

**DIRECCION DE INVESTIGACION Y
EXTENCION DE LA CAÑA DE AZUCAR**



D. I. E. C. A.

**EL CARBON DE LA CAÑA DE AZUCAR
(Ustilago scitaminea Sydow) EN COSTA RICA**

ING AGR. ROBERTO ALFARO P.

**GRECIA COSTA RICA
NOVIEMBRE 1994**

Ing. Agr. Roberto Alfaro Portugal. Programa Agronomía. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar DIECA-LAICA. Teléfonos: 24-94-1129/24-947555, e-mail: ralfaro@laica.co.cr

CONTENIDO

	<u>Página</u>
Historia y Distribución	1
Organismo Causal	3
Ciclo de Vida	5
Transmisión	9
Morfología y sitomatología	9
Razas	11
Importancia Económica	12
Prevención y Control	17
Estado Actual y Evaluación del Carbón en Costa Rica	26

HISTORIA Y DISTRIBUCION

El carbón de la caña de azúcar se reportó por primera vez en el año de 1877 en Natal, Sudáfrica, con el inicio del cultivo en ese país, propagándose posteriormente a otros países cañeros del mundo. Durante algún tiempo se le conoció como Ustilago sacchari Rubén, pero Sydow en 1924 descubrió que el hongo era distinto y lo reclasificó como Ustilago scitaminea sydow, tal como se le conoce hoy día (LOVICK 1978).

En América esta enfermedad apareció en 1940 en Argentina en las variedades POJ-36 y POJ-213; entre los años 1944 y 1948 se trasladó a Brasil, Paraguay y luego a Bolivia, hasta que en 1974 se manifestó en Guyana en la variedad H 57-41. (FLORES; OSADA, 1981).

En el año 1979 la enfermedad se hizo presente en países caribeños como Trinidad y Tobago, Jamaica, Cuba y Puerto Rico, entre otros. Posteriormente se reconoció en Centroamérica donde atacó en Nicaragua las variedades L 60-14 y CP 65-57 (FLORES 1977).

En Costa Rica el patógeno apareció en el mes de mayo de 1981 en plantaciones del Ingenio Taboga, ubicado en Cañas provincia de Guanacaste, en una área aproximada de 60 hectáreas cultivadas con las variedades L 60-14 y NCo 310.

La aparición de estos primeros focos de infección, se estima que se debieron al traslado de esporas del hongo por parte de trabajadores nicaragüenses que ingresaron a efectuar la corta de caña. Una semana después la enfermedad se localizó en un cañal de 40 hectáreas propiedad de Hacienda El Palmar, provincia de Puntarenas, en la variedad L 60-14. Un mes después la enfermedad apareció en varias fincas de Azucarera El Viejo y Central Azucarera Tempisque S.A. (CATSA) en Liberia, provincia de Guanacaste, en las variedades NCo 310 y B 60-125.

Al año siguiente el carbón se desplazó al Valle Central donde apareció en las localidades de La Guácima, San Rafael de Ojo de Agua y Grecia, provincia de Alajuela, en las variedades L 60-14, H 44-3098, B 47-44, B 60-125 y B 50-135.

El desarrollo de la enfermedad se detuvo parcialmente hasta mayo de 1983, apareciendo de nuevo en Santa Eulalia de Atenas y Tacares de Grecia, localidades de la misma provincia en las variedades B 47-44, B 59-23 y H 44-3098.

Posteriormente en un avance progresivo aparece en 1984 en Hacienda El Porvenir y el caserío del Poró de Grecia, en las variedades Co 421 y H 44-3098 las cuales estaban distribuidas ampliamente en la zona por su gran uso comercial. (CHAVES, 1984).

En la figura 1 se detalla la distribución de la enfermedad a las diferentes zonas cañeras del país posteriormente a su ingreso.



Figura 1. Distribución de la enfermedad del carbón de la caña de azúcar (*Ustilago scitaminea*) en Costa Rica posterior a su aparición.

Debido a la elevada susceptibilidad presentada por las principales variedades comerciales en Costa Rica en esos momentos, las pérdidas iniciales fueron cuantiosas. La rápida introducción, evaluación y distribución de nuevo material genético tolerante por parte de la sección de caña del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) en principio y luego por la Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), se logró sustituir en gran parte dichas variedades, por lo que las pérdidas ocasionadas por esta enfermedad en los años siguientes a su aparición fueron relativamente pocas, situación que aún se mantiene vigente.

ORGANISMO CAUSAL

El hongo causante de esta enfermedad pertenece a la clase Basidiomicetes (hongo en masa), a la subclase Heterobasidiomicetes, al orden Ustilaginales y a la familia Ustilaginaceas.

El ciclo del hongo figura 2 inicia con la formación y proliferación de las esporas del hongo en masas compactas y en una estructura alargada denominada "látigo". Se estima que cada látigo puede producir alrededor de cinco mil millones de esporas, las cuáles son más o menos redondas, espinosas y de color marrón, casi negro y con un diámetro entre 11 y 35 micras como lo señala ESQUIVEL, 1984.

Estas esporas se llaman clamidosporas y se caracterizan por presentar una pared gruesa y desarrollarse en estructuras definidas llamadas soros lo que las hace resistentes al ambiente.

Una vez que son liberados al medio se esparcen en el campo, reinfectando la cepa madre y los nuevos tallos que esta produce (ciclo secundario) o infectando los tallos de plantaciones cercanas. Si los tallos infectados son utilizados como semilla, después de sembrarlos inicia el siguiente ciclo de infección. Cuando las condiciones ambientales son las apropiadas las esporas germinan emitiendo una estructura tubular llamada promicelio, la cual al crecer se divide transversalmente en cuatro núcleos haploides formando los esporidios que son estructuras de forma oval y puntiaguda en sus extremos, con capacidad de copular directamente entre sí para multiplicarse y formar las basidiosporas que son las responsables de penetrar el tejido nuevo por la parte inferior de las yemas, bajo las escamas. Una vez dentro del tejido meristemático estas se propagan mediante la unión sexual, formando de nuevo los látigos carbonosos "ciclo primario". ROBERTS; BOTHROYD 1978).

La infección de los tallos de la caña como se mencionó ocurre solamente a través de las escamas, hasta alcanzar el tejido y la generación posterior de los látigos. Una vez que estos emergen cubiertos hasta por 100.000.000 billones de

esporas, éstas se dispersan por diferentes medios hasta alcanzar otros tallos y yemas para iniciar de nuevo el ciclo de la enfermedad, como se indica en la figura 2. Una vez infectada la yema se inicia el crecimiento del micelio del hongo mantiene también su desarrollo al mismo paso que el crecimiento vegetativo de la planta, el estímulo producido es suficiente para iniciar posteriormente la formación del látigo en la yema terminal. Estos látigos por lo general, crecen durante un lapso de aproximadamente tres meses y durante este período los tallos enfermos pueden aumentar su altura en 1,5 a 2,0 metros, lo que significa un mayor crecimiento que el de los tallos sanos. (LOBICK, 1978).

La fase parasítica de este hongo se inicia con la germinación de las esporas que se encuentran en la yema. Sin embargo, la infección propiamente se inicia sólo después que la hifa infecciosa llega a la condición dicariótica.

Las yemas tiernas sobre todo las pertenecientes a la sección media del tallo son más susceptibles a la infección, así lo demuestra el cuadro 1 en una prueba realizada al respecto y donde las yemas de la porción superior de los tallos de caña, resultaron con un mayor porcentaje de infección 83,9% (LAICA-GEPLACEA, 1981).

Cuadro 1. Evaluación del porcentaje de infección del carbón, según sección del tallo de la caña de azúcar.

Tratamientos	% infección
Sección basal	23,6
Sección media	47,2
Sección superior	83,9
Muestra uniforme	61,2

Fuente: LAICA - GEPLACEA, 1981

La yema infectada puede producir por su parte látigos carbonosos o el micelio permanecer latente, lo que da la posibilidad de que en un mismo trozo de semilla se presenten simultáneamente tallos sanos y tallos enfermos.

Este hongo no es un parásito obligado, ya que puede ser cultivado en medios artificiales como agar papa, destroza (PDA) y otros medios similares. Por su incapacidad de utilizar la celulosa y el almidón se ha demostrado que la dextrosa es el principal nutriente del hongo, en medios artificiales, el crecimiento de este hongo en estos medios es levaduriforme y forma colonias bastante lisas de color blanco o gris.

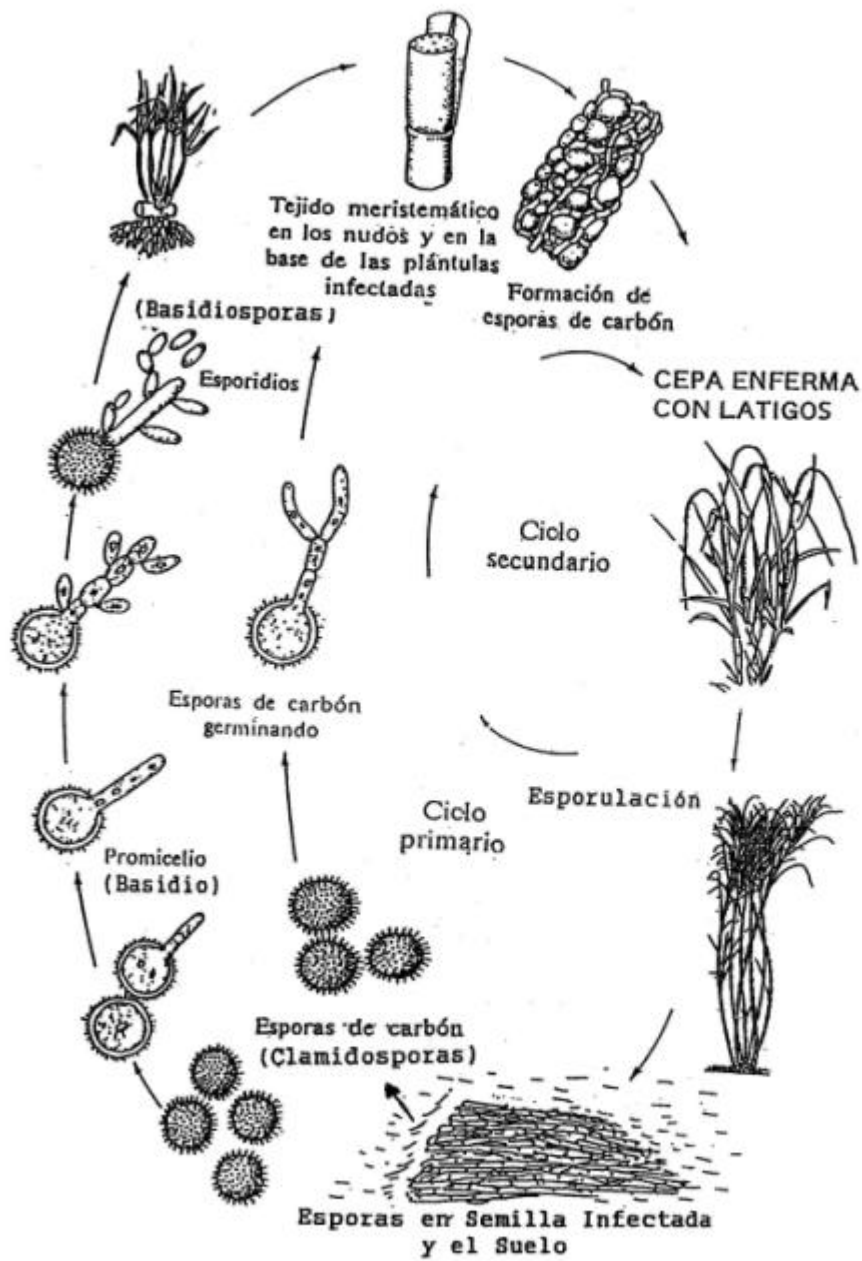


Figura 2. Ciclo de vida del carbón (*Ustilago scitaminea* Sidow) de la caña de azúcar (adaptación de Roberts 1979).

Relación Patogeno-Ambiente, la temperatura y la humedad juegan un papel muy importante en el desarrollo de la enfermedad, por lo tanto para conocer a fondo su efecto se tomaron para un ensayo esporas de látigos carbonosos maduros con la membrana plateada intacta y se observó que a temperaturas menores de 25° C, hay un mayor porcentaje en germinación en promicelio que en tubo germinativo, lo que limita el desarrollo del patógeno en forma significativa como lo señala ESQUIVEL, 1984).

Por otra parte, cuando se evaluó temperaturas superiores a los 25°C se alcanzo una mayor germinación en los tubos germinativos favoreciendo la infección, debido a su capacidad de penetrar directamente en la yema como se observa en los resultados del cuadro 2. (LAICA-GEPLACEA, 1981).

Cuadro 2. Efecto de la temperatura sobre la intensidad y tipo de germinación de las teliosporas de Ustilago scitaminea Sydow.

Temperatura °C	% Germinación		
	Promicelios	Tubos Germinativos	Total
5	0,00	0,00	0,00
10	3,33	0,00	3,33
15	45,50	0,00	45,50
20	82,50	14,00	99,50
25	25,50	74,50	100,00
30	21,80	78,20	100,00
35	23,20	76,70	100,00

Fuente LAICA GEPLACEA, 1981.

Las condiciones climatológicas influyen significativamente en la incidencia del carbón; por ejemplo, la humedad y la temperatura son factores muy importantes para que el hongo germine y se desarrolle plenamente. Se estima que temperaturas de 25-30 °C y una humedad relativa de 90 a 100%, son ideales para que ocurra la infección; mientras que para una buena dispersión es necesario temperaturas de 22 a 24 °C con 50 a 60% de humedad relativa. (FLORES; OSADA, 1981; ESQUIVEL, 1984).

Un balance del efecto de la temperatura y la humedad sobre la capacidad de infección, señala que la alta temperatura es más importante que la falta de humedad, así lo indica el cuadro 3, donde al evaluar diversas temperaturas sobre el desarrollo de colonias del hongo estas crecieron más a temperaturas entre 30-35 °C. En climas cálidos con precipitaciones pluviales escalonadas de 25 a 75 mm, la intensidad de infección aumenta principalmente en los meses de mayo a julio (ESQUIVEL, 1984).

Cuando hay suficiente humedad en el suelo, las esporas germinan aproximadamente a las 43 horas y permanecen viables de 6 a 7 meses, manteniendo su poder de germinación hasta que haya humedad apropiada. Si las esporas del suelo germinan y no encuentran al huésped, éstas mueren 60 días después aún si el suelo está húmedo (ESQUIVEL 1984).

Durante la estación seca un gran número de esporas se acumulan en el suelo y al llegar la estación húmeda germinan e infectan fácilmente los brotes o yemas en desarrollo (LAICA-GEPLACEA 1981).

Cuadro 3. Efecto de la temperatura sobre el crecimiento (mm) de colonias del hongo *Ustilago scitaminea* en un medio de PDA (papa, dextrosa, agar).

Temperatura °C	Días de incubación						
	3	4	5	6	7	8	9
5	-	0,0	0,0	3,3	3,5	4,0	4,0
10	-	0,0	0,0	4,8	5,5	5,5	5,5
15	4,0	4,0	5,1	8,0	8,6	8,8	8,8
20	-	5,0	6,3	9,2	10,5	10,5	11,0
25	-	6,0	8,0	15,0	16,0	16,0	16,0
30	-	7,8	9,8	19,2	19,2	15,3	16,0
35	-	5,0	6,0	7,0	7,0	7,6	8,3

Fuente: ESQUIVEL 1984

El efecto de la humedad relativa en la germinación se determinó usando diferentes soluciones de sales minerales y otros compuestos. Los resultados obtenidos mostraron que la humedad relativa en la germinación se determinó usando diferentes soluciones de sales minerales y otros compuestos y que la humedad relativa debe ser superior al 98,5% para que ocurra la germinación (cuadro 4). Esto significa que las esporas no necesariamente necesitan agua libre para germinar (LAICA-GEPLACEA, 1981).

Cuadro 4. Efecto de la humedad relativa sobre el porcentaje de germinación de las esporas del carbón de la caña de azúcar (*Ustilago scitamineas*).

Humedad Relativa (%)	Periodo horas	
	24	48
100	100	100
98,5	20	100
96,1	0	0
92,1	0	0
85,0	0	0
82,9	0	0
75,0	0	0

Fuente: LAICA-GEPLACEA 1981

Con el objeto de determinar la longevidad de las esporas en diferentes condiciones ambientales, se realizaron varias pruebas y se determinó que manteniendo a estas secas en cloruro de calcio a temperatura ambiente, su viabilidad germinativa se conserva hasta por 6 meses. El desarrollo y multiplicación de las esporas del hongo en forma artificial es muy importante para conocer a fondo sus características, por lo que se ha estudiado el crecimiento de las colonias en diferentes medios como se observa en el cuadro 5, donde el patógeno se desarrolló bien en todos los medios, pero el máximo crecimiento se obtuvo a los 9 días en los medios PDA, harina de maíz-agar y C. Zapeck. (LAICA-GEPLACEA; 1981). Como se aprecia en ese cuadro, en PDA el crecimiento empieza a ser notable a partir del tercer día de efectuada la inoculación.

Cuadro 5. Crecimiento en milímetros de las colonias de *Ustilago scitaminea* en diferentes medios de cultivo.

Medios	Días posteriores a la inoculación						
	3	4	5	6	7	8	9
PDA	0,60	2,12	4,00	5,5	6,30	7,0	7,61
Avena- agar	0,25	1,25	2,75	4,0	4,00	5,0	5,00
Harina maíz-agar	0,25	2,37	4,00	5,5	7,00	7,0	7,50
C. Zapeck	0,00	0,87	2,00	3,0	4,00	7,0	7,50
Malta-agar	0,25	1,75	2,66	4,0	4,33	5,5	5,66

Fuente: LAICA - GEPLACEA, 1981

El hongo se propaga por **TRANSMISION** diversos medios siendo los más importantes los siguientes:

1. La dispersión de las esporas por el viento, las cuales al llegar a las hojas de la caña son arrastradas por rocío o la lluvia leve hasta las yemas, a partir de donde el micelio penetra. En lugares donde las lluvias son constantes y sobre todo muy fuertes, éstas actúan como un medio natural de control ya que se encargan de arrastrar esporas antes de que logren infectar a la planta.
2. Por el arrastre de las esporas que se encuentran en el suelo, por parte de las corrientes de agua de riego y de lluvia, aún si estos son leves un medio importante para que las esporas alcancen las yemas de la caña recién sembrada, así como también a las yemas subterráneas de socas y resocas.
3. Por el transporte de esporas en residuos de cosecha de lotes infectados como: cogollos, tallos, hojas y raíces.
4. Por la propagación de esporas por el hombre a través de su ropa y zapatos, además por aves e insectos.
5. Por la siembra de semilla de caña enferma (FLORES; OSADA, 1981).

SINTOMOTOLOGIA DE LA CAÑA DE AZUCAR.

La caña de azúcar desarrolla dos tipos de tallos: el subterráneo denominado rizoma, macolla o cepa el cual es de tipo definido o determinado y el tallo aéreo; que es el que se aprovecha para la extracción del azúcar.

El tallo aéreo se desarrolla a partir de las yemas del tallo subterráneo cuando este como esqueje se coloca en un medio adecuado para la germinación. Este primer tallo producto de la propagación asexual se denomina tallo primario, el cual a su vez movilizará las yemas de su porción basal, para formar nuevos tallos llamados secundarios y de igual forma estos a su vez movilizaran sus yemas basales para formar tallos terciarios hasta conformar la cepa o macolla antes mencionada.

Para que este proceso sea normal es indispensable que diversos factores ambientales manejo y sanidad sean los óptimos. (MARTIN, O, JR; et. al. 1987).

Cuando una cepa de caña contrae la enfermedad desde el inicio de su desarrollo, los retoños detienen significativamente su crecimiento, presentando el aspecto de una cepa de "Zacate Guinea" (Panicum maximun), las plantas enfermas se pueden

reconocer por sus hojas pequeñas, angostas y tallos delgados con largos entrenudos. Aunque los tallos producidos principalmente los primarios pueden ser industrialmente molederos nunca alcanzan su tamaño normal. (ANONIMO 1979).

Longitud y Diámetro del Tallo

El tallo de la caña se encuentra formado por canutos, los cuales a su vez se componen de nudos y entrenudos.

El entrenudo es la porción del tallo limitada por dos nudos, lo que convierte a cada canuto en una unidad, cuya longitud esta limitada por factores internos o externos entre los cuales la enfermedad del carbón juega un papel determinante.

La tendencia de los canutos de adquirir una longitud determinada esta intimamente asociada al periodo de crecimiento, y este a su vez se encuentra definido tanto por las características de la variedad como por factores ambientales y problemas patológicos.

El diámetro de los entrenudos presentan una tendencia determinada por lo general son más gruesos en su parte basal del tallo, van disminuyendo en grosor a medida que asciende en altura hasta alcanzar un valor constante, para comenzar, a partir de la parte media del tallo con un decrecimiento gradual hasta el apice. Este comportamiento esta correlacionado con la longitud de los canutos o entrenudos como fue descrito antes por lo que aquellas cepas enfermas de carbón presentan tallos muy delgados con entrenudos largos y con un alto contenido de fibra. (MARTIN, O, JR; et. al. 1987).

Síntomas fácilmente identificable es la formación de un apéndice que semeja un látigo que nace de la parte terminal del tallo infectado y mide desde 1 cm de diámetro hasta 1,20 metros de largo o más.

Este látigo no se ramifica y al principio como se mencionó se encuentra cubierto por una fina membrana de color blanco grisáceo, cuando alcanza su estado de madurez se rompe y libera millones de esporas negras que son propagadas por el viento (FLORES, 1977).

Posterior a la aparición de la enfermedad se observan alrededor de los tallos sanos algunos pocos látigos. En esta primera etapa de infección el número de látigos puede oscilar alrededor de 250 o menos por hectárea, cantidad que no afecta el rendimiento agroindustrial aunque es de esperar que en el próximo retoño el número de látigo varíe entre 500 y 25000 por hectárea, aproximadamente, lo que si provoca serios problemas de carácter técnico y económico. (FLORES; OSADA 1981).

Cuando los tallos cambian del estado vegetativo al reproductivo el desarrollo terminal cesa y las yemas abajo de la espiga brotan. Con la aparición del látigo se pierde la dominancia apical y las yemas inferiores del tallo producen brotes laterales o "lalas" que aumentan los contenidos de materia extraña en la cosecha, y por lo tanto un menor rendimiento industrial.

En algunos casos el carbón puede presentar síntomas poco usuales como desarrollo deforme de los tallos, multiplicación desmedida de yemas o enrojecimiento de los tejidos de los entrenudos (ANONIMO 1979).

RAZAS

Durante muchos años se sospechó de la existencia de razas del hongo, ya que variedades con probada resistencia a esta enfermedad, aparecían repentinamente como altamente susceptibles, lo que conllevó a la realización de diversos estudios hasta comprobar la existencia de al menos dos razas patogénicas conocidas como "A" y "B".

En Hawai existen estas dos razas y se puede asegurar que con bastante certeza que la raza Centroamérica y del Caribe es la raza "B" (cuadro 6). Es importante destacar que la raza "A" y algunas otras no existen aparentemente en estas latitudes (LAICA-GEPLACEA, 1981).

Cuadro 6. Reacción al carbón de 11 variedades de origen hawaiano en varios países.

PAIS	Reacción Varietal al Carbón										
	44-3098	50-7209	53-1447	54-775	57-5174	59-2122	60-1102	60-3865	60-4657	60-5657	54-4499
BRASIL	S	I	S	-	I	S	-	I	S	-	S
JAMAICA	S	S	-	R	S	-	-	-	-	S	-
FILIPINAS	S	S	S	R	S	-	S	S	R	S	S
RODEZIA	S	S	R	R	R	R	-	-	-	I	-
TAIWAN	S	R	S	S	-	R	R	R	R	R	I
HAWAII											
RAZA A	S	R	S	I	R	R	S	R	R	R	R
RAZA B	S	S	S	I	S	S	R	R	R	I	S

R = Resistente 0 - 15% de infección.
 I = Intermedio 0 - 25% de infección.
 S = Susceptible 26 - 100% de infección.

Fuente: (LAICA-GEPLACEA 1981)

IMPORTANCIA ECONOMICA

Por lo expuesto el carbón de la caña de azúcar es una de las enfermedades más graves en ese cultivo y los daños que ocasiona están en relación directa con el área sembrada de variedades susceptibles; por tal motivo, cuanto mayor sea el área cultivada de éstas mayor será el efecto en los rendimientos y finanzas de la empresa.

Diversos países que han afrontado el problema indican que las pérdidas ocasionadas por esta enfermedad, fluctúan desde valores insignificantes hasta niveles altos y estos varían en los diferentes países; por tal motivo, no ha sido tarea fácil cuantificar las pérdidas que causa el carbón, en razón de que los daños son anotados como incidencia de la enfermedad expresada en porcentaje de tallos o cepas enfermas, en vez de un porcentaje de pérdidas en las toneladas de caña producidas.

La incidencia del carbón y la magnitud de las pérdidas dependerán de varios aspectos como:

1. Del comportamiento de las variedades que se cultivan, es decir, del grado de resistencia o susceptibilidad que presente cada uno de los clones.
2. De la forma en que se realiza la infección, ya que las pérdidas serán mayores cuando se propaga semilla enferma o se utiliza variedades susceptibles en suelos infectados por la enfermedad.
3. De la edad de las cepas enfermas, puesto que las pérdidas aumentan con la edad y número de cortes del cultivo. Por ejemplo, las pérdidas en plantilla pueden ser de un 29% y en caña soca hasta de un 79% por hectárea. El efecto negativo de la edad de las cepas, ocurre por la infección y reinfección continua de los brotes jóvenes por esporas del hongo de plantaciones aledañas. Por lo tanto, la probabilidad de infección de estos brotes será mayor en la medida que se aumentan las fuentes de inóculo (tallos infectados); por ello, cada corte tendrá un mayor incremento en la incidencia a la enfermedad, perjudicando los rendimientos en el futuro. (FLORES; OSADA, 1981).
4. De la relación entre crecimiento del cultivo y época de infección de la enfermedad; por lo tanto, si la infección se presenta al inicio de la época seca (diciembre-enero), ocurre un mayor número de plantas enfermas contrario a lo que sucede si tiene lugar a fines del verano.

En general las pérdidas económicas serán variables como se dijo anteriormente, y dependerán en forma significativa de la efectividad en el manejo de las plantaciones y prácticas de combate que se utilicen. En algunos lugares los resultados han sido satisfactorios y han permitido convivir con la enfermedad por muchos años, como ha acontecido en Sudáfrica, donde esta enfermedad se presentó hace 111 años y aún se cultivan variedades susceptibles comercialmente, como es el caso de NCo 310 y NCo 376. (LAICA-GEPLACEA, 1981).

Sin embargo en Cuba, se indican pérdidas de 0,6 toneladas métricas (TM) de caña/ha por cada 1% de tallos enfermos. En Filipinas también se anotan pérdidas hasta de un 50% y en otros sitios de un 73% a un 100%, cuando se utiliza semilla contaminada en las nuevas plantaciones de caña (FAO 1981).

Más específicamente se podría resumir que la reducción de los rendimientos oscila en forma general entre un 10 y un 20% al inicio y de hasta un 70 u 80 por ciento a partir del segundo año dependiendo de la susceptibilidad de la variedad (MORALES *et al*, 1982).

En algunos lugares se han realizado trabajos científicos para valorar el daño económico que ocasiona esta enfermedad; por ejemplo, en Sudáfrica se estableció una prueba con parcelas de las variedades NCo 376 y NCo 310 con una baja infección de carbón, y se comparó con otras parcelas inoculadas con esporas de la enfermedad. En los resultados (cuadro 7), se observa una marcada reducción de los rendimientos de ambas variedades cuando la infección era alta respecto a las parcelas con menor infección. (LAICA-GEPLACEA, 1981).

Cuadro 7. Efecto sobre el rendimiento de la enfermedad del carbón en Africa del sur en las variedades NCo 376 y NCo 310 durante 1977-1978.

Variedad	NCo 376		NCo 310	
	Baja	Alta	Baja	Alta
# Látigos/ha	11.200	72.000	23.000	102.000
TM caña/ha	172	143	151	119
Reducción del Rendimiento	16,9%		21,2%	

Fuente: (LAICA-GEPLACEA 1981)

En otro estudio realizado en Sudáfrica se analizó las pérdidas ocasionadas por el carbón en la variedad NCo 376, determinando que los rendimientos disminuyen a los 11,3 meses en caña planta de 112 a 58 TM de caña/ha en las parcelas infectadas. Posteriormente en caña de retoño, los rendimientos también se redujeron de 109 a 45 TM de caña/ha por la presencia de la enfermedad (LAICA-GEPLACEA, 1981).

En Costa Rica se desconoce con exactitud las pérdidas que ocasiona anualmente el carbón. En diferentes estudios realizados con esta enfermedad, se han encontrado algunas coincidencias y discrepancias en los resultados obtenidos entre ellos, que dejan grandes dudas al respecto. Por ejemplo, un estudio realizado en el año 1985 donde se evaluó el efecto directo del carbón sobre tallos tratados con inoculación natural y artificial por inmersión en solución de esporas, y para valorar el efecto ocasionado se utilizó una serie de variables morfológicas determinantes de los rendimientos de la caña, como son el número de tallos por cepa, altura y grosor del tallo, al igual que el número de entrenudos visibles y su longitud.

Los resultados obtenidos se presentan en el cuadro 8, verificando un mayor número de tallos por metro en las cepas inoculadas artificialmente con las esporas del hongo. También los tallos infectados presentaron, un mayor número y longitud, en los entrenudos pero un menor grosor de los mismos. En general, el peso de los tallos también presentó una reducción significativa del orden de 1:4 en las cepas sanas y de 1:2 en los tallos sanos de cepas infectadas, estos resultados evidencian la sintomología inducida por la enfermedad y las pérdidas que esta puede generar al cultivo (CHAVES; AGUILAR, 1986).

En una evaluación de tolerancia varietal a la reacción del carbón en el cantón de Atenas, también con inoculación artificial e inoculación natural, se encontró (cuadro 9) que en las variables diámetro del tallo, largo del entrenudo y número de entrenudos visibles las diferencias observadas no fueron significativas. Sin embargo, en el número de tallos molederos por metro, casi todas las variedades (susceptibles y tolerantes) presentaron mayor número de tallos en los surcos inoculados en forma artificial que en los surcos expuestos a la inoculación natural (cuadro 10); estos resultados coinciden con el trabajo anterior y justifica posiblemente la tendencia del cultivo en presencia del carbón a producir más tallos por metro como una medida de sobrevivencia inducida por la enfermedad. Además se comprobó que estos tallos no son más delgados ni más pequeños, por lo que pueden generar mayores rendimientos en caña, contrariamente a lo esperado y anotado para plantaciones infectadas con este patógeno, (ALFARO, 1989).

Cuadro 8. Cambios morfológicos inducidos en tallos de caña de azúcar por efectos de carbón (*Ustilago scitaminea* Sydow). Grecia, Alajuela edad 7 meses. 1986.

VARIEDAD	TRATAMIENTO	TALLOS /CEPA	ALTURA (m)	GROSOR (m)	INTERNUDOS VISIBLES	LONGITUD INTERNUDO	PESO (kg)
H 37-1933	*	11,5	1,88	1,11	4,0	12,5	0,23
	**	11,3	1,43	2,73	4,6	12,6	0,77
	***		1,69	2,80	6,0	15,7	1,23
H 44-3098	*	14,5	1,69	0,78	3,8	10,9	0,08
	**	14	1,16	2,44	3,8	11,4	0,31
	***		1,35	2,91	4,2	13,1	0,91
H 54-775	*	17	1,53	1,40	4,2	11,3	0,32
	**		1,26	2,70	3,6	12,6	0,55
	***		1,52	2,69	5,8	12,2	0,78
H 56-4848	*	11,8	1,88	0,96	3,0	15,4	0,34
	**		1,67	2,92	6,0	17,3	0,81
	***	1,92	3,02	5,8	19,2	1,5	
H 57-5174	*	16	1,90	1,06	3,2	6,8	0,14
	**	20,9	1,22	2,94	4,0	9,9	0,53
	***		1,59	3,43	4,8	12,1	1,00
H 59-3775	*	13	2,00	1,26	3,8	9,8	0,21
	**	15,1	1,60	2,72	4,6	11,7	0,26
	***		1,27	3,00	3,8	14,1	1,10
H 68-1158	*	13,2	1,63	1,38	5,4	9,22	0,23
	**	12,9	1,23	2,48	4,4	10,5	0,77
	***		1,64	3,21	5,0	12,4	1,23
L 68-90	*	15,8	1,53	1,02	2,8	8,4	0,18
	**	19,3	0,86	2,12	2,2	7,0	0,28
	***		0,90	2,47	2,0	9,9	0,45
B 50-377	*	17,2	0,89	1,08	2,4	4,2	0,06
	**	11,3	0,56	2,05	2,4	3,0	0,16
	***		0,73	2,91	2,4	6,7	0,28
B 76-121	*	12	1,50	0,86	1,8	6,9	0,58
	**	14,5	0,73	2,27	1,2	3,4	0,18
	***		1,33	3,04	3,6	9,8	0,63
B 76-436	*	17,2	1,22	0,98	2,6	9,0	0,03
	**	13,5	0,81	1,88	2,8	5,9	0,05
	***		1,14	2,87	4,6	8,9	0,53
B 77-500	*	10,1	1,60	1,34	2,8	11,6	0,32
	**	11,6	0,87	2,28	1,8	7,9	0,57
	***		1,12	3,93	3,4	13,4	0,78
BT 65-152	*	8,9	0,89	0,44	1,8	5,9	0,03
	**	18,8	0,41	1,88	1,0	1,8	0,06
	***		0,74	3,00	1,8	3,6	0,34

Tallos con látigo (*)

Tallos sanos de cepas infectadas (**)

Tallos sanos de cepas sanas (***)

Fuente: (CHAVES; AGUILAR, 1986)

Cuadro 9. Efecto de la enfermedad del carbón sobre algunas variables biométricas de 11 variedades de caña de azúcar en Atenas, Alajuela, C.R. 1987.

Variedad	Diámetro tallo cm		Largo Entrenudo cm		No. Entrenudos	
	I	NI	I	NI	I	NI
RB 73-2727	2,97	2,64	9,72	8,02	10,90	11,90
RB 78-5148	2,91	2,70	14,17	14,40	13,70	13,20
RB 73-9728	2,59	2,90	11,49	12,19	12,20	12,10
SP 70-1005	3,00	3,10	9,03	9,04	14,60	14,00
MER 60-12	2,78	2,73	15,00	14,28	15,20	15,15
SP 72-1402	2,91	2,81	13,29	12,86	14,00	14,00
SP 73-3670	2,70	2,77	15,08	14,89	14,80	11,60
SP 70-4217	3,00	2,90	10,84	10,07	12,80	13,40
SP 71-6180	2,73	2,82	12,14	14,06	14,00	13,10
SP 70-1078	2,49	2,56	15,00	17,32	12,60	12,10
SP 73-3012	2,91	3,03	15,20	16,29	13,10	11,80
Promedio	2,81	2,82	13,7	13,0	13,0	12,9

Fuente: (ALFARO, 1989)

Cuadro 10. Número de tallos cuantificados en 23 metros lineales de 21 variedades inoculadas y no inoculadas con esporas de carbón en Atenas de Alajuela, Costa Rica. 1987.

VARIEDAD	NUMERO DE TALLOS EN 23 METROS	
	INOCULADO	NO INOCULADO
RB 73-2727	251,5	174,3
RB 78-5148	209,5	236,0
RB 73-9728	174,7	154,3
SP 70-1005	349,7	291,2
MER 60-12	219,7	177,7
SP 72-1402	246,0	212,0
SP 73-3670	235,3	201,3
SP 70-4217	202,7	152,7
SP 71-6180	235,8	153,2
SP 70-1078	341,5	256,3
SP 73-3012	220,0	329,7
H 70-936	193,2	257,5
RB 73-2223	278,0	208,0
SP 72-1880	331,3	268,0
SP 73-3414	261,0	219,8
RB 74-5672	277,2	194,5
SP 75-1085	296,8	272,3
RB 73-9359	292,2	334,2
SP 73-1057	315,2	219,2
SP 75-5244	282,8	189,7
RB 73-9472	277,0	184,8
PROMEDIO	261,5	223,2

Fuente: (ALFARO, 1989)

PREVENCIÓN Y CONTROL

Existen diferentes medios para prevenir el ingreso de la enfermedad a los campos cañeros, entre los más importantes y efectivos se consideran los siguientes:

1) Inspección permanente de los campos

Esta labor es fundamental para detectar esta y cualquier enfermedad que este presente en una plantación de caña. Una vez detectados los focos de infección, se recomienda entresacar los látigos con sumo cuidado para no dispersar las esporas y depositarlos en bolsas plásticas, con el objeto de quemarlos de inmediato o sumergirlos en agua hirviendo por un periodo de 15 minutos.

Esta extracción de látigos se recomienda efectuarla cada 15 días entre los 3 y 6 meses de edad; es aconsejable llevar registros que indiquen: hombre del propietario o nombre del lote infectado, fecha de inspección, localización, variedad o variedades afectadas, superficie o área involucrada, ciclo del cultivo, edad de la caña, número de cepas enfermas y número de látigos encontrados. En Guyana lotes infectados con más de un 3% de tallos enfermos (no cepas), se recomienda la renovación del cañal (FLORES; OSADA, 1981).

2) Selección de semilla sana

Como se mencionó con anterioridad, una de los métodos más comunes y efectivos para propagar la enfermedad es a través de la semilla infectada con la enfermedad, por ello se recomienda, el establecimiento de semilleros principalmente con variedades resistentes o que muestren algún grado importante de tolerancia a la enfermedad.

Los semilleros deben ser inspeccionados con más frecuencia que los lotes comerciales, principalmente entre los 2 y 6 meses de edad. Si la enfermedad aparece en estos semilleros se puede emitir un grado de infección abajo del 0,1%, o sea aproximadamente representaría en una hectárea, de 100.000 tallos industrializables de caña unos 1.000 tallos enfermos (FLORES; OSADA, 1981).

3) Desinfección de la semilla

La semilla puede ser tratada previo a la siembra, con agua caliente para eliminar la infección latente del hongo que se encuentra dentro del tallo de la caña; para ello se puede utilizar un tanque con 5 ó 10 toneladas de capacidad provisto con un termostato y un mecanismo de circulación del agua para que la temperatura se mantenga constante durante todo el tratamiento. La caña por su parte debe tener preferiblemente de 10 a 12 meses de edad para que las yemas resistan la temperatura y no pierdan su poder germinativo, para ello se recomienda una temperatura de 52 °C durante 45 minutos o de 50,5 °C por una hora de tiempo. (ESQUIVEL, 1984).

Se puede utilizar además algunos productos químicos, como una solución con formaldehído al 1% o Aretan al 0,5% para la desinfección de la sección externa de la semilla.

Sin embargo, en Africa del Sur se realizaron experimentos que mostraron claramente que los tratamientos con agua caliente incrementan significativamente la infección del carbón, al compararse con esquejes no tratados. Se presenta el cuadro 11, donde dos variedades susceptibles como son: NCo 376 y NCo 310 demostraron que un tratamiento con agua caliente a 50 °C por dos horas, favorecieron la infección de los esquejes en el suelo

infectado (FLORES; OSADA, 1981).

Cuadro 11. Efecto del tratamiento de agua caliente sobre la incidencia del carbón en la caña de azúcar.

Variedad	Inoculación	% cepas afectadas	
		Tratado	Sin Tratar
NCo 376	Suelo infectado	34	16
NCo 376	Esquejes inoculados		
	Suelo infectado	26	6
NCo 310	Suelo infectado	52	18
Promedio		37,3	13,3

Fuente: FLORES; OSADA, 1981

4) Renovación de plantaciones

En Guyana y con base en los registros permanentes del número de látigos encontrados en los cañales, se determinó que con más de 4000 látigos por hectárea es necesario proceder a la renovación de las plantaciones cañeras (FLORES; OSADA, 1981).

5) Rotación de cultivos

Al igual que sucede en otros cultivos, se recomienda como una práctica efectiva de saneamiento, la siembra sucesiva de otro cultivo de ciclo corto como frijol, arroz, maíz, maní, etc. luego de renovar el cañal (ESQUIVEL; OSADA, 1984).

6) Control químico

Pocos son los trabajos que se han realizado en este sentido por la baja eficiencia y los altos precios de los productos químicos utilizados contra esta enfermedad. En Africa del Sur se evaluó la combinación de varios fungicidas con tratamiento térmico, utilizando semilla sana e infectada con la enfermedad. Los resultados obtenidos utilizando semilla sana señalaron (cuadro 12), que el triadimefon aplicado en el tanque de tratamiento térmico controló completamente el carbón en la caña planta, sin presentar diferencias significativas entre los demás tratamientos, aunque también uno de los niveles más bajos de carbón ocurrió cuando se aplicó el triadimefon con agua fría.

Cuadro 12. Efecto de diferentes fungicidas y agua caliente en el desarrollo del carbón de la caña en la variedad NCo 376 procedente de SEMILLA SANA.

Tratamiento	Fungicidas	Dosis	Método Aplicación	Latigos/ha Encontrados
TAC 2 horas 50 °C	Sin tratar	0,5 g/l	--	4.100
TAC 2 horas 50 °C	Fenfurán	0,5 g/l	Tanque TAC	5.200
TAC 2 horas 50 °C	Triadimefon	0,5 g/l	Tanque TAC	0
No tratado	Triadimefon	0,5 g/l	2 horas agua fría	2.700
No tratado	Fenfurán	0,5 g/l	2 horas agua fría	4.400
No tratado	Carboxin	0,5 g/l	2 horas agua fría	4.300
No tratado	Benomil	0,5 g/l	2 horas agua fría	7.800
No tratado	Aretan	3,0 gr/l	2 horas agua fría	3.600
No tratado	--	--	--	7.600

TAC: Tratamiento con agua caliente

Fuente: LAICA - GEPLACEA, 1981

En otro experimento se utilizaron los fungicidas triadimefon y fenfurán con agua caliente y fría, utilizando semilla contaminada (cuadro 13). El triadimefon nuevamente redujo significativamente la incidencia de la enfermedad en caña planta, principalmente cuando se aplicó tratamiento térmico por media hora. Cuando este fungicida se aplicó en remojo de agua fría los resultados fueron también satisfactorios, sin embargo, cuando fue aplicado en formulación granular al fondo del surco al momento de la siembra, el resultado no fue efectivo. (LAICA-GEPLACEA, 1981)

Cuadro 13. Efecto de diferentes fungicidas y agua caliente en el desarrollo del carbón de la caña en la variedad NCo 376 derivados de esquejes de SEMILLA INFECTADA.

Tratamientos	Fungicidas	Dosis	Método Aplicación	Latigo/ha
No tratado	--	--	--	4.200
Agua caliente 2 horas	--	--	--	5.400
Agua caliente 0,5 horas	Triadimefon	0,5 g.la/l	En Tanque	400
Agua caliente 1 hora	Triadimefon	0,5 g.la/l	En Tanque	1.100
Agua caliente 2 horas	Triadimefon	0,5 g.la/l	En Tanque	700
Agua caliente 2 horas	Fenfurán	0,5 g.la/l	En Tanque	4.900
No tratado	Triadimefon	0,5 g.la/l	2 horas agua fría	700
No tratado	Fenfurán	0,5 g.la/l	2 horas agua fría	9.100
No tratado	Triadimefon	0,5 g.la/l	En Surco	3.300
No tratado	Triadimefon	80 Kg/ha	En Surco	400

Fuente: LAICA-GEPLACEA, 1981

Se evaluó por otra parte, la incidencia del carbón en un experimento donde se aplicó dosis altas de triadimefon en forma granular y líquida en los surcos al momento de la siembra, produciendo una leve reducción en la incidencia de esta enfermedad pero no su total control (cuadro 14). En esta experiencia el triadimefon no fue efectivo cuando se aplicó en remojo de agua fría sobre los esquejes de la semilla (LAICA-GEPLACEA, 1981).

Cuadro 14. Efecto de tratamientos de pre-plantío y aplicación al suelo con triadimefon, en el desarrollo del carbón en variedad NCo 376 derivada de esquejes de SEMILLA SANA.

Triadimefon y dosis y formulaciones	Método de Aplicación	CARBON Látigos/ha
No tratado	-----	2000
80 Kg/ha gránulos 1,25%	En el surco	500 *
40 Kg/ha gránulos 1,25%	En el surco	700 *
20 Kg/ha gránulos 1,25%	En el surco	1800 *
0,5 g. ia/l.	2 h. remojo agua en fría	3600
0,5 g. ia/l.	1 h. remojo agua en fría	3700
0,5 g. ia/l.	30 min remojo agua en fría	1800
0,5 g. ia/l.	5 min remojo agua en fría	3700
1 Kg/ha pm 25% (asperjado)	En el surco	900 *
0,5 Kg/ha pm 25% "	En el surco	1800
0,5 g ia/l. y 40 Kg/ha	5 min remojo agua fría	
Gránulos 1,25%	En el surco	1200

* Significativo a nivel del 5%. Fuente: LAICA-GEPLACEA, 1981.

7) Tolerancia Genética

La mayoría de investigadores a nivel mundial concuerdan que el método más efectivo y económico para combatir la enfermedad, es el empleo de variedades resistentes o con algún grado de tolerancia, lo cual está muy ligado a los progenitores de cada variedad. Por ejemplo, las variedades obtenidas de cruces interespecíficos de Saccharum officinarum con Saccharum spontaneum son más resistentes que las variedades obtenidas de cruces de Saccharum officinarum con Saccharum barberi (MORALES, et al 1982).

Para determinar la tolerancia o susceptibilidad de una variedad a esta enfermedad, el patógeno se inocula en el clon para obtener una respuesta rápida y segura de su reacción al carbón.

Existen varios métodos de inoculación como se observa en el cuadro 15 los cuales presentan diferente reacción en las diferentes variedades.

Cuadro 15. Comparación de varias técnicas de inoculación de carbón en esquejes de tres nudos en caña de azúcar en Sudáfrica.

VARIEDAD	INMERSION	PASTA	HERIDA/PASTA
NCo 310	58,9	69,3	79,2
NCo 310	63,2	65,0	71,0
Co 413	39,6	40,2	47,1
Co 413	31,2	31,6	49,2
Co 527	27,6	29,1	55,6
CP 29/116	34,1	33,7	41,2
PR 1000	25,1	28,1	36,6
M 165/38	25,9	25,2	34,9

Fuente: LAICA - GEPLACEA, 1981

7.1) Inmersión

Este método consiste en la inmersión de las yemas de caña en una solución concentrada de esporas del patógeno, durante un periodo de tiempo conocido.

Dicha concentración de esporas de la solución es muy importante para obtener una mayor infección, como se nota con las variedades NCo 310 y Co 427 en el cuadro 16. La viabilidad por su parte es importante y debe ser superior al 80% y se determina tomando un mililitro de suspensión de esporas que se inocula en una placa con agar y agua para dejar incubarse durante un periodo de 24 horas a una temperatura de 25 a 30 °C. La germinación de las esporas se determina, contando el total de esporas en 10 campos del microscopio con un aumento de 300-400X y el número de estas germinadas entre el total de esporas observadas por cien (LAICA-GEPLACEA, 1981).

Cuadro 16. Efecto de la densidad de inóculo de los esquejes inoculados artificialmente.

Concentración de Esporas en 20 galones	% de Infección	
	NCo 310	Co 427
5 gr	12,4	1,5
10 gr	27,8	8,2
15 gr	46,2	15,7
20 gr	62,4	25,3
25 gr	60,8	31,2

Fuente: LAICA-GEPLACEA, (1981)

El método por inmersión tiene la ventaja de ser rápido, pero sus resultados se deben interpretar conservadoramente, ya que se han observado muchas variedades que en la prueba resultan susceptibles son en realidad tolerantes o resistentes en condiciones naturales de campo. Por lo tanto, las variedades que con este método resultan resistentes lo son sin duda en cualquier condición.

La respuesta a la reacción de esta enfermedad se encuentra influenciada por condiciones de suelo, clima, condición del inóculo, razas y metodología utilizada, por lo tanto es importante para obtener resultados más exactos la realización de este tipo de pruebas en cada uno de los países y sobre todo en diferentes ambientes.

Esta diversa gama de factores determinantes e incidentes sobre la respuesta de la enfermedad, motivó para que en Cuba se utilizara una metodología que tomara en cuenta esos aspectos, con la finalidad de disminuir datos relevantes entre los resultados obtenidos respecto a la realidad. En dicha metodología los trozos de semilla de cada variedad se sumergen en una solución de esporas de 5×10^6 teliosporas por mililitro durante 10 minutos.^{1/}

Después a la inoculación la semilla se incuba por 24 horas en bolsas plásticas para garantizar la uniformidad de la germinación de las esporas. Entre las variedades se incluyen 5 variedades testigos considerando su reacción (resistentes y susceptibles; posteriormente, a los 45 días se realiza la primera evaluación de brotación de semilla, donde aquellos clones con menos de 20 plantas no se evalúan.

Las evaluaciones de infección se realizan en caña planta y los retoños, sobre la base del porcentaje de tallos infectados y el grado de achaparramiento y crecimiento herbáceo que adquieren las cepas enfermas. Para determinar este grado de achaparramiento y aspecto herbáceo, se aplica la siguiente escala de Hutchinson por simple inspección visual.

Grado	Descripción
0	Sin tallo herbáceos o achaparrados.
1	Hasta un 25% tallos herbáceos.
2	Hasta un 50% tallos herbáceos.
3	Hasta un 75% tallos herbáceos.
4	Hasta un 100% tallos herbáceos.

¹ Santana Aguilar, I 1991. Comunicación personal. Estación de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Matanzas, Cuba.

Los valores obtenidos se promedian para las 30 cepas cultivadas y las evaluaciones se realizan a los 6, 12 y 18 semanas de edad. Para estimar la influencia del ambiente y uniformar la presión de selección, se determina una línea de ajuste tomando en cuenta los valores promedios obtenidos de los testigos y con la utilización de la escala de Hutchinson se determina cuantos clones son susceptibles y cuantos son resistentes de acuerdo a los valores obtenidos en los testigos.

Para obtener una mayor infección de la semilla se puede utilizar el agua caliente ya que el ingreso del patógeno algunas veces se ve favorecido; así se observa en el cuadro 17 con dos variedades tratadas con agua caliente durante 2 horas a 50 °C y sumergidas posteriormente en una solución de esporas de 4×10^6 , una de las cuales aumentó más bien el número de látigos por cepa.

Cuadro 17. Efecto del tratamiento de esquejes de caña con agua caliente, antes de ser inoculados con esporas de carbón (*Ustilago scitaminea*).

Tratamientos	Látigos/ha	Cepas/ha	Látigo/Cepa
Tratada	264,0	46,6	5,7
Sin tratar	134,0	34,0	3,9
Tratada	60,4	6,8	3,0
Sin tratar	60,0	18,7	3,2

Fuente: LAICA-GEPLACEA, 1981.

Existe también una gran variación en la metodología empleada en el estudio de la reacción por inmersión; se observan en el cuadro 18, las variantes que presentan diferentes países en la realización de sus pruebas de inmersión de esquejes (LAICA-GEPLACEA, 1981).

Cuadro 18. Diferencias entre los métodos de inoculación de la enfermedad del carbón *Ustilago scitaminea* empleados en diferentes países.

País	Concentración inóculo	Tiempo de inmersión (min.)	Nº Yemas por variedad
India	$1 \times 10^6 - 5 \times 10^6$	30-45	60-100
Taiwán	1×10^7	30	50
Brasil	$1 - 2 \times 10^7$	10-20	20-40
Filipinas	$1 \times 10^6 - 1 \times 10^6$	10-20	100

Fuente: LAICA-GEPLACEA, 1981.

En dicho cuadro se observa que la concentración de esporas oscila entre 1×10^6 a 5×10^6 , el tiempo de inmersión utilizado es de aproximadamente 30 minutos. La metodología más utilizada en Costa Rica se asemeja a la de Brasil (cuadro 18) la cual ha dado muy buenos resultados. En algunos países como Cuba para asegurar la penetración del hongo se brinda un tratamiento pre plantío a los esquejes inoculados, el cuál consiste mantenerlos en reposo en una cámara humedad (bolsas plásticas) durante 4 días o 24 horas.

Este método también se utiliza para inocular plántulas de caña en invernadero cuando estas tienen entre 4 a 5 hojas con una suspensión de esporas de carbón obtenidas a partir de un cultivo a base de caldo de papa o dextrosa (LAICA-GEPLACEA, 1981).

7.2) Aspersión

En este sistema se utilizan trozos de tallos de tres yemas sin escamas y se rocían a una presión de $5,6 \text{ Kg/cm}^2$ con una suspensión de esporas de 10^6 por mililitro, y una distancia de 1,0 cm. Posteriormente los trozos se colocan en bolsas de polietileno con un contenido de humedad relativa alta para incubar por un lapso de 48 horas a una temperatura de 80°C antes de ser sembradas.

7.3) Frotamiento (empaste con o sin herida)

Este método consiste en aplicar mediante una incisión en el tejido, una pasta con esporas del hongo sobre las yemas de los trozos; posteriormente se incuban en una bolsa plástica durante 12 horas, antes de ser sembrados en el campo.

Este método es aplicado en caña en pie cubriendo las yemas con bolsas plásticas para acelerar la infección; la desventaja de esa metodología es que es más antinatural y alejada de la realidad respecto a los otros mecanismos, debido a que sus resultados son en muchos casos exagerados, comparados con el comportamiento real de la variedad en el campo.

En diversas pruebas algunas variedades principalmente las altamente susceptibles presentaron resultados similares con cualquier método utilizado. Por tal motivo, esta metodología se recomienda para inocular variedades altamente susceptibles que van a servir de fuente de inóculo en los ensayos (testigos).

7.4) Infección natural inducida

Esto ocurre sin la intervención directa ni manipulación del hombre, plantando materiales susceptibles y algunas veces inoculados para ejercer una mayor presión sobre las variedades a evaluar.

Los resultados obtenidos con los métodos de evaluación varietal al carbón son diferentes en varios países, por lo que comparativamente la técnica de sumergir los trozos de semilla de tres yemas de la misma edad en una concentración de esporas de 4 a 5 x 10⁶/mililitro de agua durante 30 minutos, parece reducir la variabilidad.

Una recomendación de los especialistas en la materia es realizar la inoculación artificial por inmersión, pero paralelamente realizar los ensayos de exposición natural, para obtener resultados en menos de un año; además, el método natural confirmará definitivamente los resultados obtenidos por todas las otras metodologías. (LAICA-GEPLACEA 1981).

ESTADO ACTUAL Y EVALUACION DE LA ENFERMEDAD EN COSTA RICA

Con el ingreso del carbón a Costa Rica, se verificó que la mayoría de las variedades de uso comercial presentaban una alta susceptibilidad a la enfermedad, por lo que DIECA a partir del año 1982 con su fundación inició un programa más intenso de introducción y selección de variedades promisorias, con la finalidad de sustituir los materiales susceptibles y con ello disminuir el impacto que este patógeno ocasionaba en el país.

Paralelamente a las introducciones masivas de variedades se realizaron pruebas de inoculación artificial al carbón, para seleccionar solamente aquellos clones que presentaran resistencia o tolerancia genética a esta enfermedad.

Las variedades evaluadas hasta la fecha en el país a lo largo de 9 años de estudio son en total 294 distribuidas en 8 pruebas realizadas en 7 diferentes localidades. Dichas localidades son: Turrúcares, San Rafael de Ojo de Agua, Grecia y Atenas en la provincia de Alajuela y en la provincia de Guanacaste en las localidades de Liberia (CATSA), Cañas y Filadelfia, respectivamente.

Algunas de las características agroclimáticas más importantes de esas localidades se describen en el cuadro 19.

Las variedades evaluadas en cada localidad no siempre fueron las mismas, dado que las evaluaciones estaban en función de la importancia de las mismas para la zona donde se realizaría el estudio en aquel momento específico.

La metodología utilizada fue en general la misma, aunque en las localidades de Atenas y Ojo de Agua el periodo de análisis se realizó durante 12 meses, ajustándose al ciclo normal del cultivo en cada corte, mientras que en las otras localidades cada periodo de evaluación (corte o soca) se realizó a los seis meses, con el fin de obtener los resultados más rápidamente.

La metodología utilizada fue de inoculación artificial e inmersión, la cual consistió en sumergir esquejes de tres yemas por un periodo de 20 minutos en una solución preparada de esporas de carbón de 1 a 2 gramos por litro de agua ($2,5-5 \times 10^8$ esporas/ml de agua), únicamente en los ensayos de Grecia y Atenas se utilizaron esquejes de una yema. Los ensayos se establecieron al menos con 2 repeticiones; las unidades experimentales fueron de un surco de 5 metros de largo por variedad, depositando un esqueje cada 0,5 metros, excepto en los ensayos de Grecia y Atenas donde se utilizó parcelas de mayor tamaño.

Desde la siembra hasta la cosecha el manejo del cultivo se basó en las prácticas de manejo recomendadas por DIECA en cada zona donde se ubicó el experimento.

Los experimentos se evaluaron por periodos de 2 y 3 años, solamente el ubicado en Grecia se evaluó por un año.

Los primeros látigos aparecieron aproximadamente tres meses después de la siembra y los tallos que presentaron látigos (tallos enfermos), se cortaron por su base prosiguiendo un conteo sistemático y acumulativo de látigos quincenalmente hasta los 6 ó 9 meses de edad en cada año o periodo de evaluación. Posteriormente, se cosechó cada parcela y se contó el total de tallos que presentó cada variedad para calcular los porcentajes de infección. Los rangos de susceptibilidad se refirieron a la escala de Guyana (cuadro 20), en la cual variedades con valores de 0 a 5% de infección se catalogan como resistentes, de un 5 a un 15% moderadamente resistentes y del 15 al 100% los clones son susceptibles a la enfermedad.

Cuadro 19. Información agroclimática de las diferentes localidades donde se establecieron las pruebas de evaluación al carbón en Costa Rica.

Localidad	Provincia	Orden de Suelo *	Altitud (asnm)	Temperatura media anual (°C)	Precipitación mm/año	% Humedad Ambiente
Turrécares	Alajuela	Inseptisol	700	24	7.984	75
Atenas	Alajuela	Inseptisol	760	23	1.942	75
Grecia	Alajuela	Andisol	825	23	2.330	82
Ojo de Agua	Alajuela	Vertisol	850	23	1.882	78
CATSA	Guanacaste	Vertisol	17	27	1.853	74
Taboga	Guanacaste	Mollisol	95	28	1.945	76
Filadelfia	Guanacaste	Mollisol	17	28	1.853	74

* Soil Taxonomic, USDA 1975

** Informe Instituto Meteorológico Nacional

Cuadro 20. Escala de Guyana para evaluar la reacción de la caña de azúcar al carbón (*Ustilago scitaminea*)

% de Infección	Grado	Reacción
0 - 2,0	1	R = Resistente
2,1 - 3,0	2	R = Resistente
3,1 - 5,0	3	R = Resistente
5,1 - 8,0	4	MR = Moderadamente Resistente
8,1 - 11,0	5	MR = Moderadamente Resistente
11,1 - 15,0	6	MR = Moderadamente Resistente
15,1 - 22,0	7	S = Susceptible
22,1 - 30,0	8	S = Susceptible
30,1 - 100,0	9	AS = Altamente Susceptible

Fuente: (ORDOSGOITTI, GONZALEZ; APONTE. 1979).

De las variedades evaluadas como se observa en el cuadro 21, el 56% presentó resistencia a la enfermedad, un 26% resistencia media y un 14,7% presentó susceptibilidad al carbón (susceptibles y altamente susceptibles).

Cuadro 22. Análisis estadístico del comportamiento de las diferentes variedades según origen evaluadas al carbón de la caña en Costa Rica.

Variedades			Porcentaje			
Evaluaciones			Reacción 1/			
Sigla	Número	Porcentaje	R	MR	S	AS
H	55	18	34,5	29	21,8	14,5
RB	40	13	62,5	25	15	7,5
CR	6	2	66,6	33,3	0	0
SP	41	13	75,6	24	0	0
MEX	24	9	87,5	12,5	0	0
CP	19	7	47,0	31,5	21	0
B	17	6	29,0	23,5	17,6	29,4
Q	19	7	79,0	10,5	5	5
PR	5	2	40,0	60	0	0
L	7	3	43,0	28,5	0	0
LAICA	22	8	63,6	18	13,6	4
Co	6	2	50,0	33,3	16,6	0
Otras	33	12	51,0	27,2	9	12
Total	294	100%	56	26,6	9,2	5,5

1/ Reacción según escala de Guyana

Fuente: ALFARO, 1991

Se observa en el mismo cuadro que variedades con las siglas "H", "B", "Q", procedentes de Hawai, Barbados y Queensland, Australia, respectivamente, presentaron altos porcentajes de susceptibilidad, 36,6%, 47% y 10%, respectivamente, esto debido a que estas variedades antes del ingreso del carbón al país ocupaban gran parte de las áreas comerciales; caso contrario, las variedades "Mex" (Mexico) y "SP" (Sao Paulo, Brasil) las cuales son de reciente introducción presentaron los más altos rangos de resistencia 75,6 y 87,5%, respectivamente, debido a que en sus países de origen pasan por un estricto proceso de selección donde esta enfermedad juega un papel importante.

En igual forma las variedades "LAICA" generadas en Costa Rica, presentaron resistencia dado que esta enfermedad es muy tomada en cuenta en la selección varietal en Costa Rica.

Existe un grupo denominado "Otras" el cual lo conforman variedades provenientes de diferentes estaciones de hibridación, las cuales representaron un 12% del total y mostraron resistencia en un 51% de los casos.

En general, el 58% del total de las variedades se evaluó en una localidad, el 23% en dos localidades, el 11,8% se estudió en tres localidades diferentes y el 1% en cinco localidades. Esto demuestra que la mayoría de las variedades estudiadas se evaluó en más de dos localidades diferentes, donde las condiciones de clima y manejo influyen significativamente, aumentando con ello la confiabilidad obtenida en estos trabajos. Por ejemplo, se puede observar en el cuadro 22 que variedades como la CP 70-1133 y CP 72-2086 presentaron los mismos resultados en tres localidades diferentes.

Variedades como Co 421 y CP 72-1210 presentaron moderada resistencia en algunas localidades y en otras susceptibilidad, ya que si se observa sus porcentajes de infestación éstos se ubican en los límites de la escala, por lo que se encuentran sujetas a las condiciones favorables o desfavorables que el clima pueda inducir sobre el patógeno en el momento y lugar del estudio.

En el cuadro 23 se presentan los resultados obtenidos con las variedades evaluadas en el país, así como las diferentes localidades donde fueron estudiadas en su reacción.

CONCLUSIONES

Con base en los estudios realizados en Costa Rica y de la presente síntesis pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- Las variedades de origen "Mex" y "SP" presentaron los más altos índices de tolerancia a la enfermedad del carbón, por lo que son variedades en las que se puede confiar en el informe de reacción aportado y obtenido en sus países de procedencia.
- Las variedades con siglas "H", "CP" y "B" presentaron los índices más altos de susceptibilidad a la enfermedad, por lo cual, debe hacerse hincapié en la ejecución de pruebas de carbón en futuras introducciones de estos materiales.
- Los materiales susceptibles en el país son variedades que en pruebas realizadas en otras naciones han mostrado un comportamiento muy variable, en otros casos, son variedades que se desconocía su reacción al carbón.
- Las variedades "Q" y "H" son las que más divergencia presentaron, entre los resultados de sensibilidad patológica obtenidos en Costa Rica y en otras latitudes.
- En general, la metodología de inoculación artificial utilizada en estas pruebas funcionó perfectamente en todas las localidades o pruebas realizadas.
- El uso de esquejes con 3 yemas presentó un mayor porcentaje de germinación y desarrollo de las cepas, al verificarlo cuando se utilizó esquejes de una yema.
- Existe en Costa Rica un alto porcentaje de variedades resistentes a la enfermedad, con las que se puede contar para la realización de pruebas de selección y adaptación genética en las diferentes zonas cañeras del país.
- Se recomienda efectuar la evaluación en las pruebas de carbón por un periodo no menor de 3 cortes y al menos en dos localidades diferentes en lo que respecta a condiciones de clima y suelo; esto asegura que los resultados obtenidos sean bastante confiables.
- Es importante además realizar una estricta preselección de los materiales previo su ingreso al país tomando en consideración su comportamiento a esta enfermedad en su país de procedencia.

SITUACION ACTUAL DE LA ENFERMEDAD DEL CARBON EN LAS DIFERENTES ZONAS CAÑERAS DEL PAIS.

La siguiente información fue suministrada por los técnicos de Ingenios y DIECA destacados en las diferentes regiones cañeras del país.

En la región del Valle Central el carbón se encuentra prácticamente controlado por la amplia distribución y cultivo de variedades tolerantes a esta enfermedad; en algunas zonas aparecen pequeños focos principalmente en variedades como B 47-44 y H 44-3098.

En el Pacífico Seco (Guanacaste) la enfermedad no es problemática ya que en variedades susceptibles como NCo 310, Ja 60-5 y RD 81-2681 entre otras, el empleo de un manejo adecuado y oportuno, reduce el impacto sobre los rendimientos llevándolo a efectos no significativos; existe además cultivada una muy considerable área con variedades tolerantes lo que en forma global minimizan el problema.

En la región de San Carlos de igual forma, la enfermedad se encuentra limitada a un área aproximada de 100 hectáreas cultivadas con la variedad comercial "Saboriana" en el sector de Cutris; en el resto de la región, existen pequeños brotes los cuales son controlados con un buen manejo.

En la región de Turrialba y Juan Viñas la enfermedad se encuentra presente principalmente, en variedades como B 76-259 y algunas áreas de H 44-3098 que aún se cultivan en la región, pese a lo cual incidencia sobre la primera variedad es variable.

En Pérez Zeledón el carbón ingresó muy recientemente afectando a variedades como PINDAR y B 47-44 las cuales se encuentran muy difundidas en la zona, pero debido a esto se encuentran en proceso de ser sustituidas por otras variedades de reconocida resistencia a la enfermedad como SP 71-5574 y MEX 68 P 23.

En general el carbón en Costa Rica aunque se encuentra presente en todas las zonas cañeras del país, no ha repercutido considerablemente en los rendimientos del cultivo posterior a su ingreso debido a la rápida evaluación, selección y sustitución de variedades tolerantes a la enfermedad y de alto rendimiento agroindustrial, que ha efectuado DIECA con el apoyo de los productores e ingenios del país.

A futuro se espera que esta enfermedad no va ampliar espacio y presencia, ya que posiblemente será erradicada para beneficio del sector cañero nacional.

Cuadro 23. Resultados de la reacción al carbón (Ustilago scitaminea) de 30 variedades comerciales y promisorias de caña de azúcar.

Variedad	Alajuela			Guanacaste		Otros Países 3
	Turruc.	Ojo de Agua	Grecia	CATSA	Taboga	
H 32-9560	R	--	R	--	--	S/CNN, SD, B
H 44-3098	AS	--	AS	--	--	S/CNN, FLP
H 56-4849	MR	--	S	--	--	S/B, JM
H 57-5174	MR	R	AS	--	--	--
H 60-8521	--	R	R	--	--	R/B; S/H
B 49-119	AS	--	--	--	--	AS/CNN
B 76-121	--	--	S	--	--	--
CP 70-1133	--	MR	--	MR	MR	R/GT
CP 72-1210	--	S	--	MR	MR	MR/GT
CP 72-1312	--	--	--	R	--	R/GT
CP 72-2086	--	R	--	R	R	R/GT
Q 68	R	--	R	R	--	R/ES, B
Q 75	R	--	R	--	--	R/ES, B
Q 96	R	R	R	R	R	--
NCo Co 310	--	--	--	S	S	MR/H
NCo Co 376	MR	--	--	MR	--	S/RD
SP 70-1143	R	--	--	R	R	R/BR
SP 71-5574	R	--	--	--	R	--
SP 70-1284	R	--	R	R	MR	R/BR
MEX 57-473	R	R	--	--	R	R/BR; R/B
MEX 69-290	--	R	--	--	R	--
MEX 69-420	--	MR	--	--	MR	--
Co 421	S	--	--	MR	MR	R/KN, S/BR; MR/H
CR 61-01	R	--	--	R	R	R/BR, R/RD
PINDAR	MR	--	R	--	--	MR/RD; S/PN, KN, ES
UCW 54-56	--	--	--	MR	--	--
C 87-51	--	--	--	MR	--	AS/VZ; S/PN
L 68-90	--	--	AS	--	--	R/ES
PR 10-13	--	--	--	MR	--	MR/MD, GT
Ja 605	--	--	--	R-	--	S/PN, CB; R/GT

Fuente: ALFARO, 1991.

Otros países:

Venezuela	(V)	Hawai	(H)	S/B	Susceptible en Barbados
República Dominicana	(RD)	Guatemala	(G)	R/B	Resistente Brasil
Kenia	(K)	Filipinas	(F)	R/ES	Resistente en El Salvador
Pakistán	(P)				

Cuadro 24. Resultados de la reacción de 294 variedades de caña de azúcar evaluadas en Costa Rica, respecto al carbón (Ustilado scitaminea)

VARIEDAD	LOCALIDAD	% DE INFECCION	GRADO	REACCION
B 43-62	EL VIEJO	28,73	8	S
B 47-44	TURRUCARES	36,98	9	AS
B 50-135	TURRUCARES	19,95	7	S
B 50-355	TURRUCARES	1,08	1	R
B 50-377	TURRUCARES	6,15	4	MR
B 50-377	LA ARGENTINA	10,90	5	MR
B 50-377	EL VIEJO	73,78	9	AS
B 51-1129	EL VIEJO	38,89	9	AS
B 51-163	EL VIEJO	37,73	9	AS
B 54-142	EL VIEJO	45,31	9	AS
B 57-150	EL VIEJO	28,46	8	S
B 60-125	EL VIEJO	84,57	9	AS
B 69-232	EL VIEJO	44,66	9	AS
B 70-355	ATENAS	40,00	9	AS
B 70-355	EL VIEJO	48,69	9	AS
B 72-1012	TURRUCARES	2,87	2	R
B 76-121	LA ARGENTINA	26,70	8	S
B 76-178	LA ARGENTINA	3,10	3	R
B 76-259	ATENAS	23,00	8	S
B 76-385	TURRUCARES	5,45	4	MR
B 76-436	LA ARGENTINA	100,00	9	AS
B 76-847	ATENAS	10,00	5	MR
B 77-500	TURRUCARES	32,10	9	AS
B 77-500	LA ARGENTINA	75,00	9	AS
B 77-500	EL VIEJO	67,08	9	AS
B 77-95	ATENAS	0,00	1	R
B 78-266	TURRUCARES	3,76	3	R
B 80-89	ATENAS	0,00	1	R
BJ 69-02	EL VIEJO	56,04	9	AS
BJ 70-03	ATENAS	50,00	9	AS
BT 65-152	LA ARGENTINA	40,70	9	AS
BT 65-152	EEEJN	0,46	1	R
BT 65-152	CATSA	23,40	8	S
B 65-606	TURRUCARES	33,01	9	AS
C 87-51	CATSA	9,64	5	MR
CC 300	TURRUCARES	12,29	6	MR
Wo 421	CATSA	11,29	6	MR
Co 421	TURRUCARES	16,83	7	S
Co 421	EEEJN	11,11	6	MR
Co 997	EEEJN	0,22	1	R
Co 997	OJO DE AGUA	0,00	1	R
CP 50-28	EL VIEJO	4,89	3	R
CP 56-59	CATSA	4,35	3	R
CP 56-59	EL VIEJO	59,73	9	AS
CP 63-357	EEEJN	18,40	7	S
CP 70-1133	OJO DE AGUA	8,65	5	MR

CP 70-1133	CATSA	4,35	3	R
CP 56-59	EL VIEJO	59,73	9	AS
CP 65-357	EEEJN	18,40	7	S
CP 70-1133	OJO DE AGUA	8,65	5	MR
CP 70-1133	EEEJN	12,01	6	MR
CP 70-1133	CATSA	6,38	4	MR
CP 70-1527	EEEJN	0,00	1	R
CP 70-300	CATSA	16,43	7	S
CP 70-321	EEEJN	3,97	3	R
CP 72-1210	EEEJN	13,73	6	MR
CP 72-1210	CATSA	12,63	6	MR
CP 72-1210	OJO DE AGUA	17,22	7	S
CP 72-1210	ATENAS	25,00	8	S
CP 72-1317	CATSA	0,00	1	R
CP 72-2086	CATSA	1,96	1	R
CP 72-2086	OJO DE AGUA	2,83	2	R
CP 72-2086	EEEJN	3,28	3	R
CP 73-1547	CATSA	0,30	1	R
CP 74-383	EEEJN	3,49	3	R
CP 74-383	OJO DE AGUA	7,56	4	MR
CR 61-01	EEEJN	1,14	1	R
CP 61-01	CATSA	0,63	1	R
CP 61-01	TURRUCARES	0,00	1	R
CP 65-135	ATENAS	0,00	1	R
CP 69-177	ATENAS	6,00	4	MR
CP 74-250	ATENAS	8,00	4	MR
CV 3	TURRUCARES	60,88	9	AS
Co 421	ATENAS	0,00	1	R
Co 421	EL VIEJO	25,10	8	S
F 150	OJO DE AGUA	1,78	1	R
F 150	CATSA	3,75	3	R
H 32-8560	TURRUCARES	0,52	1	R
CP 32-8560	LA ARGENTINA	0,00	1	R
CP 32-8560	EL VIEJO	17,63	7	S
H 37-1933	TURRUCARES	16,42	7	S
H 37-1933	LA ARGENTINA	14,30	6	MR
H 37-1933	EL VIEJO	26,67	8	S
H 44-3098	LA ARGENTINA	53,70	9	AS
H 44-3098	TURRUCARES	37,24	9	AS
H 44-3098	ATENAS	8,00	4	MR
H 51-8029	OJO DE AGUA	0,00	1	R
H 51-8194	OJO DE AGUA	1,71	1	R
H 53-0263	OJO DE AGUA	0,00	1	R
H 53-0263	OJO DE AGUA	0,00	1	R
H 54-775	TURRUCARES	9,93	5	MR
H 54-775	LA ARGENTINA	17,10	8	S
H 54-775	EL VIEJO	41,30	9	AS
H 56-4848	LA ARGENTINA	21,10	8	S
H 56-4848	LA ARGENTINA	21,10	8	S
H 56-4848	TURRUCARES	11,17	6	MR
H 56-4848	EL VIEJO	29,36	8	S
H 57-5174	OJO DE AGUA	3,44	3	R

H 57-5174	TURRUCARES	8,48	5	MR
H 57-5174	LA ARGENTINA	31,60	9	AS
H 59-3775	TURRUCARES	55,38	9	AS
H 59-3775	LA ARGENTINA	43,50	9	S
H 60-8521	OJO DE AGUA	0,00	1	R
H 60 8521	LA ARGENTINA	4,70	3	R
H 62-4021	TURRUCARES	30,55	8	S
H 62-4671	OJO DE AGUA	0,00	1	R
H 62-7155	OJO DE AGUA	0,73	1	R
H 63-6983	OJO DE AGUA	14,81	6	MR
H 64-1254	OJO DE AGUA	78,24	9	AS
H 65-606	LA ARGENTINA	7,50	4	MR
H 66-4221	LA ARGENTINA	15,00	6	MR
H 66-4221	TURRUCARES	5,80	4	MR
H 68-1158	TURRUCARES	6,98	4	MR
H 68-1158	LA ARGENTINA	20,00	7	S
H 68-4805	TURRUCARES	20,14	7	S
H 68-8685	TURRUCARES	37,11	9	AS
H 69-277	TURRUCARES	18,34	7	S
H 69-3904	LA ARGENTINA	23,30	8	S
H 69-3904	ATENAS	59,00	9	AS
H 69-396	TURRUCARES	1,42	1	R
H 70-0144	OJO DE AGUA	36,89	9	AS
H 70-0144	OJO DE AGUA	3,06	2	R
H 70-0144	ATENAS	0,00	4	MR
H 70-2329	TURRUCARES	5,80	4	MR
H 70-2329	LA ARGENTINA	0,00	1	R
H 70-6210	TURRUCARES	14,53	6	MR
H 70-936	ATENAS	7,05	4	MR
H 70-936	CATSA	28,38	8	S
H 71-4441	TURRUCARES	1,62	1	R
H 69-4992	TURRUCARES	2,95	2	R
H 71-505	TURRUCARES	8,70	5	MR
H 72-6183	OJO DE AGUA	0,93	1	R
H 73-7007	TURRUCARES	5,55	4	MR
IVP 75-14	CATSA	6,79	4	MR
JA 605	CATSA	0,93	1	R
JA 605	EEEJN	3,78	3	R
JA 64-11	EEEJN	1,00	1	R
L 60-14	TURRUCARES	49,83	9	AS
L 60-125	EL VIEJO	65,64	9	AS
L 68-40	CATSA	1,13	1	R
H 68-90	LA ARGENTINA	63,40	9	AS
L 723	EEEJN	0,49	1	R
L 723	CATSA	7,23	4	MR
L 723	OJO DE AGUA	1,67	1	R
LAICA 82-1014	TURRUCARES	5,89	4	MR
LAICA 82-1102	TURRUCARES	2,58	2	R
LAICA 82-135	TURRUCARES	0,37	1	R
LAICA 82-1729	TURRUCARES	0,00	1	R
LAICA 85-04	ATENAS	0,00	1	R
LAICA 85-05	ATENAS	0,00	1	R

LAICA 85-09	ATENAS	0,00	1	R
LAICA 85-135	ATENAS	1,80	1	R
LAICA 85-648	ATENAS	0,00	1	R
LAICA 85-652	ATENAS	26,00	8	S
LAICA 85-662	ATENAS	21,00	7	S
LAICA 85-80	ATENAS	54,00	9	AS
LAICA 86-02	ATENAS	3,00	2	R
LAICA 86-03	ATENAS	0,00	1	R
LAICA 86-07	ATENAS	0,00	1	R
LAICA 86-13	ATENAS	23,00	8	S
LAICA 86-17	ATENAS	0,00	1	R
LAICA 86-22	ATENAS	6,00	4	MR
LAICA 87-601	ATENAS	0,00	1	R
LAICA 86-616	ATENAS	9,00	5	MR
LAICA 88-645	ATENAS	10,00	5	MR
MER 60-12	CATSA	24,36	8	S
MER 60-12	ATENAS	0,00	1	R
MER 60-12	TURRUCARES	0,00	1	R
MEX 56-476	EEEJN	0,68	1	R
MEX 57-354	EEEJN	0,00	1	R
MEX 57-354	OJO DE AGUA	0,00	1	R
MEX 57-473	EEEJN	3,94	3	R
MEX 57-473	OJO DE AGUA	0,00	1	R
MEX 57-473	TURRUCARES	0,00	1	R
MEX 64-1224	EEEJN	0,00	1	R
MEX 64-1224	OJO DE AGUA	0,00	1	R
MEX 64-1487	EEEJN	0,34	1	R
MEX 67-351	EEEJN	0,00	1	R
MEX 67-351	OJO DE AGUA	0,00	1	R
MEX 68 P 23	OJO DE AGUA	0,00	1	R
MEX 68 P 23	EEEJN	0,00	1	R
MEX 68-1345	EEEJN	3,87	3	R
MEX 68-200	OJO DE AGUA	0,00	1	R
MEX 68-200	EEEJN	5,38	4	MR
MEX 69-290	OJO DE AGUA	0,00	1	R
MEX 69-290	EEEJN	0,35	1	R
MEX 69-420	EEEJN	9,44	5	MR
MEX 69-420	OJO DE AGUA	8,00	4	MR
MEX 70-485	EEEJN	0,00	1	R
MEX 70-485	OJO DE AGUA	0,00	1	R
MEX 73-523	OJO DE AGUA	0,00	1	R
MEX 77-523	EEEJN	0,00	1	R
MY 54-63	ATENAS	0,00	1	R
MY 56-19	EEEJN	2,60	2	R
MY 56-19	OJO DE AGUA	0,00	1	R
N 14	EEEJN	4,44	3	R
NA 56-42	CATSA	0,00	1	R
NA 56-42	EEEJN	0,00	1	R
NC 310	CATSA	20,16	7	S
NC 310	EEEJN	24,43	8	S
NC 310	EL VIEJO	67,01	9	AS
NC 376	TURRUCARES	10,56	5	MR

NCo 376	CATSA	9,98	5	MR
PINDAR	LA ARGENTINA	0,00	1	R
PINDAR	TURRUCARES	12,21	6	MR
PINDAR	EL VIEJO	7,54	4	MR
PR 10-13	CATSA	1,17	5	MR
PR 10-46	CATSA	1,74	1	R
PR 11-41	EEEJN	6,72	4	MR
PR 61-632	OJO DE AGUA	0,00	1	R
PR 61-632	EEEJN	5,91	4	MR
Q 102	EEEJN	1,40	1	R
Q 102	LA ARGENTINA	6,05	4	MR
Q 58	OJO DE AGUA	0,00	1	R
Q 67	LA ARGENTINA	0,00	1	R
Q 68	TURRUCARES	0,41	1	R
Q 68	CATSA	0,47	1	R
Q 68	LA ARGENTINA	2,50	2	R
Q 68	TURRUCARES	39,00	9	AS
Q 68	EL VIEJO	4,26	3	R
Q 75	TURRUCARES	3,20	3	R
Q 75	LA ARGENTINA	0,00	1	R
Q 75	EL VIEJO	25,69	8	S
Q 77	TURRUCARES	19,87	7	S
Q 77	EL VIEJO	22,35	8	S
Q 96	EEEJN	0,23	1	R
Q 96	CATSA	2,74	2	R
Q 96	OJO DE AGUA	0,00	1	R
Q 96	TURRUCARES	0,00	1	R
Q 96	LA ARGENTINA	2,90	2	R
Q 96	ATENAS	0,00	1	R
Q 99	EEEJN	3,15	3	R
Q 99	CATSA	13,19	6	MR
RB 726	CATSA	3,83	3	R
RB 73-1714	EEEJN	16,36	7	S
RB 73-1714	OJO DE AGUA	13,74	6	MR
RB 73-2223	ATENAS	3,74	3	R
RB 73-2577	OJO DE AGUA	20,83	7	S
RB 73-2577	EEEJN	9,64	5	MR
RB 73-2727	ATENAS	0,14	1	R
RB 73-2908	TURRUCARES	0,00	1	R
RB 73-429	OJO DE AGUA	0,00	1	R
RB 73-5220	OJO DE AGUA	0,00	1	R
RB 73-5220	EEEJN	0,00	1	R
RB 73-9115	TURRUCARES	36,70	9	AS
RB 73-9331	TURRUCARES	2,41	2	R
RB 73-9359	ATENAS	1,05	1	R
RB 73-9472	ATENAS	0,00	1	R
RB 73-9589	OJO DE AGUA	0,67	1	R
RB 73-9728	ATENAS	0,00	1	R
RB 73-9735	TURRUCARES	9,76	5	MR
RB 73-9735	ATENAS	1,96	1	R
RB 73-9755	ATENAS	4,00	3	R
RB 74-3259	EEEJN	16,85	7	S

RB 74-3605	EEEJN	37,46	9	AS
RB 74-429	EEEJN	26,24	8	S
RB 74-5433	TURRUCARES	2,25	2	R
RB 74-5672	ATENAS	15,72	7	S
RB 75-3259	EEEJN	3,23	3	R
RB 75-4665	EEEJN	14,34	6	MR
RB 75-4665	OJO DE AGUA	3,33	3	R
RB 76-3706	EEEJN	0,51	1	R
RB 76-3710	OJO DE AGUA	0,00	1	R
RB 76-3710	EEEJN	0,17	1	R
RB 76-5288	EEEJN	6,42	4	MR
RB 76-5288	OJO DE AGUA	0,00	1	R
RB 76-7664	OJO DE AGUA	0,00	1	R
RB 77-2551	EEEJN	2,27	2	R
RB 77-3703	EEEJN	23,75	8	S
RB 77-3720	EEEJN	12,31	6	MR
RB 78-5148	ATENAS	0,00	1	R
RD 75-01	ATENAS	0,00	1	R
RD 75-10	ATENAS	2,00	1	R
RD 75-11	ATENAS	0,00	1	R
SABORINA	ATENAS	0,00	1	R
SP 70-1005	ATENAS	0,00	1	R
SP 70-1078	ATENAS	1,37	1	R
SP 70-1143	EEEJN	1,12	1	R
SP 70-1143	TURRUCARES	0,24	1	R
SP 70-1143	CATSA	0,00	1	R
SP 70-1143	ATENAS	0,00	1	R
SP 70-1284	LA ARGENTINA	0,00	1	R
SP 70-1284	CATSA	0,00	1	R
SP 70-1284	EEEJN	6,85	4	MR
SP 70-1284	TURRUCARES	0,00	1	R
SP 70-1406	OJO DE AGUA	0,00	1	R
SP 70-1423	TURRUCARES	0,00	1	R
SP 70-4217	ATENAS	1,05	1	R
SP 70-455	TURRUCARES	8,09	4	MR
SP 70-4768	TURRUCARES	0,00	1	R
SP 71-1632	CATSA	1,35	1	R
SP 71-3146	TURRUCARES	0,53	1	R
SP 71-3149	OJO DE AGUA	2,22	1	R
SP 71-3149	TURRUCARES	13,91	6	MR
SP 71-5574	TURRUCARES	0,00	1	R
SP 71-5574	EEEJN	0,00	1	R
SP 71-6161	CATSA	9,74	5	MR
SP 71-6161	OJO DE AGUA	0,00	1	R
SP 71-6166	TURRUCARES	1,33	1	R
SP 71-6180	ATENAS	0,59	1	R
SP 72-1402	EEEJN	3,59	3	R
SP 72-1402	CATSA	3,58	3	R
SP 72-1402	ATENAS	1,29	1	R
SP 72-1880	EEEJN	3,77	3	R
SP 72-1880	ATENAS	6,52	4	MR
SP 72-1880	CATSA	6,37	4	MR

SP 72-4790	TURRUCARES	0,53	1	R
SP 72-4790	CATSA	10,35	5	MR
SP 73-1057	ATENAS	1,87	1	R
SP 73-1318	TURRUCARES	0,37	1	R
SP 73-3012	ATENAS	12,23	6	MR
SP 73-3414	ATENAS	10,13	5	MR
SP 73-3670	ATENAS	0,82	1	R
SP 75-1085	ATENAS	2,05	2	R
SP 75-5244	ATENAS	0,00	1	R
SP 75-5244	CATSA	14,67	6	MR
UCW 54-65	CATSA	13,02	6	MR

Fuente: ALFARO, 1991.

LITERATURA CONSULTADA

- ALEXANDER K., C; Rama Krishnan, K. 1980. La infección de la establecimiento en el huésped y producción de látigos del hongo causante del carbón (Ustilago scitaminea syd.) en la caña de azúcar. Boletín GEPLACEA (México), No.15:15-17.
- ALFARO P,R. 1989. Estudio de la reacción de 21 clones de caña de azúcar al carbón (Ustilago scitaminea) en la zona de Atenas. Resúmenes VIII Congreso Agronómico Nacional. Cartago, Costa Rica. 92 p. ¿.....
- ANONIMO. 1979. Programa de defensa contra el "carbón" (Ustilago scitaminea Sydow. Desarrollo es la República de Cuba. Ministerio Agrícola, Dirección General de Sanidad Vegetal. La Habana, Cuba.
- ANONIMO. El Carbón y estrategia de control en Colombia. Serie Técnica No. 7 p: 2,14.
- CHAVES S., M.A. 1984. Resistencia y susceptibilidad de las variedades al carbón de la caña de azúcar. Boletín técnico DIECA. Costa Rica. No. 11, año 2, p: 2-3.
- CHAVES, M.A.; AGUILAR, F. 1986. Cambios Morfológicos en tallos de caña de azúcar originados por efecto del carbón (Ustilago scitaminea). Resúmenes VII Congreso Agronómico Nacional. San José, Costa Rica p: 132 ¿...
- DIRECCION DE INVESTIGACION Y EXTENSION DE LA CAÑA DE AZUCAR (DIECA). 1986. Datos preliminares sobre la reacción al carbón (Ustilago scitaminea) de 64 variedades comerciales y promisorias en Costa Rica. Informe técnico San José, Costa Rica. p: 5.
- DIRECCION DE INVESTIGACION Y EXTENSION DE LA CAÑA DE AZUCAR (DIECA). 1986. Informe Programa de Mejoramiento Genético 1982-1987. San José, Costa Rica. p: 10.
- ESQUIVEL, E. 1984. El carbón de la caña de azúcar. Módulos pedagógicos Geplacea, Serie Tecnología. México D.F. 13 p.
- FAO Italia. 1986. Informe de la mesa redonda latinoamericana de enfermedades de la caña de azúcar. La Habana, Cuba. p: 68.
- FERREIRA S, A.; Constock J, C., WU K,K. 1980. Evaluación de la resistencia al carbón de la caña de azúcar. Boletín GEPLACEA (México), No. 15: p: 1-4.

- FLORES, S. 1977. El carbón de la caña de azúcar Ustilago scitaminea Sydow. Revista técnica azucarera México D.F. año 2, vol. 1, No. 7.
- FLORES, C.S; Osada K, S. 1981. Enfermedad del carbón de la caña de azúcar en México. Venezuela Azucarera (Ven), No. 4: 35-44.
- GONZALEZ, L. C. 1976. Introducción a la Fitopatología. San José, Costa Rica IICA. p:
- JAUCH, 1976. Patología Vegetal. Buenos Aires, Argentina. Editorial Ateneo 270 p.
- LAICA-Geplacea. 1981. Plagas y Enfermedades de la caña de azúcar. Adendun al documento básico. San José, Costa Rica 46 p.
- LOBICK, G., B. 1978. El carbón de la caña de azúcar Ustilago scitaminea. Resumen preparado con el asesoramiento de la Estación Experimental del Azúcar de Guyana. 76 p.
- MATZUOKA, S. 1979. Control del Carbón de la caña de azúcar en Brasil. Est. Control Sur. Planalsucar. Araras, SP, Brasil 12 p.
- MORALES C, R.; Acuña, H.; Menjivas A, R. 1982. Evaluación de variedades y su respuesta al carbón de la caña de azúcar (Ustilago scitaminea) en El Salvador. III Seminario Interamericano de la Caña de Azúcar. Variedades y Fitomejoramiento. Miami, Florida, U.S.A. p: 9.
- MARTIN, D. JR; et al. 1987. La caña de azúcar en Cuba. Editorial Científico Técnico. La Habana Cuba. 596 p.
- ORDOSGOITTI, A.; GONZALEZ, V.; Aponte, A. 1979. El carbón de la caña de azúcar. Carta Agrícola CENIAP. Venezuela No. 1: 1-4.
- ROBERTS, A. D; BOOTHROYD, W, C. 1978. Fundamentos de Patología Vegetal traducido por Filimena Díaz Celayeta Zaragoza. España. Editorial Acribia. p. 392.

