



# Universidad Autónoma Chapingo

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA

PROTECCIÓN VEGETAL

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

RESISTENCIA GENÉTICA AL CARBÓN (*Ustilago scitaminea* Syd.) EN CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.)

TESIS COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

PRESENTA:

RAZO GONZÁLEZ JESSICA



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA  
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES  
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

Chapingo México, Junio de 2014.



La presente tesis titulada: "RESISTENCIA GENÉTICA AL CARBÓN (*Ustilago scitaminea* Syd.) EN CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.)", fue realizada por la C. **Jessica Razo González**, bajo la dirección y asesoría del consejo particular indicado; ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de "Maestro en Ciencia en Protección Vegetal".

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTOR



DR. SANTOS GERARDO LEVA MIR

ASESOR



DR. ANDRÉS BOLAÑOS ESPINOZA

ASESOR



M.C. CALIXTO L. CARRILLO FONSECA

## **AGRADECIMIENTOS**

A **Dios**, por prestarme vida para seguir adelante y llegar a donde ahora estoy, gracias por todo absolutamente todo lo que me has dado a lo largo de mi vida.

Al **CONACYT** por el apoyo económico durante los 2 años de mi maestría.

A la **Universidad Autónoma Chapingo y al Departamento de Parasitología Agrícola**, por la oportunidad de continuar con mis estudios de Posgrado en **Protección Vegetal**.

Al **Dr. Santos Gerardo Leyva Mir** por la dirección y apoyo para la realización de este trabajo.

Al **Dr. Andrés Bolaños Espinoza**, por su importante tiempo, asesoría, apoyo y atención brindada.

Al **M. C. Calixto Carrillo Fonseca** gracias por su tiempo y apoyo para la realización de este trabajo.

A los **Profesores de la Maestría en Protección Vegetal** que de una u otra forma fueron parte importante para mi formación profesional y la culminación de este posgrado.

A todas las personas que de una u otra forma contribuyeron en la realización de este trabajo mi agradecimiento a todos los familiares, amigos y colegas de profesión.

**MUCHAS GRACIAS**

**Sinceramente:**

**Jessica**

## DEDICATORIA

A mis papás **Reynaldo Razo Rodríguez y Ma. Guadalupe González Razo**, gracias por la vida, por su amor y por su apoyo durante mi estancia en la Maestría. Los amo con todo mi corazón.

A mis hermanos **Susy y Cristian** gracias por ser mis hermanos consentidos. Los amo.

A mi sobrina hermosa **Camilita** te amo mi niña.

A mis abuelitos **Everarda, Elías, Josefa y Guadalupe**, que aunque ya no están aquí, sé que estarían muy orgullosos de verme en esta etapa de mi vida, Los extraño mucho y siempre los llevare en mi corazón.

A mi cuñado **Luis**, muchas gracias por todo y ser parte de la familia.

A todos mis tíos, primos y sobrinos, gracias por ser la mejor familia los quiero. En especial a mi tío **Guadalupe** que aunque ya no está con nosotros, siempre fue muy importante en toda mi vida, te llevo en el corazón.

A **Josué Morales**, gracias a esta maestría te conocí y te has convertido en uno de mis mejores amigos. Gracias por tu apoyo y por cada momento que hemos pasado en estos dos años. Te quiero mucho.

A **Iván**, gracias por todo absolutamente todo tu apoyo y por estos años de amistad. Te quiero mucho.

A **Lupita, Edith Gutiérrez y Mary**, la maestría nos puso en el mismo camino, espero que esta amistad perdure.

A **César** mi amigo Alushe, Dios decidió llevarte con él, pero te quedaras en mi corazón por siempre.

A mis grandes amigos **Edith Maldonado, Mayka, Lau, Eber, Marga, Gaby y Migue** y a todos aquellos que por alguna razón olvide mencionar y me han acompañado a lo largo de este camino.

## ÍNDICE

|                                                                          | Pág. |
|--------------------------------------------------------------------------|------|
| LISTA DE CUADROS.....                                                    | i    |
| LISTA DE FIGURAS.....                                                    | ii   |
| RESUMEN.....                                                             | 1    |
| ABSTRACT.....                                                            | 1    |
| I. INTRODUCCIÓN.....                                                     | 2    |
| II.OBJETIVOS.....                                                        | 4    |
| III. REVISIÓN DE LITERATURA.....                                         | 5    |
| 3.1 Descripción general de la caña de azúcar.....                        | 5    |
| 3.2 Etapas fenológicas de la caña de azúcar.....                         | 6    |
| 3.2.1 Establecimiento (30-50 días) .....                                 | 7    |
| 3.2.2 Crecimiento vegetativo y cierre de la plantación (50-70 días)..... | 8    |
| 3.2.3 Crecimiento rápido e incremento del rendimiento (180-220 días)..   | 9    |
| 3.2.4 Sazonado, maduración y cosecha (60-40 días).....                   | 10   |
| 3.3 Requerimientos climáticos y edáficos de la caña de azúcar.....       | 11   |
| 3.3.1 Requerimientos climáticos.....                                     | 12   |
| 3.3.1.1 Lluvia.....                                                      | 12   |
| 3.3.1.2 Temperatura.....                                                 | 13   |
| 3.3.1.3 Humedad relativa.....                                            | 13   |
| 3.3.1.4 Radiación solar .....                                            | 14   |
| 3.3.2 Requerimientos edáficos.....                                       | 15   |
| 3.4 Teoría de la resistencia vertical y horizontal.....                  | 17   |
| 3.5 Principales enfermedades del cultivo de la caña de azúcar.....       | 18   |
| 3.5.1 Carbón de la caña de azúcar ( <i>Ustilago scitaminea</i> ).....    | 20   |
| 3.5.1.1 Distribución.....                                                | 20   |
| 3.5.1.2 Clasificación taxonómica.....                                    | 21   |
| 3.5.1.3 Agente causal.....                                               | 21   |
| 3.5.1.4 Ciclo biológico.....                                             | 22   |
| 3.5.1.5 Sintomatología.....                                              | 23   |
| 3.5.1.6 Importancia y daños .....                                        | 25   |
| 3.5.1.7 Métodos de control.....                                          | 26   |
| 3.5.1.8 Mecanismos fisiológicos.....                                     | 28   |
| IV. MATERIALES Y METODOS.....                                            | 29   |
| 4.1 Colecta de plantas enfermas.....                                     | 29   |
| 4.2 Identificación del agente causal.....                                | 29   |
| 4.3 Método de inoculación en invernadero.....                            | 30   |
| V. RESULTADOS Y DISCUSION.....                                           | 33   |
| 5.1 Identificación del agente causal.....                                | 33   |
| 5.2 Método de inoculación.....                                           | 36   |
| 5.3 Resistencia al carbón de la caña de azúcar.....                      | 36   |
| VI. CONCLUSIONES.....                                                    | 45   |
| VII. LITERATURA CITADA .....                                             | 46   |

## LISTA DE CUADROS

|                                                                                                                                                                                                                         | Pág. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Cuadro 1. Cronología de la aparición del carbón de la caña de azúcar en el continente Americano.....                                                                                                                    | 20   |
| Cuadro 2. Medidas de teliosporas de carbón de la caña de ( <i>Ustilago scitaminea</i> ).....                                                                                                                            | 35   |
| Cuadro 3. Media, Varianza y Desviación estándar de las teliosporas de <i>Ustilago scitaminea</i> .....                                                                                                                  | 36   |
| Cuadro 4. Escala de evaluación para Mosaico y Carbón propuesta por Hutchinson and Daniels.....                                                                                                                          | 38   |
| Cuadro 5. Reacción de 10 variedades de caña de azúcar de INIFAP, inoculados con esporas de Carbón de la Caña de Azúcar ( <i>Ustilago scitaminea</i> ) clasificadas según la escala de Hutchinson and Daniels, 1971..... | 39   |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                 | Pág. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figura 1. Etapas fenológicas del cultivo de caña de azúcar.....                                 | 7    |
| Figura 2. Factores que interactúan en la definición de la capacidad productiva del cultivo..... | 11   |
| Figura 3. Ciclo del carbón de la caña de azúcar en campo.....                                   | 23   |
| Figura 4. Síntoma característico del carbón de la caña de azúcar.....                           | 24   |
| Figura 5. Cepa de caña de azúcar infectada por el carbón .....                                  | 25   |
| Figura 6. Látigos de caña de azúcar colectados.....                                             | 30   |
| Figura 7. Preparación de la suspensión utilizada en la inoculación.....                         | 31   |
| Figura 8. Siembra de los canutos de caña de azúcar en invernadero....                           | 32   |
| Figura 9. Corte transversal del látigo observado en microscopio simple                          | 33   |
| Figura 10. Teliosporas de <i>Ustilago scitaminea</i> .....                                      | 34   |
| Figura 11. Variedad MEX 03-47: a) Planta inoculada, b) Testigo.....                             | 39   |
| Figura 12. Variedad SP 80-32: a) Planta inoculada, b) Testigo .....                             | 40   |
| Figura 13. Variedad Q 28-2: a) Planta inoculada, b) Testigo.....                                | 40   |
| Figura 14. Variedad ITV 92-14-24: a) Planta inoculada, b) Testigo.....                          | 41   |
| Figura 15. Variedad MEX 03-36: a) Planta inoculada, b) Testigo.....                             | 41   |
| Figura 16. Variedad MEX 03-32: a) Planta inoculada, b) Testigo.....                             | 42   |
| Figura 17. Variedad B 33-37: a) Planta inoculada, b) Testigo.....                               | 42   |
| Figura 18. Variedad CP 20-86: a) Planta inoculada, b) Testigo.....                              | 43   |
| Figura 19. Variedad LAICA 82-2220: a) Planta inoculada, b) Testigo.....                         | 43   |
| Figura 20. Variedad MEX 03-50: a) Planta inoculada, b) Testigo.....                             | 44   |

# RESISTENCIA GENÉTICA AL CARBÓN (*Ustilago scitaminea* Syd.) EN CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.).

Jessica Razo- González.<sup>1</sup>, Santos Gerardo Leyva- Mir<sup>1</sup>, Andrés Bolaños- Espinoza<sup>1</sup>, Calixto Leopoldo Carrillo-Fonseca<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Proteccion Vegetal, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera México- Texcoco. Km 38.5, Texcoco, Estado de México.

## RESUMEN

El estudio tuvo como finalidad probar la resistencia genética al carbón (*Ustilago scitaminea*) en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), en Chapingo, Estado de México. Se realizó la evaluación a resistencia del carbón en materiales de caña de azúcar, en las variedades más prometedoras de INIFAP (MEX 03-47, SP 80-32, Q 28-2, ITV 92-1424, MEX 03-36, MEX 03-32, B 33-37, CP 2086, LAICA 82-2220 y MEX 03-50) para observar los principales síntomas del carbón. Se colectaron muestras de carbón y se realizaron montajes para observar las estructuras reproductivas del patógeno y medición de teliosporas para la identificación del agente causal. El método de inoculación de *Ustilago scitaminea* se realizó mediante la inmersión de canutos de caña en una suspensión de esporas del carbón en condiciones de invernadero. Las variedades probadas en este estudio resultaron ser altamente resistentes al carbón (*Ustilago scitaminea*).

**Palabras clave:** Resistencia, carbón de la caña, variedades

## ABSTRACT

The aim of this research was to test genetic resistance to sugarcane smut (*Ustilago scitaminea*) in sugarcane plants (*Saccharum officinarum* L.) at Chapingo, State of Mexico. The evaluation of sugarcane varieties for resistance to sugarcane smut on the most promising varieties from INIFAP (MEX 03-47, SP 80-32, Q 28-2, ITV 92-1424, MEX 03-36, MEX 03-32, B 33-37, CP 2086, LAICA 82-2220 and MEX 03-50) was carried out, to observe the main symptoms of sugarcane smut. Sugarcane smut samples were collected and permanent slides mounts were prepared to observe the reproductive structures of the pathogen and measuring of the teliospores to identify the causal agent. The method of inoculation for *Ustilago scitaminea* was done by immersing sugarcane setts in a sugarcane smut spore suspension under greenhouse conditions.

The varieties tested in this study were highly resistant resistance to sugarcane smut (*Ustilago scitaminea*).

**Keywords:** resistance, sugarcane smut, varieties.

## INTRODUCCION

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) es uno de los cultivos más antiguos del mundo y de importancia agroindustrial en las zonas tropicales y subtropicales. Se cultiva en más de 130 países; Brasil aporta el 28% y la India el 22% de la producción, seguidos por China, Tailandia, Pakistán y México (USDA, 2010). En México, la caña de azúcar se cultiva en 734,818.74 ha, las cuales producen 50,421,619.53 t, con rendimiento promedio nacional de 71.63 t.ha<sup>-1</sup>. En el estado de Tabasco se cultiva en 31,340.00 ha, con rendimientos promedio de 61.15 t.ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2013).

El cultivo de la caña de azúcar es afectado por agentes bióticos como hongos, bacterias, virus, fitoplasmas y nematodos y abióticos como la inadecuada fertilidad del suelo, el mal drenaje, la toxicidad por productos químicos, sequía, etc. Además estos agentes, afectan la productividad del cultivo si no se realiza un manejo adecuado preventivo (Juárez y Valdez, 2000). Los problemas fitopatológicos en el cultivo comercial de caña de azúcar en los 130 países donde se cultiva son la roya café (*Puccinia melanocephala* Syd. & P. Syd.), el Carbón (*Ustilago scitaminea* Syd.) o [*Sporisorium scitamineum* (Syd.) M. Piepenbring, M. Stoll & Oberw.], la roya naranja (*Puccinia kuehnii* Butler), el raquitismo de las socas (*Clavibacter xyli* subsp. *xyli* Davis), el virus del síndrome de la hoja amarilla (Sugarcane Yellow Leaf Virus) (SCYLV), la escaldadura de la hoja [*Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson], y el virus del mosaico de la caña de azúcar (VMCA). En algunos casos las variedades susceptibles han sido clasificadas como económicamente limitantes, tal es el caso de la variedad B 4362 atacada por *P. melanocephala* en

el periodo 1978 al 1980 en México donde se perdieron 92,000 ha de esta variedad (Flores,1997).

Los productores cañeros mexicanos en los últimos 40 años utilizaron variedades generadas y seleccionadas por el IMPA (Instituto para el Mejoramiento de la Producción de Azúcar). Sin embargo, por el cierre de la institución, la liberación de nuevas variedades comerciales ha sido escasa o nula en el país (Juárez y Valdez, 2000); Por ejemplo las últimas evaluaciones fitopatológicas en la caña de azúcar se realizaron en el periodo de 1998-2000 a través de convenios con el CYTCAÑA (Programa Nacional de Investigación en Ciencia y Tecnología de la Agroindustria de la Caña de Azúcar, la Cámara de las Industrias Azucarera y Alcoholera y el Colegio de Postgraduados Campus Tabasco a las enfermedades de roya y carbón (Valdez *et al.*, 2000).

Las pruebas de resistencia a carbón son indispensables para que un clon sea recomendado como prometededor para su liberación al cultivo comercial; no obstante actualmente las variedades cultivadas en los campos cañeros no cuentan con ninguna evaluación previa, para determinar sus áreas de adaptación, rendimiento potencial y problemas fitosanitarios. Por ello el objetivo del presente trabajo fue determinar el porcentaje de incidencia y severidad en 10 variedades de caña de azúcar que se encuentran en fases avanzadas de selección en México para su adopción en otras regiones.

## II. OBJETIVOS

- Corroborar el agente causal del carbón (*Ustilago scitaminea*)
- Evaluación de materiales provenientes del INIFAP
- Búsqueda de materiales resistentes en caña de azúcar.
- Definir el método de inoculación en invernadero, en canutos de caña para *Ustilago scitaminea*.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

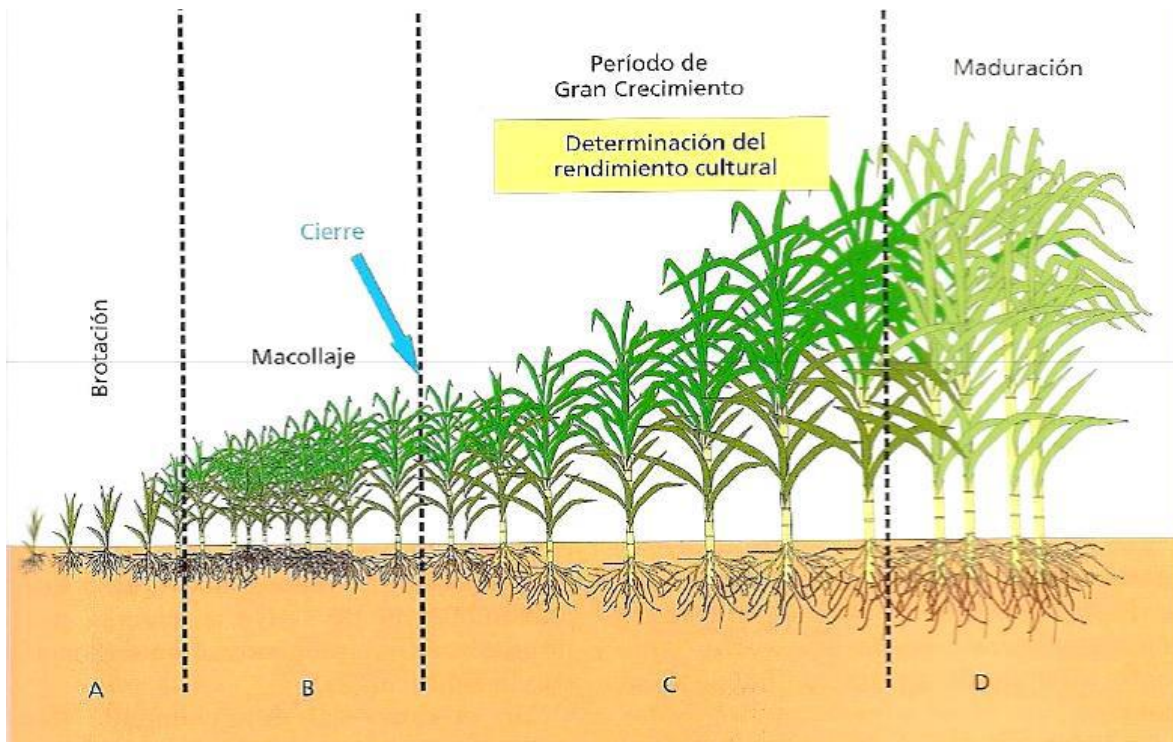
#### 3.1 Descripción general de la caña de azúcar

La caña de azúcar es una de las especies con alta producción de hojas y tallos (caña integral) que en su madurez tiene la mitad de su biomasa en forma de fibra y azúcares. Potencialmente la caña puede producir, alrededor de 45 t de masa seca año ha<sup>-1</sup>; la parte aérea puede producir hasta 22 t azúcar año ha<sup>-1</sup> (Moore y Maretzki, 1996). La caña de azúcar, más que un cultivo y una actividad empresarial, ha representado toda una cultura para México, en virtud de que su presencia ha sido muy amplia e intensa desde el siglo XVI cuando ingresó al territorio nacional procedente de Cuba. La caña ha acompañado a los procesos de colonización y desarrollo del país, y son muchas las formas y manifestaciones a través de las cuales la planta y sus subproductos han intervenido en el quehacer del pueblo mexicano. Cada una de las regiones cañeras de México posee características y condiciones productivas singulares que hacen que el potencial productivo, la expectativa de rendimientos agroindustriales y los costos de producción involucrados varíen significativamente (Flores, 1997). Las variedades comerciales de caña de azúcar son híbridos interespecíficos, principalmente de *Saccharum officinarum* L., *S. spontaneum* L. y *S. robustum* L. La acumulación de sacarosa en el tallo depende, de la herencia (21% *S. officinarum* L., 10% *S. robustum* L. y 6% *S. spontaneum* L.), así como de factores morfológicos, enzimáticos, ambientales, disponibilidad de agua y de la incidencia de enfermedades. Los tallos con alta concentración de sacarosa tienen mayor contenido de humedad y menos fibra; además su epidermis es más gruesa y tienen mayor peso fresco (Miceli, 2002). Sin embargo, la respuesta agro-

productiva del cultivo difiere según las condiciones de manejo, la región climática, el tipo de suelo, la variedad y otros factores (Yang, 1997). Por ello, resulta importante estudiar estas diferencias a fin de establecer las estrategias de regionalización de variedades y tecnologías con un fundamento científico y sobre bases sostenibles.

### **3.2 Etapas fenológicas de la caña de azúcar**

La caña de azúcar posee un periodo vegetativo cuya duración depende básicamente de las características del material genético utilizado, y también de la influencia que el clima ejerce en este proceso biológico (Hunsigi, 2001). La caña de azúcar tiene esencialmente cuatro fases de crecimiento (Figura 1): a) fase de establecimiento, la cual implica germinación y brotación; b) fase de ahijamiento, formativa o macollaje; c) fase de crecimiento rápido; y d) fase de maduración y cosecha (Humbert, 1974; Benvenuti, 2005; FAO, 2009).



**Figura 1.** Etapas fenológicas del cultivo de caña de azúcar, de acuerdo con FAO (2009).

El conocimiento de las fases fenológicas de la planta es esencial para maximizar los rendimientos de caña y la recuperación del azúcar (Hunsigi, 2001).

### 3.2.1 Establecimiento (30-50 días)

La germinación se refiere a la iniciación del crecimiento a partir de las yemas presentes en los tallos sembrados o en lo que queda después de la cosecha del cultivo anterior. Durante esta fase es necesaria la disponibilidad adecuada de agua y el control de malezas. El déficit hídrico tiene un impacto significativo sobre el rendimiento de azúcar ya que propicia la reducción de la densidad de población

de adultos debido al nuevo e insuficiente sistema de raíces pequeñas y poco profundas (Barbieri, 1993). La germinación de las yemas es influenciada por factores externos e internos. Los factores externos son la humedad, la temperatura y la aireación del suelo. Los factores internos son la sanidad de la yema, la humedad del esqueje, el contenido de azúcar reductor del esqueje y su estado nutricional. La germinación produce una mayor respiración y por eso es importante tener una buena aireación del suelo. Por esta razón, los suelos abiertos, bien estructurados y porosos permiten una mejor germinación. Bajo condiciones de campo, una germinación en torno del 60% puede ser considerada segura para un cultivo satisfactorio de caña (Humbert, 1974). La época de siembra, como factor de manejo, incluye los efectos de la edad/calidad de la semilla y, en especial, los de las variables ambientales. La incidencia del primer factor se relaciona con diferencias en el estado hídrico, nutricional, fisiológico y con el contenido y tipo de azúcares del esqueje. En cuanto al segundo factor, es ampliamente reconocido que la modificación de la fecha de siembra genera variaciones en el escenario ambiental, principalmente en las condiciones térmicas e hídricas, que inciden en la emergencia, en el desarrollo foliar y en la producción (Romero, 2009).

### **3.2.2 Crecimiento vegetativo y cierre de la plantación (50 -70 días)**

El crecimiento y el rendimiento son muy sensibles a cualquier déficit de agua en esta etapa; además la planta amacolla, se desarrolla mayor cantidad de follaje y la plantación comienza a cerrar. La elongación del tallo es inicialmente rápida y, durante esta fase, el contenido de fibra del tallo es elevado, mientras que los

niveles de sacarosa son todavía bastante bajos. Una temperatura cercana a 30°C es considerada como óptima para el ahijamiento (Fauconnier y Bassereau, 1975). El ahijamiento es el proceso fisiológico de ramificación subterránea múltiple, que se origina a partir de las articulaciones nodales compactas del tallo primario. El ahijamiento le da al cultivo un número adecuado de hojas activas y tallos, que permiten obtener un buen rendimiento. Diversos factores, tales como la variedad, la luz, la temperatura, el riego (humedad del suelo) y las prácticas de fertilización afectan al ahijamiento. La incidencia de una iluminación adecuada en la base de la planta de caña durante el período de ahijamiento es de vital importancia. Los hijuelos o retoños que se forman primero dan origen a tallos más gruesos y pesados. Los retoños formados más tarde mueren o se quedan cortos o inmaduros (Barbieri, 1993).

### **3.2.3 Crecimiento rápido e incremento del rendimiento (180-220 días)**

Comprende desde el cierre de campo hasta el inicio del periodo de madurez de los tallos. Se caracteriza por el aumento de biomasa y del número de tallos por área. La humedad es fundamental para que el sistema radical se desarrolle y pueda absorber los nutrimentos. Cualquier déficit de agua comenzaría el proceso de maduración y detendría la acumulación de sacarosa antes de su etapa óptima, durante la primera etapa de esta fase ocurre la estabilización de los retoños. De todos los retoños formados sólo el 40 - 50% sobrevive y llega a formar tallos triturables. Esta es la fase más importante del cultivo, en la que se determinan la formación y elongación real de la caña y su rendimiento. En esta fase ocurre un crecimiento rápido de los tallos con la formación de 4-5 nudos por mes, así como

una foliación frecuente y rápida hasta alcanzar un índice de área foliar (IAF) de 6 a 7 (Barbieri, 1993).

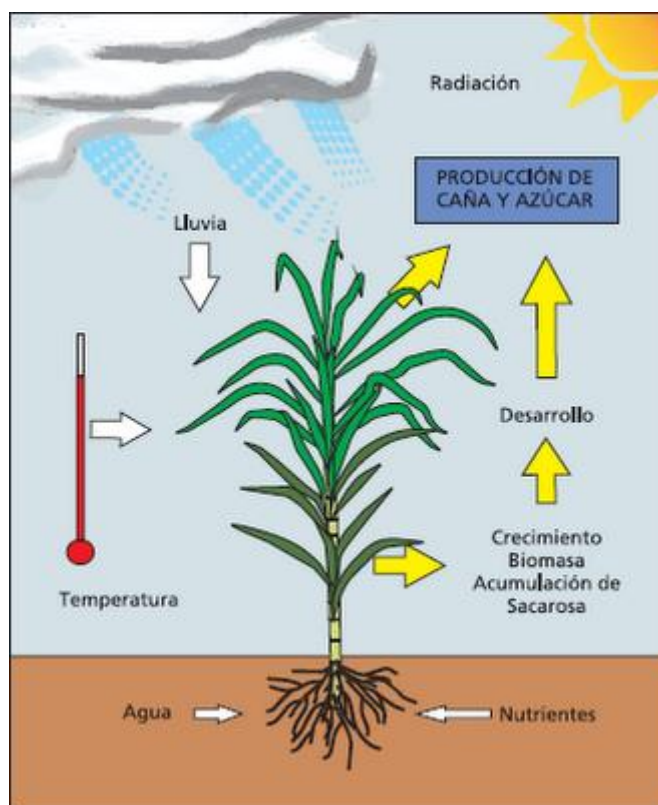
#### **3.2.4 Sazonado, maduración y cosecha (60 - 140 días)**

Se inicia alrededor de dos a tres meses antes de la cosecha para cultivos con ciclo de 12 meses, y de los 12 a los 16 meses de edad para los que completan el ciclo en 18 a 24 meses, Esto ocurre desde la base hacia el ápice y por esta razón la parte basal contiene más azúcares que la parte superior. Condiciones de abundante luminosidad, cielos claros, días calurosos (es decir, con mayor variación diaria de temperatura) y climas secos estimulan la maduración.

En esta fase se requiere un bajo contenido de humedad del suelo, por lo que el riego debe ser reducido y luego detenerse para llevar la caña a la madurez; así, se detiene el crecimiento y se propicia la acumulación de carbohidratos y la conversión de azúcares reductores (glucosa y fructosa) a sacarosa (Pereira, 2009). La caña de azúcar es cosechada mediante un corte en la base del tallo, el cual se hace de forma manual o mecánica; la paja se elimina manualmente o es quemada previamente a la cosecha; ésta ocurre antes de la floración (12 a 18 meses después de la siembra) debido a que la antesis conduce a la reducción en el contenido de azúcar en los tallos (Humbert, 1974; Fauconnier y Bassereau, 1975; Dillewijn, 1978).

### 3.3 Requerimientos climáticos y edáficos de la caña de azúcar

La caña de azúcar es una planta que presenta una amplia variabilidad y una reconocida capacidad de adaptación cuando es sometida a condiciones desfavorables de clima, manejo y suelo (Figura 2). Es decir, se sustenta en ventajas como su adaptación a un amplio ámbito de condiciones agroecológicas, baja sensibilidad a condiciones pobres de fertilidad del suelo y a regímenes cálido-húmedos prolongados (FAO, 2009). Sin embargo, como lo indica Moore (2009) para manifestar su máximo potencial productivo, la caña requiere de un estudio preciso de las condiciones ambientales, meteorológicas y edafológicas óptimas.



**Figura 2.-** Factores que interactúan en la definición de la capacidad productiva del cultivo (Romero , 2009).

### **3.3.1 Requerimientos climáticos**

La caña de azúcar se adapta a un amplio rango de condiciones climáticas, pero se desarrolla mejor en regiones tropicales, cálidas y con amplia radiación solar (Humbert, 1974). Las características climáticas ideales para lograr una máxima producción de azúcar de caña son: la presencia de una estación calurosa larga, con alta incidencia de radiación solar y una adecuada humedad. La planta utiliza entre 148 a 300 g de agua para producir 1 g de materia seca. La presencia de una estación seca, soleada y fresca, libre de heladas, es necesaria para la maduración y cosecha. El porcentaje de humedad cae drásticamente a lo largo del ciclo de crecimiento de la caña, de un 83% en plantas muy jóvenes a un 71% en la caña madura, mientras que la sacarosa aumenta de menos de 10% hasta 45% del peso seco (Humbert, 1974).

#### **3.3.1.1 Lluvia**

Una precipitación entre 1500 y 1800 mm es adecuada en los meses de crecimiento vegetativo, siempre que la distribución de luz sea apropiada y abundante. Después debe haber un período seco para la maduración. Durante el período de crecimiento activo la lluvia estimula el crecimiento rápido de la caña, la elongación y la formación de entrenudos. Sin embargo, la ocurrencia de lluvias intensas durante el período de maduración no es recomendable, porque produce una pobre calidad de jugo y favorece el crecimiento vegetativo; además, dificulta las operaciones de cosecha y transporte (FAO, 2009; Dos Santos *et al.*, 2008; Inman y Smith, 2005; Hunsigi, 2001).

### **3.3.1.2 Temperatura**

El crecimiento está directamente correlacionado con la temperatura. La temperatura óptima para la brotación (germinación) de los esquejes es de 32°C a 38°C. La germinación disminuye bajo 25°C, llega a su máximo entre 30-34°C, se reduce por sobre los 35°C y se detiene cuando la temperatura es mayor a 38°C. Por otro lado, para la maduración son preferibles temperaturas relativamente bajas, en el rango de 12-14°C, ya que ejercen una marcada influencia sobre la reducción de la tasa de crecimiento vegetativo y el enriquecimiento de azúcar de la caña (Valdez *et al.*, 2009).

A temperaturas mayores la sacarosa puede degradarse en fructosa y glucosa, además de estimular la fotorrespiración, que produce una menor acumulación de azúcares. Por otro lado, condiciones severas de frío inhiben la brotación de las socas y reducen el crecimiento de la caña. Temperaturas inferiores a 0°C, producen el congelamiento de las partes más desprotegidas, como las hojas jóvenes y las yemas laterales. El daño depende de la duración de la helada (Pereira, 2009).

### **3.3.1.3 Humedad relativa**

Durante el período de crecimiento rápido, las condiciones de alta humedad (80 - 85%) favorecen una elongación rápida de la caña. Valores moderados, de 45 - 65%, acompañados de una disponibilidad limitada de agua, son beneficiosos durante la fase de maduración (Inman y Smith, 2005).

### **3.3.1.4 Radiación solar**

La caña se ubica en el grupo de las plantas con vía fotosintética C4, que poseen anatomía Kranz. Las hojas poseen dos tipos de cloroplastos: los localizados en las células del mesófilo y los de las células de la vaina vascular, con los cuales la planta es capaz de fijar CO<sub>2</sub> por dos vías: a) por la vía normal C3, y b) por la vía alternativa C4, en compuestos de cuatro carbonos como ácido málico, principalmente, ácido aspártico o ácido oxalacético, en función de la variedad, lo que le confiere un elevado punto de saturación de luz. La caña alcanza valores de fijación de CO<sub>2</sub> elevados, lo que refleja su elevada capacidad fotosintética y alto punto de compensación. Se asegura que posee una eficiencia que va de 5 a 6% en la conversión de energía solar (Benvenuti, 2005; Hunsigi, 2001). Por esta razón, la caña utiliza el agua con mayor eficiencia, manteniendo a su vez, una mayor adaptabilidad en condiciones de déficit de humedad o sequía (DeSouza, 2008).

El índice de área foliar, el cual describe la dimensión del sistema asimilador de una comunidad vegetal, constituye una excelente aproximación para evaluar la capacidad de desarrollo del follaje y, consecuentemente, su capacidad fotosintética total, denominada productividad primaria bruta. La caña presenta en este sentido una gran área foliar, con un IAF elevado (4 a 10) de acuerdo con la variedad; sus hojas son casi verticales durante la mayor parte de su periodo de crecimiento y la anchura de la lámina foliar es variable, lo que eleva significativamente su eficiencia en la intercepción de luz (Xin *et al.*, 2008; Chavéz, 1999). En el follaje de la caña las primeras seis hojas superiores interceptan el 70% de la radiación y la tasa fotosintética de las hojas inferiores disminuye debido

al sombreado mutuo (Barbieri, 1993). Se ha estimado que el 80% del agua es perdida por acción de la energía solar, un 14% se pierde por efecto del viento y un 6% se pierde por acción de la temperatura y la humedad. Altas velocidades de viento, superiores a 60 km/h-1, son perjudiciales para cañas ya crecidas, al causar el acame y el rompimiento de las cañas. Además, el viento favorece la pérdida de humedad de las plantas, agravando así los efectos dañinos del estrés hídrico (Chandra *et al.*, 2005).

### **3.3.2 Requerimientos Edáficos**

La caña de azúcar es una planta que se adapta a una gran diversidad de suelos y de condiciones edáficas en general; prospera en suelos de textura franca hasta la arcillosa, de profundidad alta a baja, de buena a mala fertilidad, de pH ácido hasta alcalino, de topografía plana hasta quebrada, etc.(Valdez *et al.*, 2009). La planta de caña posee altos requerimientos nutricionales en consideración a su elevada capacidad de extracción, y remoción de nutrientes del suelo y a su alta producción de materia verde y seca. Este cultivo rápidamente agota los suelos, siendo necesario un programa adecuado de fertilización, que restituya al suelo lo extraído por la planta, y lo que haya perdido a través de la materia prima cosechada y procesada en el ingenio (James, 2004).

La zona de influencia de los ingenios mexicanos está conformada por diversos tipos de suelos, de los cuales feozem, cambisol, acrisol, vertisol, regosoles y luvisol representan la mayoría del total del área cañera. En su zona de influencia los ingenios: Azsuremex -Tenosique, Bellavista, Calipam, El Higo, El Refugio, El Dorado, Huixtla, Independencia, La Gloria, Los Mochis, Mahuixtlán, Tala (José

María Martínez), San Gabriel y Tres Valles tienen problemas de materia orgánica; por otra parte, Constanica, El Molino, Puga y Tala presentan problemas en la acidez intercambiable. Sin embargo Gavi *et al.*(2009), mencionan que en el área de abasto de la mayoría de los Ingenios todavía se encuentran suelos con suficiente cantidad de materia orgánica, lo cual propicio condiciones físicas de los terrenos para la producción de la caña, pero si no se realizan buenas prácticas apropiadas de manejo (aportes de los residuos de cosecha, compostas de los materiales de desecho de la agroindustria, entre otros), dicha condición se perderá paulatinamente causando problemas de compactación, aireación y disminución de la productividad. Aunque en los ingenios (Atencingo, Aarón Sáenz Garza, Tenosique, Benito Juárez, Santa Rosalía, Constanica y La Primavera) hay terrenos susceptibles a problemas con posible inundación prolongada la severidad de su efecto sobre la producción de la caña de azúcar dependerá de la frecuencia e intensidad de la precipitación en las partes planas, aunado a condiciones de mal drenaje natural. En relación a la fertilidad de los suelos, los valores de nitrógeno disponible indican que para el nivel de rendimiento de la caña de azúcar en todas las regiones a excepción de Nuevo San Francisco y El Carmen, se requiere aplicar fertilizante nitrogenado para mantener o incluso incrementar la productividad del sistema de producción debido a que las principales pérdidas de nitrógeno del suelo están relacionadas con la cantidad de este nutriente contenida en los productos cosechados, la volatilización del nitrógeno orgánico ocasionada por la quema durante la zafra y por la desnitrificación (Gavi *et al.*, 2009).

En relación al fosforo (P) solamente los ingenios: Aarón Sáenz Garza, Adolfo López Mateos, Alianza Popular, El Mante, La Concepción, La Joya, Pablo

Machado, Pedernales, Plan de Ayala, Plan de San Luis, Pujilic, San Cristóbal y Zapoapita presentan niveles bajos de este elemento, de ahí la importancia de analizar el suelo en las demás zonas de abasto para no extralimitarse en las aplicaciones de este elemento. Para el potasio (K) solamente las zonas de Adolfo López Mateos, El Potrero, El Refugio e Independencia presentan bajos niveles, sin embargo en las demás zonas se abatirá a través del tiempo si no se toma la precaución de reponerlo mediante la adición de materiales fertilizantes, ya sean químicos u orgánicos. En las zonas cañeras se tiene baja capacidad de reposición del fosforo, en este sentido el 13.7% de la superficie sembrada (106,943 ha) recibe algún tipo de fertilización (SIAP, 200).

### **3.4 Teoría de la resistencia vertical y horizontal.**

La resistencia vertical de la caña de azúcar normalmente confiere protección completa contra un parásito, y ésta protección funciona en un amplio rango climático. Eso significa que la resistencia vertical es relativamente insensible al clima, y por lo tanto un cultivar específico se puede llevar de una región a otra. Sin embargo, el cultivar grandes extensiones con una sola variedad tiene ciertas ventajas económicas pero también desventajas. La primer desventaja es que al tener una gran área con un solo cultivar es muy vulnerable a una nueva raza acoplante del parásito; segunda, el amplio uso de un solo cultivar conlleva una pérdida de diversidad genética. (Cornide *et al.* 1993).

En el cultivo de la caña de azúcar la resistencia vertical se ha empleado como el principal método de control; sin embargo, ésta no ha sido estable o durable en ciertas variedades, debido a la variabilidad genética de los hongos; la cual rompe

la capacidad de restringir o evitar la entrada y la subsiguiente actividad de patógenos en los tejidos de las plantas, la resistencia vertical puede ser conferida por mecanismos pre-formados o constitutivos y por post-formados o inducidos (Sotomayor *et al.*1983). En cambio la resistencia horizontal es durable, no puede haber interacción entre el hospedero y el hospedante. Funciona contra las razas del parásito que ya acoplaron la resistencia vertical del hospedante, y que ya iniciaron el proceso de parasitismo; en consecuencia la resistencia horizontal no puede ser rota como sucede con la vertical. La resistencia horizontal ocurre en todas las plantas independientemente de los genes de resistencia vertical que puedan contener, y funciona contra todas las razas del parásito, independientemente también de los genes de parasitismo vertical que puedan contener (Cornide *et al.* 1993).

### **3.5 Principales enfermedades del cultivo de la caña de azúcar**

En las regiones cañeras las principales enfermedades de la caña de azúcar son causadas por hongos, bacterias y virus. Cada enfermedad presenta una amplia variación de síntomas según la etapa de desarrollo del cultivo y el ambiente. Muchos síntomas son muy característicos, pero otros pueden confundirse con deficiencias minerales, daños de insectos, toxicidad de herbicidas, etc. (Valdez *et al.*, 2009).

El ambiente es el más variable para que se desarrolle la enfermedad, la planta puede permanecer susceptible por semanas o meses y también la población del patógeno puede mantenerse elevada, pero las condiciones ambientales suelen variar sustancialmente. El medio ambiente influye en la severidad de las

enfermedades de las hojas y tallos, afecta la producción y la diseminación del inoculo, el desarrollo de la infección y la frecuencia, y la duración de mayor susceptibilidad del hospedante. La importancia de cada factor ambiental varía de una enfermedad a otra, pero en general los que tienen mayor efecto son la temperatura y la humedad (Chinea y Rodríguez, 2010).

La historia de los países productores de caña de azúcar ha pasado por periodos en los cuales la aparición de nuevas enfermedades o el desarrollo de razas de patógenos más virulentas, han provocado la destrucción de los cañaverales y amenazado seriamente el mantenimiento del cultivo. Por ejemplo en el periodo 1979 a 1980, la enfermedad de la roya café acabo con una de las mejores variedades comerciales que se cultivaban en el continente Americano (Flores, 1997).

Entre las enfermedades de la caña que son de importancia económica en todos los países cañeros destacan: la roya café (*Puccinia melanocephala*), el carbón (*Ustilago scitaminea*), la roya naranja (*Puccinia kuehnii*), más las otras enfermedades mencionadas en Introducción (Flores, 1997). *U. scitaminea* Syd., fue descrita en 1924 (Sydow, 1924; citado por la base de datos de MycoBank) (Robert *et al.*, 2005) y en 2002 fue reclasificada como *Sporisorium scitamineum* (Syd.) (Piepenbring *et al.*, 2002). Actualmente MycoBank y la base de datos de USDA recomiendan adecuado continuar con el uso de *U. scitaminea*.

### 3.5.1 Carbón de la caña de azúcar *Ustilago scitaminea*

#### 3.5.1.1 Distribución

El carbón fue encontrado por primera vez en Sudáfrica en 1877 y en 1940 fue reportada en el hemisferio occidental, en Argentina; posteriormente se encontró en Brasil y Paraguay. Sin embargo, no fue sino hasta después de que se le encontró en Hawái en 1971 y en Guyana en 1974, que se diseminó por toda el área del Caribe, y por todo el continente Americano (Ferreira y Comstock, 1989). En el Cuadro 1 se muestran los reportes del carbón en los países del Caribe y América latina.

Cuadro 1.- Cronología de la aparición del carbón de la caña de azúcar en el Continente Americano\*.

| Año  | País                                                         | Variedad                                                              |
|------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 1940 | Argentina                                                    | POJ 36 Y POJ 213                                                      |
| 1944 | Paraguay                                                     | POJ 36 Y POJ 213                                                      |
| 1946 | Brasil                                                       | POJ 36 Y POJ 213                                                      |
| 1948 | Bolivia                                                      | POJ 36 Y POJ 213                                                      |
| 1974 | Guyana                                                       | HJ 57-41 Y DB 1460                                                    |
| 1976 | Martinica, Trinidad, Jamaica                                 | HJ 57-41 Y B 49-119                                                   |
| 1978 | Estados Unidos, Belice, Guadalupe, Cuba, Venezuela, Honduras | CL 61-5, CP 65-357, HJ 57-41, BJ 57-21, B 52-298, MY 53-174, L 60 14. |
| 1979 | Nicaragua, Colombia, Barbados                                | L 60 14 y B 49-119                                                    |
| 1980 | Haití, México, Panamá                                        | B 49-119, MEX 56-18, NCo310 y Co 213                                  |
| 1981 | Guatemala, Costa Rica, Puerto Rico                           | CP 57-603, L 6014, PR 1124                                            |

\*Flores, 1997.

Actualmente está presente en más de 64 países y regiones cañeras, en las cuales provoca daños significativos (Chinea y Rodríguez, 2010; Nzioki *et al.*, 2010). En México fue identificado en 1980, atacando a la variedad Mex 56-18, en el estado de Quintana Roo; a partir de entonces se extendió rápidamente a todas las zonas productoras de caña del país (Flores, 1980).

### **3.5.1.2 Clasificación taxonómica (Kirk *et al*, 2008).**

Reino Fungi

Filo Basidiomycota

Subfilo Ustilaginomycotina

Clase Ustilaginomycetes

Orden Ustilaginales

Familia Ustilaginaceae

Género *Ustilago*

Especie *U. scitaminea*

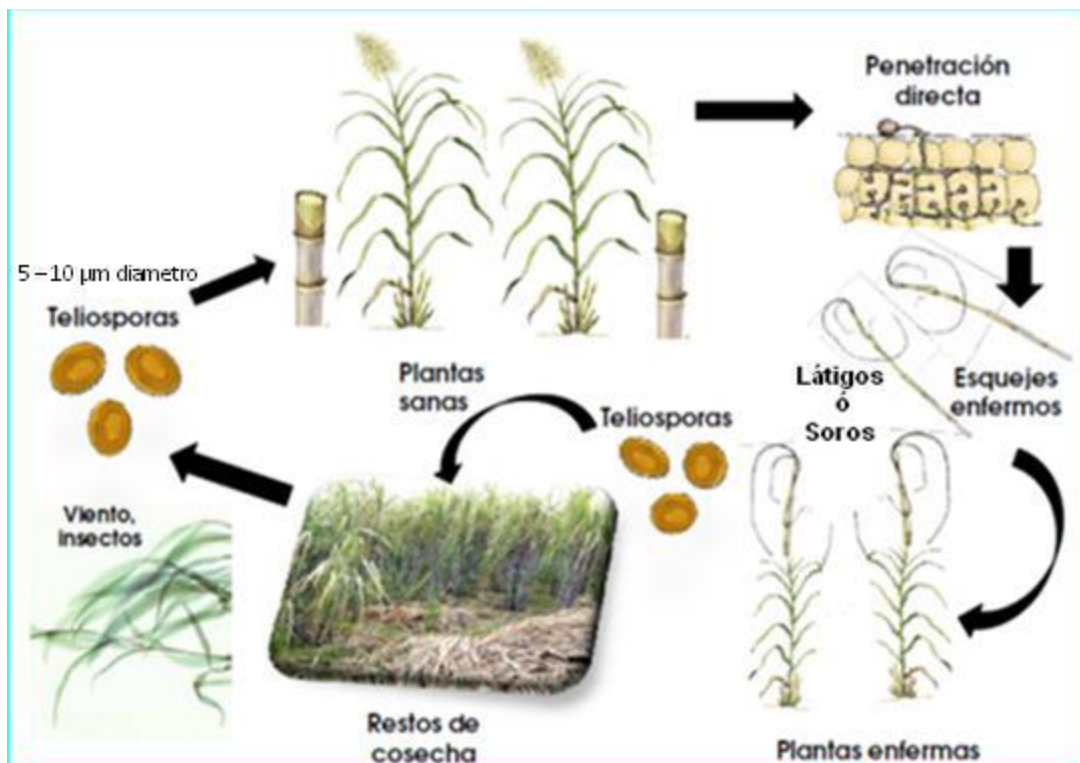
### **3.5.1.3 Agente Causal**

El hongo causante del carbón puede ser identificado por sus teliosporas equinuladas de color café oscuro, de 5.5 a 7.5  $\mu\text{m}$  de diámetro (Comstock *et al.*, 1983; Ferreira y Comstock, 1989). Han sido identificadas distintas razas de este patógeno: dos en Brasil, dos en Hawái, dos en Taiwán y cuatro en Paquistán (Wu *et al.*, 1988). En México no se han realizado estudios para determinar las razas presentes. Desafortunadamente los cambios en la patogenicidad del hongo, pueden resultar en cambios en la reacción varietal (Comstock *et al.*, 1983) y en los

procesos fisiológicos que ocurren en la planta durante las primeras horas post inoculación con *U. scitaminea*, los que son determinantes para el desarrollo de la enfermedad (La O *et al.*, 2008).

#### **3.5.1.4 Ciclo biológico**

Este hongo pertenece a la orden Ustilaginales, cuyas teliosporas son los órganos de dispersión y de resistencia. Se forman en los soros o látigos y que consiste la cubierta de una membrana grisácea que es del tejido del hospedante, y que contiene la masa de teliosporas. Las teliosporas forman una masa polvorienta café oscuro, son globosas a subglobosas, café-rojizo, lisas o equinuladas, (5-) 6-8 (-10) (promedio 7.5)  $\mu\text{m}$  de diámetro (Sydow, 1924; en MycoBank # MB484933; Robert *et al.*, 2005) Al germinar las teliosporas, originan un promicelio de dimensiones variables, de 16 x 3-4  $\mu\text{m}$  de largo x ancho, con 3 ó 4 células, cada una de las cuales produce 5 ó 6 basidiosporas a un mismo tiempo (Figura 3) (Flores, 1997). Estas son de forma oval y más delgada en los extremos; miden aproximadamente 6 x 2  $\mu\text{m}$ , germinan en forma polar por medio de largas hifas septadas, y en condiciones nutricionales favorables pueden producir más esporidios. Forman colonias que en medio de cultivo son de color crema y superficie rugosa. El promicelio es también capaz de producir muchas hifas largas y septadas, dando lugar a un micelio blanco. La fusión de las hifas y/o de los esporidios, forma el dicarion y de él se inicia la hifa de infección del organismo (Comstock *et al.*, 1983; Ferreira y Comstock, 1989; Pérez *et al.*, 1983).



**Figura 3.-** Ciclo del carbón en la caña de azúcar en campo de acuerdo con Flores (1997).

La temperatura óptima para la germinación de las teliosporas y el crecimiento del hongo, esta entre 25°C a 30°C, siendo la temperatura de conservación 5°C sin la pérdida de germinación hasta por 12 meses (Victoria *et al.*, 1995).

### 3.5.1.5 Sintomatología

La enfermedad es fácilmente reconocible debido a que los soros semejan un látigo (Figura 4). Por ser un patógeno meristemático, los látigos emergen de la yema terminal o de las laterales de los tallos infectados; éstos varían en longitud desde unos pocos centímetros hasta aproximadamente 1.5 m, siendo los terminales más largos que los laterales, cuando se producen en brotes de cepas (macollos)

previamente infectadas, los látigos tienden a ser más cortos, menos numerosos y aparecen sobre todo en las yemas basales de la cepa, dando a ésta una apariencia de zacate en variedades altamente susceptibles. Un látigo de carbón típico, puede producir y liberar aproximadamente 108 a 1010 teliosporas por día durante su madurez (Ferreira y Comstock, 1989; Lee, 1978).



**Figura 4.-** Síntoma característico del carbón de la caña de azúcar.

Después de 2 a 4 meses de edad de la caña infectada, los látigos de carbón empiezan a emerger y el pico de la producción ocurre a los 6 ó 7 mes después de la plantación, dependiendo de la susceptibilidad de la variedad, las cepas infectadas se amacollan, produciendo 2 a 3 veces más del número usual de tallos por planta. Otros síntomas menos comunes de la infección son: agallas en hojas y

tallos, proliferación de yemas, soros en forma de serpentina e inflorescencias modificadas (Antoine, 1961; Ferreira y Comstock, 1989; Comstock *et al.*, 2000).

#### **3.5.1.6 Importancia y daños**

La ocurrencia del carbón de la caña de azúcar durante un estado temprano decrecimiento del cultivo (de los 40-60 días) causa la pérdida total del mismo (Figura 5), 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 (Alfonso *et al.*, 1990).



**Figura 5.-** Cepa de caña de azúcar infectada por el carbón

Ayala y Sánchez (2000) reportaron que cuando los campos tienen más de 10,000 látigos de carbón por hectárea pueden tener una merma de 10 a 15 t.ha<sup>-1</sup>, a esto

hay que añadir los gastos indirectos que se paga al personal que efectúa el entresaque y quema de las plantas enfermas. En México los daños del carbón, en la década de los 80's, no fueron tan espectaculares como los de la roya café en la B 4362, sin embargo en varios lugares del estado de Veracruz, causó severos daños en las variedades L 60-14, POJ 36, B 49-119, Co 213 y Mex 55-32 (Flores, 1997). Además de las pérdidas en toneladas de caña producida, el carbón también puede reducir la calidad de la caña; han sido reportados decrementos en la extracción del azúcar, así como reducción en la pureza del jugo (Ferreira y Comstock, 1989).

#### **3.5.1.7 Métodos de control**

Según Pérez y Mauri (1990) las medidas que se han utilizado para combatir el carbón de la caña de azúcar podemos citar: a) Entresacar los tallos o cepas enfermas. Debe hacerse con mucho cuidado para evitarla 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; 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-beneficio del empleo de fungicidas en la desinfección de los esquejes y en los campos acabados de cortar. Su empleo incrementa la brotación y el rendimiento, y disminuye la incidencia de la enfermedad. Se ha comprobado que los fungicidas que contienen mercurio son por lo menos 300 veces más efectivos que otros. Esta última 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 alternados lo que reduce sustancialmente la población de esporas, reduciendo por ende una infección severa en caña plantada. e) Plantación de variedades resistentes. De todas las medidas ésta 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.

### **3.5.1.8 Mecanismos fisiológicos**

En el proceso de penetración de *U. scitaminea* se agudizan los trastornos fitopatológicos, con incrementos en el número de gránulos, vacuolas, ribosomas y retículos endoplasmáticos. Además, existen rupturas de membranas y paredes; así como desorganización de la estructura interna de las células y abundante producción de mucilago en las plantas susceptibles (Apezato *et al.*, 1995; Capote, 2007).

En cambio en las variedades resistentes que se han inoculado rompiendo las barreras físicas con el levantamiento de la escama de la yema, el proceso de penetración del patógeno es más lento (Acevedo *et al.*, 2007; Acevedo *et al.*, 2008).

También, se demostró que la infección de *U. scitaminea* en variedades de caña de azúcar susceptibles provoca incrementos notables en la actividad de las enzimas polifenol oxidasas, quitinasas, glucanasas, peroxidasas, así como cambios en la composición de poliaminas (Piñón, 2002).

#### **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

El presente trabajo de investigación se realizó en el laboratorio de Micología de la Universidad Autónoma Chapingo y en el invernadero de Parasitología Agrícola de dicha Universidad.

##### **4.1 Colecta de plantas enfermas**

La colecta del material enfermo se realizó en lotes de plantas de la región cañera de Cuautla, Morelos. Las plantas seleccionadas mostraban síntomas del carbón, soros en forma de látigos que emergían de las yemas de la caña, estos látigos estaban cubiertos por una densa masa negra de teliosporas. Las plantas afectadas fueron etiquetadas, colocadas en bolsas de polietileno para su transporte al laboratorio de Micología del Departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo para realizar la identificación del agente causal.

##### **4.2 Identificación del agente causal**

El material colectado se secó y se seleccionaron los látigos con más presencia de teliosporas (Figura 6) de donde se tomaron para realizar preparaciones para observar sus estructuras al microscopio compuesto, esto se realizó utilizando portaobjetos y cubreobjetos convencionales, siendo el medio de montaje con lactofenol. Las características que se determinaron el tipo de teliosporas, forma, color y medidas. Para la determinación del tamaño de las teliosporas se procedió a la medición de 50 de ellas, utilizando el microscopio previamente calibrado, las medidas que se tomaron fueron: largo y ancho.

También se observaron en microscopio simple la densa masa negra formada por teliosporas en los látigos, se realizó un corte en el látigo para exponer las teliosporas.



**Figura 6.** Látigos de caña de azúcar colectados.

#### **4.3 Método de inoculación en el invernadero**

Con el fin de definir un método de inoculación para el carbón de la caña de azúcar y la posibilidad de utilizarlo para valorar el comportamiento de los materiales de caña de azúcar se probó en canutos de caña, la cual se llevó a cabo en el invernadero del Departamento de Parasitología Agrícola, utilizando 10 variedades: MEX 03-47, SP 80-32, Q 28-2, ITV 92-1424, MEX 03-36, MEX 03-32, B 33-37, CP 2086, LAICA 82-2220 y MEX 03-50

El inóculo utilizado en la prueba de inoculación se preparó de la siguiente manera: A los látigos con mayor presencia de teliosporas se les adicionó agua destilada estéril y fue triturado en la licuadora de uso doméstico (Figura 7), para luego aforar la suspensión a un litro a una concentración de  $1 \times 10^6$  teliosporas por ml. Esta suspensión se coló en un tamiz para eliminar todos los trozos grandes y el resto

se pasó a través de una malla triple de manta de cielo. Esta actividad se realizó 10 veces para tener suficiente suspensión del hongo para las 10 variedades a inocular.



**Figura 7.** Preparación de la suspensión utilizada en la inoculación,

Los canutos de caña se sumergieron en la suspensión de teliosporas durante 24 horas, para posteriormente ser sembrados en bandejas con sus respectivos testigos (Figura 8).

Estas bandejas se colocaron en el invernadero de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, donde se tuvieron en condiciones adecuadas temperatura y humedad, hasta la germinación y crecimiento de las plantas.

Ya que estuvieron en el tamaño adecuado se realizó la evaluación de presencia o ausencia de síntomas típicos del carbón, para la determinar la resistencia de las nuevas variedades.



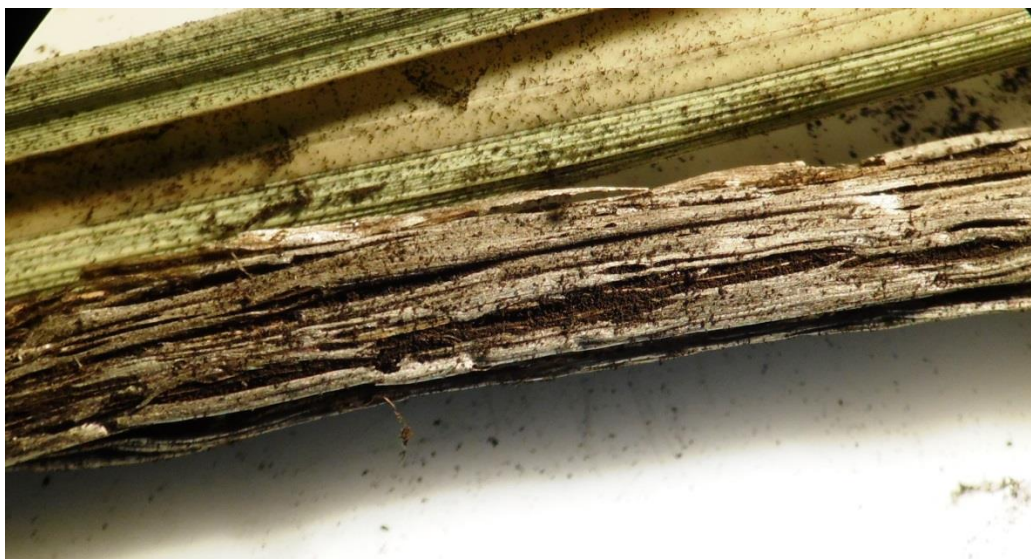
**Figura 8.** Siembra de los canutos de caña de azúcar en invernadero.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Identificación del agente causal

Flores CS. 1997 menciona que 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.

El síntoma característico fue observado en el material colectado, al realizar un corte transversal se expusieron las teliosporas (Figura 9)

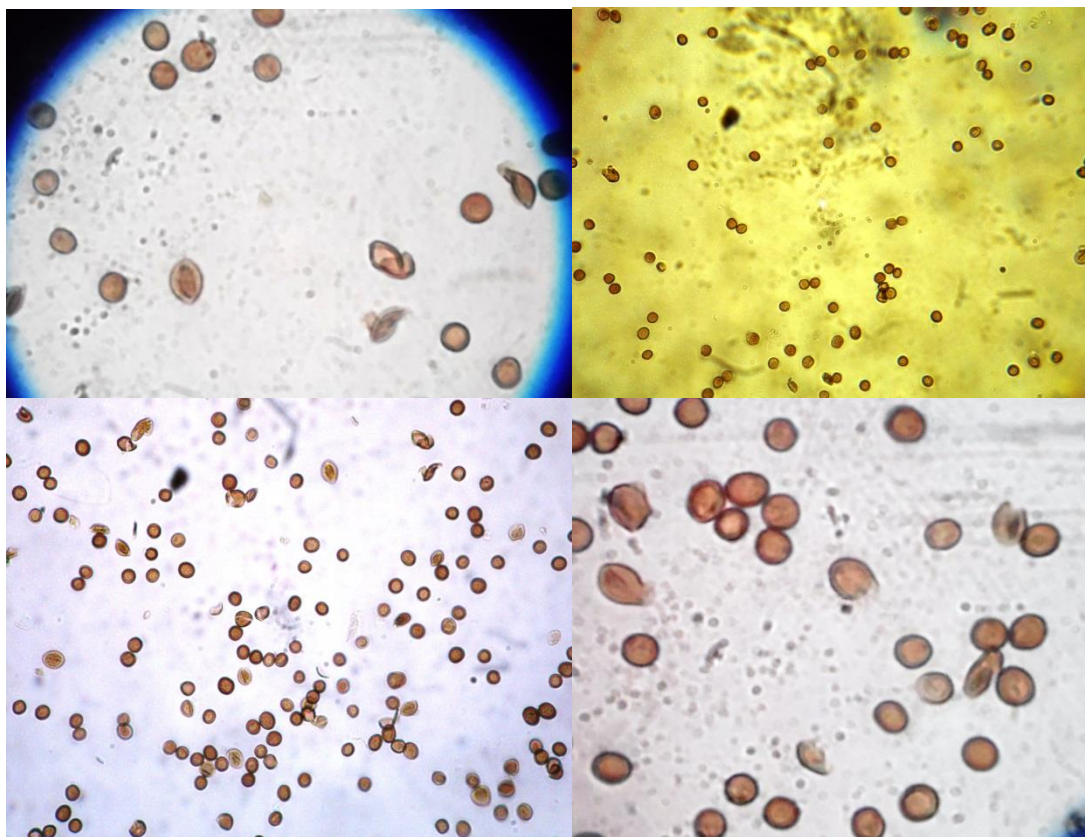


**Figura 9.** Corte transversal de un látigo observado en microscopio simple.

De acuerdo a Comstock *et al.*, 1983; Ferreira y Comstock, 1989 El hongo causante del carbón puede ser identificado por sus teliosporas equinuladas de color café oscuro, de 5.5 a 7.5  $\mu\text{m}$  de diámetro.

En el microscopio compuesto se observaron las preparaciones de las teliosporas, se observa que son equinuladas y de color café coincidiendo con la literatura revisada.

Las medidas obtenidas de 50 teliosporas se presentan en el Cuadro 2, mediante el microscopio compuesto se tomaron las medidas en  $\mu\text{m}$  se obtuvo el ancho y el largo de cada teliospora, se le aplicó el factor de corrección en este caso fue de 2.2 por que se midieron a 40x.



**Figura 10.** Teliosporas globosas de *Ustilago scitaminea*.

**Cuadro 2.** Medidas de teliosporas del carbon de la caña (*Ustilago scitaminea*)

| MEDIDAS DE 50 TELIOSPORAS DE CARBON DE CAÑA DE AZUCAR ( <i>Ustilago scitaminea</i> ) |       |       |                         |       |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------------------------|-------|-------|
| Número de<br>Teliospora                                                              | Ancho | Largo | Número de<br>Teliospora | Ancho | Largo |
| 1                                                                                    | 6.6   | 6.6   | 26                      | 4.4   | 6.6   |
| 2                                                                                    | 11    | 8.8   | 27                      | 6.6   | 8.8   |
| 3                                                                                    | 11    | 6.6   | 28                      | 6.6   | 4.4   |
| 4                                                                                    | 6.6   | 6.6   | 29                      | 8.8   | 8.8   |
| 5                                                                                    | 6.6   | 6.6   | 30                      | 6.6   | 6.6   |
| 6                                                                                    | 6.6   | 6.6   | 31                      | 4.4   | 6.6   |
| 7                                                                                    | 8.8   | 6.6   | 32                      | 6.6   | 6.6   |
| 8                                                                                    | 8.8   | 8.8   | 33                      | 6.6   | 6.6   |
| 9                                                                                    | 8.8   | 6.6   | 34                      | 6.6   | 8.8   |
| 10                                                                                   | 8.8   | 6.6   | 35                      | 6.6   | 6.6   |
| 11                                                                                   | 6.6   | 8.8   | 36                      | 6.6   | 6.6   |
| 12                                                                                   | 8.8   | 8.8   | 37                      | 6.6   | 4.4   |
| 13                                                                                   | 6.6   | 6.6   | 38                      | 6.6   | 8.8   |
| 14                                                                                   | 6.6   | 4.4   | 39                      | 6.6   | 8.8   |
| 15                                                                                   | 4.4   | 6.6   | 40                      | 4.4   | 4.4   |
| 16                                                                                   | 6.6   | 6.6   | 41                      | 4.4   | 6.6   |
| 17                                                                                   | 6.6   | 6.6   | 42                      | 4.4   | 6.6   |
| 18                                                                                   | 4.4   | 6.6   | 43                      | 4.4   | 6.6   |
| 19                                                                                   | 6.6   | 6.6   | 44                      | 4.4   | 4.4   |
| 20                                                                                   | 4.4   | 4.4   | 45                      | 4.4   | 4.4   |
| 21                                                                                   | 6.6   | 6.6   | 46                      | 6.6   | 4.4   |
| 22                                                                                   | 4.4   | 4.4   | 47                      | 4.4   | 6.6   |
| 23                                                                                   | 6.6   | 6.6   | 48                      | 4.4   | 4.4   |
| 24                                                                                   | 6.6   | 4.4   | 49                      | 6.6   | 2.2   |
| 25                                                                                   | 6.6   | 6.6   | 50                      | 6.6   | 2.2   |

A los datos obtenidos en la medición de teliosporas se les saco la media, varianza y desviación estándar, los resultados se observan en el Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Media, Varianza y Desviación estándar de teliosporas de *Ustilago scitaminea*.

|                     | ANCHO               | LARGO               |
|---------------------|---------------------|---------------------|
| MEDIA               | 6.424 $\mu\text{m}$ | 6.336 $\mu\text{m}$ |
| VARIANZA            | 2.679424            | 2.640704            |
| DESVIACION ESTANDAR | 1.636894            | 1.62502431          |

## 5.2 Método de inoculación

Utilizando el método de inoculación artificial por inmersión de canutos de tres yemas, en una suspensión de  $1 \times 10^6$  teliosporas por ml, durante 24 horas se determinó el comportamiento de 10 variedades de caña de azúcar al carbón (*Ustilago scitaminea*) 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.

## 5.3 Resistencia al carbón de la caña (*Ustilago scitaminea*)

Los mecanismos de resistencia inducibles en las plantas actúan a diferentes niveles de reconocimiento ante las condiciones de estrés biótico, las que pueden

subdividirse en dos categorías: la resistencia planta-patógeno general o inespecífica y la resistencia específica.

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

Las distintas variedades que se evaluaron en este estudio, presentaron diversos síntomas ocasionados por la resistencia al hongo, entre los síntomas se encontró principalmente el secamiento de hojas, esto es una respuesta fisiológica a la presencia de un patógeno, se considera como mecanismo de defensa.

Según los resultados obtenidos las plantas inoculadas no presentaron estructuras fungosas en forma de látigo, se revisaron las yemas terminales o laterales y los tallos crecieron normalmente, todas las plantas tuvieron un 0% de tallos infectados.

De acuerdo a las evaluaciones y a la escala propuesta por Huchintson and Daniels (Cuadro 4) se observan los resultados a la evaluación en el Cuadro 5:

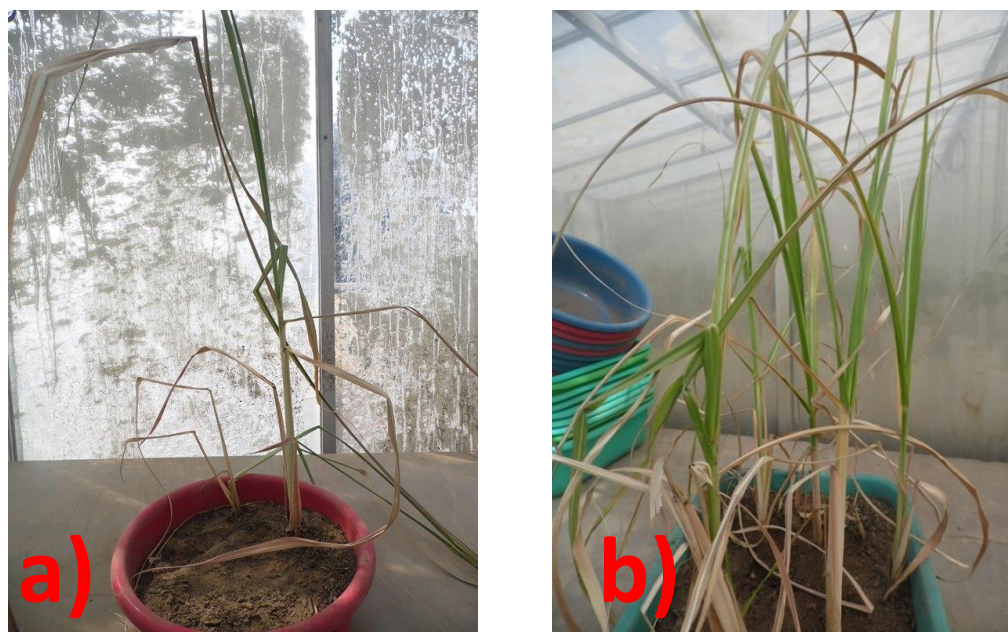
**Cuadro 4.** Escala de evaluación para Mosaico y Carbón propuesta por Hutchinson and Daniels.

| Grado de<br>reacción | % de tallos enfermos |                 | Descripción de la reacción |
|----------------------|----------------------|-----------------|----------------------------|
|                      | Límite inferior      | Límite superior |                            |
| 1                    | 0.0                  | 2.0             | Altamente resistente       |
| 2                    | 2.1                  | 3.0             | Muy resistente             |
| 3                    | 3.1                  | 5.0             | Resistente                 |
| 4                    | 5.1                  | 8.0             | Moderadamente resistente   |
| 5                    | 8.1                  | 11.0            | Intermedio                 |
| 6                    | 11.1                 | 15.0            | Moderadamente susceptible  |
| 7                    | 15.1                 | 22.0            | Susceptible                |
| 8                    | 22.1                 | 30.0            | Muy susceptible            |
| 9                    | 30.1                 | 100.0           | Altamente susceptible      |

**Cuadro 5.** Reacción de 10 variedades de caña de azúcar de INIFAP, inoculados con esporas de Carbón de la Caña de Azúcar (*Ustilago scitaminea*, clasificadas según la escala de Hutchinson and Daniels, 1971.

| GRADO DE REACCION | REACCION             | VARIEDADES                                                                                                                   |
|-------------------|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                 | Altamente resistente | MEX 03-47<br>SP 80-32<br>Q 28-2<br>ITV 92-1424<br>MEX 03-36<br>MEX 03-32<br>B 33-37<br>CP 2086<br>LAICA 82-2220<br>MEX 03-50 |

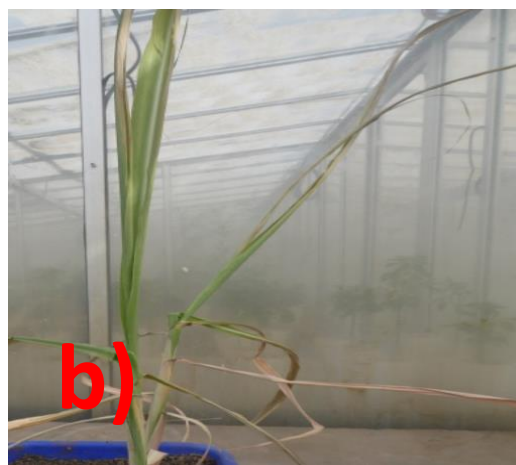
Las variedades evaluadas e inoculadas presentaron síntomas típicos de resistencia, principalmente secamiento de hojas. Los testigos sin inocular no presentaron mínimos síntomas por las condiciones climatológica (Figuras 11-20).



**Figura 11.** Variedad MEX 03-47: a) Planta inoculada, b) Testigo



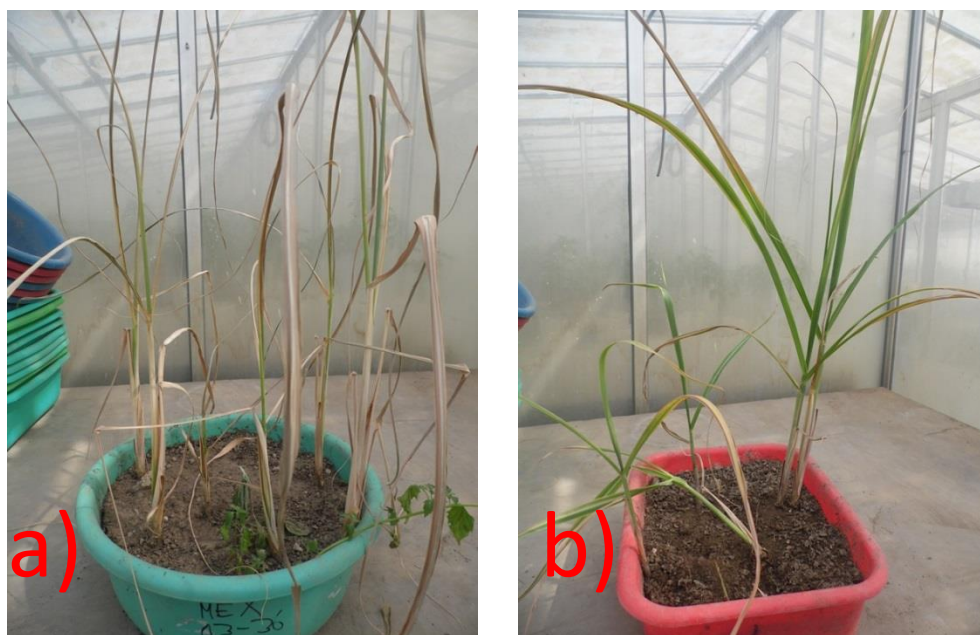
**Figura 12.** SP 80-32: a) Planta inoculada, b) Testigo



**Figura 13.** Variedad MEX Q 28-2 a) Planta inoculada, b) Testigo



**Figura 14** Variedad ITV 92-14-24: a) Planta inoculada, b) Testigo



**Figura 15.** Variedad MEX 03-36 a) Planta inoculada, b) Testigo



**Figura 16.** Variedad MEX 03-32: a) Planta inoculada, b) Testigo



**Figura 17.** Variedad b 33-37: a) Planta inoculada, b) Testigo



**Figura 18.** Variedad cp-2086: a) Planta inoculada, b) Testigo



**Figura 19.** Variedad LAICA 82-2220: a) Planta inoculada, b) Testigo



**Figura 20.** Variedad MEX 03-50: a) Planta inoculada, b) Testigo

Los resultados obtenidos en esta investigación demostraron un alto porcentaje de variedades de Caña de Azúcar, con niveles de resistencia aceptable a esta enfermedad.

Con respecto al método de inoculación artificial por inmersión de esquejes, con una suspensión de esporas de Carbón de la caña de azúcar, resultó efectivo para evaluar la resistencia varietal a esta enfermedad.

## **VI. CONCLUSIONES**

Los materiales de INIFAP: MEX 03-47, SP 80-32, Q 28-2, ITV 92-1424, MEX 03-36, MEX 03-32, B 33-37, CP 2086, LAICA 82-2220 y MEX 03-50 resultaron altamente resistentes al carbón de caña de azúcar (*Ustilago scitaminea*).

Se definió el método de inoculación artificial en canutos de caña de azúcar, este método consiste en la inmersión de ellos en una suspensión de teliosporas por 24 horas.

## VII. LITERATURA CITADA

- Acevedo R; Fajardo M; Pérez S, y Piñón D. 2007. La microscopía electrónica en estudios fisiopatológicos de plantas con importancia económica para Cuba. *Acta Microscópica* 16, Supl. 2:235-236.
- Acevedo R; Capote M; La O M; Piñón D y Rodríguez E. 2008. Histopatología del proceso de penetración del hongo *Sporisorium scitamineum* en caña de azúcar. *In* XI Congreso Argentino de Ciencias Morfológicas y I Congreso Internacional de Educación e Investigación en Ciencias Morfológicas. Córdoba, Argentina. Pp. 9-13.
- Acevedo R; y Lima N. 2002. Alteraciones estructurales producidas en yemas de caña de azúcar durante el proceso de infección del hongo *Ustilago scitaminea*. *Rev. Iberoam. Micol.* 19: 212-215.
- Antoine E. 1961. Smut *In*: Sugarcane diseases of the World. J.P. Martin, E.V Abbott and C.G. Hughes, Ed. Elsevier. Publishing Co. Amsterdam. Pp 326-354.
- Apezato B; Capote A; and Amorin L. 1995. Structural characteristics of buds of sugarcane cultivars with different levels for resistance to smut. *J. Plant Disease and Protection* 102(5):502-508.

Alfonso T; Carvajal J; Cornide M; China M; Pérez V; González H; Peralta E; Rodríguez E; y Sandoval R. 1990. Metodologías para las pruebas de resistencia al carbón, la roya y el mosaico en el programa de mejoramiento genético de la caña de azúcar en Cuba. IHICA, MINAZ, ACC, IISV, MINAGRI, CENSA y MES, Eds. La Habana. 55 p.

Ayala GF; y Sánchez RM. 2000. Resistencia varietal a la enfermedad del carbón de la caña de azúcar. Cámara nacional de las industrias azucareras y alcoholeras. México. 83 p.

Barbieri V; 1993. Condicionamento climático da produtividade de potencial da cana-de açúcar (*Saccharum spp*); um modelo matemático-fisiológico de estimativa.)— Escola Superior de Agricultura —Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 142 p.

Briceño RO; Vieira S; y Real R. 2005. Reacción de veinte clones de caña de azúcar a la enfermedad del carbón *Ustilago scitaminea* Sydow. Rev. Fac. Agron. (LUZ). 22: 400-407.

Comstock JC; Ferreira SA; and Tew TL. 1983. Hawaii's approach to control of sugarcane smut. Plant Disease 67(4) :452-457.

Comstock JC; and Ferreira SA. 1986. Sugarcane rust: factors affecting infection and symptom development. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol. 19:402-410.

Comstock JC; Shine JM; and Raid RN. 1992. Effect of sugarcane rust on growth and biomass. Plant Dis. 76:175-177.

Comstock JC; Rott P; Bailey RA; Raid R; Croft BJ; and Saumtally SA. 2000. A guide to sugarcane diseases, CIRAD-ISSCT, Francia. Pp. 85-89, 181-185, 249-254.

Chandra P; Singh IS; and Singh SB. 2005. Biochemical changes during flowering of sugarcane. Sugartech 7(4): Pp 160-162.

Chávez M. 1999. Nutrición y fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica. XI Congreso Nacional Agronómico/III Congreso Nacional de Suelos 1999, Pp.193-214.

Chinea A. y Rodríguez E. 2010. Enfermedades de la caña de azúcar. 2 ed. Habana Cuba, Edición Publica. p. 152.

Dos Santos A C; Souza JL; and Teodoro I. 2008. Vegetative development and production of sugarcane varieties as a function of water availability and thermic units. Ciênc. Agrotec., Lavras, 32(5): 1441-1448. Egan, BT. (1979).

Susceptible indicator varieties for rust disease (*Puccinia melanocephala*).  
*Sugarcane Pathol. Newsl.* **22**, 10–11.

Fauconnier R; y Bassereau D. 1975. La caña de azúcar. Técnicas agrícolas y producciones tropicales. Editorial Blume. Barcelona, España. 405 p.

FAO. 2009. Sugarcane, water relations and water management of sugarcane.

Ferreira EA; and Comstock JC. 1989. Smut. *In*: Diseases of sugarcane. Major diseases. C. Ricaud, BT. Egan, AG. Gillaspie Jr and Hughes CG. Eds. Elsevier. Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo. Pp 211-225.

Flores CS. 1980. Sugarcane smut in México. *Sugarcane Pathologists' Newsletter* 24:8- 10.

Flores CS. 1997. Las enfermedades de la caña de azúcar en México. Pp 143-147.

García MR; y Pérez LR. 2003. FITOALEXINAS: MECANISMO DE DEFENSA DE LAS PLANTAS. *Revista Chapingo*. Serie ciencias forestales y del ambiente, enero-junio, año/vol 9. número 001. Universidad Autónoma de Chapingo, México. Pp. 5-10.

Gavi RF; Mejía SE; Galvis SA; Hernández MT; y Martínez HJ. 2009. Desarrollo de un modelo integral de sistema de información geográfica y edáfica como fundamento de la agricultura de precisión en la caña de azúcar en México. Colegio de Postgraduados, Etapa I. 180 p.

González R. 1998. Bases para el control del carbón de la caña de azúcar (*Ustilagoscitaminea* Sydow), Instituto Superior de Ciencias Agrícolas de La Habana. Pp. 34- 54.

Hughes, CG.; Abbott EV.; y Wisner CA. 1964. Sugarcane diseases of the world. v. 2. Elsevier Publishing Co., Nueva York. 354 p.

Humbert RP. 1974. El cultivo de la caña de azúcar. Edit. CECSA. México D.F. Pp. 7-19.

Hutchinson P. B., Daniels J., A rating scale for sugarcane characteristics, Congress of the International Society of Sugar Cane Technologist, ISSCT, New Orleans – USA, 1971, p.128 – 131.

IMPA. Instituto para el Mejoramiento de la Producción de Azúcar. 1980. Programa de variedades. Metodología Experimental, México. Pp.1-59

Inman B; and Smith D. 2005. Water relations in sugarcane and response to waters deficits. *Fields Crops Research*, 92, Pp. 185-202.

Kirk PM; Cannon PF; Minter DW; and Stalpers JA. 2008. *Dictionary of the Fungi*. 10th ed. Wallingford: CABI. p. 609. [ISBN 0-85199-826-7](#).

La O M; Arencibia A; Vinagre F; Fernández M; Acevedo R; López R; Rodríguez E; Hormaza J; Carmona E; León O; and Santana I. 2008. "Differential expression analysis by cDNA-AFLP of *Saccharum spp* after inoculation with the host pathogen *Sporisorium scitamineum*. *Plant Cell Reports* 27(6):1103-1111.

Lee LG. 1978. Smut of sugarcane *Ustilago scitaminea*. *Rev. Plant. Pathol.* 57(5):181- 188.

Miceli GF. 2002. Regulación enzimática de la acumulación de sacarosa en cañas de azúcar (*Saccharum spp.*). *Agrociencia*: 4(36). Pp. 411-419.

Moore PH. 2009. Sugarcane biology, yield, and potential for improvement. Workshop BIOEN on Sugarcane Improvement 18 e 19 de março, São Paulo. Pp. 230-236.

Moore PH; and Maretzki A. 1996. Sugarcane. In: Photoassimilate distribution in plants and crops. Sourcesink relationships. Ed. by E. Zamski, A.A. Schaffer, Marcel Deckker. Inc. Pp. 643-669.

Nzioki HS; Jamoza JE; Olweny CO; and Rono JK. 2010. Characterization of physiologic races of sugarcane smut (*Ustilago scitaminea*) in Kenya. African Journal of Microbiology Research. 4(16):1694-1697.

Pereira LG. 2009. Qualidade tecnológica, produtividade e margem de contribuição agrícola da cana-de-açúcar em função da aplicação de reguladores vegetais no início da safra. Ciência Rural, 39(3):726-732.

Pérez L; and Mauri F. 1983. *Ustilago scitaminea* Sydow in Cuba: biology, physiology and varietal reaction. Proceedings. XVIII I55 CT Congress. Pp 405-435, La Habana, Cuba.

Pérez L; and 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.

Piepenbring M; Stoll M; and Oberwinkler F. 2002. The generic position of *Ustilago maydis*, *Ustilago scitaminea*, and *Ustilago esculenta* (Ustilaginales). Mycological Progress 1: 71-80.

Piñón GD. 2002. Resistencia varietal al carbón de la caña de azúcar: Un enfoque fisiopatológico. 1er Simposio internacional de vigilancia fitosanitaria y su relación con la protección al entorno. p. 165 –166.

Purdy LH; y Dean JL. 1980. Un sistema para registrar los datos sobre las interacciones entre la roya de la caña de azúcar y el hospedero. P. 177-180. En: Seminario Interamericano de la Caña de Azúcar, 1. Enfermedades de la caña de azúcar. Memorias. Miami, 8-10 octubre, 1980. Vanguard, Miami.

Purdy LH; Krupa SV; and Dean JL. 1985. Introduction of sugarcane in the Americas and its spread into Florida. Plant Dis. 69:689-693.

Raid RN; and Comstock JC. 2006. Sugarcane rust disease. Agronomy Department document SS-AGR-207. University of Florida/IFAS, Gainesville, FL 32611.

Robert, B; Begerow D; and Oberwinkler F. 2005. Molecular phylogeny of Ustilago, Sporisorium, and related taxa based on combined analyses of rDNA sequences. Mycol Res 109:342–356.

Romero ER. 2009. Manual del cañero. 1era edición ISBN 978-987-21283-7-1. Editado por Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) Tucuman Argentina 232 p.

Sandoval I; Picornell V; Chavez R; and Ramos A. 1983. Puccinia melanocephala H. and P. Sydow: Biologic and Ecological Aspects. XVIII Congress ISSCT. Biological Commission. Tomo I, Pp. 539-561.

SIAP 2013. Sistema de Información Agropecuaria. Padrón de productores de caña de azúcar (Zafra 2012-2013). Secretaria de agricultura pesca y alimentación SAGARPA.

Sydow H; Sydow P; and Butler EJ. 1906. Fungi Indiae *orientalis* l1. Ann. Mycol. 4: 485- 501.

Shine JM; Comstock JC; and Dean JL. 2005. Comparison of Five Isolates of Sugarcane Brown Rust and Differential Reaction on six Sugarcane Clones en: International Society of Sugarcane Technologist. Proceedings of the XXV Congress, 30 January-4 February 2005. Atagua, Guatemala City, Guatemala.

Shivas R. 2010. Sugarcane smut (*Ustilago scitaminea*) Updated on 12/16/2010 Available online: PaDIL - <http://www.padil.gov.au>

Sotomayor A, Purdy L, Trese A. 1983. Infection of sugarcane leaves by *Puccinia melanocephala*. Phytopathology 73: 695- 699

Tomonori S, Akinori K. y Kazuhiro T. 2006. Journal of General Plant Pathology 72, 238-247.

USDA. 2010. United States Department of Agriculture

[http://www.usda.gov/wps/portal/!ut/p/s.7\\_0\\_A/7\\_0\\_1OB?navtype=SU&navid=AGRICULTURE](http://www.usda.gov/wps/portal/!ut/p/s.7_0_A/7_0_1OB?navtype=SU&navid=AGRICULTURE) consultado el: 20/abril/2014

Valdez BA; Ortiz GC; y Flores CS. 2000. Resistencia genética a la roya (*Puccinia melanocephala* Sid) de 38 clones de caña de azúcar. Memoria IX día del cañero. Resultados de investigación en el cultivo de caña de azúcar. Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. Pp 59-66.

Valdez BA; Guerrero PA; García LE; y Obrador OJ; 2009, Manual para el cultivo y producción de caña de azúcar. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco.

Wu K; Heinz DJ; and Hogarth DM. 1988, Association and heritability of sugarcane smut resistance to races A and B in Hawaii. Theor. Appl. Genet. 75:754-760.

Yang, SJ. 1997. The water use efficiency of sugar cane crop – a review. ISSCT Irrigation Workshop. Townsville, Australia, Sept. 15 – 19, 22 p.