

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA ENFERMEDAD DEL CARBÓN (*Sporisorium scitamineum*) EN LAS NUEVAS VARIEDADES C86-156 Y C90 – 469 EN LA UBPC “Rubén Martín Agún”

Lic. Luis Felipe Moreno González

MSc. Ramón González García

RESUMEN

La investigación se desarrolló en la UBPC Rubén Martín Agún perteneciente a la UEB de Atención a los Productores Agropecuarios Amancio, en la fecha comprendida desde septiembre 2012 hasta el 2013. Para evaluar el comportamiento de la Enfermedad del Carbón de la caña de azúcar en nuestras plantaciones. Esta evaluación se realizó en condiciones de secano, con el objetivo de valorar los resultados alcanzados con el manejo integral del cultivo de la caña de azúcar *Saccharum officinarum* L. en el comportamiento de la enfermedad del Carbón *Sporisorium scitamineum* (Sydow) M. Piepenbr., M. Stoll & Oberw., para lo cual se empleó la metodología de investigación establecida por el Servicio Fitosanitario (SEFIT). Se logró mejorar la composición varietal actual, reduciéndose los porcentajes de áreas plantadas de las variedades Ja60-5, C323-68 y B63118 y la introducción de nuevas variedades, principalmente C86-12, C90-469, C86-156 y C90-530. Las de mayores porcentajes de propagación de la enfermedad se tuvieron en las áreas clasificadas en la categoría de Ligero. Las pérdidas agrícolas producidas por el carbón en el año 2012 rondaron 570,5 Toneladas de caña éstas descendieron a 120.0 toneladas de caña en el año 2013, por lo que las pérdidas económicas en el 2012 fueron de \$123918 y en el año 2013 de \$24088 respectivamente.

Palabras claves: manejo del cultivo, enfermedad carbón de la caña de azúcar, variedades, tipos de suelo.

ÍNDICE

I. Introducción.....	1
II. Revisión bibliográfica.....	4
1.1 La caña de azúcar y su origen.....	4
1.2 Importancia económica del cultivo.....	5
1.3 El carbón de la caña de azúcar. Una enfermedad emergente y de primer orden.....	8
1.4.1 Características epidemiológicas de <i>Sporisorium scitamineum</i>	9
1.4.2 Ciclo de vida de <i>Sporisorium scitamineum</i>	10
1.4.3 Ciclo de infección de <i>Sporisorium scitamineum</i>	11
1.4.4 Variabilidad patogénica de <i>Sporisorium scitamineum</i>	12
1.4.5 Dispersión de esporas.....	13
1.4.6 Patogenicidad.....	14
1.4.7 Transmisión.....	14
1.4.8 Pérdidas que ocasiona.....	15
1.4.9 Prevención y control Principales medidas de control.....	16
1.5 Interacción hospedante – patógeno.....	17
1.6 Reconocimiento del patógeno.....	20
1.7 Mecanismos defensivos de las plantas.....	22
1.8 Selección de variedades de caña.....	23
III. Materiales y método.....	26
IV. Análisis y discusión.....	31
Conclusiones	
Recomendaciones	
Bibliografía	
Anexos	

I. INTRODUCCIÓN

En el cultivo de la caña de azúcar la incidencia de plagas y enfermedades es un factor de vital importancia, debido a que las mismas tienen una contribución considerable en las pérdidas tanto agrícolas como industriales que se producen en el proceso productivo (Chinea y Rodríguez, 1994).

Las patologías que afectan al cultivo de la caña de azúcar se han ido incrementando y actualmente existen unas 130 informadas a nivel mundial, producidas por diferentes microorganismos patógenos, trastornos ambientales, plantas parásitas, entre otras causas, además se ha observado en los últimos tiempos un incremento de su virulencia (Chinea y Rodríguez, 1994).

Se encuentra reportado en casi todas las áreas productoras de caña de azúcar desde África, Asia, Oceanía, y América del Caribe se reportó por primera vez en Guyana en 1974. Posteriormente fue reportada en Trinidad y Tobago en 1975, Jamaica 1976, Belice 1977; República Dominicana, Venezuela, Cuba, Panamá, Puerto Rico, México, Guatemala, EEUU (Florida) y Nicaragua en 1978.

En Cuba hasta el presente se han informado 57 enfermedades, dentro de las cuales, el carbón, de la caña de azúcar (*Sporisorium scitamineum* (Sydow) M. Piepenbr., M. Stoll & F. Oberw) resulta la más importante por los daños y las pérdidas que ocasiona en las plantaciones cañeras provocando situaciones críticas en la Industria Azucarera.

Como puede apreciarse la enfermedad hizo su aparición en África del Sur, en 1877(1), luego aparece en Argentina 1940, afectando las variedades POJ36 y POJ 213 y posteriormente se extiende a más de 20 países del continente americano, donde causa estragos al encontrar variedades susceptibles y condiciones ambientales propicias para su reproducción. Siendo su distribución muy lenta en los cuatro años siguientes al reportarse solamente en cuatro países en ese período, a partir de 1978 la enfermedad se ha generalizado grandemente en el área al extenderse a 10 países productores de azúcar.

Después de la aparición del carbón en Jamaica en 1976 (Burgoss, 1976) fue elaborado en nuestro país un Programa de Prevención y control ante la evidente amenaza de su ataque a nuestras plantaciones estableciéndose sistemas de caza de esporas en diferentes zonas del país, para detectar la llegada de esporas del hongo transportadas por los vientos, así

como pruebas del comportamiento de nuestras principales variedades comerciales y precomerciales ante el patógeno en países donde existía la enfermedad, con vistas a establecer nuestra política varietal.

En octubre de 1978 se detectó por primera vez en el sur de la Provincia Las Tunas municipio Amancio, en el distrito # 3 Rubén Martín Agún perteneciente a la entonces Empresa Cañera Amancio Rodríguez en la variedad (B 42 231 del bloque 169 campo 41). La ejecución de las medidas preventivas establecidas en el programa de prevención ha posibilitado que el carbón, a pesar de encontrarse reportado en varias zonas cañeras del país provoco y provoca afectación a nuestra economía.

Problema Científico: Evaluación del comportamiento de la enfermedad del carbón *Sporisorium scitamineum* (Sydow) M. Piepenbr., M. Stoll & F. Oberw en las variedades C86-156 y C90-469 en la UBPC Rubén Martín Agún en el período (2012-2013)

Objeto

Lo constituye la incidencia de las variedades, las cepas y los tipos de suelo como factores de manejo de la caña de azúcar.

Delimitándose como

Campo de acción

La incidencia del carbón de la caña de azúcar.

Objetivo general

Evaluar el comportamiento de la enfermedad del carbón de la caña de azúcar en la UBPC Rubén Martín Agún.

Objetivos específicos

1. Establecer los fundamentos teóricos sobre los que se sustenta el estudio del manejo del cultivo de la caña de azúcar en la incidencia del carbón.
2. Analizar el comportamiento de la enfermedad en las nuevas variedades en la UBPC
3. Valorar económicamente las pérdidas ocasionadas por la enfermedad en la UBPC Rubén Martín Agún en el período (2012 - 2013)

4. Establecer alternativas para un esquema flexible de manejo del cultivo de la caña de azúcar para que contribuya con la eliminación del carbón en la UEB Atención a los Productores de Amancio.

Hipótesis: la evaluación de la incidencia de dos nuevas variedades de caña de azúcar en el comportamiento del carbón, permitirá estar actualizado de la situación fitosanitaria del cultivo en la UBPC Rubén Martín Agún, lo que facilitará su manejo y un aumento de la rentabilidad de las Unidades Productoras por la disminución de las pérdidas que ocasiona el carbón en el cultivo.

I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

1.1 La caña de azúcar y su origen

El origen de la caña de azúcar es, aún en nuestros días un tema polémico y controvertido; aunque se acepta en general su origen asiático, la zona específica del mismo no está claramente definida. Autores como **Humbert (1970)** aceptan a la India como centro de origen, mientras que **Fauconnier y Bassereau (1980)**; **Fernández et al., (1983)**; **Acosta, (1996)** y **Nova, (2000)** la ubican en Nueva Guinea y las islas vecinas.

La caña de azúcar pertenece al género *Saccharum*, miembro de la tribu *Andropogoneae* de la familia *Poaceae* (*Gramineae*), otros géneros como *Erianthus* y *Miscanthus* están relacionados con el complejo *Saccharum* y pudiera haber contribuido a la evolución del cultivo (**Portieles et al., 2002**).

El género *Saccharum* *sp* (*Híbrido*) que actualmente se cultiva es un híbrido muy complejo de dos o más de las cinco especies del género *Saccharum*, entre las que se destacan: *S. officinarum* (Son las llamadas cañas nobles que originalmente se utilizaron directamente como variedades comerciales, con un contenido de sacarosa de hasta el 15%, un 10% de fibra y son más susceptibles a factores adversos), *S. spontaneum* (Cañas silvestres o salvajes, con bajo contenido azucarero de cuatro a ocho por ciento, un alto contenido de fibra; mayor del 30% y mayor resistencia), *S. robustum*, (También llamadas caña de la India, se usó hace cientos de años, de bajo contenido azucarero menor del 10% y alto contenido de fibra; del 20%) y *S. sinense* (Caña de la China, de aceptable contenido de sacarosa mayor del 12% y de fibra alrededor del 12%), que han originado una amplia gama de variedades y formas; muchas de las cuales han sufrido cruzamientos naturales, dando lugar a un género muy diverso (**Instructivo Técnico del Cultivo de la Caña de Azúcar, 2008**). La caña moderna está formada por híbridos entre todas estas especies, mayormente *S. officinarum* y *S. spontaneum* que juntas han aportado más del 95 % de los genes de las variedades modernas (**Gálvez, 2001**).

Según lo reseñado por **Núñez, (1998)** y **Suárez, (2000)** la caña de azúcar es una planta que se cultiva en zonas tropicales y subtropicales, con mayores rendimientos productivos en el trópico por la elevada intensidad solar, el gradiente térmico y la

humedad por eso es que la mayor cantidad de países productores están dentro del trópico.

La planta de caña se adapta a suelos de amplia variación de características; desde los arenosos a arcillosos con pH tan ácidos de 4.5 a alcalinos de pH 8.0; sin embargo se logra un desarrollo excelente de esta poácea en aquellos que tienen un pH de 6.0 a 6.5, aunque en suelos pesados con un pH de 5.5 a 5.7 resulta adecuado según el criterio de varios autores (**Mesa y Naranjo, 1984; Hamlet, 1999 y Cuéllar et al., 2003**).

1.2 Importancia económica del cultivo

La caña de azúcar se utiliza en unos 70 países, en sentido general el azúcar de caña es producido en climas tropicales y subtropicales; en todo el mundo existen 1 700 fábricas productoras de azúcar (**Centro para la Documentación y Estudio del Azúcar, 2006**). Brasil, India, Australia, Pakistán, Sudáfrica, México y Cuba son considerados los principales países productores en el mundo (**Guilherme, 2000**).

El azúcar de caña representa alrededor del 65% de la producción mundial. En América Latina 35 países producen azúcar de caña, destinándose unas 7,8 millones de hectáreas para su cultivo con un rendimiento promedio de 74 t. ha⁻¹ de caña (**Zedillo, 1999**). Según **Aday et al., (2006)** se producen como promedio, 450 millones de toneladas de azúcar por año y alrededor de 15 millones de litros de alcohol. Además se obtienen unos 50 subproductos, con alto valor comercial y se generan más de 2,5 millones de empleos. Estas 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 de caña y azúcar por unidad de superficie.

En Cuba, según **González et al. (2010)** el área destinada al cultivo ascendía a 621 208,4 hectáreas al cierre del año 2008, de ellas 617 843,8 hectáreas estaban ocupadas por 100 variedades identificadas, mientras que eran reportadas 3 257,4 hectáreas (0,52%) ocupadas por otras variedades sin especificar su denominación. Según **Zedillo (1999)** para el azúcar producido a partir de la caña de azúcar es posible afirmar que con rendimientos agrícolas entre 60 - 80 t.ha⁻¹ de caña, una hectárea puede satisfacer las necesidades en calorías del balance alimentario correspondiente a los carbohidratos de unas 146 - 194 personas por año.

La caña de azúcar es una de las plantas de más altos rendimientos en biomasa por área y unidad de tiempo, produce además de azúcar que es considerado el alimento energético de consumo humano más completo, además produce la energía necesaria para su procesamiento industrial y materia prima para la producción de una amplia gama de productos derivados **(Suárez, 2000)**, que en Cuba se producen unos 80 derivados de caña de azúcar **(Godefroy, 2008)**

Es un cultivo de extraordinaria capacidad, que en buenas condiciones culturales, produce volúmenes superiores a las 100 t. ha⁻¹ de tallos y si se incluyen las hojas y puntas, que no se emplean para la producción de azúcar; el volumen de biomasa vegetal se eleva en 20% **(Suárez y Morín, 2005)**.

También existe un gran potencial de la caña de azúcar para utilizarla como fuente alternativa de energía eléctrica durante la etapa de cosecha de la caña de azúcar la llamada cogeneración que puede producir entre 30-50 kwh. t⁻¹ de caña **(Lodos y Cordovés, 1987)**.

Según **Cuellar et al. (2003)** de una hectárea de caña, con rendimiento de 54 t.ha⁻¹, se pueden obtener: 5 940 kg de azúcar, 15 120 kg de bagazo que de ser utilizados para generar electricidad se obtendrían 1 431 kilovatios hora, 1 620 kg de miel final factibles de utilizar en la producción de alcohol o alimentación animal, 1 620 kg de cachaza, 540 kg de ceniza de la combustión del bagazo, 2.3 m³ de vinaza, 2.1 m³ de residuos de la producción de torula, 32.4 m³ de agua residual de la fabricación de azúcar y 4 320 kg de residuos agrícolas que pueden utilizarse como alimento de ganado vacuno. Una hectárea de caña de azúcar emite de 0.5 a 0.7 kilogramos de óxido nitroso (N₂O) menos que un área equivalente de bosque. El óxido nitroso es uno de los responsables del llamado “efecto invernadero”, se considera que en la actualidad es la causa del dos al cuatro por ciento del calentamiento global. Si dicha hectárea se encuentra sembrada de caña de azúcar con alta tasa de crecimiento, puede captar anualmente 80 toneladas de CO₂ y ello convierte a esta planta en un baluarte para contrarrestar el efecto invernadero **(Salgado et al., 2001)**.

Según **Castro (1997)** planteó que es importante para nuestro país impulsar el desarrollo del sector azucarero con la diversificación, recuperación agrícola y modernización industrial.

En Cuba, a pesar de la depresión que en el mercado internacional han experimentado los precios del azúcar, la industria azucarera continuará teniendo un peso importante en la economía cubana, estimándose que su aporte representa aproximadamente el 40% de las exportaciones del país **(Varela, 2002)**.

Por primera vez, la producción azucarera cubana, en proporción de un 90% destinada a la exportación, se ve enfrentada de manera total al llamado mercado libre, que como se sabe, es un mercado de precios extremadamente deprimidos, motivados fundamentalmente por las medidas proteccionistas de los países más desarrollados. La falta de capacidad financiera o de créditos para la adquisición de insumos, obligan a iniciar un proceso de transformación de la tecnología agrícola en búsqueda de alternativas que aprovechen al máximo las características y potencialidades de la planta y su interacción con las condiciones naturales **(Suárez y Morín, 2005)**.

Las consecuencias negativas asociadas a la disminución de los volúmenes de producción de azúcar resultaron aún mayores, entre otros por los siguientes factores: encarecimiento de los recursos financieros a los que tuvo acceso el país en ese período; relativa desatención de la actividad agrícola; ausencia de una estrategia integral para el sector acorde con las realidades y perspectivas del período especial **(Marquetti, 2006)**.

A partir del año 2002 en Cuba se redujeron las áreas cañeras de 1,5 millones a 763 400 hectáreas, y se reservan para este cultivo las más productivas, con el fin de aumentar la competitividad de la Industria Azucarera Cubana. Es por esto que reviste gran importancia el manejo adecuado de las plantaciones, con especial interés para el control del carbón, que después de tres décadas continúa ocasionando pérdidas en la producción azucarera, lo que ratifica la necesidad de incrementar y hacer más eficiente el proceso de selección de variedades resistentes **(MINAZ, 2006)**

En Cuba, a partir de cambios en la política varietal del país se estableció una composición donde las que ocupan mayores áreas son: C86-12 (14,6%), C323-68 (8,2%), C86-503 (7,1%), C1051-73 (6,7%), C87-51 (4,6%), CP52-43 (4,5%), Co997 (4,2%), SP70-1284 (3,85%), C85-102 (3,3%) y C88-380 (2,6%), con un comportamiento aceptable frente al carbón. Sin embargo, el 4,4% del total de variedades que se cultivan son susceptibles al carbón **(INICA, 2006)**.

1.3 El carbón de la caña de azúcar. Una enfermedad reemergente y de primer orden.

El carbón de la caña de azúcar es causado por un hongo que Sydow en 1924 clasificó como *Ustilago scitaminea* (citado por **González, 1997**).

Según reporte de **Gams (2005)** en el XII Congreso Internacional de Botánica celebrado en el mes de julio de ese año en Viena, se aprobó conservar el nombre de *Ustilago scitaminea* Sydow, cuya posición taxonómica es la siguiente, la que coincide con la dada por **Herrera y Ulloa (1990)**

Domain..... *Eukaryota*
Kingdom..... *Fungi*
Phylum..... *Basidiomycota*
Class..... *Ustilaginomycetes*
Subclass.....*Ustilaginomycetidae*
Order..... *Ustilaginales*
Family..... *Ustilaginaceae*

Actualmente, por sus características morfológicas unido a la ultraestructura de las paredes de las esporas y los datos del ADNr se reubicó en el género *Sporisorium*, especie *scitamineum* (Syd.) M. Piepenbr., M. Stoll & F. Oberw (**Piepenbring et al., 2002**).

Las teliosporas son globosas, de pared equinulada, gruesa ($\approx 1\mu\text{m}$); con un diámetro promedio de 5,1 a 8,1 μm , de coloración pardo claro las más jóvenes y más oscuro las viejas (**Stoll et al., 2003**).

Los científicos alemanes **Meike Piepenbring, Matthias Stoll and Franz Oberwinkler (2002)** describen una nueva clasificación taxonómica del agente etiológico del carbón de la caña de azúcar, la que ha sido asumida por la comunidad científica mundial, principalmente fitopatólogos que trabajan el cultivo de la caña.

Reino (Kingdom)..... *Fungi*
División (División)..... *Basidiomycota*
Clase (Class)..... *Ustilaginomycetes*

Orden (Order)..... *Ustilaginales*
Género (Genus)..... *Sporisorium*
Especie (Species)..... *scitamineum*
Nombre binomial (Binomial name).....*Sporisorium scitamineum* (Syd.) M. Piepenbr.,
M. Stoll and F. Oberw.

1.4.1 Características epidemiológicas de *Sporisorium scitamineum*

El nombre del carbón proviene de la masa pulverulenta conformada por las clamidosporas (esporas) de color marrón oscuras o negras que siempre va asociado con la enfermedad (**Anexo 1**), el síntoma característico es la presencia en forma de látigo que adoptan las terminales de los tallos infestados (**Anexo 2**). Esta estructura tiene grosor variable entre 0,2-1 cm y una longitud que fluctúa desde varios centímetros, hasta más de un metro (**James, 1970; China y Rodríguez, 1994 y Magarey et al., 2006**).

El “látigo” esta conformado por parénquima y haces fibrovasculares cubiertos por una membrana transparente producida por el organismo causal, que cubre las fructificación del hongo, consistentes en clamidosporas. Al presentarse la maduración de las clamidosporas, se rompe la membrana o cubierta, dejando las clamidosporas al descubierto, en forma de una masa negra pulverulenta. Los tallos infectados son delgados, sin jugo y corchosos, inservibles para la molienda. Otro síntoma de esta enfermedad es la formación de tallos “herbáceos”, los cuales se forman y acompañan a los tallos sanos en la cepa de caña planta (**Bayer CropScience, 2009**).

Se pueden formar látigos de carbón a partir de las yemas laterales, que en ocasiones sufren un proceso de estimulación (proliferación de yemas), que origina un manojo de dichas estructuras. Por otra parte se distinguen cuatro tipos de síntomas y signos fundamentales que son los siguientes: látigo apical, látigos laterales, aspecto herbáceo y proliferación de yemas. Los látigos poseen una membrana plateada que recubre las esporas, cuando la misma se rompe son liberadas al medio, se esparcen en el campo, reinfectan a la cepa madre y a los nuevos tallos que se producen (ciclo secundario) o infectan los tallos de plantaciones cercanas que si se utilizan como semilla, después de sembrados inician el siguiente ciclo de infección (**China et al., 2000**).

La época de mayor incidencia de esta enfermedad es de julio a septiembre en plantaciones de 6 a 10 meses de edad, fundamentalmente en retoños **(González, 1997)**. Ocasionalmente otros síntomas poco comunes pueden aparecer, tales como agallas en la inflorescencia o en las hojas y la proliferación de brotes laterales. También se observa que antes de la aparición del látigo, los tallos infectados crecen delgados con semejanza a los pastos.

La aparición de los síntomas en cañas con infección primaria, incluyendo las pruebas de inoculación mediante la técnica de inmersión, pueden aparecer pequeños látigos después de seis semanas de originada la infección, estos látigos tienden a ser pequeños y poco prominentes. En el caso de infecciones secundarias los síntomas no sólo dependen del tiempo; sino del número de veces que se manifiesta la infección, la edad de los tallos, de la humedad relativa, la temperatura y la carga de esporas, o sea la presión de inóculo **(Pérez Vicente, 1981)**.

1.4.2 Ciclo de vida de *Sporisorum scitamineum*

El agente etiológico de ésta patología es un hongo que penetra al tallo de la caña por la yema de los canutos, aunque también puede hacerlo a través de las yemas del rizoma y el micelio alcanza la región meristemática, y mantiene su desarrollo inter e intracelular al mismo paso que el crecimiento vegetativo, estimula la variación de tejido, y provoca que la planta forme una estructura en forma de látigo donde se producen masas de teliosporas de color negro encerradas en una membrana plateada que al romperse son liberadas y diseminadas por el viento hasta otros tallos y yemas para iniciar de nuevo el ciclo de la enfermedad, sin embargo todavía quedan esporas adheridas a la base del apéndice y permanecen protegidas en la parte más alta de las vainas de las hojas **(James, 1970; Croft & Berding, 2000 y Capote, 2007)**.

En variedades susceptibles se pueden observar numerosos brotes delgados con entrenudos alargados, hojas rígidas y estrechas que forman un ángulo agudo con el tallo, lo que da la apariencia de un plantón herbáceo. También, se pueden formar látigos de carbón a partir de las yemas laterales, que en ocasiones sufren un proceso de estimulación (proliferación de yemas), que origina un manojo de dichas estructuras. En resumen, se distinguen cuatro tipos de síntomas y signos fundamentales que son

los siguientes: látigo apical, látigos laterales, aspecto herbáceo y proliferación de yemas (**China et al., 2000**).

1.4.3 Ciclo de infección de *Sporisorium scitamineum*

En la literatura internacional existen poco trabajos relacionados con el ciclo de infección del agente etiológico de la enfermedad del carbón, a pesar de lo cual puede describirse, que la germinación de las teliosporas está influenciada por la temperatura, alrededor de 25 a 30°C se producen directamente las hifas de infección y de 20 a 25°C se favorece la formación de una estructura tubular llamada promicelio, que al crecer se divide transversalmente en cuatro núcleos haploides, las que a su vez forman por gemación como mínimo, dos tipos de esporidios de polaridad sexual diferente (**González, 1997**).

Según **Bayer CropScience (2009)**, entre las condiciones favorables para la germinación de clamidosporas tenemos:

- ✚ En condiciones húmedas del suelo, las clamidosporas germinarán al poco tiempo de su dispersión (a las 48 horas).
- ✚ En condiciones secas del suelo, las clamidosporas pueden permanecer viables de 5 a 7 meses y germinar cuando haya humedad suficiente.
- ✚ Con temperaturas entre 25 y 30°C y 90 a 100% de humedad relativa, las clamidosporas germinan y dan lugar a un promicelio corto y septado, de tres a cuatro septas (células), a su vez, de cada célula se origina uno o más esporidios, hialinas, de forma oval, puntiagudas en sus extremos y midiendo de dos a seis micras de promedio.

Estas estructuras son de forma oval y puntiaguda en sus extremos y en medio de cultivo las colonias tienen aspecto cremoso (**Pérez Vicente y Mauri, 1985; Singh et al., 2004**).

Cada esporidio da lugar a una larga y estrecha hifa de fusión, que es la responsable de penetrar, bajo las escamas, en el tejido nuevo por la parte inferior de las yemas. Cuando dos tipos compatibles entran en contacto ocurre la plasmogamia a través de tubos de fusión y los núcleos migran; la célula formada se separa por un septo y da

como resultado un micelio dicariótico infeccioso, que en medio de cultivo es aéreo y de aspecto blanco lechoso **(Muñiz, 2001)**.

Una vez infectada la yema, el micelio del hongo mantiene su desarrollo al mismo paso que el crecimiento vegetativo **(Capote, 2007)**. La fase parasítica de este hongo se inicia con la germinación de las teliosporas que se encuentran en las yemas, sin embargo la infección solo se inicia después que la hifa llega a la condición dicariótica **(Singh et al., 2005)**.

1.4.4 Variabilidad patogénica de *Sporisorium scitamineum*

En el pasado siglo la determinación de especies de hongos se realizó, fundamentalmente por medición de sus estructuras. En el caso particular del agente etiológico del carbón de la caña de azúcar, varios autores, citados por **Rodríguez et al. (2001a y 2001b)**, demostraron diferencias en el color y tamaño de las esporas, pH, requerimientos de temperatura y morfología de las colonias en diferentes medios de cultivo.

En Cuba, **Pérez Vicente y Mauri (1985)** y **Rodríguez et al. (2001a)** encontraron variabilidad patogénica del agente etiológico del carbón y corroboraron la utilidad de las variedades patrones NCo310, H50-7209 y N55-805 para la diferenciación de este hongo.

En la actualidad son disímiles los métodos utilizados para determinar la variabilidad de este patógeno, tales como: técnicas bioquímicas, morfométricas y de Biología Celular como la citometría de flujo y el microanálisis por rayos x, así como técnicas de Biología Molecular **(Victoria et al., 1997; Rodríguez et al., 2001b; Muñiz, 2001; Peteira et al., 2002; Acevedo et al., 2003; Braithwaite et al., 2004; Rodríguez et al., 2006 y Raboin et al., 2006)**.

1.4.5 Dispersión de esporas

Los látigos poseen una membrana plateada que recubre las esporas, cuando la misma se rompe son liberadas al medio, se esparcen en el campo, reinfectan a la cepa madre y a los nuevos tallos que se producen (ciclo secundario) o infectan los tallos de

plantaciones cercanas que si se utilizan como semilla, después de sembrados inician el siguiente ciclo de infección **(Chinea et al., 2000)**.

Es válido destacar que un látigo de carbón puede liberar aproximadamente entre 10^8 y 10^9 esporas por día y producir hasta 10^{11} esporas durante un período infeccioso que puede durar más de tres meses **(Hoy & Grisham, 1988; Croft & Berding, 2000; Briceño et al. 2005 y Bayer CropScience, 2009)**. En estudios histológicos sobre la infección, se ha comprobado que ésta no se disemina dentro de la planta por los vasos del xilema, sino que lo hace célula a célula, ya que estos vasos tienen una alta concentración de sales que inhiben el desarrollo del hongo **(Apezzato et al. 1995; Acevedo y Piñón, 1996; La O et al., 2001 y Muñoz, 2001)**.

En muy pocas ocasiones los látigos siguen creciendo después de haber alcanzado una longitud de 90 centímetros, estos crecen durante aproximadamente tres meses y durante este período las cañas enfermas pueden aumentar su altura de 1.5 a 2.0 metros, por lo que representa una proporción de crecimiento mayor que el de las cañas sanas. **(James, 1970)**. Sucede con mucha frecuencia que los látigos de carbón más viejos sobresalen de la altura general de la plantación; así se facilita la dispersión de las esporas.

El brote correspondiente a la yema del nudo con infección primaria y todos los demás brotes secundarios que se producen, son infestados invariable y sistemáticamente; la cepa tiene un patrón característico de crecimiento y cada uno de los tallos termina en un látigo carbonoso. Se presenta un estímulo inicial de retoñamiento y los brotes son típicamente delgados y herbáceos con largos entrenudos y hojas rígidas que salen en ángulo agudo que las hojas de las cañas sanas. En el caso de infecciones secundarias puede presentarse un número variable de brotes enfermos, en medio de otros sanos en un mismo plantón; así mismo pueden presentarse brotes laterales con carbón en plantas no enfermas, debido probablemente a una infección aérea, se origina la producción de cañas prácticamente inservibles para la molienda **(Pérez Vicente, 1981)** Los brotes herbáceos pueden constituir un importante factor de diagnóstico en el caso de ciertas variedades en las que se presentan aglomeraciones consistentes de 25 o

más brotes; sin ninguna porción moledera, aún cuando no hay látigos. Las yemas infectadas tienden a hincharse y crecer primero que las yemas sanas. Los tallos infectados nunca alcanzan el tamaño normal de maduración (**González, 1997**).

1.4.6 Patogenicidad

Las esporas germinan fácilmente cuando son colocadas en cultivo artificial con agar-agua al tres por ciento con una humedad relativa del 100% y a temperaturas de 30°C. Al germinar producen un promicelio corto, dividido transversalmente en tres a cuatro células de las cuales a su vez se originan uno o más esporidios hialinos, de forma oval, puntiagudos en sus extremos, que miden aproximadamente entre 2-2,5 μ , con capacidad de producir infección al ser inoculados en yemas de caña de azúcar procedentes de variedades susceptibles (**Ordosgoitti et al. 1982**).

1.4.7 Transmisión

Según **MINAG (1979a)**, las diferentes formas de diseminación del patógeno son las siguientes:

- ✚ Dispersión de las esporas por el viento, es el medio de transmisión más importante.
- ✚ Arrastre de las esporas por el agua de riego.
- ✚ Arrastre de las esporas por la lluvia.
- ✚ Acarreo de las esporas por los implementos de trabajo en tierra o restos de cosecha.
- ✚ Transporte de las esporas por animales de trabajo.
- ✚ Transporte de las esporas por el hombre en la ropa y zapatos.
- ✚ Dispersión de la enfermedad al emplear semilla infectada.
- ✚ Diseminación de la enfermedad por los equipos en la cosecha.
- ✚ Diseminación de la enfermedad por las aves.
- ✚ Dispersión de la enfermedad al mover de un área infectada a otra libre cargas contaminantes (camiones, buques, aviones, etc.)

La infección puede alcanzar proporciones epidémicas en uno o dos años en una variedad susceptible. La plantación de material infectado como la siembra de esquejes sanos en un suelo contaminado, favorece el desarrollo y propagación de la

enfermedad a los campos comerciales de caña de azúcar. Sin embargo, las esporas al no sobrevivir por más de dos meses en el suelo, su transmisión por medio del suelo no es probablemente muy importante en la epidemiología de la esta enfermedad **(MINAG, 1979b)**.

1.4.8 Pérdidas que ocasiona

La severidad de la enfermedad, depende principalmente de tres factores: tipo de infección, ya sea primaria o secundaria; tipo de cosecha, planta o soca y época de la infección temprana o tardía. **(Victoria et al., 1990)**, mientras que diferentes autores **(China y Rodríguez, 1994; González, 1997; Jorge et al. 2002; Piñón et al. 2002; Guerra, 2002; Acevedo y De Lima, 2002 y Schenck, 2003)**, coinciden en plantear que la enfermedad del carbón provoca una reducción entre el 15 y 30% del rendimiento agrícola, reportándose pérdidas de hasta un 50% en el peso de los tallos enfermos y de hasta un 20% del contenido azucarero, se afecta además la calidad y cantidad del jugo que se extrae de los tallos para la elaboración del azúcar.

Según lo expresado por **Martín et al., (1961)** las pérdidas causadas por la enfermedad del carbón pueden variar de niveles tolerantes a verdaderamente significativos, y puede afectar la economía agrícola de un área dada. Aunque estas pérdidas varían de acuerdo con el nivel de susceptibilidad de las variedades, por lo general, éstas son mayores a medida que aumenta el número de cortes del cultivo, y están sujetas a la efectividad del manejo de las plantaciones y a las prácticas de control.

Las pérdidas que causa el carbón son muy variables, pues dependen de varios factores que interactúan entre si. Esa es la razón por la que en la literatura se aprecian informes que van, desde niveles insignificantes hasta pérdidas realmente elevadas, aunque en la mayoría de los casos se le confiere gran importancia a la enfermedad, especialmente en las plantaciones de retoño **(González, 1997)**.

Según **Piñón et al., (2002)** lo anterior justifica la necesidad de seleccionar progenitores con elevada resistencia genética a esta patología cuya expresión está dada por factores morfofisiológicos. Los resultados más recientes desarrollados en tal sentido enmarcado

en la etapa de colonización del hongo permiten demostrar la producción de un incremento de polisacáridos solubles y de glicoproteínas en los jugos de la caña relacionado con la respuesta de resistencia, demostrándose que estos compuestos glicoproteicos actúan como elicitores potenciales de respuesta a la infección a partir de su influencia sobre la germinación de las teliosporas del hongo.

1.4.9 Prevención y control

Principales medidas de prevención

- ✚ Capacitación del personal de campo en el reconocimiento 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 variedades con que cuentan y si fuera necesario realizar la introducción de nuevas variedades del exterior.
- ✚ Mantenimiento de las áreas de semilla con variedades resistentes y realizar siempre inspecciones frecuentes.

Principales medidas de control

Para el control de la enfermedad del carbón de la caña de azúcar se utilizan diferentes métodos, en dependencia de su importancia en cada país o región y las posibilidades de empleo de cada uno de ellos (**Pan, 2006**). Según **MINAG ,1979a; China y Rodríguez, 1994; Pérez et al., 1997; González, 1997 y Rodríguez et al., 2005**, el método más eficaz ha sido la plantación de variedades resistentes y medidas agronómicas, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes:

- ✚ Rastreo y saneamiento de las cañas nuevas, extrayendo los látigos y plantones enfermos e incinerándolos fuera del campo.
- ✚ Demolición de las áreas con más de 2 235 látigos. ha⁻¹ (30 000 látigos/cabs) ó 20% de plantones herbáceos.
- ✚ Uso de semilla sana y categorizada.

- ✚ En áreas con alta presencia de inóculo, priorizar plantaciones de frío y antes de sembrarlas inundar el campo con agua para favorecer la germinación de las esporas. Debe rotarse el área con otro cultivo o mantenerla en barbecho.
- ✚ El tratamiento térmico (agua caliente) a 52°C por 30 minutos para controlar la infección sistémica, este también se puede realizar con vapor aireado.
- ✚ El uso de Glifosato al 10% para erradicar las viejas socas que rebrotan de variedades susceptibles en los semilleros, es de las medidas más prácticas.
- ✚ Desinfección de la semilla con los fungicidas a base de triadimefon (Bayleton PH 25%), propiconazol (Tilt 250 EC) y triadimenol pueden ser utilizados eficazmente para controlar la infección sistémica en las estacas o esquejes y como medida de tratamiento preventivo con excelentes resultados hasta los 6 meses. El control aunque no sea total, reduce la infección de la forma significativa.
- ✚ En áreas donde existe alta propagación de carbón se recomienda inundar el suelo antes de la plantación, para provocar la germinación de las teliosporas y evitar que invadan las yemas de los propágulos después de plantados.
- ✚ La rotación de cultivos para provocar que se rompa el ciclo de vida del hongo.

1.5 Interacción hospedante - patógeno

Durante la interacción se produce un constante intercambio de información entre el hospedante y el patógeno (**Reisige et al., 2006**), de esta forma la planta induce muy diversos y potentes mecanismos defensivos que determinan la naturaleza de la interacción (**Van Loon et al., 2006**). De igual modo, los patógenos desarrollan los mecanismos que les posibilitan evadir y/o suprimir las respuestas defensivas de la planta. La influencia de esta presión selectiva conlleva al perfeccionamiento de sus mecanismos de defensa (**Jones & Dangl, 2006**).

El sistema inmune de las plantas se puede explicar a través de un modelo “zigzag” compuesto por cuatro fases (**Jones & Dangl, 2006**)

- ✚ Primera fase: los patrones moleculares asociados a patógenos son detectados por los receptores de reconocimiento del hospedante, se convierten así en activadores de la inmunidad, lo que puede detener la nueva colonización de la planta por el patógeno.

- ✚ En la fase dos los patógenos activan a los efectores que contribuyen a su virulencia, pueden interferir con los activadores de la inmunidad.
- ✚ En la fase tres el efector es especialmente reconocido por una de las proteínas de resistencia de la planta y se transforman en efectores activadores de la inmunidad, los que constituyen una respuesta acelerada y amplificada de los activadores de la inmunidad y provocan resistencia a la enfermedad, en ocasiones con manifestación de respuestas hipersensibles.
- ✚ En la fase cuatro la selección natural actúa sobre los patógenos, se seleccionan aquellos capaces de evadir a los efectores activadores de la inmunidad, como resultado se generan nuevas especificidades de los genes de resistencia y se pueden disparar otra vez los efectores activadores de la inmunidad.

Debido a la alta eficiencia natural de coordinar los sistemas constitutivos e inducidos de defensa, las plantas pueden mostrar respuestas diferentes, las que se pueden clasificar como: no interacción, interacción compatible e interacción incompatible (**Buchanan et al., 2000**).

En la respuesta de **no interacción**, se pudiera decir que no existe una obvia interacción entre el hospedante y el microorganismo. La planta no aparenta daño. En la **interacción compatible** el microorganismo patógeno es capaz de destruir las células del hospedante, ya sea porque debilita las plantas con toxinas, o por evasión de las señales de reconocimiento, con lo cual evita la inducción de respuestas de defensa del hospedante. En este tipo de interacción el reconocimiento molecular del patógeno es tardío, por lo que la activación de la defensa es lenta y permite al patógeno colonizar satisfactoriamente al hospedante (**Capell et al., 2004**).

Durante la **interacción incompatible** las plantas exhiben resistencia natural frente al ataque microbiano, la enfermedad es la excepción de la regla. Es la consecuencia de la incapacidad del parásito de reconocer e infectar el hospedante o la habilidad de este último de activar rápidamente sus mecanismos de defensa de forma exitosa, lo que permite su protección e involucra el rápido reconocimiento del patógeno (**Ortmann et al., 2006**).

En el caso particular de la interacción carbón- caña de azúcar, la resistencia a la enfermedad está determinada por la combinación de la defensa preformada y la inducida (**Lloyd & Naido, 1983**).

Thokoane & Rutherford (2001) y Butterfield, et al., (2004) obtuvieron bibliotecas AFLP-ADNc de caña de azúcar infectadas con ***S. scitamineum***, a los siete días postinoculación, secuenciaron diversos fragmentos derivados de transcritos, con similitud a proteínas quinazas.

Recientemente **Borrás, et al., (2005)** identificaron por esta técnica, a los dos meses postinoculación con *S. scitamineum*, en somaclones de caña de azúcar resistentes al carbón, genes relacionados con la resistencia a enfermedades (LRRS-NBS del inglés “Leucine Rich Repetitive Site- Nucleotide Binding Site”), con la HR (ntpAT), con la vía de las auxinas y el etileno, entre otros.

Se determinó en las yemas de las variedades resistentes un mayor número de capas escamosas y tricomas; así como, la presencia de sustancias inhibidoras de la germinación de las esporas del hongo como fenilpropanoides y flavonoides (**Waller, 1970; Apezato et al., 1995; Capote y Apezato, 1998**).

Otros hallazgos observados durante esta interacción demuestran que en el proceso de penetración del agente etiológico se agudizan los trastornos citopatológicos, con incrementos en el número de gránulos, vacuolas, ribosomas, retículos endoplasmáticos, ruptura de membranas y paredes; así como desorganización de la estructura interna de las células y abundante producción de mucilago (**Apezato et al., 1995; Acevedo y De Lima, 2002; Capote, 2007**).

Se demostró, además, que la infección de ***S. scitamineum*** en variedades de caña de azúcar susceptibles, provoca incrementos notables en la actividad de la enzima Peroxidasa y cambios en la composición de poliaminas (**Piñón et al., 1995**).

En otros trabajos investigativos **Legaz et al., (1998)** y **Martínez et al., (2000)** describieron alteraciones en las concentraciones de polisacáridos solubles y glicoproteínas en jugos de variedades con diferentes grados de resistencia al carbón. Posteriormente, **Fontaniella et al., (2002)** estudiaron dichas glicoproteínas y demostraron que la fracción de alto peso molecular aumentó, mientras que la de mediano peso molecular disminuyó, después, de la infección de las plantas con el hongo, aunque no mostraron síntomas de la enfermedad.

Algunas de estas respuestas fisiológicas le permitieron a **Piñón et al., (1997)** proponer un modelo que relaciona los mecanismos de resistencia de la caña de azúcar al agente etiológico, fundamentalmente, durante las dos primeras fases infectivas del hongo (pre-penetración y penetración).

1.6 Reconocimiento del patógeno

Los mecanismos de resistencia inducibles en las plantas actúan a diferentes niveles de reconocimiento ante las condiciones de estrés biótico, las que pueden subdividirse en dos categorías: la resistencia planta-patógeno general o inespecífica y la resistencia específica.

La resistencia general alerta al sistema defensivo de la planta ante el contacto con elicitores generales que caracterizan a grandes grupos de patógenos, como bacterias, hongos y virus. Los hongos poseen moléculas características como: glicoproteínas, oligosacáridos, péptidos, carbohidratos y lípidos derivados de la pared celular. Estas moléculas son altamente conservadas y están relacionadas con funciones vitales, por lo que tienen una baja tasa de mutación (**Tomonori et al., 2006**).

La resistencia específica se activa ante el reconocimiento de moléculas efectoras producidas por cada uno de los integrantes de estos grupos en particular y los distinguen hasta el nivel de cepa (**Ohno et al., 2006**).

La activación de los mecanismos de respuestas específicas de las plantas se produce por la interacción de pares complementarios formados por las proteínas de resistencia (R), resultantes de la expresión de genes dominantes o semidominante en las plantas, llamados genes R y los correspondientes factores de avirulencia (*Avr*), resultantes de la expresión de los genes dominantes *Avr*, presentes en cada cepa, esto se conoce como la teoría “gen a gen” (**Agrios, 1997**).

El reconocimiento de los factores de avirulencia por las plantas hospedantes, desencadena la traducción de una o varias cascadas de señales que activan el sistema defensivo de la planta, comprometiendo así la habilidad del patógeno para colonizar la planta (**Jones & Dangl, 2006**).

En las variedades de plantas resistentes, las proteínas *Avr* juegan un papel dual, alertan al sistema defensivo de la planta, mediante una cascada de señales que involucra numerosos componentes. Estas proteínas pueden actuar desde el espacio intercelular o dentro del interior de la célula (**Bulow et al., 2004**).

Existen dos hipótesis acerca de la percepción de las proteínas *Avr* del patógeno por la planta: la hipótesis de la interacción directa gen a gen y la de la interacción indirecta o de la proteína guardiana (**Jones & Dangl, 2006**).

La primera plantea que existe una interacción física directa entre la proteína *R* de la planta y la proteína *Avr* del patógeno. La otra hipótesis de la proteína guardiana, plantea que el producto *Avr* del patógeno interactúa con un sitio blanco de virulencia de la planta, el cual sufre determinado cambio conformacional (fosforilación, miristoilación o ubiquitinación). Este cambio se detecta por la proteína R guardiana que está asociada a este blanco como parte de un complejo de percepción / transducción y se desata así la cascada de señales, que activa el sistema defensivo de la planta (**Borrás, 2004**).

Los sitios blancos de virulencia se encuentran tanto en las plantas susceptibles como en las resistentes, donde pueden interactuar con las proteínas *Avr* correspondientes, las

cuales tienen un determinado papel en la virulencia del patógeno, pero sólo constituyen una alerta a los mecanismos de defensa de la planta en aquellas variedades resistentes, que presentan la proteína *R* como parte de un complejo de reconocimiento específico. En este caso el blanco de virulencia actúa como factor de avirulencia y desempeña un papel dual (**Borrás, 2004; Jones & Dangl, 2006**).

1.7 Mecanismos defensivos de las plantas

Las enfermedades infecciosas de las plantas son el resultado de la interacción de al menos dos organismos, la planta hospedante y el patógeno. Las propiedades de cada uno de ellos son regidas por su material genético (**Bulow et al., 2004; Reisinger et al., 2006**).

Los **mecanismos constitutivos** de resistencia existen independientemente de la presencia del patógeno, los cuales pueden actuar como inhibidores de la actividad fúngica. Incluyen barreras físicas como cutícula, pared celular y compuestos químicos constitutivos (**Capell et al., 2004**).

Los **mecanismos inducidos por la infección** actúan por inhibición del desarrollo del patógeno. Muchas de las respuestas inducibles son el resultado de la activación transcripcional de genes específicos y pueden abarcar las respuestas de defensa inmediatas, activadas localmente y las inducidas sistémicamente (**Bulow et al., 2004**).

Las respuestas de defensa inmediatas están involucradas en el reconocimiento y eventos de señalización iniciales. Constituyen la primera línea de defensa con el objetivo de evitar el ingreso del patógeno, incluyen la despolarización de la membrana, reacciones oxidativas y reacción hipersensible (**Wolpert et al., 2002**).

Las respuestas de defensa activadas localmente involucran la síntesis de nuevas proteínas como consecuencia de la activación directa de los genes mediada por patógenos. Se desarrollan dentro de un grupo limitado de células, en la vecindad del sitio de infección, se restringe el crecimiento directa o indirectamente y el desarrollo posterior del patógeno invasor. Constituye la segunda línea de defensa (**Compant et al., 2005**).

Se incluyen, además, las enzimas responsables de la vía de los fenilpropanoides, la inducción de fitoalexinas, glicoproteínas ricas en hidroxiprolina (HRGP del inglés “*High Rich Glicohydroxiprolin Protein*”) y/o polímeros que refuerzan la pared celular, entre otros **(Tomankova et al., 2006)**.

Las respuestas de defensa inducidas sistémicamente ocurren en sitios distantes del punto de interacción inicial con un patógeno potencial. Constituye la tercera línea de defensa de las plantas **(Wolpert et al., 2002)**.

La resistencia a enfermedades en las plantas es un fenómeno complejo y ocurre como resultado de la acción de múltiples genes, condicionados por la habilidad del patógeno de causar enfermedad y la capacidad de la planta de llevar a cabo una respuesta de defensa efectiva, por lo que diversos autores consideran arbitraria la clasificación anterior **(Capell et al., 2004; Reisinger et al., 2006)**.

1.8 Selección de variedades de caña

El mejoramiento genético de la caña de azúcar se originó entre otras causas por la necesidad de obtener variedades resistentes a plagas importantes como el VMCA (virus del mosaico de la caña de azúcar), la roya y el carbón entre otras, con el empleo de diferentes estrategias, en dependencia de las características específicas de cada patología y de las condiciones ambientales de cada país. **(Pan, 2006)**.

Las distintas variedades de caña que hoy se cultivan en el mundo con fines comerciales son especies e híbridos del género *Saccharum*, de la familia de las poáceas (gramíneas), es un cultivo de los llamados permanentes que se cosecha en períodos que oscilan entre 12 y 24 meses. La duración de la cepa tiene como promedio entre 5 y 10 cosechas, aunque esto varía bastante entre regiones y según las distintas prácticas agrotécnicas **(Guerra, 1961; Gálvez, 1992; Díaz Mujica et al., 2000)**.

Se aprecia que a través de los años se han incorporado nuevos genotipos que mejoran la composición de variedades, lográndose estabilizar porcentajes por debajo de 20 que es el establecido por la política varietal en Cuba. **Jorge et al. (2003)**. Entre los cultivares de mejor comportamiento de origen cubano están C86-12 (16,5%, primera variedad en explotación) y C86-503 (8,7%), y de las foráneas: Co997 y SP70-1284 con el 4,2 y 2,8% respectivamente, lo que sin lugar a dudas implica una mejora del balance varietal y de la situación fitosanitaria en el país **(INICA, 2008)**.

Los éxitos del Programa de Fitomejoramiento, la introducción de variedades foráneas (aunque limitada en los últimos años) y la extensión de nuevas variedades a la producción, permitió que las variedades cubanas ocuparán 92% del área cañera nacional en el año 1995. Al cierre del año 2006 disminuyó a 84,1%, producto de la incorporación a la producción de nuevos cultivares extranjeros (B7274, B78-505, B80-250, Co997, SP70-1284, Q68, entre otros) y al crecimiento de los que ya se encontraban en explotación (CP52-43 y B63-118), todos ellos estudiados y recomendados por el INICA **(Jorge et al. 2002 y INICA, 2008)**.

La composición varietal del país tiene en producción a genotipos con adaptación a suelos pobres, secantes con diferentes niveles de salinidad, condiciones de mal drenaje, adaptadas a ciclos largos de cosecha, aptas para la mecanización y entre ellas, variedades de uso diversificado, todas deben tener como requisito indispensable, la resistencia a las principales plagas que afectan al cultivo **(Jorge et al., 2004)**.

Los cambios realizados en el programa de mejora cubano producto de la aparición de plagas emergentes, de nuevos requerimientos en la producción y la incorporación de los resultados de estudios realizados, permitieron disminuir el área con variedades susceptibles al carbón llegó a niveles de 6,6% **(INICA, 2002)**.

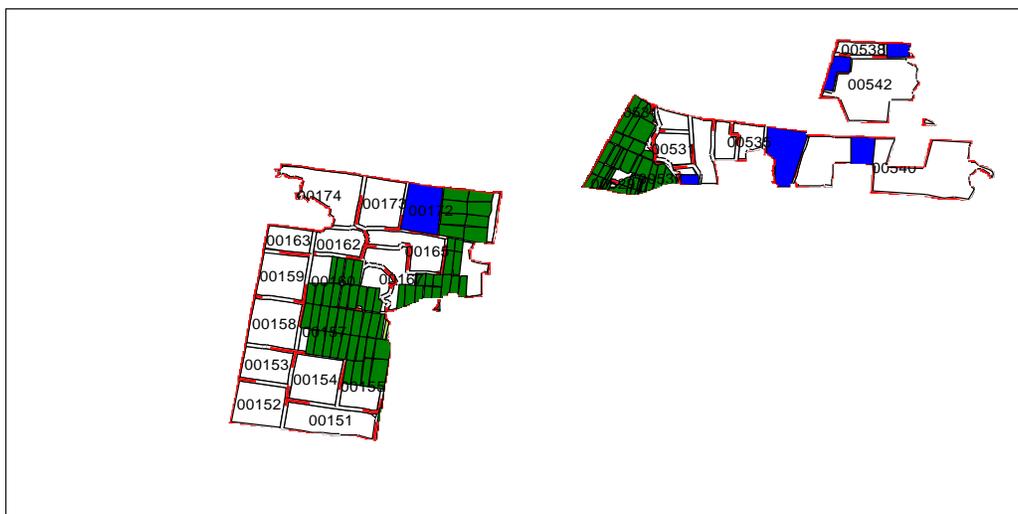
Actualmente se dispone de 45 variedades recomendadas en el periodo 1999 al 2007 de probada resistencia al carbón, un gran número de las cuales pueden ser utilizadas para ciclos largos de plantación y cosecha en la provincia Las Tunas, debido a que pueden resistir el cultivo durante 18-20 meses (mayo-junio hasta noviembre-enero) sin sufrir deterioro como tallos secos, hijos aéreos, descomposición de los jugos, y tener contenido azucarero relativamente alto en el primer período de zafra. **(Castro, 2010)**

Capítulo II.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el periodo comprendido entre el año (2012), se realizó un análisis para evaluar los resultados de la incidencia del manejo de la caña de azúcar en las nuevas variedades, el comportamiento de la enfermedad, conocida como carbón *Sporisorium scitamineum* (Sydow) M. Piepenbr., M. Stoll & F. Oberw en la UBPC Rubén Martín Agún (**Figura 1**), la cual cuenta con un Área de 657.60 há, limita al norte con el poblado de Amancio al sur con la playa Guayabal al este poblado de El indio y al oeste poblado de Santa Amalia.

Figura 1 Ubicación de la UBPC Rubén Martín Agún.



La investigación fue diseñada en un ensayo, para la realización de la misma se tuvieron en cuenta los datos aportados por el Servicio Fitosanitario (SEFIT) en la UBPC.

Ensayo 1: Comportamiento de las variedades, las cepas y tipos de suelo como parte del manejo de la caña de azúcar en la incidencia del carbón en la UBPC.

El estudio comprendió de la misma (UBPC) para lo cual se tuvo en cuenta la edad del cultivo, la época de plantación y/o cosecha y número de cortes. De acuerdo a las dimensiones de los bloques se seleccionó el número de campos como sigue:

a) En los bloques que no sobrepasaban las 65 hectáreas se muestrearon dos campos.

b) En los bloques que sobrepasaban las 65 hectáreas se muestrearon tres campos.

Los muestreos fueron realizados en dos edades fundamentales:

a) Después de los 15 días de la cosecha hasta los tres ó cinco meses.

b) Entre los seis y nueve meses antes de la cosecha.

Para realizar los muestreos fue necesario enmarcar los mismos en los siguientes períodos:

1. De enero a marzo se muestrearon los campos de aquellos bloques plantados en época de frío en los meses de octubre a diciembre, así como los campos de las cepas de retoño del año de los bloques cosechados a mediados y finales de zafra, y los campos de las cepas de primavera del año que se cortaron a finales de zafra y las primaveras y los retoños quedados.
2. De abril a julio fueron muestreados los campos de los bloques cosechados de enero a mayo con menos de tres meses de edad, también los campos de primavera plantados de enero a abril.
3. De agosto a octubre se muestrearon los campos de aquellos bloques plantados en época de frío y las socas.
4. De noviembre a diciembre, fueron muestreados el resto de los bloques cosechados a principio y mediados de zafra y los bloques plantados en época de frío de los meses de septiembre a octubre.

Los muestreos fueron realizados por los técnicos de zona o personal capacitado, bajo la dirección del Especialista Fitosanitario de la Empresa y la supervisión del Especialista Provincial del Servicio Fitosanitario (SEFIT) para la caña de azúcar.

El procedimiento para la realización de los muestreos fue por el método de la **“diagonal del campo” (Figura 2)**, para lo cual se establecieron seis (6) puntos o estaciones de muestreo (la primera en una de las esquinas del campo), cada estación de muestreo estuvo compuesta por dos (2) surcos de diez (10) metros de largo; lo que hizo un área total de muestreo de 32 m². En cada estación de muestreo se cuantificó: total de tallos, total plantones, tallos enfermos y cantidad de plantones herbáceos fueron recogidos en un modelo confeccionado al efecto **(Anexo 3)**

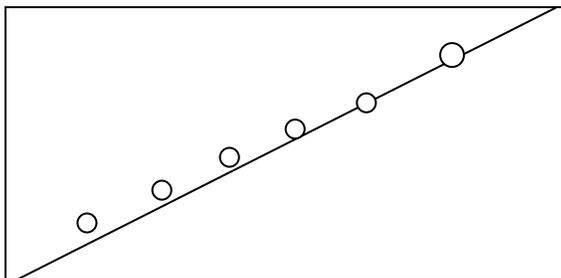


Figura 2: Esquemización de las formas de muestreo para las evaluaciones en campo por el método de la “Diagonal del campo”.

La base de datos de cada Empresa entregada con fecha tope octubre/30 fue validada, certificada para su uso e importada desde el Sistema Automatizado Fitosanitario (SAFIT) (Matos, 2002). En la **Figura 3**, se muestra un esquema de los módulos principales que interactúan, derivados del flujo de información del sistema.

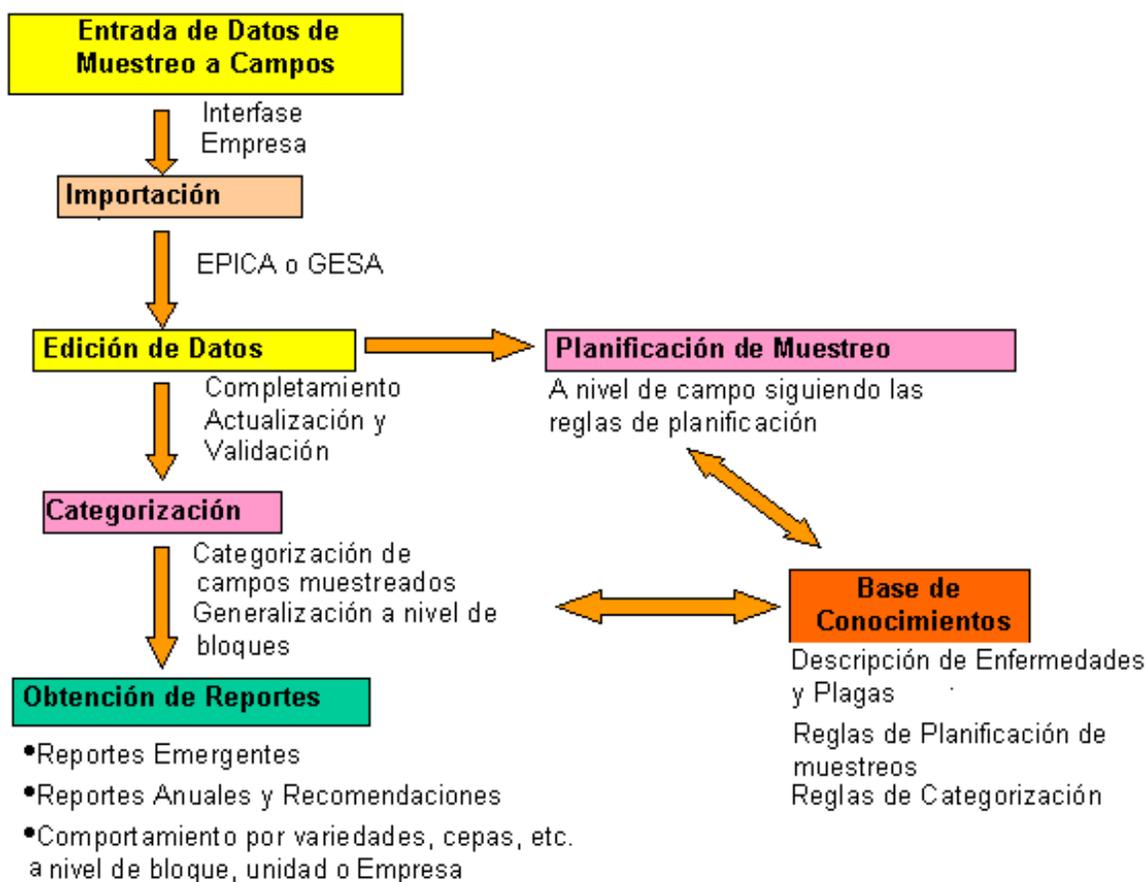


Figura 3: Diagrama de funcionamiento del SAFIT.

Los datos obtenidos fueron procesados para emisión de los reportes del comportamiento de la enfermedad por variedades, cepas y tipos de suelo, así como las pérdidas agrícolas producidas por carbón en los diferentes niveles (unidad, empresa y

provincia). Los mismos fueron incorporados a una base de datos agrícola llamada Interfase en cada una de las Empresas Azucareras de la provincia. Para la confección de la Interfase se utilizaron los siguientes codificadores:

Formato del nombre: SF + cifras del año vigente

Ejemplo: SF2009 = datos del año 2009

Código de la provincia, la Empresa, la Unidad, el Bloque, el Campo, el Área, la variedad actual (Vaac), nombre de la variedad (Nvari), Código de la cepa (Cca), nombre de la cepa (No. cepa), fecha de siembra (Fsiembra), fecha de corte (Fcorte), cantidad de corte (Ncorte), edad después de la siembra o el corte (Edad), Estimado (Estjun/30), rendimiento esperado (R-ca), rendimiento obtenido (R-ob), Tipo de suelo (Tsuelo), contenido de fósforo y potasio en el suelo (P y K), Ph del suelo (Ph), total de tallos (Tt), tallos enfermos (Te), total de plantones (Tp), plantones herbáceos (Ph) y total de látigos (TI) **(INICA, 2002)**.

La base de datos de los muestreos de cada Empresa fue entregada para ser validada y certificada para su uso e importada desde el Sistema Automatizado Fitosanitario (SAFIT) **Matos, (2002)**, la misma se realizó mediante la entrada de datos de los muestreos de campo a la Interfase de la empresa, luego se hizo la importación para la EPICA donde se editaron los datos y se realizó su completamiento, actualización y validación, y finalmente se obtuvieron los reportes del comportamiento de la enfermedad por variedades, cepas, tipos de suelos a nivel de Empresas.

Ensayo 2: Valoración económica de las pérdidas ocasionadas por el carbón de la caña en la UBPC Rubén Martín Agún en el período 2012 al 2013.

Para realizar la valoración económica se tuvo en cuenta las pérdidas agrícolas (t/ha^{-1} de caña) que ocasionó el carbón de la caña de azúcar UBPC en el periodo que se realizó el estudio, esta información la proporcionó el Sistema Automatizado Fitosanitario (SAFIT) en sus salidas, ya que debido a la incidencia del carbón, el software calcula las pérdidas agrícolas que producen las diferentes enfermedades que afectan al cultivo. Posteriormente se procedió a calcular la cantidad de azúcar que pudo haberse producido de no haber ocurrido dichas pérdidas, se tomó un rendimiento industrial promedio de 10, y por último se calculó de la cantidad de dinero que se dejó de

ingresar al presupuesto estatal con un precio promedio del azúcar en el mercado mundial en los últimos años de \$0,10 la libra.

Ensayo 3 Alternativas para un esquema flexible de manejo del cultivo de la caña de azúcar que permita eliminar la enfermedad en la UBPC, para establecer un esquema flexible de manejo del cultivo se tuvo en cuenta que el conocimiento de la actividad fitosanitaria que juega un papel predominante dentro del manejo integral del cultivo de la caña, es por ello que se establecen bases sólidas para lograr la integración de varios elementos, entre los cuales sobresalen los siguientes:

- **Plantación de la caña:** Para obtener rendimientos mayores de las 53 t.ha⁻¹ de caña plantar en suelos de la categoría **A₁** (Sumamente Apto) y de la categoría **A₂** (Moderadamente Apto) para alcanzar rendimientos entre 37 y 53 t.ha⁻¹ de caña.
- **Preparación de suelos:** Para fomentar o reponer áreas, y no hipotecar las áreas, la misma debe realizarse con calidad.
- **Manejo de las variedades:** Es de vital importancia tener presente que para incorporar nuevas variedades en el balance varietal de las empresas y unidades productoras, las mismas sean agrupadas por familias.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayo 1: Comportamiento de las variedades, como parte del manejo del cultivo en la incidencia del carbón de la caña de azúcar en la UBPC.

En la **tabla 1** se presentan los resultados del análisis de varianza del comportamiento que tuvieron las variedades ante el carbón en el año 2012, en la misma se aprecia que existieron diferencias significativas en las variables tallos enfermos y plantones herbáceos entre las variedades que se explotaban comercialmente en esa etapa; así sin embargo no hubo diferencias significativas en la interacción variedad por localidad (UBPC) para ambas variables, esto se debió a que como se aprecia en la **tabla 2** existía el 18% del área cañera plantada con la variedad C323-68; que según **González et al. (2004)** la misma fue evaluada de reacción intermedia en pruebas estatales de resistencia al carbón y en condiciones naturales de alta presión de inóculo se comportó susceptible respectivamente.

En el **figura 1** se observa que el comportamiento de la variedad C323-68, considerada susceptible al carbón de la caña de azúcar difiere de manera significativa en cuanto a las variables tallos enfermo (1,52) y de plantones herbáceos (3,37) del resto de las variedades; excepto con la variedad C323-68 que tuvo el 1,52 de tallos enfermos y el 3,37 de plantones herbáceos, a pesar de que en el período las temperaturas oscilaron entre los 25 y 30 °C y la humedad relativa por encima del 85% que según **Bayer CropScience (2009)** son las óptimas para el desarrollo del carbón.

Al analizar el comportamiento que tuvo el carbón en las variedades C86-156 y C90-469 en la UBPC Rubén Martín Agún en el período (2012 - 2013)

Por bloque y campo (**figura 2**) se aprecia que hubo en los variables tallos enfermos y plantones herbáceos diferencias significativas en la UBPC que tuvo 0,94 tallos enfermos, a pesar de que en la localidad la variedad C323-68 ocupaba el 51 % del área cañera.

Resultados similares en cuanto al comportamiento ante el carbón de las variedad C323-68 fueron obtenidos por **Peregrín et al, 1988** en estudios sobre la incidencia del carbón

realizados en las Complejos Agroindustriales (CAI) Colombia y Amancio Rodríguez y por **Rodríguez y Contreras (1994)** en la provincia Holguín y más recientemente **Domínguez y Guzmán (2010)** y **La O (2010)**.

Tabla 1 Análisis de varianza por las variables, tallos enfermos (T E) y plantones herbáceos (P H) por variedades, año 2012

Variedades afectadas	2012			Reacción al carbón
	Total de ha muestreada	% T E	% P H	
C323-68	200.0	1,52	3,37	Susceptible
C86-156	215.0	0	0	Resistente
C90-469	220.0	0.5	5,0	Resistente

Los resultados del análisis de varianza del comportamiento de las variedades ante el carbón en el año 2012 (**tabla 1**), se aprecia que existieron diferencias significativas en ambas variables entre las dos variedades estudiadas y entre las quince unidades (UBPC). No hubo diferencias significativas en la interacción variedad por localidad (empresa), a pesar de que al cierre del año 2013 existía 20,6% del área plantada con C323-68

Tabla 2 Análisis de varianza por las variables, tallos enfermos (T E) y plantones herbáceos (P H) por variedades, año 2013

Variedades afectadas	2013			Reacción al carbón
	Total de ha muestreada	% T E	% P H	
C323-68	200.0	1,42	3,17	Susceptible
C86-156	215.0	0	0	Resistente
C90-469	220.0	0.5	0,4	Resistente

Ensayo 2: Valoración económica de las pérdidas ocasionadas por el carbón de la caña en la UBPC Rubén Martín Agún en el período 2012

En la **tabla 2** se presentan las pérdidas agrícolas (expresadas en toneladas de caña) ocasionadas por el carbón. En la misma se estima que en el año 2012 la UBPC tuvo las pérdidas, las cuales ascendieron a 570.5 toneladas de caña, con las que se pudo haber fabricado 57 toneladas de azúcar con un rendimiento industrial de 10, y por tal motivo se dejó de ingresar al presupuesto del estado \$39900 con un precio del azúcar en el mercado mundial de \$0,10 la libra.

En el año 2013 la situación fue muy diferente, debido a que las pérdidas agrícolas bajaron considerablemente, esto se debió en lo fundamental a que las mermas en el rendimiento producto a la incidencia del carbón fueron inferiores.

Las pérdidas agrícolas en la misma estuvieron en el orden de las 120 toneladas de caña, por tal razón el monto dejado de ingresar al presupuesto fue de \$24088 con un precio del azúcar en el mercado mundial de \$0,10 la libra.

Tabla 3 Evaluación económica de las pérdidas producidas por el carbón en los años 2012 y 2013

UBPC	2012			2013		
	Pérdidas t. de caña	Ton Azúc. ddp(R/10)	Valor en \$ (\$0.10)	Pérdidas t. de caña	Ton. Azúc. ddp(R/10)	Valor en \$ (\$0.10)
R Martín	570,5	57	123918	120	12	24088

Leyenda: Ton. Azúc.ddp.... Toneladas de azúcar dejadas de producir

Ensayo 3 Alternativas para un esquema flexible de manejo del cultivo de la caña de azúcar que permita disminuir el carbón en la UBPC y en la Provincia.

La actividad fitosanitaria juega un papel preponderante dentro del manejo integral del cultivo de la caña, es por ello que se han implementado bases sólidas para lograr la integración de varios elementos que contribuyan al establecimiento de un esquema que

permita continuar la disminución del carbón, para ello es necesario que se consoliden entre otros los siguientes aspectos:

1. Las variedades: El trabajo con las variedades tiene una importancia vital en el proceso de manejo integral del cultivo; por tal motivo resulta imprescindible incorporar en el paquete tecnológico para la explotación de las variedades; el trabajo de éstas por familias. Este consiste en agrupar genotipos que desde el punto de vista agroazucarero tienen similar comportamiento, por lo que pueden cosecharse en el período que están enmarcados como si fuera uno solo y aunque tengan similar respuesta agroproductiva, tienen diferente comportamiento fitosanitario y la resistencia de las variedades a las plagas se pierde fácilmente.

Al manejar las variedades en familia se crea una barrera natural que las preserva, además protege a los productores de futuras pérdidas por concepto de epidemias, como sucedió con B4362 ante la roya, y B42231 ante el carbón.

El agrupamiento de las variedades por familias permite la sustitución de aquellas que degeneren e incorporar nuevos genotipos que se obtengan por las diferentes vías del mejoramiento y tengan probada resistencia al carbón.

Para las condiciones edafoclimáticas de la UBPC se establece el siguiente agrupamiento de las variedades por familia.

Familia I: Compuesta por las variedades Ja64-19, Cp52-43, C 90-469, y C86-156 para plantarse en época de frío (de agosto a septiembre) en suelos secantes y cosecharse a inicios de zafra.

Familia II: Formada por las variedades C87-51, C89-161 y C86-12 para plantarse en primavera (de abril a junio) sobre suelos de alta fertilidad, de buen drenaje y preferentemente con riego, para ser cosechadas a inicios de zafra como primaveras quedadas o retoños intermedios y a dejar quedar.

Familia III: Incluiría las variedades C86-12, C132-81, C86-503, C90-469, C86-456, C90-530 y C90-317 para plantarse en como primavera de ciclo corto (de enero a

marzo) en suelos de alta hidromorfía, para cosecharse cuando la humedad lo permita, generalmente en el mes de febrero.

Familia IV: Contendría las variedades C86-503, C90-530, C86-165, C86-56, C89-176 y My5514 que sería para plantarse en época de frío o como primavera del año, en suelos que tengan buena fertilidad, pero de bajo régimen pluviométrico (sequía), y ser cosechadas entre marzo y abril.

Familia V: Incluye las variedades C266-70, C86-503 y B7274 para plantarse en época de frío (de agosto a septiembre) en suelos moderadamente aptos y cosecharse de febrero.

2. El suelo: Potenciar la plantación de la caña en suelos de las categorías A₁ (Sumamente Apta) que es en los que se pueden obtener rendimientos mayores de las 53 t.ha⁻¹ de caña y A₂ (Moderadamente Apta) para alcanzar rendimientos entre 37 y 53 t.ha⁻¹ de caña. Bajo ningún concepto plantar caña en suelos de la categoría A₃ (Marginalmente Apta), se obtienen rendimientos entre 22 y 37 t.ha⁻¹ de caña y de la categoría NA (No Apta) ya que los rendimientos son menores que 22 t.ha⁻¹ de caña.

La preparación de suelos es un eslabón fundamental que tiene incidencia en el resto de las actividades que se realizan en la agricultura cañera, de su calidad depende en gran medida que no se hipotequen áreas por varios años.

CONCLUSIONES

1. En el período 2012-2013 se logró mejorar la composición varietal de la UBPC con la introducción de nuevas variedades entre las cuales se destacan: C86-156 y C90-469, además se logró reducir los porcentajes de áreas plantadas de las variedades Ja60-5, C323-68 y la propagación del carbón tuvo un significativo descenso en cuanto a las áreas clasificadas en la categoría de intenso.
2. Las pérdidas agrícolas producidas por el carbón de la caña en la UBPC en el año 2012, ascendieron a 570,5 toneladas de caña y en el 2013 éstas descendieron a 120 toneladas; por lo que se dejó de ingresar al presupuesto estatal \$ 59332.
3. Se establecen como alternativas para el esquema de manejo más eficiente del cultivo en la UBPC, el manejo de las variedades por familia, la plantación de la caña en suelos de mayor potencial agroproductivo, o sea, en los de la categoría **A₁** (Sumamente Apta) y realizar buena labor de preparación de suelos.

RECOMENDACIONES

Promover como alternativa un esquema flexible de manejo integral más eficiente del cultivo de la caña de azúcar en la UBPC, para lo cual debe darsele prioridad a la plantación de caña en los suelos de mayor potencial agroproductivo, que la preparación de suelos se realice con calidad, incorporar al manejo de las variedades el trabajo de éstas por familias; así como potenciar el montaje de Jardines de Variedades, Pruebas de Validación Comercial y Pruebas de Fuego de la amplia gama de nuevas variedades (45 recomendadas en el período 1999-2007) que se encuentran en proceso de introducción y desarrollo en la provincia Las Tunas. Incrementar la actividad fitosanitaria, teniendo en cuenta que la misma sea prioritaria y preventiva en aras de disminuir las pérdidas que ocasionan las plagas.

BIBLIOGRAFÍA

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. **Acevedo, A.; Rodríguez, E.; La O M.; Alfonso, I. (2003).** Aplicación del microanálisis por rayos x en aislamientos de *Ustilago scitaminea* Sydow. *Cuba & Caña*, 1: 9-13.
2. **Acevedo, R. y De Lima, N. (2002).** Alteraciones estructurales producidas en yemas de caña de azúcar durante el proceso de infección del hongo *Ustilago scitaminea*. *Rev. Iberoam. Micol*; 19 (4): 212-215.
3. **Acevedo, R. y Piñón, D. (1996).** Diagnóstico del carbón de la caña de azúcar por inmunofluorescencia indirecta. *Rev. Iberoam. Micol.*; 13. 8-9.
4. **Acosta, P. (1996).** Medio Milenio de las variedades de la caña en Cuba. En *Revista Cañaveral*, Vol.2, N° 4, Octubre- Diciembre.
5. **Aday, O.C.; Morales, M.; Barroso, F.J.; China, A.; Rodríguez, M.; Pineda, E.; Suárez, H.J.; Díaz, F.R.; Gómez, J. (2006).** CD Fitocaña. Catálogo de plagas y enfermedades de la caña de azúcar en Cuba en formato HTML. XV Congreso Científico INCA. ISBN 959-7023-36-9: 131.
6. **Agrios, G.N. (1997).** Plant Pathology. 4th edition. Academic Press, San Diego. Estados Unidos: 98-109.
7. **Apezato, B. A.; Capote, A. M.; Amorin, L. (1995).** Structural characteristics of buds of sugarcane cultivars with different levels for resistance to smut. *J. Plant Disease and Protection*, 102. (5) 502-508.
8. **Apezato, B.A.; Capote, A.M.; Amorin, L. (1995).** Structural characteristics of buds of sugarcane cultivars with different levels for resistance to smut. *J. Plant Disease and Protection*, 102. (5) 502-508.
9. **Arencibia, A.; Estévez, Y.; Vinagre, F.; Bernal, A.; Pérez, J.; Carmona, E.; Hemerly, A.; Santana, I. (2006).** Induced resistance in sugarcane against pathogenic bacteria *Xanthomonas albilineans* mediated by an endophytic interaction. *Proc. Interl. Symp. on Technologies to Improve Sugar Productivity in Developing Countries*, Guilin, P.R. China: 343-351.
10. **Ayala, F. y Marín, R. (2000).** Resistencia varietal a la enfermedad del carbón de la caña de azúcar (*Ustilago scitaminea*). p. 33-48. En. C. Núñez (Ed.). Proyecto

para determinar la resistencia varietal al mosaico, la roya, el carbón y la escaldadura de la caña de azúcar. Programa Nacional de variedades del Focytcaña.

11. **Bacca, H. y Carrillo, P. (1980).** Carbón y roya de la caña de azúcar en el Norte de Santander. Segunda Reunión Colombo Venezolana. Cúcuta, 20 p. Junio.
12. **Balmaseda, C. y Ponce de León, D. (2000).** Evaluación de la Aptitud de las Tierras dedicadas al cultivo de la Caña de Azúcar. *Manual de Procedimientos. INICA.* 54 pp.
13. **Bayer CropScience, (2009).** *Ustilago scitaminea* Syd. Disponible en. <http://www.bayercropscience.com.pe/web/index.aspx> [consulta. agosto, 8 de 2009]
14. **Borrás, O.; Thomma, B.P.; Carmona, E.; Borroto, C.J.; Pujol, M.; Arencibia, A.; López, J. (2005).** Identification of sugarcane genes induced in disease-resistant somaclones upon inoculation with *Ustilago scitaminea* or *Bipolaris sacchari*. *Plant Physiol. and Biochem.*, 43:1115-1121.
15. **Borrás, O.H. (2004).** Basic insight in the plant-pathogen interaction. *Bioteconología Aplicada*, 21: 1-4.
16. **Braithwaite, K.; Bakkeren, G.; Croft, B.J.; Brumbley, S.M. (2004).** Genetic variation in a worldwide collection of the sugarcane smut fungus, *Ustilago scitaminea*. *Proceeding of the Australian Soc.Sug. Cane Technol.*, 26 (CD-ROM).
17. **Briseño, R.; De Sousa Vieira, O. y Rea, R. (2005).** Reacción de veinte clones de caña de azúcar a la enfermedad del carbón *Ustilago scitaminea* Sydow. *Revista de la Facultad de Agronomía de La Universidad del Zulia*, ISSN 1690-9763, Vol. 22, N°. 4, octubre, pags. 400-407.
18. **Buchanan, B.B.; Gruissem, W.; Jones, R.L. (2000).** Biochemistry and Molecular Biology of Plants. *Ed by the American Society of Plant Physiologist*: 1102-1154.
19. **Bulow, L.; Schindler. M.; Choi, C.; Hehl, R. (2004).** PathoPlant[®]: A Database on Plant-Pathogen Interactions In Silico Biology Bioinformation Systems e.V 4: 00-44.

20. **Butterfield, M.K.; Rutherford, R.S.; Carson, D.L. & Hockett, B.I. (2004).** Application of gene discovery to varietal improvement in sugarcane, South Africa. *Jour. Bot.* 70: 167–172.
21. **Campo Zabala, R.; Morales, F. B. y Pérez Oramas, G. (1976).** Variedades de caña de azúcar en Cuba. Dirección General de la Agricultura Cañera INRA. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar de la Academia de Ciencias de Cuba 86 p. Octubre.
22. **Capell, T.; Ludovic, B.; Christou, P. (2004).** Modulation of the polyamine biosynthetic pathway in transgenic rice confers tolerance to drought stress. *Proc. Natl. Acad. Sci, USA*, 101 (26): 9909-9914.
23. **Capote, A.M.; Apezato, G.B. (1998).** Los tricomas, una barrera morfológica en la penetración de *U. scitaminea* Sydow. *Rev. Cuba & Azúcar.* Mayo-Agosto, 2: 32-35.
24. **Capote, M. (2007).** Bases morfofisiológicas de la interacción carbón- caña de Azúcar. Tesis presentada en opción al Título Académico de Maestro en Ciencias. Universidad de la Habana. 56p.
25. **Castro, F. (1997).** Informe Central al V Congreso del PCC. Versión taquigráfica del Consejo de Estado. Tabloide Periódico Granma. 31 pp.
26. **Castro, S. (2010).** Generalidades de la caña de azúcar. Doctorado Curricular Colaborativo. Noviembre, ETICA Ote Sur. Palma Soriano. Stgo de Cuba.
27. **Castro, S.; García, J. y Rodríguez, I. (2009).** Selección de nuevas variedades de caña de azúcar de la serie 1996 de Las Tunas en etapa de estudios replicados. 1er. Taller Regional Oriental de Producción Cañera. Stgo de Cuba. 27 al 29 de Oct.
28. **Cawich, A. & Rancharan, N. (1980).** Sugarcane smut (*Ustilago scitaminea*) in Central América. First Inter-American Sugar Cane Seminar. *Cane Diseases (Proceedings)* Miami, Florida. pp. 7-11, Octubre.
29. **Centro para la Documentación y Estudio del Azúcar. (2006).** Memorando estadístico del azúcar, Paris. Francia. (en francés)
30. **Chinea, A. (2004).** Las enfermedades de la caña de azúcar en Cuba durante las últimas décadas. Jornadas Científicas por el 40 Aniversario del Instituto

Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Extraído de CD40aniv/index.htm.

31. **Chinea, A. y Rodríguez, E. (1994).** Enfermedades de la caña de azúcar. *Publicaciones IMAGO*. Ciudad de La Habana, Cuba. pp. 22 – 24.
32. **Chinea, A.; Nass, H.; Daboin, C.; Diaz, M.D. (2000).** Enfermedades y daños de la caña de azúcar en Latinoamérica. *IMPREGOLOR, C. A.*, Barquisimeto, Venezuela. 80p.
33. **Compant, S.; Duffy, B.; Nowak, J.; Clément, C.; Barka, E. (2005).** Use of Plant Growth-Promoting Bacteria for Biocontrol of Plant Diseases: Principles, Mechanisms of Action, and Future Prospects. *Minireview Applied and Environmental Microbiology*, 71 (9): 4951-4959.
34. **Coto, O. y Cornide; M.T. (2002).** Principales aplicaciones de los marcadores moleculares. Marcadores Moleculares nuevos horizontes en la genética y la selección de las plantas. Cornide y colaboradores (Eds). Editorial Félix Varela. La Habana. pp 92-119.
35. **Croft, B., & Berding; N. (2000).** Screening Australian sugarcane clones for smut reaction in Indonesia. Initial results. *Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol.* 22.170-177.
36. **Cuellar, I. A.; de León, M. E.; Gómez, A.; Villegas, R. y Santana, I. (2003).** Caña de azúcar paradigma de sostenibilidad. *Ed. PUBLINICA*, INICA, 175 pp.
37. **Di Rienzo, J. A.; Balzarini, M.; Casanoves, F.; González, L.; Tablada, M.; Guzmán, W. y Robledo, W. (2001).** InfoStat. Software Estadístico. Versión 1. *Ed. Triunfar S.A* La Rioja. Córdoba, Argentina. ISBN 987-9449.
38. **Díaz Mujica, F. R.; García, H. y Aguilera, L. (2000).** Variedad de caña de azúcar que aporta soluciones para la producción comercial cubana. Memoria XII Seminario Científica del INCA, p. 144. Disponible en. <http://www.territorioscuola.com/wikipedia/en.wikipedia.php> [consulta. agosto, 9 de 2009]
39. **Dirección Provincial de Meteorología. (2010)** Ubicación geográfica de la provincia Las Tunas. Soporte Digital.

40. Domínguez, H. y Guzmán, M. (2010): El Jefe de Lote, pieza clave en la recuperación cañera. IV Jornada Pedagógica del CNCA. Dic. 22.
41. Engelke, J.; Egan, B.; Sherrard, J.; Triglone, T.; Jackson, P. (2001). Sugarcane smut: successful management in the ord. *Proc. of the Australian Soc.Sug. Cane Technol.*, 23: 268-273.
42. Fauconnier, R. y Bassereau, O. (1980). La Caña de Azúcar. *Ed. Científico Técnica*. La Habana. 369p.
43. Fernández, A. R. (1983). Botánica y Fisiología de la caña de azúcar. *Editorial Pueblo y Educación*.
44. Flores, C. S. y Osada, S. (1981). La enfermedad del carbón de la caña de azúcar en México. *Revista Venezolana Azucarera*. 4' 35 - 44 junio.
45. Fontaniella, B.; Márquez, A.; Rodríguez, C.W.; Piñón, D.; Solas, M.T. Vicente, C.; Legaz, M.E. (2002). A role for sugarcane glycoproteins in the resistance of sugarcane to *Ustilago scitaminea*. *Plant Physiol. Biochem*, 40: 881—889.
46. Fuentes, J. L.; Cornide, M.T.; Álvarez, A.; Suarez, E.; Borges, E. (2005). Genetic diversity analysis of rice varieties (*Oryza sativa* L.) based on morphological, pedigree and DNA polymorphism data. [Plant Genetic Resources: characterization and utilization](#). *Cambridge University Press*, Vol. 3 (3): 353-359.
47. Gálvez, G. (1992). ¿Es necesario la obtención de variedades de alto contenido azucarero para iniciar zafra?. Resúmenes del 46 Congreso ATAC, p. 40.
48. Gálvez, G. (2001). La genética y el mejoramiento de la caña de azúcar.
49. Gálvez, G. y Almeida, R. (2000). Variedades de caña de azúcar, su obtención y manejo comercial. *Cañaveral*, Vol. 5, No. 1 p. 14-17.
50. Gams, W. (2005). Report of the Committee for Fungi. *Taxon* Vol. 54, No.3, (August), pp.828-830
51. Gobardhan, I. C. & Washington, W. I. N. (1978). Sugarcane smut disease (*Ustilago scitaminea*) its appearance in Trinidad. 1976. (Traducción GEPLACEA) México 1976.
52. Godefroy, J. (2008). Cuba produce unos 80 derivados de caña de azúcar. Disponible en: <http://www.radiorebelde.cu/noticias/economia/economia.htm> [consulta. enero, 29 de 2011].

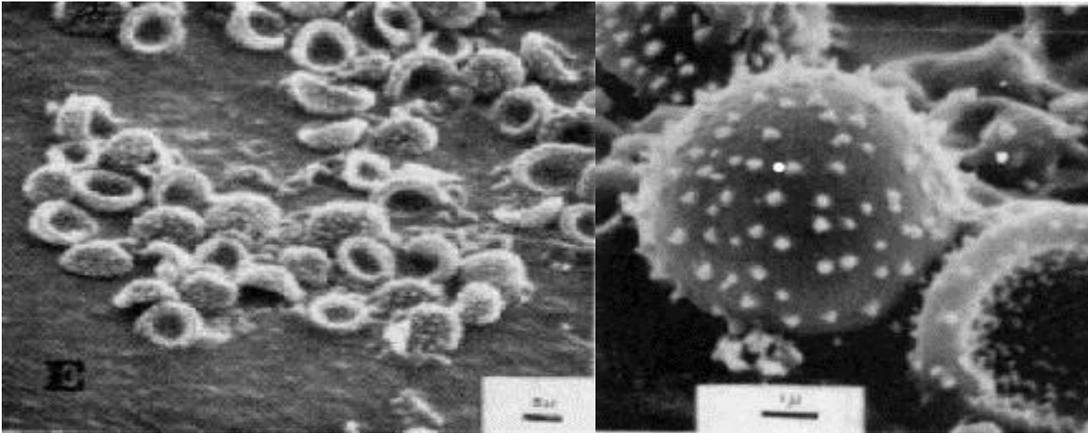
- 53. González, R. (1997).** Bases para el control del carbón de la caña de azúcar (*Ustilago scitaminea* Sydow). Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas, Instituto Superior de Ciencias Agrícolas de La Habana.
- 54. González, R. y Ordosgoitti, A. (1979).** Informe especial sobre visita a las zonas cañeras de Cúcuta y Ureña. FONAIAP-CENIAP. Instituto de Investigaciones Agronómicas (Maracay). 3 p. junio.
- 55. González, R.; Almeida, R.; Alfonso, F.; Pardo, L.; Barroso, G.; González, J. R.; Manresa, M. y otros (2010).** Principales variedades de caña de azúcar propagadas en Cuba al cierre del 2008. *Rev. ATAC* No.1/2010 enero/abril. Págs. 19 -25.
- 56. González, R.; Carvajal, O.; Chinea, A. y Pérez, G. (2004).** Mejoramiento para la resistencia a enfermedades de la caña de azúcar en Cuba. Actualidad y perspectivas. Jornadas Científicas por el 40 Aniversario del Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Extraído de [CD40aniv/index.htm](#).
- 57. González, R.; Chinea, A. y González, A. (2001).** Las variedades de caña de azúcar y la situación fitosanitaria del país. Contribución al conocimiento y manejo de las variedades de caña de azúcar, INICA, 90 pp.
- 58. González, J.; Rivas, M.; Tabio, L. E. y Rodríguez, S. (2003).** Evaluación de la aptitud física de las tierras pertenecientes al MINAZ en la provincia Ciego de Ávila. CD del XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia de Suelo. Centro de Convenciones “Plaza América” Varadero. Cuba. 11 al 16 de Noviembre.
- 59. Guerra, I. (2002).** Comportamiento del carbón de la caña de azúcar en la provincia de Las Tunas. *Revista Protección Vegetal*, Vol. 17 No. 3 Pag.192.
- 60. Guerra, R. (1961).** Azúcar y Población en las Antillas. Imprenta Nacional, La Habana, Cuba. ICIDCA-ONUDI-GEPLACEA, 1985. Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar, La Habana, 1985 INICA. 1996. Servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y enmiendas. Departamento de Suelos y Fertilizantes del INICA. Cuba.
- 61. Guilherme, R. M. (2000).** Sugarcane variety notes “an international directory” 7 th Revision. *Sugarcane Breeding consultant Piracicaba, Brazil*. 27 pp.

62. Hamlet, M. N. (1999). Fertilización de la caña de azúcar. Disponible en. <http://www.al-labs.com.mx/doc/1g.htm/> [consulta. febrero, 12 de 2009].
63. Hernández Pérez, G.; Ibarra, J.; Cruz, R.; Rodríguez, J.; González, R. M. Ponce de León, L.; Dale, L.; Espinosa, D. y Tello, R. (2009). El Servicio de Variedades y Semilla (SERVAS) en la evolución de la composición de variedades de la caña de azúcar en la provincia Holguín. 1er. Taller Regional Oriental de Producción Cañera. Stgo de Cuba. 27 al 29 de Oct.
64. Herrera, T.; Ulloa. M. (1990). El reino de los hongos. Micología básica y aplicada. Fondo de cultura económica. México. DF: 19-50.
65. Holder, D. G. & Dean, J.L. (1978). Preliminary report on screening for sugarcane smut resistance in Florida. *Annual Meeting of Florida. Division of American Society of Sugarcane Technologists*. 4 E. October 20.
66. Holder, D. G. (1979). Sugarcane varieties naturally infected by smut in Florida in 1978. *Sugar Journal* 41 (11) 19.
67. Holder, D. G. (1980). The current status of sugarcane smut in Florida. First Inter-American Sugarcane Seminar. *Cane Diseases (Proceedings)*. Miami, Florida, pp. 12-13. October.
68. Hoy W. & Grisham, M. P. (1988). Spread & increase of sugarcane smut in Louisiana. *Phytophalogy* 78(10).1371-1376.
69. Humbert, R. P. (1970). El cultivo de la Caña de Azúcar. Editorial Universidad de La Habana. 787 pp.
70. INICA, (2002). Manual de Procedimientos del SEFIT, *Ediciones PUBLINICA*, 120pp.
71. INICA, (2006). Informe de la XV Reunión de Variedades, Semillas y Sanidad Vegetal. Sancti Spiritus. 65p.
72. INICA, (2008). Informe a la XVI Reunión Nacional de Variedades, Semillas y Sanidad Vegetal.
73. INICA. (2001). Evaluación de la Aptitud Física de las Tierras dedicadas al Cultivo de la caña de Azúcar. Primera Aproximación. Informe de fin de tarea del proyecto. “Estudio, Evaluación y Monitoreo de Suelos para el desarrollo de Tecnologías Integrales y sostenibles de Producción de Caña de Azúcar”, 34pp.

- 74. Instructivo Técnico de la Caña de Azúcar. (2008).** Biblioteca Digital. Filial del Centro Nacional de Capacitación Azucarera (CNCA) de Las Tunas. 144 pp.
- 75. James, G.L. (1970).** Observations on symptom development of both smut & leaf scald in varieties inoculated with both. *Sugarcane Pathologist Newsletter*. (Rhodesia). 5. 43-44, September.
- 76. Jones, J.D.G.; Dangl, J.L. (2006).** The plant immune system. *Nature*, 444: 323-329.
- 77. Jorge, H., F. Morales, I. Jorge, H. García, A. Arencibia, I. Santana y otros 27 autores. (2004).** Catálogo de nuevas variedades de caña de azúcar en Cuba. *PUBLINICA*.
- 78. Jorge, H.; García, H.; Bernal, N.; Jorge, I.; Vera, A. y Suárez, O. (2007).** Variedades de caña de azúcar en Cuba. Una nueva concepción y manejo. XXX Convención Nacional ATAM. Veracruz.
- 79. Jorge, H.; González, R.; Jorge, I.; Almeida, R. y Santana I. (2002).** Impacto del programa de mejoramiento genético de la caña de azúcar en Cuba y su influencia en la situación fitosanitaria. *Rev. Protección Veg. Vol. 17 No. 3 Pag186*.
- 80. Jorge, H.; Jorge, I.; Cruz, R.; Vallina, J.; Santana, I.; Castro, S. (2003).** Programa de Fitomejoramiento. Impacto en la Producción azucarera cubana. Ciudad de la Habana. *PUBLINICA*. 99p.
- 81. La O, M. (2010).** Contribución a la caracterización molecular de la interacción caña de azúcar- *Sporisorium scitamineum*. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas, Instituto Superior de Ciencias Agrícolas de La Habana.
- 82. La O, M.; López, R.; León, O. y Rodríguez, E. (2001).** Mecanismos de defensa bioquímicos en la interacción caña de azúcar (*Ustilago scitaminea*). 41st *Annual Meeting of American Phytopathological Society*, Cuba. 115.
- 83. Legaz, M.E.; Pedrosa, M.M.; de Armas, R.; Rodríguez, C.W.; de los Ríos, V. & Vicente, C. (1998).** Separation of soluble glycoprotein from sugarcane juice by capillary electrophoresis. *Anal. Chem. Acta*, 372: 201-208.
- 84. León, P. y Ravelo, R. (2007).** Fitotecnia General aplicada a las condiciones tropicales. *Ed. Félix Valera*. La Habana. Pag. 187-200.

- 85. Lloyd, H.L.; Naidoo, M. (1983).** Chemical assay potentially suitable for determination of smut resistance of sugarcane cultivars. *Plant Disease*, 67: 1103-1105.
- 86. Lodos, J. y Cordovés, M. (1987).** La caña de azúcar: fuente de combustible almacenable y electricidad. En "Uso alternativo de la caña de azúcar para energía y alimento". *Colección GEPLACEA*. Serie Diversificación, GEPLACEA/PNUD, México, pp: 195-214.
- 87. López, Ma. O.; Pérez, L.; Iznaga, R. (1979).** Una nueva enfermedad de la caña de azúcar en Cuba, el carbón causado por *Ustilago scitaminea* Sydow. *Rev. Sanidad Vegetal.*, MINAG. 11p.
- 88. Lora Reyes, N.; Tamayo, M.; Rodríguez, R.; Pablos, P.; Cabrera I.; Rodríguez, O.; González, J. y Kuan, I. (2009).** Principales variedades de variedades de la caña de azúcar empleadas en la provincia Santiago de Cuba con fines comerciales en los últimos 20 años. 1er. Taller Regional Oriental de Producción Cañera. Stgo de Cuba. 27 al 29 de Oct.
- 89. Magarey, R.; Croft, B.; Braithwaite, K.; James, A. (2006).** A smut incursion in the major Eastern - Australian sugarcane production area. Proc. Interl. Symp. on Technologies to Improve Sugar Productivity in Developing Countries, Guilin, P.R. China: 333-336.

Anexo 1.



Esporas del hongo observadas con el microscopio electrónico (Cortesía de Ordosgoitti *et al.*, 1982)

Anexo 2.



Plantas de caña de azúcar con síntomas típicos de la enfermedad. (Cortesía de Ordosgoitti *et al.*, 1982)

Anexo 3.



Campo con alta infestación de carbón de la caña de azúcar (Cortesía de Ordosgoitti *et al.*, 1982)

Anexo 4. Modelo para el registro de la incidencia del carbón

Empresa: _____ Unidad: _____

Bloque: _____ Campo: _____ Fecha _____

No. Estación de muestreo	Total de tallos	Total de tallos enfermos	Total de plantones	Total de plantones herbáceos
1				
2				
3				
4				
5				
6				
Total	(A)	(B)	(C)	(D)

Anexo 5



Campo libre de infestación de carbón de la caña de azúcar (noviembre de 2009)