminea Sydow) on quality and yield*". *Sugar Cane*. 5. Septiembre – Octubre. p 28.
44. Victoria, J. I. 2012. "Enfermedades de la caña de azúcar en Colombia". CENICAÑA. Nro. 2, 10 pp.

---

GALERIA DE FOTOS

1



2



3



---

4



5



6



7

