

## **El Carbón de la Caña de Azúcar (*Ustilago scitaminea*, Sydow)**

**Ing. Taimy Miranda Suarez, Instructora, Dpto. de Agricultura, Facultad de Agronomía, UMCC**

**Ing. Jesús Torres Paz, Prof. Auxiliar, Dpto. de Agricultura, Facultad de Agronomía, UMCC**

**Ing. José Acosta Granados, Prof. Auxiliar, Dpto. de Agricultura, Fac. de Agronomía, UMCC**

### **Introducción**

El carbón de la caña fue una de las primeras enfermedades reconocidas en este cultivo, debido a lo conspicuo de sus síntomas que hacen fácil el diagnóstico. Su nombre se deriva de la masa negra pulverulenta de esporas, que siempre está asociada con la enfermedad. Ordosgoitti, González y Aponte(1982) y Ayala y Martín (2000) citan su descubrimiento en Sur África en 1877 de donde se propagó a otros países del hemisferio oriental. El primer reporte auténtico del carbón en el hemisferio occidental vino de la Argentina en el año 1940. Para el 1943 la enfermedad se había extendido en Tucumán y se consideró como la más formidable amenaza para la producción de azúcar, después de la epidemia del mosaico de 1916. Para el año 1946 la misma había cesado con la sustitución de las variedades altamente susceptibles por cañas resistentes (Hughes et al, 1961). Otros reportes sobre su aparición en América dan que fue:

- Brasil ---- 1948
- Paraguay ----- 1944
- Bolivia ----- 1957
- República Dominicana ----- 1958

El síntoma característico del carbón consiste en la formación de una masa como látigo que sale del cogollo del tallo de la caña afectada. La longitud de este apéndice varía desde unos cuantos cm hasta muchos dm , cuando es corto es erecto y cuando es largo generalmente se dobla y asume la apariencia característica de un látigo. Esta estructura es del grueso de un lápiz, sin ramificaciones y encierra millones de esporas, en los primeros estados dentro de una cubierta membranosa delgada y de apariencia plateada. La cubierta membranosa eventualmente se rompe y expone las fructificaciones del hongo que parecen una capa gruesa de hollín.

Cuando un brote de caña se infecta al principio o justamente después de que se inicie su desarrollo, crece delgado con apariencia de zacate y a medida que la infección progresa el punto de crecimiento produce la estructura en forma de látigo. Mucho antes de que aparezca el apéndice peculiar las cañas infectadas se pueden reconocer por sus hojas pequeñas, angostas, tallos delgados, con largos entrenudos. Estas cañas afectadas aunque pueden producir tallos molederos, no alcanzan el tamaño normal al madurar. Después que aparece el látigo las yemas inferiores del tallo empiezan a brotar y pueden terminar también con un látigo negro. A veces, brotes enfermos de carbón se han observado en tallos de caña aparentemente normal.

Estos síntomas son generalmente signos de infección primaria de las estacas o pueden ser el resultado de la contaminación en o por debajo del nivel del suelo por las esporas del hongo que estaban ya presentes en el suelo. Las pérdidas más serias generalmente provienen de este tipo de infección.

El organismo causal fue denominado primero *Ustilago sacchari* pero después se le llamó *Ustilago scitaminea* Sydow. El hongo es un parásito de los tejidos meristemáticos jóvenes y

entra a su huésped exclusivamente a través de la parte baja de la yema, debajo de las escamas.

El micelio es intercelular y emite haustorios en las células, pero rápidamente se reduce de manera tal que no puede ser encontrado fácilmente en el tejido huésped. Las clamidiosporas germinan fácilmente en condiciones húmedas. Si se mantienen secas conservan su vitalidad durante meses, indicando que el hongo puede probablemente persistir por largos periodos de tiempo en los desperdicios vegetales del suelo.

Las clamidiosporas de los látigos carbonosos son transportadas por el aire llegando unas al contacto con las cañas en pie y otras caen al suelo. Las yemas jóvenes son más susceptibles a la infección. Cuando una yema se empieza a infectar el hongo mantiene su desarrollo al mismo paso del crecimiento de la caña, al tiempo se produce el látigo, nuevas esporas son liberadas y esparcidas y el ciclo comienza de nuevo.

En experimentos realizados por Goldman y Amer (1988) esporas de *U. scitaminea* Sydow aisladas de dos fuentes diferentes fueron comparadas encontrándose marcadas diferencias en su morfología colonial y celular. Estas presentaron tallas diferentes y longitudes diferentes de los filamentos con otras formas del micelio.

### **Diseminación.**

Dentro de las principales causas de la diseminación del patógeno se encuentra con mucha frecuencia que los trozos de caña pueden presentar micelio latente a causa de una mala selección del material de plantación o pueden llevar contaminación superficial por las esporas que a transportado el viento. Además las esporas presentes en el suelo pueden ser transportadas por el agua de riego o la lluvia e infectar los trozos en la época de plantación o las yemas de las porciones basales de los trozos de la caña.

Se ha demostrado que el hongo puede entrar a los brotes a través de las heridas de las raíces, indicando que el cultivo puede diseminar la enfermedad en el campo (Hughes et al, 1961)..

Hoy et al (1987) condujeron experimentos para determinar el efecto de los vientos en la diseminación del carbón en Louisiana. Encontraron que estos constituyen un factor limitante para el establecimiento de variedades de caña moderadamente susceptibles a la enfermedad por constituir un factor determinante en la diseminación de la misma .

En experimentos realizados en Louisiana ( Hoy y Grelen, 1988) en retoños de caña con las variedades CP65-357, CP73-351 y CP74-383 se demostró que a medida que aumenta la velocidad e incidencia del viento aumenta la diseminación y por ende las afectaciones de la enfermedad.

Torres et/al (1989), plantean que el medio fundamental de dispersión del carbón de la caña de azúcar lo constituye el viento, el cual puede arrastrar las esporas a larga distancia. Un látigo de carbón puede soltar de  $10^8$  a  $10^9$  esporas por día y es capaz de producir  $10^{11}$  esporas durante su periodo de desarrollo. Se ha comprobado que la diseminación del carbón es mayor en épocas de sequía ya que las esporas son arrancadas del látigo más fácilmente. En periodos lluviosos el desprendimiento de las esporas es menor ya que estas, a menudo más de la mitad se quedan adheridas al látigo formando una masa compacta y dura. La temperatura ambiental es otro factor que contribuye a la diseminación de las esporas, así en la india se determinó que la dispersión máxima ocurría entre 22 y 24 °c y con un 50 a 60 % de humedad relativa.

Las esporas del hongo, China y Rodríguez (1994), señalan que se transportan por el aire, los insectos y el material de siembra fundamentalmente, pero también se debe tener en cuenta la lluvia y el agua de riego.

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

Son numerosas las medidas que se han utilizado para combatir el carbón de la caña de azúcar (Torres, *et al*, 1989) entre las cuales podemos citar:

- a) Entresacar los tallos o cepas enfermas : Debe hacerse con mucho cuidado para evitar la diseminación de las esporas. Esta medida incluye quitar los tallos enfermos y sumergirlos en parafina , para evitar la dispersión o bien quemarlos a la orilla del campo. Cuando los látigos son eliminados estando todavía en la vaina membranosa se logra un mejor control. Algunos investigadores plantean que el entresaque es un método efectivo únicamente cuando se utiliza en caña levemente dañada o con variedades moderadamente susceptibles.
- b) Seleccionar material sano para plantar: Los trozos tomados de cepas enfermas suelen presentar infección primaria y de esta forma pueden diseminar la enfermedad si son utilizados como material de plantación. El establecimiento de los bancos de semilla y su inspección regular para detectar y eliminar de inmediato las plantas infectadas es una vía para obtener material sano. La inspección a estos bancos de semilla debe hacerse por lo menos cuatro veces al año, después de dos meses , descalificándose para la plantación los bancos que presentan aunque sea un látigo carbonoso; o bien inspeccionarlos tres veces durante los primeros seis meses , admitiendo un nivel de infección inferior al 0,1 % para extender el certificado.
- c) Desinfección de esquejes antes de plantarlos: La utilización de agua caliente a 52 °c durante 20 min puede controlar la infección latente sin consecuencias para el rendimiento del cultivo , pero sin embargo se ha comprobado que el tratamiento térmico incrementa la susceptibilidad al carbón y a otras enfermedades aunque se desconoce el mecanismo de este fenómeno. En numerosas investigaciones se ha comprobado el efecto beneficioso del empleo de fungicidas en la desinfección de los esquejes y en los campos acabados de cortar. Su empleo ha incrementado la brotación y el rendimiento, mientras que disminuye la incidencia de la enfermedad. Se ha comprobado que los fungicidas que contienen mercurio son por lo menos trescientas veces más efectivos que otros. Esta ultima medida es impracticable en muchos países por no resultar económica.
- d) Descanso de campos con altos niveles de infección: Si la concentración de esporas en el suelo es muy alta, después del barbecho se moja y se seca en ciclos en ciclos alternados lo que reduce sustancialmente la población de esporas, reduciendo por ende una infección severa en caña planta.
- e) Establecimiento de rotación de cultivos: Se puede establecer con leguminosas, maíz u otro cultivo no susceptible. La rotación de cultivos no es confiable cuando existe la posibilidad de un aporte de continuo de esporas por medio del viento.
- f) Plantación de variedades resistentes: De todas las medidas esta constituye la más eficiente a largo plazo. Las medidas de control anteriormente enumeradas son eficientes para evitar la diseminación rápida de la enfermedad, disminuir los índices de afectación de la misma, pero nunca la erradicación por completo mientras existan en los campos variedades susceptibles.

Vir y Biniwall (1987) plantean que el tratamiento a la semilla de caña de azúcar con aire húmedo caliente a 54 °C por dos o tres horas ofrece un 100% de control al carbón de la caña de azúcar sin afectar el rango de germinación de la semilla.

En experimentos realizados por Pérez y Mauri (1990) fueron tratadas semillas de caña (trozos de dos yemas) por 3 min en inmersión con 500, 1000 y 2000 ppm de propiconazol o etaconazol 72h después de la inoculación con el patógeno. Siendo efectiva en la reducción de la formación de látigos la dosis de 2000 ppm de ambos funguicidas en caña planta y retoño.

El carbón de la caña de azúcar ha sido una enfermedad de lenta distribución, diseminación e incrementación en Colombia y en especial en el valle del Cauca sin que se hallan reportado mayores pérdidas en la producción (Victoria et/al, 1990) como resultado de la estrategia de control puesta en práctica desde el momento mismo de la aparición de la enfermedad. Esta estrategia comprendió una campaña divulgativa, desestimulación de la siembra de CP57-603, eliminación de látigos y cepas afectadas y tratamiento térmico de la semilla, con cambios y adopción de nuevos métodos a medida que la enfermedad se fue incrementando y mientras se desarrollaban variedades resistentes. Se comenzó el empleo de variedades importadas para la siembra en determinados suelos. Pero lo más importante ha sido el desarrollo de un programa de mejoramiento genético que ha producido variedades nacionales (cc82-51, cc83-25, cc84-75) con gran capacidad de competencia con la variedad CP57-603 y con alta resistencia al carbón.

DIECA (1995) en la publicación de la hoja divulgativa No. 77 cataloga la enfermedad del carbón como engañosa ya que cuando el cañero ve por primera vez látigos en sus cañaverales se asusta; desgraciadamente, conforme transcurre el tiempo y se corta la primera cosecha, ésta no pierde peso y el productor deduce que la enfermedad no es seria. Por este motivo en los cortes siguientes cuando no se les practican controles adecuados se producen pérdidas cuantiosas, ocasionadas por el incremento de los látigos y cepas zacatosas. En estas condiciones es muy difícil controlar la enfermedad. En campos severamente atacados por la enfermedad hasta las variedades moderadamente tolerantes se ven seriamente dañadas por el hongo que la produce. Siga las siguientes recomendaciones para disminuir el carbón en caso de que ataque su finca: Como la enfermedad está presente en la región cada productor debe inspeccionar su cañal periódicamente en busca de más látigos. En caso de presentarse los látigos carbonosos, proceda a cortarlos desde su base, inmediatamente introducirlos en bolsas para evitar su diseminación y luego destrúyalos, quemándolos fuera de la plantación en un recipiente o estañón.

### **Mejoramiento genético.**

La mejora genética de la caña de azúcar tiene como finalidad la obtención de nuevos híbridos y variedades de caña que respondan satisfactoriamente a las distintas regiones, métodos agrícolas, necesidades industriales y que superen a los individuos que ya se han adaptado a una zona y se consideren excelentes para la producción comercial de caña de azúcar. Entre sus objetivos principales está la búsqueda de variabilidad para la resistencia a enfermedades mayores y su empleo en los programas de obtención de variedades. Hacia este sentido a estado encaminado el quehacer de los genetistas y mejoradores del mundo entero.

Hasta fines del siglo XIX, la caña noble *Saccharum officinarum* era la sola especie cultivada. Hoy en día, las diferentes variedades existentes han sido obtenidas por el cruzamiento de varias variedades salvajes, como el *S. spontaneum*, *S. sinense* y *S. barberi*. Se han podido obtener así híbridos mucho más resistentes a las enfermedades, más tolerantes a las condiciones difíciles y sobre todo mucho más productivos en azúcar. Fruto de numerosos cruzamientos; las diferentes variedades de caña de azúcar, poseen una herencia genética muy compleja. Alrededor del mundo, diversos equipos de investigaciones se esfuerzan en descubrir sus secretos. Los investigadores trabajan desde hace muchos años para poder "enderezar" la carta genética de la caña de azúcar. Gracias a esta carta, ellos tratan de identificar los genes más interesantes y así crear variedades siempre mejor adaptadas y resistentes.

El programa de mejoramiento genético (Rizzo, 1991) por la importancia económica que reviste en Cuba el cultivo de la caña de azúcar, mantiene un rigor científico de ejecución inimitable, con la liberación de las mejores variedades más productivas creando resistencia a las principales plagas y enfermedades. Para éste efecto se realizan campañas de hibridación entre 1.500 a 2.000 cruces anuales, con 1.000 combinaciones de progenitores, aumentando los policruces, aunque los cruces biparentales siguen siendo los fundamentales. El Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA) posee 13 estaciones experimentales, una estación de cuarentena situada al sur del país en la isla de la Juventud y otra de ingeniería agrícola ubicada en La Habana. Se complementa con 57 extensiones científicas experimentales distribuidas desde Pinar del Río hasta Santiago de Cuba, siendo su sede central La Habana. Los Ministerios de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente; de Agricultura y de Educación Superior complementan éstas acciones con sus centros de investigación y laboratorios.

En la colección de germoplasma cubana, Carvajal et al (2002) no se cuenta con una alta disponibilidad de fuentes de resistencia para el carbón de la caña de azúcar, donde solamente la tercera parte de los genotipos de la colección son resistentes.

Ordosgoitti et al (1984) utilizando el método de inoculación artificial por inmersión de esquejes de tres yemas, en una suspensión de  $6 \times 10^6$  esporas por ml, durante quince minutos determinaron el comportamiento de 404 variedades de caña de azúcar al carbón (*Ustilago scitaminea* Sydow) en la Región Central de Venezuela, encontrando que la enfermedad del carbón de la caña de azúcar, dada su alta incidencia sobre las variedades comerciales actualmente utilizadas, constituye una amenaza seria para el futuro de la agroindustria azucarera del país, la metodología utilizada sirve para detectar en forma efectiva los genotipos susceptibles y resistentes a la enfermedad, las pruebas de evaluación deben ser conducidas por dos ciclos consecutivos del cultivo para que sean efectivas en detectar todos los genotipos susceptibles. Esto es necesario, porque a pesar de que la mayoría de las variedades muestran su condición de susceptibles en el primer ciclo, cierta proporción de ellas no se manifiestan como tales sino en el segundo ciclo de cultivo, se recomienda limitar la propagación de las variedades comerciales B 49119, CL 41223, Co 740, EROS, H 382915, NCo 310, NCo 376, RAGNAR y V 63-2 dado a su alto grado de susceptibilidad, debe estimularse la utilización de las variedades B 41227, B 6749, CP 5659, PR 980, PR 61632, V 58-4, V 64-10, V 68-74, V 68-78 y V 68-79, porque además de su nivel de resistencia al carbón presentan características agronómicas deseables, es necesario fortalecer los programas de introducción y muy especialmente de producción de variedades en el país, a fin de poder contrarrestar la amenaza de esta enfermedad, sustituyendo las variedades susceptibles por otras resistentes y con buenas características de producción.

Mohanraj et al(1987) realizaron un estudio para comparar los métodos de inoculación del carbón de la caña de azúcar ( suspensión de teliosporas e introducción de teliosporas en las yemas) . se inoculo la variedad Co1287 y después de realizar los estudios pertinentes concluyen que la introducción de las teliosporas en las yemas es mejor que la suspensión de teliosporas ya que la planta expresa mucho mejor y más claro los síntomas de la enfermedad. En este mismo aspecto trabajaron Pérez y Mauri en 1990 encontrando que la mejor técnica de inoculación es la inmersión de yemas solas, tomadas de la región central del tallo, en una suspensión de  $5 \times 10^6$  teliosporas /ml durante 10 min , recomendando el uso de la variedad b42231 como testigo susceptible, la My55-14 y b4362 como control resistente y la CP52-43 como intermedia ;por otra parte Orellana y Pérez (1990) al comparar 7 métodos de inoculación obtuvieron los mejores resultados con la inmersión de las raíces dañadas en una suspensión de teliosporas de  $5 \times 10^6$  /ml de concentración durante una hora y con la aplicación de polvo de teliosporas a las raíces humedecidas.

Ferreira (1988) realizo un experimento en el cual trozos de una yema pregerminados de seis soma clones fueron inoculados con esporas de carbón de la caña y al ser transplantados mostraron que solo uno de los soma clones fue más resistente que el clon donante, sugiriendo con esto que la variación soma clonal puede ser usada en el incremento de la resistencia al carbón. Sin embargo parámetros como la cantidad de tallos y hojas, así como el volumen de tallos por parcela y el rendimiento estimado de azúcar fueron definitivamente mejores en el clon donante que en los soma clones estudiados.

Padmanaban et/ al en 1988 encontraron que al remover las escamas de las yemas de la caña de azúcar resistente se encontró que los cultivares se tornaban susceptibles. Esto indica un mecanismo de protección por parte de las escamas de las yemas en contra de la invasión del carbón. Las escamas de yemas de variedades susceptibles indican buena germinación de esporas del carbón mientras que escamas de yemas de cultivares resistentes inhiben la germinación de las esporas. Esto indica la presencia de sustancias inhibidoras preformadas en los cultivares resistentes lo que reduce la probabilidad de la germinación de las esporas de carbón. En el cultivar Co 6806 altamente resistente, la remoción de la escama de la yema indujo solo un 1,95 % de carbón , esto muestra claramente que además del mecanismo de resistencia también hay una resistencia a la infección posterior involucrada en el mecanismo de resistencia al carbón.

Venezuela tiene bajo cultivo con caña de azúcar alrededor de 80000 hectáreas, en las cuales se produce un poco menos del 50% de las necesidades totales de azúcar. Entre los problemas de índole agronómico, los más importantes son: Adaptación acelerada del cultivo a cosecha mecanizada, por creciente escasez y alto costo de la mano de obra; plagas, especialmente taladradores (*Diatraea* spp) y "candelilla" (*Aeneolamia* spp) y enfermedades, tales como carbón (*Ustilago scitaminea*), roya (*Puccinia melanocephala*), escaldadura de la hoja (*Xanthomonas albilineans*) y virus del mosaico de la caña de azúcar. A través del mejoramiento gen ético se trata de obtener cultivares adaptados a las variables condiciones del cultivo y con resistencia a estas enfermedades. En los últimos veinte años se han realizado 3636 cruzamientos biparentales y cruces múltiples modificados ("Melting Pot"). De estos se han germinado 879647 plantas, o sea a un promedio anual de 43 982. Existe un nivel de pérdida entre plantas germinadas y transplantadas al campo de 59%. Esto es debido principalmente a problemas de manejo y en menor escala a susceptibilidad al virus del mosaico de la caña de azúcar. A los ensayos regionales van dos de cada diez mil plántulas germinadas después de pasar por cinco fases de selección: 1) Plantas en cajas germinadoras y en macetas, 2) Plantas en el campo, 3) Primer comparativo, 4) Segundo comparativo y 5) Primer ensayo replicado. Para los primeros diez años de cruzamiento del programa, han alcanzado nivel de recomendación siete variedades, de las cuales se están

propagando actualmente tres. Una de ellas (V 64-10) ocupara en 1982 cerca del 2% del área total y junto a las otras dos (V 68-74 y V 68-78) entran en fase de expansión. Todas ellas tienen niveles aceptables de resistencia al carbón, roya, escaldadura y mosaico. Una cuarta variedad (V 63-2) presenta niveles peligrosos de susceptibilidad al carbón. De la fase anterior a 1961 existe una variedad (V 58-4) que por su resistencia a estas enfermedades está siendo utilizada comercialmente(Gonzáles, 1989).

Debido a la alta susceptibilidad de las variedades cultivadas en el Valle del Cauca, Colombia , a la enfermedad del carbón con CP7-603 ocupando el 40% del área produciendo el 92 % de los látigos encontrados en los últimos años se considera imperante la creación de un plan de mejora y el reemplazo de esta variedad con variedades resistentes ( Victoria y Cassalett, 1991).

Rodríguez et al (1991), evaluaron en la región centro occidental de Venezuela la reacción de algunas variedades de caña de azúcar a los patógenos causantes de las enfermedades más importantes. Para tal fin, se determinó la presencia de enfermedades en las áreas cañeras seleccionadas en tres estados y se evaluó la reacción varietal en condiciones de infección de campo, a excepción del raquitismo, para el cual se inocularon variedades según el método utilizado por Tokeshi. Los resultados del diagnóstico indicaron que las enfermedades fungosas más importantes son: roya (*Puccinia melanocephala* H. et P. Sydow), carbón (*Ustilago scitaminea* Sydow), peca amarilla (*Mycovellosiella koepkei* Krüger), mancha de anillo (*Leptophaeria sacchari* S. de Haan), pokkah boeng (*Fusarium moniliforme* Sheldon) y quemado de las hojas (*Stagonospora sacchari* Lo y Ling). Las bacterianas son: escaldadura de la hoja (*Xanthomonas albilineans* Ashby Dowson), raquitismo de la soca (*Clavibacter xily* sub *xily*) y raya roja (*Pseudomonas rubrilineans* Lee et al.). La virosa es: mosaico de la caña de azúcar (SCMV). El trabajo determinó que existen variedades resistentes a las enfermedades fungosas y virales, tales como: PR 61632, C 32368,V 71-51,V 71-39, V 71-33,V 74-7 y CP 742005. De los materiales evaluados se encontró que las variedades CP742005 y PR61632 fueron resistentes y moderadamente resistentes, respectivamente, al raquitismo de las socas. Esta enfermedad, junto con el mosaico, produce pérdidas estimadas en 40% de la producción.

Victoria y Cassalett en 1991 desarrollaron una metodología para la inoculación de los patógenos causales del carbón, roya y mosaico de la caña de azúcar, enfermedades contra las que se está buscando resistencia en variedades importadas y materiales nacionales. Los resultados indicaron que tan solo el 30.6 % de 379 variedades importadas combinaron la resistencia a las tres afectaciones ; en el caso de los materiales nacionales, donde anualmente se evalúan alrededor de 160000 plántulas por año, se a encontrado que el 76.5 % ha presentado resistencia combinada a las tres enfermedades.

Irvine (1994) plantea que los métodos tradicionales de mejora (cruzamientos) han dado muy buenos resultados pero debido a las limitaciones económicas ha surgido la necesidad de introducir nuevas técnicas que ahorren tiempo y dinero. Una de estas tecnologías ha sido el mapeo del genoma de caña de azúcar con marcadores moleculares iniciado en 1988, esto en principio fue cuestionado debido al gran número de cromosomas y al elevado nivel de ploidia y a la gran cantidad de ADN moleculares. Se ha comprobado que es posible su uso y que cuando los marcadores moleculares se asocian a los genes y a sus caracteres expresables, estos pueden ser utilizados para identificar progenitores y progenies por un gen deseado. Esto pudo realizarse con menor inversión y tiempo y mayor precisión que la aproximación tradicional. En resultados resientes de los proyectos de mapeo se plantea que se encontró un marcador molecular que esta ligado a una enfermedad específica controlada

por un solo gen, una vez que esto se confirme en una población segregante con individuos susceptibles y resistente, este marcador evidenciaría que los marcadores moleculares podrían ser valiosas herramientas utilizables por los mejoradores para seleccionar progenitores y progenia. En la medida que más marcadores se desarrollen y se asocien con genes, podremos localizar con mayor precisión el gen, extraerlos con enzimas de restricción, clonarlos en un plásmido y transferirlo a otra planta mediante técnicas de transformación. Esto reducirá el arrastre genético, situación que se produce cuando el mejorador efectúa cruzamientos con los cuales se transfiere los genes indeseables ligados a genes de interés.

En la búsqueda de la resistencia a una determinada enfermedad existen muchos métodos y factores que intervienen para que la cuantificación de la reacción sea lo más auténtica y así tener la mayor confiabilidad en el resultado obtenido. El método tradicional utilizado en Venezuela para probar la resistencia varietal al hongo del carbón de la caña, *Ustilago scitaminea* Sydow, consiste en la inoculación por inmersión de esquejes de las variedades a probar, en una suspensión acuosa de esporas del hongo en una alta concentración. Este método resulta muy drástico en la infección dado que se eliminan materiales con resistencia intermedia que poseen algunas otras características agronómicas deseables y además tampoco se pueden detectar otros mecanismos de control (escape) propios de la planta. Debido a la alta concentración del inóculo se produce una alta incidencia de la enfermedad en plantilla lo cual dificulta el reconocimiento de la reacción en diferentes etapas de la plantación.

Por todas estas razones se hace necesario el perfeccionamiento del sistema evaluativo de esta enfermedad en este país ( Hernan et al, 1995 ).

En estudio realizado de las características de la yema por Tomeu et al (1998) se obtuvo como resultado que las variedades que presentan características tales como: yemas con ápice por debajo del anillo de crecimiento, deprimidas y sin canal van a manifestar un mayor grado de resistencia al carbón en condiciones naturales y aquellos progenitores que teniendo características contrarias (ápice por encima del anillo de crecimiento, abultadas y con canal largo y profundo) y no resulten susceptibles a este patógeno van a constituir un material de gran interés para los trabajos de mejoramiento.

Los resultados de un estudio integral realizado por Piñón (2002) demostraron que existen factores preformados e inducidos que pueden ejercer su acción en las diferentes faces infectivas del hongo *Ustilago scitaminea* dentro de la planta. Las yemas con ápices por debajo del anillo de crecimiento, deprimidas, sin canal, con un mayor número de capas escamosas y tricomonas no favorecen la penetración y desarrollo del patógeno actuando como barreras de resistencia. La presencia de sustancias inhibitorias de la germinación de las teliosporas en mayor concentración en variedades resistentes, así como de fenoles y de lignina, evidencia otros mecanismos donde se involucran enzimas hidrolíticas y oxidativas, estas últimas relacionadas con el aumento de distintos grupos fenólicos. Otros hallazgos demuestran que en las plantas donde algunas de estas barreras no están presentes se agudizan los trastornos citopatológicos, detectándose un aumento en el número de gránulos posiblemente de ribosomas, así como de retículo endoplasmático. En variedades de caña susceptibles la infección va seguida de un notable incremento de putrescina libre en yema. La espiroidina también aumenta siguiendo el mismo patrón de comportamiento, aunque en este caso las fracciones conjugadas son las que denuncian la progresión del hongo en el tejido. Finalmente se plantea un enfoque integral sobre la conducta fisiológica de las variedades que coadyuvará al desarrollo del mejoramiento genético de esta enfermedad.



La vía tradicional de obtener variedades de caña de azúcar para uso comercial en Costa Rica, se ha basado en la introducción, evaluación y selección de clones importados, procedentes de otros países de reconocida trayectoria cañera. La participación y el papel cumplido por DIECA en este importante proceso, ha sido determinante durante los últimos 17 años (1982-1999). Procurando incrementar la variabilidad genética y con ello, la probabilidad de identificar clones adecuados a las condiciones existentes en las regiones cañeras de ese país DIECA ha introducido en ese período un total de 685 materiales procedentes de 22 países diferentes, muchos de los cuales son hoy día variedades de amplio uso comercial.. La información demuestra que la introducción de clones, se ha realizado mediante un proceso continuó y sistemático durante todo el periodo. La mayor parte de los clones introducidos proceden de los Estados Unidos, Brasil y México (68,17%). Existe gran diversidad en las características del material introducido, lo que asegura variabilidad y mayor probabilidad de adaptación y selección( Dúran 1990 y Duran y Chávez, 1999).

Balance et al (2000) han implementado en Cuba un sistema evaluativo de la resistencia a las principales enfermedades de la caña de azúcar (SERECA) dado que estas y su manejo epidemiológico constituyen un aspecto básico que influye directamente sobre los niveles de producción cañera,

Rezo (2000) en un informe señala que en la Estación Experimental de la caña de azúcar (Canal Point, Florida, USA) se ve la transformación genética como instrumento poderoso para la mejora de la caña de azúcar, ya que permite: la transferencia de nuevos genes útiles para la resistencia a plagas y enfermedades o genes para azúcares con valor añadido, la inactivación de genes dañinos conocidos de la caña de azúcar, los cambios moleculares de genes requeridos solamente en circunstancias especiales, la prueba de hipótesis sobre factores genéticos que limitan el rendimiento y la alteración específica de genes existentes con el fin de modificar pautas de expresión o productos.

### **Evaluación económica.**

La ocurrencia del carbón de la caña de azúcar (causado por *Ustilago scitaminea*) durante un estado temprano de crecimiento del cultivo (de los 40-60 días) causa la pérdida total del mismo, a los 80-120 días resulta en 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. (Anónimo, 1986)

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

La Asociación Africana del Azúcar (1988) estudio variedades altamente resistentes al carbón y variedades susceptibles; partiendo de su resistencia y susceptibilidad bajo condiciones de infección natural. Se les inoculo el patógeno y se demostró que las plantas de variedades resistentes no disminuían su rendimiento mientras que las plantas de variedades susceptibles si .

Amer et al (1988) reporto que en caña planta puede perderse 0,46 t/ha por cada 1% de infección de los tallos con la enfermedad del carbón de la caña de azúcar.

Valladares y González (1990) señalan que la reducción en las cualidades y rendimiento causadas 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 y Suárez (1998) reportaron que las pérdidas económicas estimadas debido a los daños originados por el carbón en la UBPC La Josefa en la 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 abra que añadir los gastos indirectos que se paga por salario al personal que efectúa el entresaque y quema de las plantas enfermas.

## **Bibliografía.**

- Anónimo. 1986. *Smut disease in sugar cane Sugar Cane* . 3. Mayo – Junio. P 25-28 .
- Amer, J. 1988. *Yield loses in sugar cane variety c126-260 due to sugar cane smut in Floida. Sugar Cane*. 1.Enero- Febrero: p.13-16.
- Ayala G. F y R. Martín Sánchez. 2000. Resistencia varietal a la enfermedad del carbón de la caña de azúcar. Cámara nacional de las industrias azucareras y alcoholeras. México. 83 p.
- Balance, M. C; R, Gonzáles ; A, China. 2000. Sistema evaluativo de la resistencia a las principales enfermedades de la caña de azúcar. Cuba & Caña. 33p.
- Carvajal, O.; G. Pérez y A. China. 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
- China, M. A. y Eida L Rodríguez Lema.1994. Enfermedades de la caña de azúcar. INICA. C. Habana. Cuba. 99p.
- DIECA. 1995. Hoja divulgativa No 77. Ministerio de la agricultura y la ganadería. Liga agrícola de la caña de azúcar. Costa Rica.
- Durán , J. R. 1990. Origen del material genético de caña de azúcar introducido por DIECA desde 1982 hasta 1989. Costa Rica.
- Duran, J. R y M. Chávez. 1999. Origen del material genético de la caña de azúcar... . DIECA- LAICA.
- Ferreira, S. A. 1988. *Somaclonal variation to enhance smut resistanse. Sugar Cane*. 4. Julio – Agosto: p. 18-21.
- Goldman, M y J. Amer. 1988. *Colonial and celular morpholigy of esporidia of Ustilago scitaminea. Sugar Cane*. 1. Enero – Febrero: p. 15-18.
- González, R; Ángela Tomeu; F. De Prada y A. Delia. 1998. Relación entre caracteres morfológicos de la yema y el grado de resistencia de la enfermedad del carbón en la caña de azúcar. Cuba & Caña. 1. Enero – Abril: p . 45.
- González, V. R. 1983. Mejoramiento genético de la caña de azúcar en Venezuela. Caña de azúcar. 1(2). P 41-46.
- Hernán . N , H . H Rodríguez y L . Alemán. 1995. Evaluación de la reacción de cultivares de caña de azúcar al carbón ( *Ustilago scitaminea sydow*)*Caña de azúcar*. 13 (01) 31-47.

- Hoy, W. J ; M . P , Gresham y G . T . A Brenda. 1987. *Effect of Louisiana growing conditions on the overwintering of smut – infected sugar. Sugar Cane*.3. Mayo – Junio. P 26 – 27.
- Hoy, W. J y L. B Grelen. 1988. *Overwintering of smut infected sugar cane in Louisiana .Sugar Cane*. 1. Enero – Febrero. P 29.
- Hughes, C.G.; Abbott, E. V. y Wismer, C. A. 1961. *Sugar Cane Deseases of the World. USA*. V1.541p
- Irvine, J. E. 1994. Nuevas tecnologías utilizadas en el mejoramiento genético de las plantas cultivadas. *Avance Agroindustrial*. Tucumán. Argentina. 11(56). p13.
- Momol. M .T. 1990. *Epidemiological evaluation of resistance in the sugar cane smut pathosystem.Sugar Cane*. 6. Noviembre – Diciembre. p 15-16.
- Olufolagí . B. 1987. *Yield loss through cane smut in Nigeria . Sugar Cane . 2*. Marzo – Abril. p 21.
- Ordosgoitti . A ; V . Gonzáles y A. Ponte. 1982 El carbón de la caña d azúcar en Venezuela. *Agronomía tropical*. 31 (1-6).p 301-307.
- Ordosgoitti. A, V. Gonzáles y A. Aponte. 1984. Reacción de variedades de caña de azúcar al carbón en la región de Venezuela. *Caña de azúcar*. 2(1). p 5-29.Venezuela.
- Orellana , P. A y J. Pérez. 1990. *Evaluation of the resístanse of sugar cane plantlets to the fungus Ustilago scitaminea Sydow. Sugar Cane*. 6. Noviembre- Diciembre . p 23- 25.
- Padmanaban . P. 1988. *Mechanism of smut resistance in sugar cane. Sugar Cane*. 6. Noviembre – Diciembre. p 20-22.
- Pérez, L y F. Mauri. 1990. *Efectiveness of treatment with systemic Fungicides in the triazole group on Ustilago scitaminea Sydow, causal agent of cane smut. Sugar Cane*.5. Septiembre – Octubre. p 32.
- Pérez, L y F. Mauri. 1990. *Factors affecting the reaction of sugar cane clones in test on artificial inoculation with Ustilago scitaminea Sydow. Sugar Cane*\_6 . Noviembre – Diciembre. p 5 – 7.
- Piñón Gómez, D. 2002. Resistencia varietal al carbón de la caña de azúcar: Un enfoque fisiopatológico. 1er Simposio linternacional de vigilancia fitosanitaria y su relación con la protección al entorno. p. 165 – 166.
- Rezo. P. 2000. La estación experimental de la caña de azúcar “Canal Point” en EEUU. Serie agrícola. Edición especial.
- Rizzo, P. 1991. Azúcar servicio de información agropecuaria del ministerio de agricultura y ganadería del ecuador. Ecuador.
- Rodríguez, H. A , H. Nass y L . Alemán. 1991. Situación actual de las enfermedades de la caña de azúcar en Venezuela. *Caña de azúcar*. 9 (02). p 99-109. Venezuela.
- Suárez . H. J.1998. Variedades resistentes al carbón . *Cañaverl*. 4 (4). Octubre-Diciembre. p 24.
- S. African Sugar Asociation. 1988. *Susceptibility of varietis to smut. Sugar Cane*. 5.Septiembre – Octubre. p 18- 20.
- Torres, J. P; B . Verano; N . Moya; S. Rodrigues ; J . Acosta y M. Caballero. 1989. *Fitotecnia de la caña de azúcar . ENPES*. Cuba.
- Valladares, F y R. Gonzáles. 1990. *Depressive effect of sugar cane smut (Ustilago scitaminea Sydow) on quality and yield. Sugar Cane*. 5. Septiembre – Octubre. p 28.
- Victoria , J. L. 1990. Importancia del carbón de la caña de azúcar en Colombia y su estrategia de control. *Sugar Cane*. 5. Septiembre – Octubre. p 15 – 18.
- Victoria, J. L y C. Cassalet. 1991. Resistencia a enfermedades de la caña de azúcar en Colombia. *Sugar Cane*. 2. Marzo – Abril. p 26-29.
- Victoria, J. L y C. Cassalet. 1991. *Cane smut : need for change in variety. Sugar Cane*.1. Enero – Febrero. p 19-21.

- Vir. S y M . S Binivall. 1988. *Control of seett- borne infections of gras Shoot disease and smut of sugar cane throug moist hot air therapy. Sugar Cane. 6. Noviembre – Diciembre. p 16-18.*