

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS TABASCO

PROGRAMA EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

**CARACTERIZACIÓN FITOSANITARIA A ROYA CAFÉ (*Puccinia melanocephala*) Y
CARBÓN (*Ustilago scitaminea*) DE 63 CLONES DE CAÑA DE AZÚCAR, EN
FASES AVANZADAS DE SELECCIÓN EN MÉXICO**

JOSÉ LUIS HERNÁNDEZ SORIANO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE


MAESTRO EN CIENCIAS


H. CÁRDENAS, TABASCO

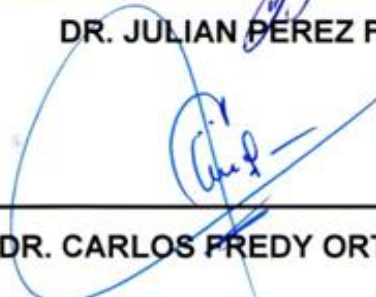
2012

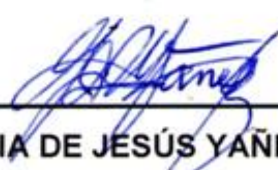
La presente tesis, titulada: **CARACTERIZACION FITOSANITARIA A ROYA CAFÉ (*Puccinia melanocephala*) Y CARBON (*Ustilago scitaminea*), DE 63 CLONES DE CAÑA DE AZÚCAR, EN FASES AVANZADAS DE SELECCIÓN EN MÉXICO**, realizada por el alumno: **JOSÉ LUIS HERNÁNDEZ SORIANO**, bajo la dirección del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN
PRODUCCION AGROALIMENTARIA EN EL TROPICO
CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO _____ 
DR. APOLONIO VALDEZ BALERO

ASESOR _____ 
DR. JULIAN PÉREZ FLORES

ASESOR _____ 
DR. CARLOS FREDY ORTIZ GARCIA

ASESOR _____ 
DRA. MARIA DE JESÚS YAÑEZ MORALES

H. CARDENAS, TABASCO A 14 DE JUNIO DE 2012

DEDICATORIA

Al único ser capaz de entregar tantas bendiciones en una sola vida, **Dios**.

A mis padres:

Mariana Soriano Rico y Julio Hernández Hernández, por ser mis ejemplos, por inculcar en mí el espíritu de lucha y de superación día tras día y por estar siempre presente en mi vida, es digno de agradecerles y dedicar este trabajo.

A mi admirable esposa

Isela Morales Gerónimo, por su comprensión y apoyo y por ser el amor de mi vida y la madre de mis dos adorables hijos.

A mis hijos:

Luis Javier y Mariana Guadalupe Hernández Morales, a quienes deseo, con todo mi corazón, que dios guie sus vidas en todo momento y las colme de grandes y ricas bendiciones.

A mis Hermanos y familiares:

Ana Cristina, Ángel, María Guadalupe y tíos por su gran amistad y por formar parte de mi vida y por compartir conmigo tantos buenos momentos.

A mis amigos Jesús Manuel Martínez y Cesar Augusto Villareal Victorio:

Gracias por su amistad, por su confianza, consejos, y actos llenos de sinceridad, por cada uno de los momentos compartidos, espero y siempre seamos amigos.

A mis compañeros de generación 2010 – 2011.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico aportado durante mis dos años de maestría.

Al Colegio de Postgraduados Campus Tabasco por permitirme realizar mi maestría en el programa de Producción Agroalimentaria en el Trópico (PROPAT).

Al Dr. Carlos Flores Revilla Director del Centro de Investigación y Desarrollo de la Caña de Azúcar (CIDCA), por su ayuda y colaboración para el envío de las variedades de caña de azúcar para su evaluación.

Al Ing. Fernando Martínez Sánchez. Gerente de campo del Grupo Beta San Miguel, por su ayuda y colaboración para el envío de las variedades de caña de azúcar para su evaluación.

Al Dr. Apolonio Valdez Balero, *por apoyarme en la realización de mi tesis en la parte de campo y laboratorio, por sus aportaciones, comentarios, y su dedicación para enseñar a los demás.*

A los integrantes de mi consejo particular: Dr. Apolonio Valdez Balero, Dr. Julián Pérez Flores, Dr. Carlos Fredy Ortiz García y Dra. María de Jesús Yáñez Morales, por sus aportaciones en la realización de mi tesis.

Al personal Académico, de Laboratorio, Administrativo y de campo del Campus Tabasco, por las facilidades y apoyo brindado durante mis estudios.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	i
SUMMARY.....	ii
LISTA DE CUADROS.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE ANEXOS.....	v
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Justificación.....	3
1.2. Objetivo e Hipótesis.....	4
1.2.1. Objetivos.....	4
1.2.2. Hipótesis.....	4
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1. Descripción general del cultivo de caña de azúcar.....	5
2.2. Etapas fenológicas del cultivo de la caña de azúcar.....	6
2.2.1. Establecimiento.....	7
2.2.2. Crecimiento vegetativo y cierre de la plantación.....	7
2.2.3. Crecimiento rápido e incremento del rendimiento.....	8
2.2.4. Sazonado, maduración y cosecha.....	8
2.3. Requerimientos climáticos y edáficos.....	9
2.3.1. Requerimientos climáticos.....	11
2.3.1.1. Lluvia.....	11
2.3.1.2. Temperatura.....	11
2.3.1.3. Humedad relativa.....	12
2.3.1.4. Radiación solar.....	12
2.3.2. Requerimientos Edáficos.....	13
2.4. Teoría de la resistencia vertical y horizontal.....	15
2.5. Principales enfermedades del cultivo de la caña de azúcar.....	16
2.5.1. Roya café de la caña de azúcar.....	21
2.5.1.1. Distribución.....	21
2.5.1.2. Clasificación taxonómica.....	21

2.5.1.3.	Agente causal.....	22
2.5.1.4.	Ciclo biológico.....	22
2.5.1.5.	Sintomatología.....	24
2.5.1.6.	Importancia y daños.....	26
2.5.1.7.	Métodos de control.....	26
2.5.1.8.	Mecanismos fisiológicos.....	26
2.5.2.	Carbón de la caña de azúcar.....	27
2.5.2.1.	Distribución.....	27
2.5.2.2.	Clasificación taxonómica.....	28
2.5.2.3.	Agente causal.....	28
2.5.2.4.	Ciclo biológico.....	29
2.5.2.5.	Sintomatología.....	30
2.5.2.6.	Importancia y daños.....	31
2.5.2.7.	Métodos de control.....	32
2.5.2.8.	Mecanismos fisiológicos.....	33
3.	MATERIALES Y METODOS.....	35
3.1.	Ubicación del Experimento.....	35
3.2.	Factor en estudio y tratamientos.....	35
3.3.	Preparación del terreno.....	35
3.4.	Establecimiento del bioensayo.....	38
3.5.	Diseño experimental.....	38
3.6.	Variables en estudio.....	39
3.6.1.	Variables climáticas.....	40
3.6.2.	Variables biológicas.....	40
3.6.2.1.	Roya café.....	40
3.6.2.2.	Carbón.....	42
3.7.	Análisis estadístico.....	43
3.8.	Identificación de las especies de roya y carbón.....	43
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
4.1.	Condiciones ambientales prevalecientes en el área de estudio.....	44

4.1.1. Información meteorológica.....	44
4.2. Respuesta a las enfermedades roya café y carbón.....	47
4.2.1. Respuesta a la roya café.....	47
4.2.1.1. Respuesta de los clones en ciclo plantilla y soca en base a su Reacción	47
4.2.1.2. Respuesta de los clones en ciclo plantilla y soca en base a su porcentaje de severidad.....	49
4.2.2. Respuesta a el carbón.....	53
4.2.2.1. Respuesta de los clones en ciclo plantilla y soca en base a la incidencia.....	53
4.2.2.2. Respuesta de los clones en ciclo plantilla y soca en base al porcentaje de incidencia	55
4.2.2.3. Identificación de la roya café y el carbón.....	58
5. CONCLUSIONES	61
6. RECOMENDACIONES	61
7. LITERATURA CITADA	62
8. ANEXOS	71

CARACTERIZACION FITOSANITARIA A ROYA CAFÉ (*Puccinia melanocephala*) Y CARBON (*Ustilago scitaminea*) DE 63 CLONES DE CAÑA DE AZÚCAR, EN FASES AVANZADAS DE SELECCIÓN EN MÉXICO

RESUMEN

José Luis Hernández Soriano, M. C.
Colegio de Postgraduados, 2012

Se llevó a cabo una caracterización fitosanitaria de 63 clones de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en fases avanzadas de selección en México, fueron valoradas a las enfermedades de la roya café y carbón, bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones y un surco de 5 m de largo sembrado a 1.4 m entre surcos como unidad experimental. La evaluación del experimento se realizó bajo condiciones de infección natural en campo, en ciclo plantilla (Agosto 2010) y soca (Agosto 2011), mediante escalas descriptivas (calificación visual) y porcentajes de severidad. Para roya café se estimó el porcentaje de severidad y para carbón se estimó el porcentaje de incidencia. El grado de reacción de los clones se registro mensualmente a partir del tercer hasta el octavo mes en ambos ciclos. El análisis de varianza y prueba de Tukey entre las 63 variedades de caña de azúcar evaluadas mostraron diferencias significativas ($p > 0.001$). Para roya café se clasificaron cinco grupos de clones en base a su porcentaje de severidad. Grupo I: el grupo I integrado por la variedad Mex 69-290 el cual fue testigo negativo, el cual presento hojas sanas. Grupo II se integro por 56 clones que mostraron hasta el 5% del área foliar afectada y fueron catalogadas como resistentes. Grupo III dos variedades las cuales mostraron hasta el 15% del área foliar afectada y fueron catalogadas como moderadamente resistente. Grupo IV seis clones susceptibles que mostraron hasta el 30% del área foliar afectada. Grupo V una variedad altamente susceptible (B 4362) que se distinguió por presentar más del 30 % del área foliar afectada. Para el carbón se identificaron tres grupos en base a su porcentaje de incidencia. Grupo I integrado por 50 clones resistentes, el grupo II 15 clones con el porcentaje de incidencia mayor al $15 \leq 30$ y fueron catalogadas como susceptibles. Grupo III conformado por la variedad NCo 310 con porcentaje > 30 y que se catalogada como altamente susceptible.

Palabras Clave: *Saccharum officinarum*, Caracterización/fitosanitaria, Roya café, Carbón

PHYTOSANITARY CHARACTERIZATION OF BROWN RUST (*Puccinia melanocephala*) AND SMUT (*Ustilago scitaminea*) OF 63 CLONE OF SUGAR CANE, IN ADVANCED PHASES OF SELECTION IN MEXICO

ABSTRACT

José Luis Hernández Soriano, MC.

Colegio de Postgraduados, 2012

There was carried out a phytosanitary characterization (description) of 63 clone of sugar-cane (*Saccharum officinarum* L.) in advanced selection phases in Mexico. Were valued to diseases of brown rust (*Puccinia melanocephala*) and smut (*Ustilago scitaminea*). Under a design complete block design with three replications and a groove of 5 m long sown 1.4 m between rows as an experimental unit. The evaluation of the experiment was conducted under conditions of natural infection in the field in cycle template (August 2010) and soca (August 2011), through descriptive scales (rating visual) and percentages of severity. For brown rust was estimated the percentage of severity and coal were the percentage of incidence. The degree of reaction of the clone registry monthly from the third until the eighth month in both cycles. The analysis of variance and Tukey test between the 63 clone of sugar cane evaluated showed significant differences ($p > 0,001$). For brown rust were classified five groups of clone on the basis of their percentage of severity: Group I was integrated by Mex 69-290 variety up to 0% of the leaf area affected. Group II was integrated by 56 clone that showed up to 5% of the leaf area affected and were cataloged as resistant. Group III two clone which showed up to 15% of the leaf area affected and they were classified as moderately resistant. Group IV six clone that showed up to 30% of leaf area affected, Group V a variety (B 4362) that is distinguished from the rest by presenting more than 30 % of the leaf area affected. To the coal industry was identified three groups based on their percentage incidence. Group I composed of 50 resistant clone, group II 15 clone with the percentage of severity major $15 \leq 30$ and they were classified as susceptible and group III formed by the variety NCo 310 with percentage > 30 and catalog as highly susceptible.

Key Words: *Saccharum officinarum*, Characterization/phytosanitary, brown rust, smut.

LISTA DE CUADROS

Pág.

Cuadro 1. Características para identificar las dos especies de roya.....	17
Cuadro 2. Presencia de la roya en el continente americano.....	21
Cuadro 3. Aparición del <i>U. scitaminea</i> en el continente americano.....	26
Cuadro 4. Características para identificar <i>U. scitaminea</i>	33
Cuadro 5. Nombre y lugar de procedencia de los clones evaluadas.....	35
Cuadro 6. Escala de evaluación para la resistencia de la caña de azúcar a la roya café.....	39
Cuadro 7. Escala para clasificar la reacción de clones y variedades de caña de azúcar al carbón.....	42
Cuadro 8. Ecuaciones de regresión de la dinámica de la roya y el carbón de la caña de azúcar en plantilla.....	45
Cuadro 9. Ecuaciones de regresión de la dinámica de la roya y el carbón de la caña de azúcar en soca.....	45
Cuadro 10. Respuesta de 66 clones/variedades a su grado de reacción en condiciones naturales de infección por roya café.....	47
Cuadro 11. Respuesta de 66 clones/variedades de caña de azúcar en base a su porcentaje de severidad por roya café.....	49
Cuadro 12. Respuesta de 66 clones/variedades de caña de azúcar en base a la presencia del número de soros o látigos por <i>U. scitaminea</i>	53
Cuadro 13. Respuesta de 66 clones/variedades de caña de azúcar al carbón en base al porcentaje de incidencia.....	54

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Etapas fenológicas del cultivo de caña de azúcar	6
Figura 2. Factores que interactúan en la capacidad productiva del cultivo de caña de azúcar	10
Figura 3. Factores limitantes de la productividad del cultivo de la caña de azúcar	10
Figura 4. Estructuras morfológicas de roya café <i>P. melanocephala</i>	22
Figura 5. Pústulas de la roya café en la variedad B 4362	23
Figura 6. Ciclo de infección de <i>Ustilago scitaminea</i> en campo	28
Figura 7. Síntoma característico del carbón en la caña de azúcar	29
Figura 8. Cepa infectada	30
Figura 9. Distribución de los tratamientos en el experimento	38
Figura 10. Acomodo de la hoja de la caña de azúcar para la digitalización	40
Figura 11. Temperatura y humedad relativa de Febrero a Agosto del 2010	43
Figura 12. Temperatura y humedad relativa de Febrero a Agosto del 2011	44
Figura 13. Parafisis y uredospora de <i>P. melanocephala</i>	46
Figura 14. Corte transversal de un látigo producido por <i>U. scitaminea</i>	56
Figura 15. Estructuras de <i>P. melanocephala</i> en variedad B 4362	58
Figura 16. Teliosporas globosas del <i>U. scitaminea</i>	59

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1.- Comportamiento de los factores climáticos del colegio de postgraduados Campus Tabasco.....	70
Anexo 2.- Resultados del análisis de varianza del grado de reacción en el ciclo plantilla a la roya café.....	70
Anexo 3.- Resultados de la prueba de Tukey para el grado de reacción en ciclo plantilla a la roya café.....	71
Anexo 4.- Resultados de los análisis de varianza para la reacción al patógeno en el ciclo soca para la roya café.....	72
Anexo 5.- Resultados de la prueba de Tukey para el grado de reacción al patógeno en el ciclo soca a la roya café.....	73
Anexo 6.- Resultados del análisis de varianza acuerdo al porcentaje de severidad para el ciclo plantilla a la roya café.....	74
Anexo 7.- Resultados de la prueba de Tukey para el porcentaje severidad para el ciclo plantilla a la roya café.....	75
Anexo 8.- Resultados de los análisis de varianza del porcentaje de severidad para el ciclo soca a la roya café.....	76
Anexo 9.- Resultados de la prueba de Tukey para el porcentaje de severidad para el ciclo soca de la roya café.....	77
Anexo 10.- Resultados del análisis de varianza del grado de reacción en el ciclo plantilla al carbón.....	78
Anexo 11.- Resultados de la prueba de Tukey para el grado de reacción en el ciclo plantilla al carbón.....	79
Anexo 12.- Resultados del análisis de varianza del grado de reacción en el ciclo soca al carbón.....	80

Anexo 13.- Resultados de la prueba de Tukey para del grado de reacción en el ciclo soca al carbón.....	81
Anexo 14.- Resultado del análisis de varianza del porcentaje incidencia de Tallos enfermos para el ciclo plantilla al carbón.....	82
Anexo 15.- Resultados de la prueba de Tukey del porcentaje de incidencia de tallos enfermos en el ciclo plantilla al carbón.....	83
Anexo 16.- Resultado del análisis de varianza del porcentaje de incidencia de tallos enfermos el ciclo soca al carbón.....	84
Anexo 17.- Resultados de la prueba de Tukey del porcentaje de incidencia de tallos enfermos en el ciclo plantilla al carbón.....	85
Anexo 18.- Ficha del carbón (<i>Ustilago scitaminea</i>) del Herbario CMPH	86
Anexo 19.- Ficha de la roya café (<i>Puccinia melanocephala</i>) del Herbario CMPH	87

I 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⁻¹. En el estado de Tabasco se cultiva en 31,340.00 ha, con rendimientos promedio de 61.15 t.ha⁻¹ (SIAP, 2011).

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 Alcohólica y el Colegio de Postgraduados Campus Tabasco a las enfermedades de roya y carbón (Valdez *et al.*, 2000).

Las pruebas de resistencia a roya café y carbón son indispensables para que un clon sea recomendado como prometedor 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 63 clones de caña de azúcar que se encuentran en fases avanzadas de selección en México para su adopción en otras regiones, a las enfermedades de roya café y carbón, bajo condiciones de infección natural.

1.1 JUSTIFICACIÓN

Los rendimientos de campo obtenidos en la zona de abastecimiento de los ingenios son heterogéneos y están determinados por el manejo inadecuado del cultivo, debido principalmente a problemas de suelo, fertilización y al uso de variedades en declive las cuales fueron diseñadas para adaptarse a condiciones específicas y en respuesta a ciertas enfermedades y plagas presentes durante el proceso de selección (Flores, 1997). Al estudiar técnicas y sistemas de evaluación temprana de plantas obtenidas por cultivo de tejidos, el empleo de marcadores moleculares de resistencia y la manipulación genética (Walker, 1965; Cornide *et al.*, 1995), se realiza con la finalidad de obtener el control de enfermedades, los resultados demuestran que el peso fundamental de la selección de las variedades lo constituye el mejoramiento genético por la vía convencional mediante la utilización de resistencia (Leonard y Szabo, 2005).

En nuestro país las variedades de caña de azúcar Mex 69-290 y CP 72-2086, son resistentes a las dos enfermedades de estudio, y representan el 57% de la superficie cosechada en los ingenios mexicanos. Manejar porcentajes tan elevados de una o dos variedades es muy riesgoso principalmente en ciclos de resoca, porque de presentarse un ataque severo de alguna enfermedad, las pérdidas serían cuantiosas, resultando extremadamente difícil de sustituir la variedad afectada en corto tiempo (Juárez y Valdez, 2000).

1.2. OBJETIVO E HIPÓTESIS

1.2.1. Objetivos

Objetivo general

Caracterización fitosanitaria a la roya café y carbón bajo condiciones de infección natural de 63 clones de caña de azúcar que se encuentran en fases avanzadas de selección en México, para su adopción en otras regiones.

Objetivos específicos

1. Conocer el porcentaje de severidad de la roya café en 63 clones de caña de azúcar que se encuentran en fases avanzadas de selección en México.
2. Conocer el porcentaje de incidencia por carbón en 63 clones de caña de azúcar que se encuentran en fases avanzadas de selección en México.

1.2.2. Hipótesis

Ho.

Algunos clones de caña de azúcar que se encuentran en fases de selección en México son resistentes a las enfermedades de roya café y el carbón.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. 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⁻¹; la parte aérea puede producir hasta 22 t azúcar año ha⁻¹ (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.

2.2. 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).

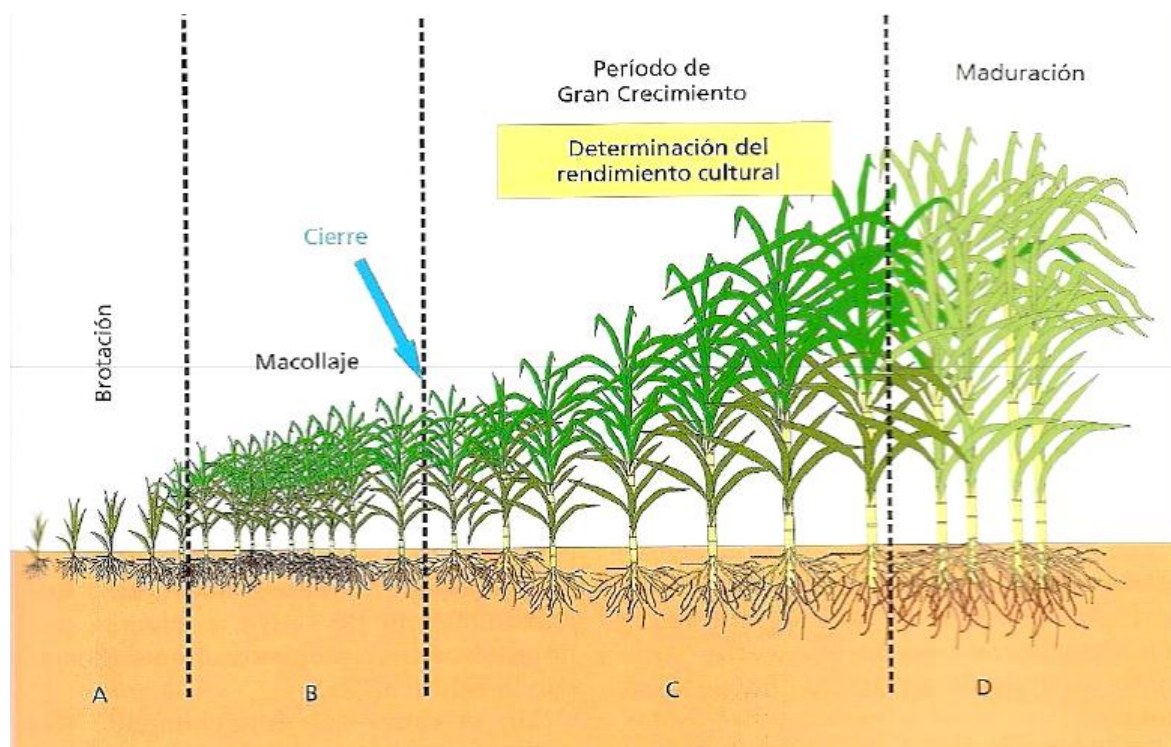


Figura 1. Etapas fenológicas del cultivo de caña de azúcar, de acuerdo con FAO (2009).

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

2.2.1. 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).

2.2.2. 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).

2.2.3. 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 nutrientes. 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).

2.2.4. 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, noches frescas y 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).

2.3. 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 3).

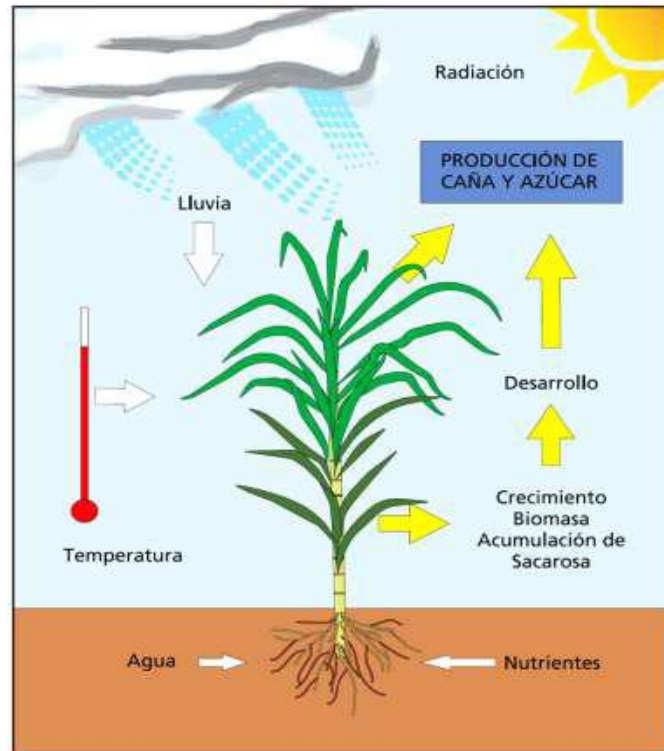


Figura 2.- Factores que interactúan en la definición de la capacidad productiva del cultivo (Romero, 2009).

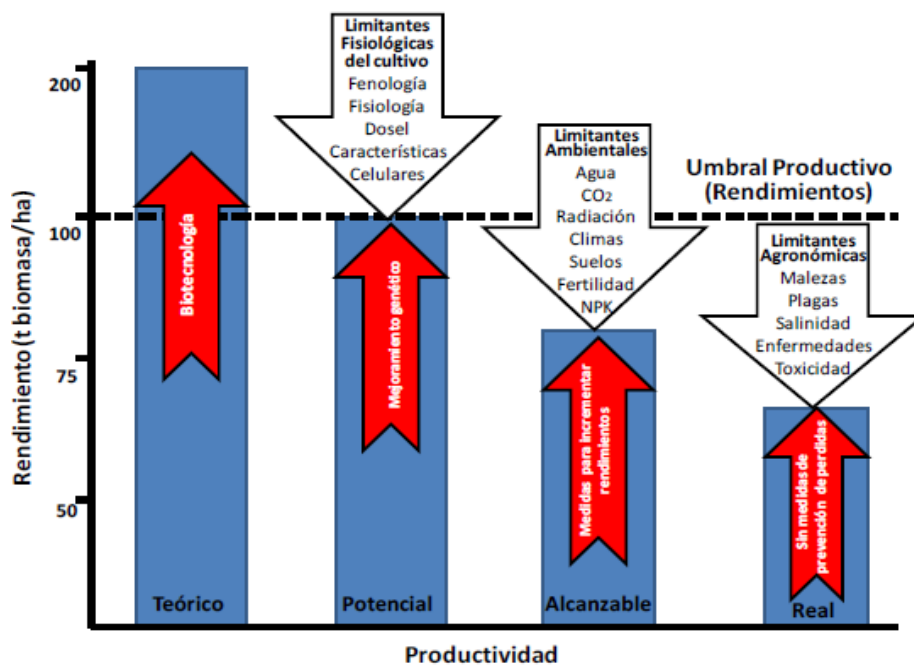


Figura 3. Factores limitantes de la productividad del cultivo de caña de azúcar (Moore, 2009).

2.3.1 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).

2.3.1.1 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).

2.3.1.2 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).

2.3.1.3 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).

2.3.1.4 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 CO₂ 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 CO₂ 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 (De Souza, 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).

2.3.2. 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, Constanza, 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, Constanza 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 fósforo (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 fósforo, en este sentido el 13.7% de la superficie sembrada (106,943 ha) recibe algún tipo de fertilización (SIAP, 2009).

2.4. 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 primera 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 del hongo *P. melanocephala*; 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. En el caso de la roya de la caña de azúcar se ha determinado que los estomas juegan un papel determinante en la ocurrencia de la enfermedad (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).

2.5. 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 contiene 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 kuehni*), 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*.

Las diferencias para la identificación de las dos especies de roya se muestran en Cuadro 1; y las características del carbón en Cuadro 4.

Cuadro 1.- Diferencias comparativas en síntomas y características morfológicas de las dos royas reportadas en caña de azúcar.

	Roya*	
Características	Café (<i>P. melanocephala</i>)	Amarilla (<i>P. kuehni</i>)
Síntoma <u>Fase asexual:</u>		
	Uredias cafés a café oscuro, en lesiones necróticas oscuras, y que pueden coalescer.	Uredias café claro y algunas veces amarillo a amarillo-anaranjado, y en material de herbario lesiones necróticas-café, o en algunos casos café rojizo (similares a roya café). Inicia con pequeñas manchas cloróticas y alargadas de color amarillento, que se presentan de forma visible por ambos lados de la superficie de la hoja, paralelas a la nervadura central, que al aumentar de tamaño, tomando un color amarillo pálido. A partir de estas, se forma un abultamiento de la epidermis (pústulas) desde 2 a 20 mm de longitud por 1-3 mm de ancho, producto de la formación de uredosporas. En hojas con lesiones severas, las pústulas colapsan, causando largas áreas necrosadas, que llegan a secar la hoja, dándole a los campos apariencia de quemado. ****
Uredias	Café-canela a café-oscuro, principalmente en envés de hojas,	Anaranjadas a café-amarillento, y algunas café-canela (como en roya café).

	lineales.	
Parafisos	Abundantes, capitate (con cabeza), spathulate (como forma de cuchara), hialinos a café oro, 32-98 μm de largo, cabeza de 12-25 μm de diám., pared del tallo 1.0-2.8 μm , pared apical más gruesa que la del tallo, 4-15 μm^{***}	Difícil de observar (debajo de uredosporas), por lo general de forma irregular, algunas veces obovoid, hialinos, pared muy delgada,
Urediosporas	Unicelular, de forma obovoid (de posición inversa a la ovoide), algunas elipsoidales, pared uniformemente gruesa (0.8-2.3 μm) ^{***} , abundantes y finas equinulaciones; café-canela a café-oscuro, (20.6-)25.8-38.7(-44.3) x (14.8-)17.8-27.5(-32.1) μm^{***}	Unicelular, obovoid o pyriform (en forma de pera), algunas veces elipsoidal, algunas urediosporas con pared apical gruesa ($\pm 5 - 10 \mu\text{m}$) y en otras no, y toda la pared gruesa (1-2.3 μm) ^{***} , equinulaciones menos abundantes pero más grandes y con más ancha base; amarillo-oro a anaranjado, algunas café-canela, (26.4-)33.3-52.2(-67.7) x (16.0-)21.3-30.5 (-39.2) μm^{***} , no aparente pedicelo.
Poros germinativos	Equatoriales, por lo general 4, algunas veces 5.	Equatoriales, 4-5.
<u>Fase sexual:</u>		

Telia	Café-negrusco, en misma uredia.	Transparente, blanquecina, en misma uredia.
Teliosporas	Bicelular, café a café oscuro, principalmente clavate (es angosta hacia la base), usualmente célula apical alargada más oscura y con pared más gruesa en el ápice; ligera constricción en septos, 31.3-61.0 x 14.8-25 µm, pared lisa, pedicelos café oscuro, 4.7-16.5 µm de largo ^{***} , con parafisos.	Bicelular o algunas veces de tres células, hialina, obclavate, ligera o no constricción en septos, pared uniformemente delgada y lisa; 25.8-65.9 x 8.3-19.4 µm, algunas veces sésiles, o con pedicelo hialino de 12 µm de largo, algunas veces dos teliospora por pedicelo ^{***} .
Basidiosporas		7-10 x 5-7 µm
Análisis moleculares	Especie ampliamente secuenciada por PCR-ITS de genes rDNA (ver NCBI ^{****} , banco de genes)	Especie secuenciada por PCR-ITS: rDNA, y de otros genes (ver NCBI, banco de genes)

*Virtudazo *et al.*, 2001.

**Hughes *et al.*, 1964; Victoria *et al.*, 1984.

***Egan, 1979; Sydow *et al.*, 1906 (citados por Virtudazo *et al.*, 2001)

****National Center for Biotechnology Information

2.5.1. Roya café de la caña de azúcar, *Puccinia melanocephala* Syd. & P. Syd.

2.5.1.1. Distribución

Antes de 1978, la enfermedad de la roya café sólo estaba presente en lugares dispersos en África y Asia, sin causar impactos económicos (Purdy *et al.*, 1985). Actualmente se encuentra distribuida en todos los países productores de caña de azúcar, donde ha generado un impacto económico considerable, tanto así que la resistencia a la enfermedad ha formado parte integral de los programas de mejoramiento. Sin embargo, debido a la variabilidad genética de este patógeno la resistencia de la caña de azúcar a la enfermedad no ha sido estable (Raid y Comstock, 2006). Después de su introducción al Caribe y países de América latina, en el periodo de 1978 – 1980, la roya se convirtió en una preocupación importante en muchas áreas de producción, debido a su efecto inmediato grave en la variedad B 4362, que representaba la mayor parte del área de cultivo comercial en el Caribe (Liu, 1980). En el Cuadro 2 se muestran los reportes de la roya café en los países del Caribe y América latina. En cuanto a México, la roya café fue localizada por Huerta *et al.*, en 1979 en Cárdenas, Tabasco. Poco después se propagó a todos los ingenios ubicados en el golfo de México, donde encontró condiciones de temperatura favorables para su reproducción (Flores, 1997).

2.5.1.2. Clasificación taxonómica (Kirk, 2008):

Reino Fungi
Filo Basidiomycota
Subfilo Pucciniomycotina
Clase Pucciniomycetes
Orden Pucciniales
Familia Pucciniaceae
Género *Puccinia*
Especie *P. melanocephala*

Cuadro 2.- Presencia de *Puccinia melanocephala* en el continente Americano a partir de 1978 – 1979*.

Fecha	País	Variedad susceptible
1978		
Julio	Republica Dominicana	B 4362, Q80
Septiembre	Jamaica, Antigua y Cuba	B4362, B 51-415, B73-389
Octubre	Puerto Rico	B 4362, PR 67 3129
Noviembre	Panamá	B 4362
1979		
Enero	México, Belice, Honduras y Venezuela	B 4362, Q80 y CL 41 223
Marzo	Guatemala, Costa Rica, Nicaragua y E.E. UU, (Florida), Haití y Guadalupe	B 4362, B 50377, CL 41223, CP 65357 y ODN8
Abril	Colombia	B 4362, CP 57 603
Junio	E.E.UU. (Louisiana y Texas), El Salvador,	CP 74 362, CP 57 603, B 4362, L 6343, L 6149
Mayo	Ecuador	PR 905 Y B 4362
Agosto	Barbados	Tukuyu-2 y B 4362

*GEPLACEA, 1981.

2.5.1.3. Agente causal

ver Cuadro 1

2.5.1.4. Ciclo biológico

En general los hongos causantes de royas (*Pucciniales*) constituyen uno de los grupos más numerosos, diverso y de amplia distribución mundial (Buriticá, 2003); son parásitos biotróficos de un amplio rango de plantas incluidas helechos, coníferas y angiospermas, con las cuales han coevolucionado, y que adaptan su ciclo de vida a las condiciones ecológicas del hábitat de sus hospedantes (Buriticá 2001; Buriticá, 2003; Cummins y Hiratsuka, 2003). Las royas pueden producir hasta cinco estados de esporas que se designan como: espermacios (0) en espermogonio con hifas receptivas, aeciosporas (I), uredosporas (II), teliosporas (III) y basidiosporas (IV) (Kirk *et al.*, 2008 y Hahn, 2000). Cada estado de espора es morfológica y funcionalmente

diferente dentro del ciclo de vida de las especies de royas (Kirk *et al.*, 2008; Cummins y Hiratsuka 2003). Las royas tienen diferentes ciclos de vida, los que varían de acuerdo al número de esporas presentes. Cummins y Hiratsuka (2003), reconocen tres ciclos básicos: royas macrocíclicas, demicíclicas y microcíclicas.

En las royas de la caña de azúcar sólo se observan los estados de uredosporas (II) y teliosporas (III) (Virtudazo *et al.*, 2001). Estas estructuras son las que permiten hacer la diferenciación de las especies del género *Puccinia* (*P. melanocephala* para roya café y *P. kuehnii* para roya naranja) por microscopía óptica. En la Figura 4, estructuras morfológicas según Virtudazo *et al.* (2001):

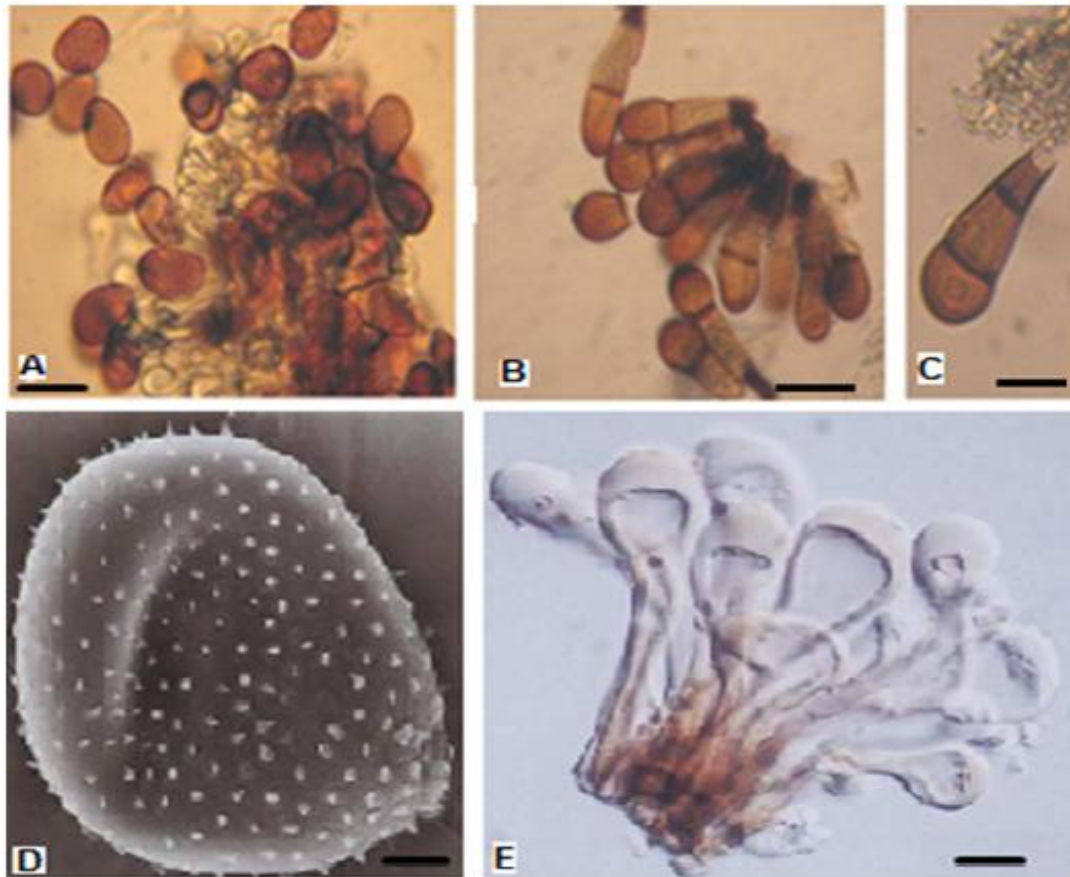
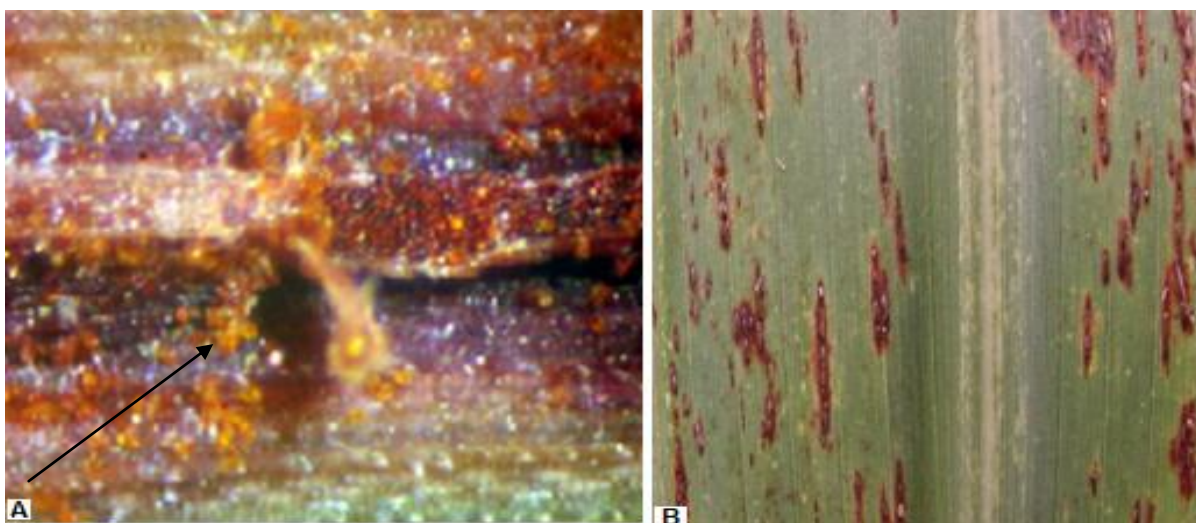


Figura 4.- Estructuras morfológicas de roya café, *P. melanocephala*. Tomado de Cardona (2008) (Figs. A, B, C); Virtudazo *et al.* (2001) (Figs. D, E). A. Uredospora, B. Teliosporas, C. Acercamiento de teliospora, D. Equinulaciones de uredospora (microscopio electrónico de barrido), E. Parafisis.

2.5.1.5. Sintomatología

Los primeros síntomas de la enfermedad aparecen en las hojas y consisten en pequeñas manchitas de color amarillo-pálido visibles en el haz y en el envés de la hoja; miden de 2 a 10 mm de largo y 3 mm de ancho. Al aumentar de tamaño toman una coloración café-rojiza, rodeadas de un halo pajizo, que en muchos casos desaparece en las lesiones viejas. En el envés de la hoja (Figura 5), las lesiones se hinchan y se forman las pústulas, las cuales rompen la epidermis para liberar las esporas (Flores, 1997). Hay varios tipos de ataque y dependen del grado de resistencia de la variedad y las condiciones ambientales. En algunos casos el número de pústulas por cm² puede ser igual en una caña muy susceptible que en otra variedad susceptible, pero en esta última las pústulas no crecen y no se forman grandes áreas necróticas como en la primera. También se ha observado que en algunas variedades susceptibles, las pústulas se agrupan en manchas o parches en partes definidas de las hojas; en cambio en las variedades muy resistentes, se producen pequeñas manchas cloróticas que a veces desaparecen y otras se necrosan, pero no aumentan de tamaño y son casi imperceptibles (Comstock y



Ferreira, 1986).

Figura 5.- Pústulas de roya café, *P. melanocephala*, de caña de azúcar.

A. Uredosporas inmaduras (naranja alrededor de pústula) y maduras (café dentro de pústula) (Chavarría, 2008). B. Pústulas maduras (café) (de la variedad B 4362 tomada de este estudio).

La roya ataca las hojas y se presenta con mayor intensidad en plantas de 4-5 meses de edad. El ataque reduce el área fotosintética y en variedades susceptibles detiene el crecimiento. En sus inicios los síntomas consisten en la aparición de manchas amarillentas alargadas que son visibles por ambas superficies de la hoja. Las manchas incrementan en longitud, se tornan color café a café-naranja y desarrollan un ligero halo clorótico (Raid y Comstock, 2006). Las uredosporas rompen el tejido epidérmico por presión liberando un gran número de ellas de color naranja. Cuando el ataque es severo se puede encontrar un número considerable de lesiones que se unen para formar áreas necróticas extensas e irregulares, lo que ocasiona el secamiento de la hoja (Cardona, 2008).

La severidad de la roya puede incrementarse dentro de un breve periodo de tiempo, porque el ciclo reproductivo es muy corto. Una uredospora puede infectar y desarrollar la enfermedad dentro de un ciclo de 14 días, y en un tiempo de seis semanas, pueden haberse infectado campos completos, si han sido plantados con cultivares susceptibles (Victoria *et al.*, 1990). Las uredosporas sobre la superficie de la hoja, germinan y forman apresorios desde 5 hasta 30°C, aunque, el óptimo de temperatura está enmarcado entre 15 y 30°C, y la formación de apresorios es inferior cuando las temperaturas se encuentran entre 5 a 10°C (Purdy y Dean, 1980, Victoria *et al.*, 2007).

Las uredosporas permanecen viables por dos meses mientras que son mantenidas dentro de un rango de 5-10°C, pero cuando se exponen a 26°C, pierden viabilidad. Tres horas después de ser incubadas a 26°C germinan con la aparición de varios tubos germinativos en una misma uredospora, pero generalmente solo es producido un tubo germinativo (Hsieh *et al.*, 1977). La aparición de las razas del patógeno no ha sido estudiado ampliamente (Shine *et al.*, 2005), y por ello la alta variación entre los cultivares susceptibles.

2.5.1.6. Importancia y daños

La roya café es una enfermedad que causa graves pérdidas y se recomienda que un material genético avanzado antes de ser liberado como prometedora variedad deberá ser evaluado, con el objetivo de conocer su respuesta a la enfermedad dentro de los programas de mejoramiento genético en caña de azúcar en México. En las variedades susceptibles disminuye el rendimiento en 10 al 40% y en situación de epidemias severas hasta 50% (Comstock *et al.*, 1992; James, 2004).

2.5.1.7. Métodos de control

Entre las medidas eficaces para el control de la roya café se encuentra: la destrucción de residuos, cuyo objetivo es reducir la fuente de inóculo y el ajuste del periodo de plantación en condiciones adversas para el desarrollo de estos patógenos, teniendo en cuenta que, a los cinco meses se disminuye la afección de la enfermedad y hay una mayor producción de tejidos sanos y con ello la recuperación de la planta. Otras medidas empleadas son: la utilización de un mosaico de variedades, una adecuada fertilización nitrogenada y riego adecuado (Victoria *et al.*, 2007). Además de lo expuesto un excelente modo de controlar a *P. melanocephala* es la resistencia genética heredada, la que limita su infección, y retrasa el crecimiento del hongo y la formación de esporas y por ende retarda las epidemias (Comstock *et al.*, 1983)

2.5.1.8. Mecanismos fisiológicos

Las plantas en su evolución han desarrollado complejos mecanismos para resistir el ataque de los patógenos (Ileana, 2001). Díaz *et al.*, (1996), encontró enzimas quitinasas, las que hidrolizan glucopéptidos como quitina y quitosano, que no se encuentran en las plantas, pero sí aparecen como componentes principales de la pared celular de muchos hongos. Por su parte López (2008) detectó una elevada acumulación de proteínas relacionadas con la defensa a la roya en la variedad resistente CP 52-43 en etapas tempranas post-inoculación, comparadas con patrones sanos y la variedad susceptible B 4362. Demostró además la utilidad de las β 1-3

glucanasas como indicador potencial de la resistencia en variedades resistentes a *P. melanocephala*, post-inoculadas en condiciones controladas.

2.5.2. Carbón de la caña de azúcar *Ustilago scitaminea*

2.5.2.1 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 3 se muestran los reportes del carbón en los países del Caribe y América latina.

Cuadro 3. Cronología de la aparición del carbón de la caña de azúcar en el continente Americano*.

Año	País	Variiedad
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).

2.5.2.2 Clasificación taxonómica (Kirk *et al*, 2008).

Reino	Fungi
Filo	Basidiomycota
Subfilo	Ustilaginomycotina
Clase	Ustilaginomycetes
Orden	Ustilaginales
Familia	Ustilaginaceae
Género	<i>Ustilago</i>
Especie	<i>U. scitaminea</i>

2.5.2.3 Agente Causal

El hongo causante del carbón puede ser identificado por sus teliosporas equinuladas de color café oscuro, de 5.5 a 7.5 μm 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). En el Cuadro 4 se muestran las características para la identificación de *U. scitaminea*.

2.5.2.4 Ciclo biológico

Este hongo pertenece a la orden Ustilaginales, cuyas teliosporas son los órganos de dispersión y de resistencia. Se forman en los soros ó 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) μm 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 μm de largo x ancho, con 3 ó 4 células, cada una de las cuales produce 5 ó 6 basidiosporas a un mismo tiempo (Figura 6) (Flores, 1997). Estas son de forma oval y más delgada en los extremos; miden aproximadamente 6 x 2 μm , 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).

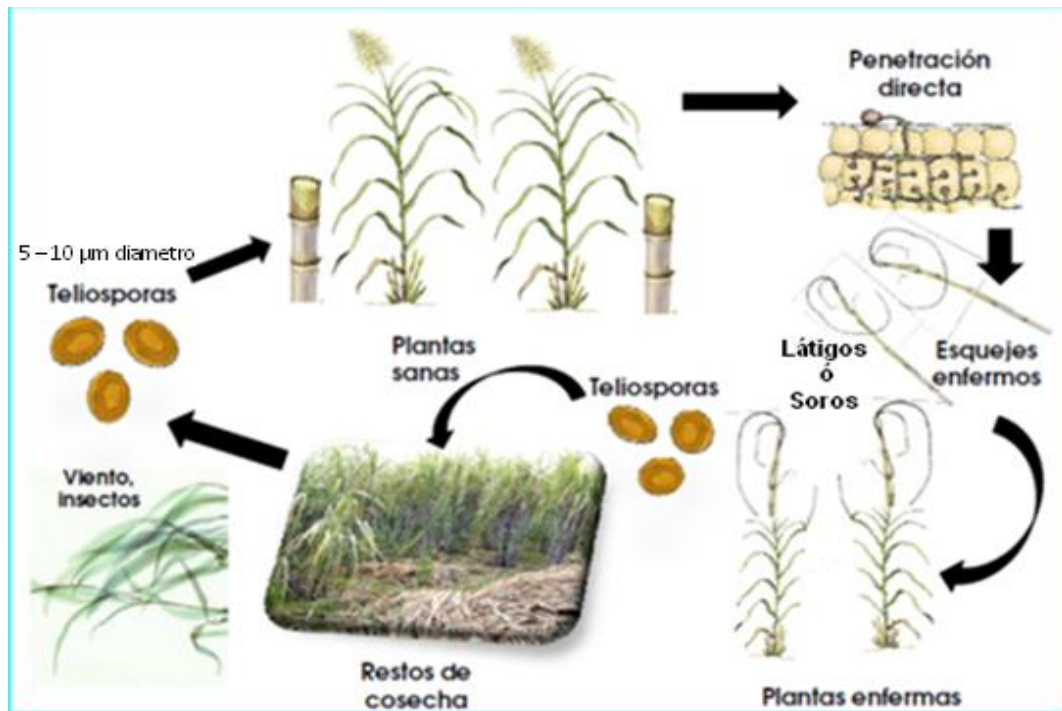


Figura 6.- Ciclo del carbón en la caña de azúcar en campo de acuerdo con Flores (1997).

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).

2.5.2.5 Sintomatología

La enfermedad es fácilmente reconocible debido a que los soros semejan un látigo (Figura 7). 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 10^8 a 10^{10} teliosporas por día durante su madurez (Ferreira y Comstock, 1989; Lee, 1978).



Figura 7.- Síntoma característico del carbón de la caña de azúcar tomada de este estudio.

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).

2.5.2.6. Importancia y daños

La ocurrencia del carbón de la caña de azúcar durante un estado temprano de crecimiento del cultivo (de los 40-60 días) causa la pérdida total del mismo (Figura 8), 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 8.- Cepa de caña de azúcar infectada por el carbón (tomada de este estudio).

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⁻¹, 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).

2.5.2.7. 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.


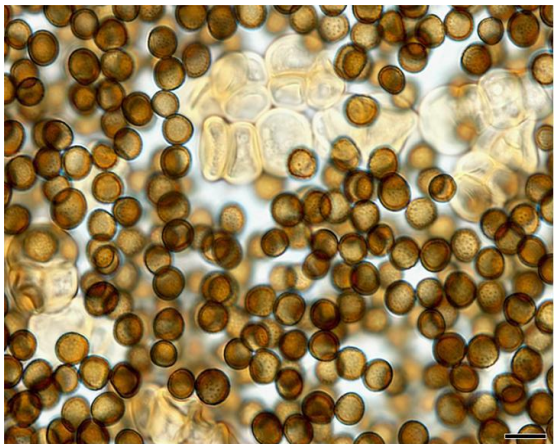
e) Plantación de variedades resistentes. De todas las medidas ésta constituye la más eficiente a largo plazo. Las medidas de control anteriormente enumeradas son eficientes para evitar la diseminación rápida de la enfermedad, disminuir los índices de afectación de la misma, pero nunca la erradicación por completo mientras existan en los campos variedades susceptibles.

2.5.2.8. Mecanismos fisiológicos

En el proceso de penetración de *U. sitaminea* 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).

Cuadro 4.- Características morfológicas para identificar el carbón de la caña de azúcar

CARACTERISTICAS	DESCRIPCION
<p style="text-align: center;">SINTOMA</p> 	<p>El síntoma característico de esta enfermedad se manifiesta en el meristemo del tallo, produciéndose un alargamiento del mismo, que al madurar tiene forma de soro ó látigo*.</p> <p>El “soro ó látigo” esta conformado internamente por parénquima y haces fibrovasculares que se rodean por densa masa de teliosporas (a), y todo cubierto por una membrana grisácea (b).</p> <p>El tamaño de los látigos va desde 1 cm que inicia en el meristemo infectado, a más de un metro de largo*.</p> <p>Los tallos infectados son delgados, sin jugo y corchosos, inservibles para la molienda. Otro síntoma de esta enfermedad es la formación de tallos “herbáceos”, los cuales se forman acompañando a tallos sanos en la cepa (planta)*.</p>
<p style="text-align: center;">TELIOSPORAS</p> 	<p>Masa de teliosporas. Escala de la barra = 10 μm.**</p>

*Flores, 1997.

**Shivas, 2010.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del experimento

La investigación se realizó, en el área experimental del Campus Tabasco del Colegio de Postgraduados, ubicada en el Km 21 de la carretera Cárdenas-Coatzacoalcos. Sus coordenadas son 17° 59'5.87" de LN y 93° 35'26.18" LO a 10 msnm, el clima es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (Am). Las evaluaciones fueron realizadas de febrero 2010 a agosto de 2011.

3.2. Factor en estudio y tratamientos

El factor en estudio fue la respuesta de 66 clones de caña de azúcar a las enfermedades de roya café y el carbón. Los clones (tratamientos y testigos) se evaluaron en los ciclos plantilla (preliminares) y soca (definitivo). Cada tratamiento se estableció a partir de tallos de caña (semilla), por lo que existió variabilidad genética entre clones, característica que permitió considerar a cada clon como una unidad experimental.

El Cuadro 5 contiene el estado, lugar de procedencia y la nomenclatura de los clones evaluados.

3.3. Preparación del terreno

La preparación del terreno consistió en: barbecho, rastreo, surcado. Las labores de cultivo subsecuentes se realizaron de acuerdo a lo recomendado para la región (Valdez *et al.*, 2009). De manera particular para la fertilización se utilizó la fórmula comercial 120-60-60 (350 kg de 17-17-17 al momento de la siembra y 150 kg de urea al cierre de campo), según lo recomendado en el paquete tecnológico de Valdez *et al.* (2009).

Cuadro 5. Clones de caña de azúcar que se encuentran en fases avanzadas de selección en México, evaluadas a la enfermedad de la roya café y el carbón bajo condiciones de infección natural.

Número consecutivo	Estado	Procedencia	Clon	Número consecutivo	Estado	Procedencia	Clon
1	Campeche	COLPOS*	CP 94-1674	20	Chiapas	CIDCA	MEX 95-3
2			SP 83-5073	21			MEX 95-52
3	Colima	Ingenio Quesería	COLMEX 95-27	22	San Luis Potosí	Ingenio San Miguel del Naranjo	B 86-492
4			COLMEX 94-8	23			SP 80-1816
5	Veracruz	Ingenio San José de Abajo	MEX 95-27	24			B 86-88
6	Veracruz Quintana Roo	Ingenio San José de Abajo San Rafael de Pucté	MEX 94-4	25	Chiapas	CIDCA	EMEX 0062
7	Veracruz	Ingenio San José de Abajo	MEX 94-192	26	San Luis Potosí	Ingenio San Miguel del Naranjo	CXZ 75-644
8			TCP 89-3493	27	Chiapas	CIDCA	EMEX 0021
9			YZ 84-7	28			CP 80-1743
10			MEX 95-104	29			L 79-321
11			MEX 95-39	30			ITV 92-1424
12			COLMEX 00-10	31			CP 90-1424
13			COLMEX 00-76	32			ITV 92-373
14			MEX 95-70	33			MEX 91-566
15			B 76-56	34			SP 72-4928
16	San Luis Potosí	Ingenio San Miguel del Naranjo	SP 80-1815	35			CP 87-1233
17	Chiapas	CIDCA**	MEX 96-19	36	MZC 74-275		
18	Chiapas	CIDCA	MEX 95-60	37	SP 71-6180		
19	San Luis Potosí	Ingenio San Miguel del Naranjo	B 78-266	38	LGM 92-65		

Cuadro 5. Continuación. Clones de caña de azúcar que se encuentran en fases avanzadas de selección en México, evaluadas a la enfermedad de la roya café y el carbón bajo condiciones de infección natural.

Número consecutivo	Estado	Procedencia	Clon	Número consecutivo	Estado	Procedencia	Clon
39	Chiapas	CIDCA	SP 74-5203	53	Chiapas	CIDCA	MOTZ-MEX 91-207
40			LT MEX 94-2	54			MEX 92-101
41			CP 89-2143	55			CP 70-1527
42			MOTZMEX 71-789	56			ICPMEX 93-1455
43			LTMEX 96-10	57			MEX 91-195
44			MEX SFC 95-46	58			LTMEX 96-9
45			LTMEX 93-354	59			CL 61-620
46			SP 79-2233	60			CAZE MEX 93-43
47			MEX 91-344	61			B 69-404
48			NA 63-103	62			CP 88-1508
49			RB 85-5536	63			MEX 92-27
50			CP 80-1827	64			B 4362 (roya café y carbón) t+
51			MODMEX 95-401	65			NCo 310 (carbón) t+
52			ICP MEX 92-1420	66			Mex 69 290 (resistente) t-
*Colegio de Postgraduados							
** Centro de Investigación y Desarrollo de la Caña de Azúcar							
t+ Testigo Susceptible							
t- Testigo Resistente a ambas							

3.4. Establecimiento del bioensayo

El estudio se realizó con 63 clones de caña de azúcar en fases avanzadas de selección en México, y 3 variedades testigos B 4362 altamente susceptible a la roya café y al carbón, así como, la variedad NCo 310 altamente susceptible al carbón, así como, la variedad Mex 69-290 resistente a ambas enfermedades. Las 66 clones/variedades se sembraron en diciembre de 2009. El método de siembra fue cordón doble, colocando la semilla en el fondo del surco y cortando la caña en trozos con tres a cuatro yemas. La respuesta a las enfermedades, se evaluó durante dos ciclos de cultivo (plantilla y soca) para lo cual se siguió la metodología empleada por Juárez y Valdez (2000).

3.5. Diseño experimental

Para el establecimiento del bioensayo se empleó el diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones. La unidad experimental estuvo conformada por un surco de 5 m de largo, sembrado a una distancia de 1.4 m entre surcos. De esta manera el área total evaluada fue de 7 m². El modelo del diseño experimental fue:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + Var_j + E_{k(ij)}$$

Donde:

μ = efecto de la media

B_i = efecto del bloque i ésimo

Var_j = efecto del clon/variedad j ésima

$E_{k(ij)}$ = error k ésimo dentro del bloque i ésimo y el clon/variedad j ésima. $k = 1$

En este diseño las unidades experimentales se distribuyeron en grupos homogéneos, los grupos se consideran como bloques: bloque 1 (1 al 66), bloque 2 (66 al 1), y bloque 3 (66 clones/variedades distribuidas al azar). El número de unidades experimentales dentro de cada bloque fue igual al número de tratamientos incluidos en el experimento. En la Figura 9 se muestra el arreglo y la distribución de los tratamientos en campo, divididos por un camellón de 2 m y protegidos por un callejón de 4 m de ancho de la variedad B 4362, tal como lo establecía el IMPA (1980).



Figura 9.- Distribución de los tratamientos por bloques y callejón de protección en el bioensayo.

3.6. Variables en estudio

Las variables del estudio fueron climáticas y la respuesta biológica a la roya café y al carbón de la caña de azúcar, las cuales se detallan a continuación.

3.6.1. Variables climáticas.

Se recopilaron los datos de temperatura máxima y mínima, precipitación y humedad relativa de la estación meteorológica del estado de Tabasco con clave 027078 del Poblado C-27 Longitud 93°35'21.93" y Latitud 17°59'8.16", prevalecientes durante los meses en que se desarrollo la caña en los ciclos de plantilla y soca.

3.6.2. Variables Biológicas

3.6.2.1. Roya café

El grado de reacción de los clones, se obtuvo mediante la calificación visual de acuerdo a la escala de evaluación para la resistencia de la caña de azúcar propuesta por Chavarría (2006). Se determinó el conocer el grado de la enfermedad, a través de estimaciones visuales en función a la sintomatología presente y la reacción de la enfermedad (Cuadro 6). La evaluación de la reacción se realizó mensualmente y en cada muestreo se registro el grado o reacción y el porcentaje de severidad.

Cuadro 6.- Escala de evaluación para la resistencia de la caña de azúcar a la roya café*.

Grado	Reacción	Descripción de los síntomas
1	Inmune (I)	Hoja sana
2	Resistente (R)	Solo manchas cloróticas en las hojas, incluyendo algunos síntomas necróticos, afectando hasta el 5% del área foliar.
3	Intermedia (MR)	Manchas cloróticas, necróticas y algunas pústulas en las hojas viejas, afectando hasta el 15% del área foliar.
4	Susceptible (S)	Manchas cloróticas, necróticas y pústulas en hojas medias e inferiores, afectando hasta el 30% del área foliar.
5	Muy Susceptible (MS)	Manchas cloróticas, necróticas y pústulas en todas las hojas, afectando más del 30% del área foliar. Amarillamiento general de las hojas.

*Chavarría, 2006

La severidad medida como el porcentaje de área foliar dañada se cuantificó con la ayuda de un escáner y el procesador de imágenes Adobe Photoshop®. Esto para conocer el área afectada y ubicarla según su reacción. Las áreas dañadas e intactas de hojas de caña de azúcar, se determinaron mediante una digitalización a color, en el formato JPEG y con 200 dpi de resolución (Figura 10). Con lo anterior se obtuvieron imágenes de alta calidad, así como archivos de tamaño reducido, Las imágenes fueron comparadas con la escala de evaluación propuesta por Chavarría (2006).



Figura 10.- Acomodo de las hojas de caña de azúcar para su digitalización.

3.2.6.2. Carbón

El grado de reacción al carbón de los clones, se obtuvo mediante la inspección visual en los tallos del surco de cada una de las variedades con la finalidad si hay ausencia de látigos (resistente) ó presencia de látigos (susceptible). Para garantizar la presencia del patógeno en la variedad testigo NCo 310 se inoculó a los 30 días de sembrada, con una suspensión de esporas a una concentración de 5×10^6 , la cual se obtuvo con 2 g de esporas por un litro de agua destilada (Ayala y Sánchez, 2000). Un día anterior se colectaron las teliosporas provenientes de los látigos, se colocaron en refrigeración ($\pm 4^\circ\text{C}$) por 24 h, y al día siguiente se inocularon antes de que saliera el sol. Los látigos de carbón para la inoculación se colectaron de la variedad NCo 310.

El porcentaje de incidencia de tallos enfermos (P.I.) se obtuvo mediante el conteo de tallos enfermos (con látigo o soro) y el total de tallos en el surco de 5 m, apoyándose con los criterios descritos por Chavarría (2006), descrito en el Cuadro 7 y la formula fue la siguiente

$$P. I. = 100 \times (\Sigma TA / \Sigma TT)$$

Donde:

P.S. = Porcentaje de incidencia de la enfermedad

ΣTA = Tallos enfermos (afectados)

ΣTT = Total de tallos

Cuadro 7. Descripción de la escala para clasificar la reacción clonal de la caña de azúcar al Carbón.

Grado *	Reacción	Condición
1% ≤ 5%	R	Resistente
>5% ≤ 15%	MR	Moderadamente Resistente
>15% ≤ 30%	S	Susceptible
> 30%	AS	Altamente Susceptible

*Porcentaje de incidencia de tallos enfermos

3.7. Análisis estadístico

Previo al análisis estadísticos de los datos, se realizaron pruebas de normalidad y homogeneidad de la varianza mediante la prueba Kolmogorov-Smirnov $n > 30$ y prueba de Levene, respectivamente; los análisis de varianza, (ANVA) y las comparaciones de medias con la prueba de Tukey ($P < 0.05$), se realizaron en el paquete estadístico **R para Windows versión R-2.10.1**. En el Anexo 1 se detalla las pruebas realizadas para los datos obtenidos en ciclo plantilla (Agosto 2010) y soca (Agosto 2011).

3.8. Identificación de las especies de roya y carbón

Se basó en análisis microscópicos de la morfología en montajes permanentes y mediciones en μm para su comparación con la información taxonómica generada para estas especies por otros autores.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Condiciones ambientales prevalecientes del área de estudio

4.1.1. Información meteorológica

Como se observa en las Figuras 11 y 12 durante el ciclo plantilla (2010) y ciclo soca (2011), existieron las condiciones óptimas para la diseminación y germinación natural de las esporas de la roya café y carbón en el área experimental. En las evaluaciones realizadas en campo, se pudo evidenciar la presencia de ambas, debido a que existieron condiciones muy favorables para la infección y la producción de esporas de *P. melanocephala* y *U. scitaminea* entre los meses de julio y agosto, concordando con la época de lluvias (Anexo 1). Barrante y Chavarría (2008), observaron que ciclos alternos de lluvia con días secos y la presencia de rocío durante las noches y parte de las mañanas, son favorables para diseminación de las enfermedades.

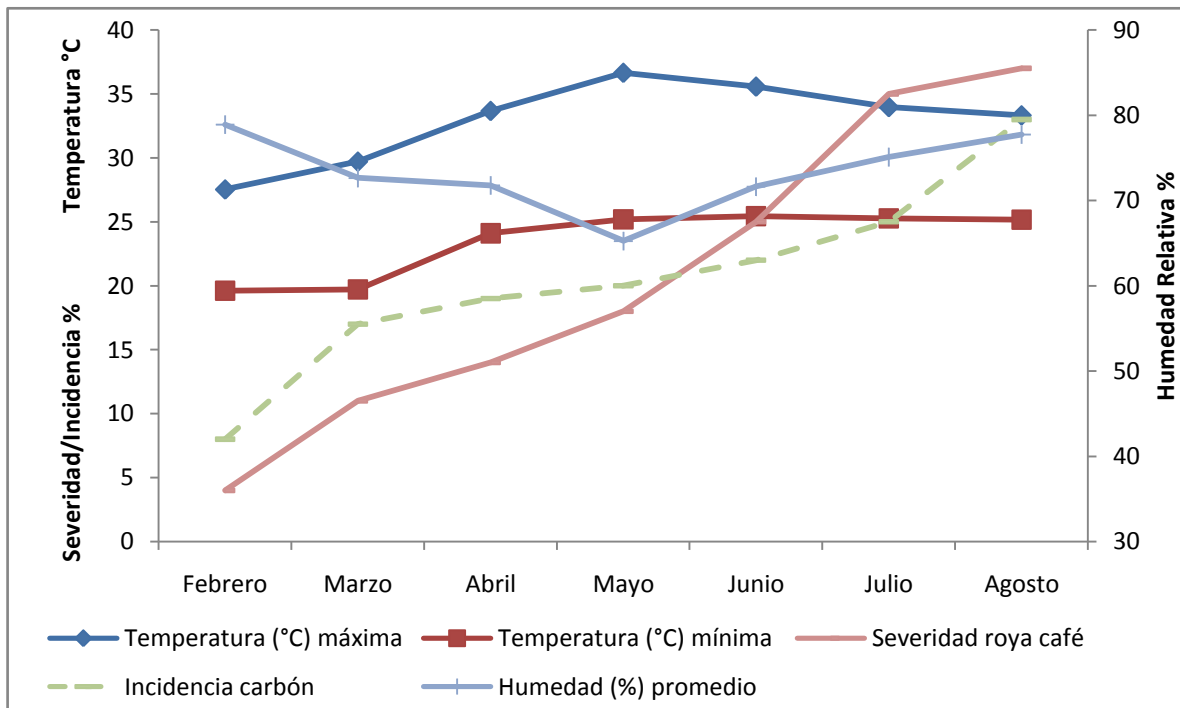


Figura 11. Temperatura y humedad relativa de febrero a agosto del 2010 en el área experimental del Campus Tabasco.

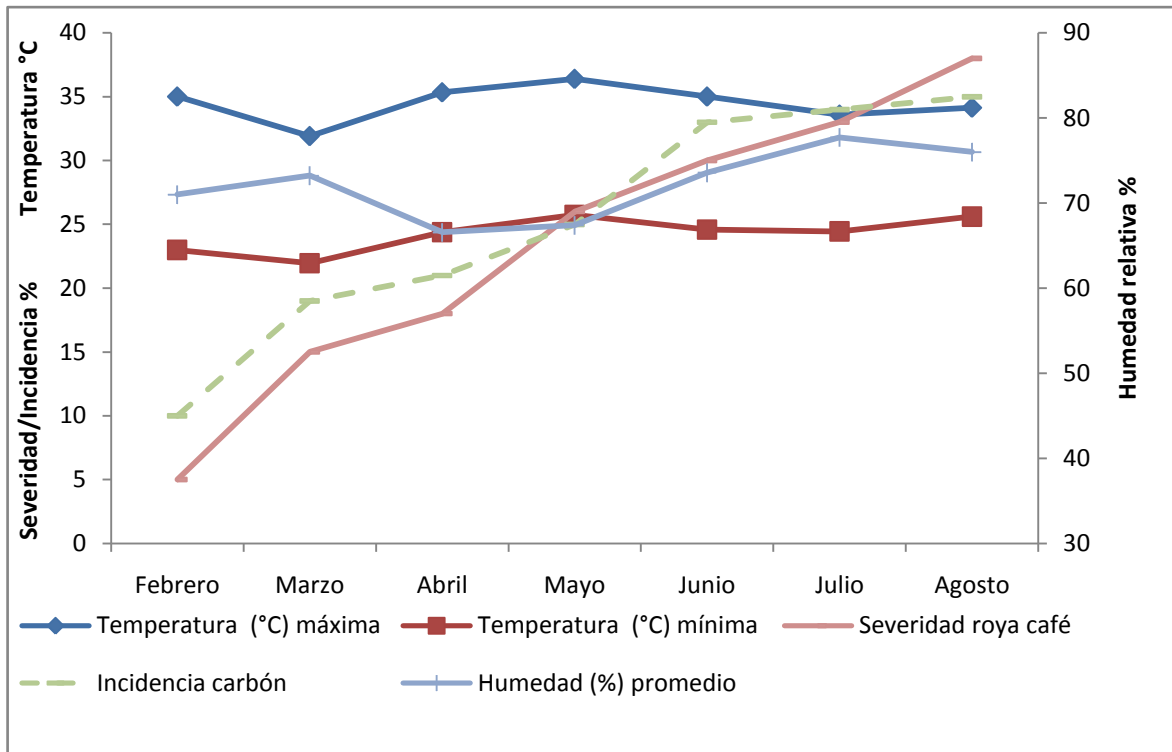


Figura 12. Temperatura y humedad relativa de enero a agosto 2011 en el área experimental del Campus Tabasco.

El aporte de la temperatura máxima y mínima y de la humedad relativa en la explicación de la dinámica de ambas enfermedades, se observa en el Cuadro 8 para el ciclo de plantilla (2010) y en el Cuadro 9 para el ciclo soca (2011). Comstock y Ferreira (1986) indicaron que las condiciones ambientales conducentes para el desarrollo de la roya café son temperaturas de 22 a 25 °C y la humedad relativa mayor al 70% como ocurrió en este caso en particular y, niveles altos de fertilidad edáfica (Johnson *et al.*, 2007; Ramallo y Ramallo, 2002). Para el caso del carbón, Victoria *et al.*, (1995), observó que la temperatura óptima para la germinación de las teliosporas y el crecimiento del patógeno está entre los 25 a 30 °C, con humedad relativa mayor al 70%, esta información se corrobora con la obtenida en la presente investigación.

Según Osada y Reyes (1981) la temperatura máxima juega un papel primordial en la incidencia de la enfermedad. Estos autores plantearon que temperaturas menores de 34°C favorecen su desarrollo, no así cuando las temperaturas sobrepasan este límite.

Cuadro 8.- Ecuaciones de regresión múltiple, donde se muestra el aporte de las variables meteorológicas en la explicación de la dinámica de la roya y el carbón de la caña de azúcar, para el ciclo plantilla (2010) en 66 clones/variedades.

Variable Meteorológica	Ecuaciones de regresión múltiple	% Variable explicativa (R²)
Temperatura máxima	$y = 0.0003x^6 - 0.0129x^5 + 0.2389x^4 - 2.1892x^3 + 9.6212x^2 - 15.735x + 34.265$	0.96
Humedad relativa	$y = -0.0003x^6 + 0.0203x^5 - 0.4346x^4 + 4.2005x^3 - 18.402x^2 + 30.362x + 65.083$	0.85
Temperatura mínima.	$y = 0.0003x^6 - 0.0129x^5 + 0.2092x^4 - 1.7097x^3 + 7.1013x^2 - 12.016x + 25.583$	0.94
Roya café	$y = 0.1905x^2 + 4.119x + 0.2857$	0.98
Carbón	$y = 0.0238x^2 + 3.1667x + 7.4286$	0.90

Cuadro 9.- Ecuaciones de regresión múltiple, donde se muestra el aporte de las variables meteorológicas en la explicación de la dinámica de la roya y el carbón de la caña de azúcar, para el ciclo soca (2011) en 66 clones/variedades.

Variable Meteorológica	Ecuaciones de regresión múltiple	% Variable explicativa (R²)
Temperatura máxima	$Y = -0.0243x^6 + 0.6982x^5 - 7.9065x^4 + 44.614x^3 - 130.33x^2 + 184.09x - 63.125$	0.99
Humedad relativa	$Y = 0.0458x^6 - 1.2971x^5 + 14.362x^4 - 78.653x^3 + 222.13x^2 - 304.85x + 230.25$	0.99
Temperatura mínima	$Y = -0.0111x^6 + 0.3321x^5 - 3.8739x^4 + 22.258x^3 - 65.283x^2 + 91.575x - 25$	0.99
Roya café	$y = -0.3929x^2 + 8.3929x - 2.1429$	0.98
Carbón	$y = -0.4405x^2 + 7.7024x - 3.3857$	0.97

4. 2 Respuesta a las enfermedades de la roya café y carbón

4.2.1 Respuesta a roya café

4.2.1.1. Respuesta de los clones en ciclo plantilla (Agosto 2010) y soca (Agosto 2011) en base a su reacción

Se evaluaron en campo a partir de febrero del 2010, cuando las plantas estaban en la etapa de crecimiento vegetativo y finalizaron en agosto del 2010 en el ciclo plantilla, los datos obtenidos en este periodo se consideraron como preliminares y, para el segundo periodo (ciclo soca) comenzaron en Febrero de 2011 y finalizaron en agosto del mismo año, los datos obtenidos en este periodo se consideran como definitivos. Síntomas de roya café (Figura 13a) se colectaron en el área experimental del Campus Tabasco, en todos los casos se confirmó el diagnóstico visual mediante las observaciones en laboratorio relacionadas con los síntomas, en los materiales estudiados, se observaron pústulas donde estaban contenidas las uredosporas.



Figura 13.- Estructuras morfológicas de la roya café *P. melanocephala*. **A.** Grupo de parafisis. **B.** Uredospora. A, B: Microscopio compuesto a 40X.

Para establecer el grado de reacción se calificó de acuerdo a la escala de Chavarría (2006), y para confirmar la calificación se cuantificó el área foliar dañada por la roya café.

En el Cuadro 10 se presentan los resultados de las pruebas de evaluación clonal a la roya bajo condiciones de infección natural, durante los ciclos de plantilla y soca.

Cuadro 10. Respuesta de 66 clones de caña de azúcar a la roya en ciclo plantilla (Agosto 2010) y soca (Agosto 2011) en base a su grado de reacción en condiciones naturales de infección.

Clon	Plantilla	Soca	Reacción	Clon	Plantilla	Soca	Reacción	Clon	Plantilla	Soca	Reacción
CP 94-1674	2	2	*R	SP 80-1816	2	2	*R	LTMEX 93-354	2	2	*R
SP 83-5073	2	2	*R	B 86-88	3	4	MR, S	SP 79-2233	2	2	*R
COLMEX 95-27	2	2	*R	EMEX 0062	2	2	*R	MEX 91-344	2	2	*R
COLMEX 94-8	2	2	*R	CXZ 75-644	2	4	*R	NA 63-103	2	2	*R
MEX 95-27	2	2	*R	EMEX 0021	2	2	*R	RB 85-5536	2	2	*R
MEX 94-4	2	2	*R	CP 80-1743	2	2	*R	CP 80-1827	2	2	*R
MEX 94-192	2	2	*R	L 79-321	2	2	*R	MODMEX 95-401	2	2	*R
TCP 89-3493	2	2	*R	ITV 92-1424	2	2	*R	ICP MEX 92-1420	2	2	*R
YZ 84-7	2	2	*R	CP 90-1424	2	2	*R	MOTZ-MEX 91-207	2	2	*R
MEX 95-104	3	4	MR, S	ITV 92-373	2	2	*R	MEX 92-101	2	2	*R
MEX 95-39	2	2	*R	MEX 91-566	2	2	*R	CP 70-1527	2	2	*R
COLMEX 00-10	2	2	*R	SP 72-4928	2	2	*R	ICPMEX 93-1455	2	2	*R
COLMEX 00-76	2	2	*R	CP 87-1233	2	2	*R	MEX 91-195	2	2	*R
MEX 95-70	3	4	MR, S	MZC 74-275	2	2	*R	LTMEX 96-9	2	2	*R
B 76-56	2	2	*R	SP 71-6180	2	2	*R	CL 61-620	2	3	R, MR
SP 80-1815	2	2	*R	LGM 92-65	2	2	*R	CAZE MEX 93-43	2	2	*R
MEX 96-19	2	2	*R	SP 74-5203	2	4	R, S	B 69-404	2	2	*R
MEX 95-60	2	2	*R	LT MEX 94-2	2	3	R, MR	CP 88-1508	2	2	*R
B 78-266	2	2	*R	CP 89-2143	2	4	R, S	MEX 92-27	2	2	*R
MEX 95-3	2	2	*R	MOTZMEX 71-789	2	2	*R	B 4362	4	5	S, MS t+
MEX 95-52	2	2	*R	LTMEX 96-10	2	2	*R	Mex 69 290	1	1	R t-
B 86-492	2	2	*R	MEX SFC 95-46	2	2	*R	NCo 310	2	2	R t-

*R = resistente ambos ciclos, R = resistente, MR = moderadamente resistente, S = susceptible, MS = muy susceptible, t+ = testigo susceptible, t- = testigo resistente

Mediante esta variable de reacción se clasificaron en tres grupos a los clones en ciclo plantilla. El grupo I integrado por 62 clones que tuvieron reacción de resistente, grupo II compuesto por tres clones Mex 95-104, B 86 88, Mex 95-70 las cuales mostraron reacción moderadamente resistente y el grupo III por la variedad B 4362 muy susceptible a la roya (Anexo 3).

Para el ciclo soca también con base a su reacción se clasificaron cuatro grupos: grupo I integrado por 58 clones de reacción resistente, grupo II compuesto por dos clones LT Mex 94-2 y CL 61-620, las cuales mostraron reacción moderadamente resistente, grupo III conformado por cinco clones Mex 95-104, Mex 95-70, B 86 88, SP 74-5203, CP 89-2143 mostraron reacción de susceptible y grupo IV integrado por la variedad B 4362 susceptible a la roya café (Anexo 5).

4.2.1.2. Respuesta de los clones en ciclo plantilla (Agosto 2010) y soca (Agosto 2011) en base al porcentaje de severidad

El Porcentaje de severidad (Cuadro 11), representado por el área foliar afectada por la roya café, lo que permitió detectar diferencias entre los clones/variedades representados por los cultivares y entre los periodos en los cuales se evaluó la enfermedad.

Con base al porcentaje de severidad y para el ciclo plantilla, los clones/variedades evaluadas se clasificaron en cuatro grupos: grupo I integrado por el testigo negativo la variedad Mex 69-290 el cual presento hojas sanas. El grupo II compuesto por 61 clones/variedades que tuvieron manchas cloróticas en las hojas, incluyendo algunos síntomas necróticos, afectando hasta el 5% del área foliar, los clones fueron catalogadas como resistentes. El grupo III conformado por tres clones Mex 95-104, B 86 88, Mex 95-70, los cuales mostraron manchas cloróticas, necróticas y algunas pústulas, afectando hasta el 15 % del área foliar, por ello fueron catalogados como moderadamente resistentes. El grupo IV lo integro la variedad B 4362 la cual mostró manchas cloróticas, necróticas y pústulas liberando esporas, afectando hasta el 30% del área foliar (Anexo 7).

Cuadro 11. Respuesta de 66 clones prometedoras de caña de azúcar en ciclo plantilla (Agosto 2010) y soca (Agosto 2011) en base a su porcentaje de severidad por roya café.

Clon	Plantilla	Soca	Reacción	Clon	Plantilla	Soca	Reacción	Clon	Plantilla	Soca	Reacción
CP 94-1674	1	2	R	SP 80-1816	1	2	R	LTMEX 93-354	1	2	R
SP 83-5073	1	2	R	B 86-88	13	21	MR,S	SP 79-2233	1	2	R
COLMEX 95-27	1	2	R	EMEX 0062	1	2	R	MEX 91-344	1	2	R
COLMEX 94-8	1	2	R	CXZ 75-644	4	23	R,S	NA 63-103	1	2	R
MEX 95-27	1	2	R	EMEX 0021	1	2	R	RB 85-5536	1	2	R
MEX 94-4	1	2	R	CP 80-1743	1	2	R	CP 80-1827	1	2	R
MEX 94-192	1	2	R	L 79-321	1	2	R	MODMEX 95-401	1	2	R
TCP 89-3493	1	2	R	ITV 92-1424	1	2	R	ICP MEX 92-1420	1	2	R
YZ 84-7	1	2	R	CP 90-1424	1	2	R	MOTZ-MEX 91-207	1	2	R
MEX 95-104	15	19	MR,S	ITV 92-373	1	2	R	MEX 92-101	1	2	R
MEX 95-39	1	2	R	MEX 91-566	1	2	R	CP 70-1527	1	2	R
COLMEX 00-10	1	2	R	SP 72-4928	1	2	R	ICPMEX 93-1455	1	2	R
COLMEX 00-76	1	2	R	CP 87-1233	1	2	R	MEX 91-195	1	2	R
MEX 95-70	12	21	MR,S	MZC 74-275	1	2	R	LTMEX 96-9	1	2	R
B 76-56	1	2	R	SP 71-6180	1	2	R	CL 61-620	1	13	R,MR
SP 80-1815	1	2	R	LGM 92-65	1	2	R	CAZE MEX 93-43	1	2	R
MEX 96-19	1	2	R	SP 74-5203	2	21	R,S	B 69-404	1	2	R
MEX 95-60	1	2	R	LT MEX 94-2	1	9	R,MR	CP 88-1508	1	2	R
B 78-266	1	2	R	CP 89-2143	1	22	R,S	MEX 92-27	1	2	R
MEX 95-3	1	2	R	MOTZMEX 71-789	1	2	R	B 4362	27	34	S, MS t+
MEX 95-52	1	2	R	LTMEX 96-10	1	2	R	Mex 69 290	0	0	R t-
B 86-492	1	2	R	MEX SFC 95-46	1	2	R	Nco 310	1	1	R t-

R= Resistente, MR = moderadamente resistente S = susceptible, MS = altamente susceptible

En el ciclo soca con base a su porcentaje de severidad se clasificaron cinco grupos a los clones. El grupo I integrado por la variedad Mex 69-290 el cual fue testigo negativo, el cual presento hoja sana. El grupo II compuesto por 56 clones/variedades que presentaron manchas cloróticas en las hojas, incluyendo algunos síntomas necróticos, afectando hasta el 5% del área foliar y fueron catalogadas como resistentes. El grupo III integrado por dos clones LT Mex 94-2, CL 61-620 las cuales mostraron manchas cloróticas, necróticas y algunas pústulas, afectando hasta el 15% del área foliar, por ello son catalogadas como moderadamente resistente. El grupo IV integrado por seis clones Mex 95-104, Mex 95-70, B 86 88, SP 74-5203, CXZ 75-644, CP 89-2143, las que mostraron manchas cloróticas, necróticas y pústulas, afectando hasta el 30% del área foliar y fueron catalogadas como susceptibles. El grupo V compuesto por la variedad B 4362 que se distingue del resto por presentar una afectación foliar mayor al 30%. (Anexo 9).

El análisis de varianza indicó diferencias significativas en el comportamiento de los clones/variedades en base a su reacción y porcentaje de severidad para los ciclos plantilla $F_{(65,128, \alpha = 0.05)} 39.72$ (Anexo 2); $F_{(65,128, \alpha = 0.05)} 75.11$ (Anexo 6) y soca $F_{(65,128, \alpha = 0.05)} 290.29$ (Anexo 4), $F_{(65,128, \alpha = 0.05)} 181.71$ (Anexo 8), dichas diferencias fueron corroboradas mediante la prueba de Tukey ($P < 0.05$). Lo anterior indicó, que aunque la susceptibilidad en las variedades citadas fue más o menos del mismo nivel.

En el caso de la roya de la caña de azúcar se ha determinado que los estomas juegan un papel determinante en la ocurrencia de la enfermedad (Sotomayor *et al.*, 1983). Para que un hongo como *Puccinia melanocephala* logre tener éxito durante la colonización de la caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido) debe transitar diferentes etapas de su ciclo de vida que inician con la germinación de la uredospora sobre la superficie de la hoja, elongación del tubo germinativo, diferenciación del apresorio, penetración estomática y posteriormente el acceso al interior celular. Cada una de estas etapas puede ser alterada

por barreras físicas o químicas de la planta que obstaculicen el desarrollo de la enfermedad (Oloriz *et al.*, 2008).

En la inspección en campo se observaron en algunos clones/variedades, manchas cloróticas, esto fue debido a la respuesta de hipersensibilidad (HR) la cual ocurre por activación de herramientas químicas. Las células infectadas producen altas concentraciones de potentes agentes oxidantes: especies reactivas de oxígeno y el fenol ácido salicílico (SA). Además, estas células producen altas concentraciones de otras hormonas como etileno, óxido nitroso (NO), ácido jasmónico (JA) y sus derivados, y otros antibióticos o fitoalexinas (Wu *et al.*, 1988). En dicha reacción se utilizan también herramientas estructurales de la pared celular, para impedir la proliferación y la diseminación del patógeno hacia el resto de la planta. El reforzamiento de la pared celular ocurre fundamentalmente por lignificación (aumento de la producción de fenoles precursores de lignina y de H₂O₂ en la pared, lo que permite su polimerización) y aumento en la producción y entrecruzamiento de glicoproteínas estructurales de la pared. La reacción de hipersensibilidad es entonces un mecanismo muy eficaz para circunscribir al patógeno en el tejido infectado (García y Pérez, 2003).

Estos compuestos provocan la activación de un gran número de genes de defensa. Un grupo de estos genes codifica para enzimas de las rutas de síntesis de fitoalexinas, provocando un aumento sostenido en la producción de estos compuestos antibióticos y de fenoles precursores de la lignina. Un segundo grupo de genes de defensa codifica para proteínas estructurales de la pared, contribuyendo a su reforzamiento. Un tercer grupo codifica para enzimas encargadas de detoxificar y proteger al tejido vegetal del daño oxidativo. Un cuarto grupo de genes codifica para enzimas que degradan la pared de hongos y bacterias (-1,3-glucanasas y quitinasas) (Infante *et al.*, 2009)

Por su parte Flores y Osada (1979), plantearon que las mayores infecciones aparecen en campos de menos de 100 días, y que las plantaciones mayores de 8 meses sufren menor daño. En nuestras condiciones los focos de roya café en la variedad B 4362

ocurrieron con severidad desde las primeras etapas del desarrollo de las plantas, por lo que la incidencia de la enfermedad alcanza valores elevados hasta cerca de los 5 a 7 meses, cuando termina la liberación de esporas y no hay hojas nuevas que infectar (Sandoval *et al.*, 1983).

No obstante, la resistencia presentada en la mayoría de los cultivares puede atribuirse a lo señalado por Nass *et al.* (2006) quienes indicaron que para mayor control de esta enfermedad y los cambios en la susceptibilidad exhibidos por las plantas ante diferentes especies de roya en condiciones de campo no está claramente definidos, algunos autores los atribuyen a la existencia de variantes fisiológicas (razas) del patógeno, debido a la complejidad genética que esta posee (Brown *et al.*, 2001; Eversmeyer y Kramer., 2000; Ramallo y Ramallo, 2002), mientras que otros (Sandoval, 2001) analizan el fenómeno partiendo del origen polifilético de la caña.

4.2.2 Respuesta al carbón de la caña de azúcar

4.2.2.1. Respuesta de los clones en ciclo plantilla (Agosto 2010) y soca (Agosto 2011) en base a la incidencia

En el Cuadro 12 se presentan los resultados de las pruebas de evaluación clonal/varietal al carbón en condiciones de infección natural, durante agosto del 2010 en el ciclo plantilla (preliminares) y agosto del 2011 soca (definitivas) del cultivo, para un grupo de 66 clones/variedades de caña de azúcar.

En base a la incidencia en ciclo plantilla los clones/variedades evaluadas se clasificaron en dos grupos. El grupo I conformado por 60 clones resistentes (con ausencia de soros). El grupo II integrado por seis clones susceptibles, las cuales presentaron soros: Mex 94-4, Mex 95-39, Mex 95-3, Mex 95-52, NCo 310 y B 4362 (Anexo 11).

En ciclo soca se clasificaron dos grupos de clones/variedades en base a la incidencia. El grupo I conformado por 50 clones/variedades con ausencia de soros ó latigos. El grupo II integrado por 16 clones/variedades con presencia de soros: Mex 94-4, Mex 95-39, Mex

95-3, Mex 95-52, EMEX 0021, CP 80 1743, SP 74-5203, LT MEX 96-10, ICP Mex 92-1420, CP 70 -1527, ICP Mex 93-43, B 69-404, CP 88-1508, Mex 92-27, B 4362, NCo 310 (Anexo 13).

Cuadro 12. Respuesta de 66 clones/variedades de caña de azúcar en ciclo plantilla (Agosto 2010) y soca (Agosto 2011) en base a la presencia del número de soros o látigos por *U. scitaminea*.

*Clon	Plantilla	Soca	Reacción	Clon	Plantilla	Soca	Reacción	Clon	Plantilla	Soca	Reacción
CP 94-1674	0	0	*R	SP 80-1816	0	0	*R	LTMEX 93-354	0	0	*R
SP 83-5073	0	0	*R	B 86-88	0	0	*R	SP 79-2233	0	0	*R
COLMEX 95-27	0	0	*R	EMEX 0062	0	0	*R	MEX 91-344	0	0	*R
COLMEX 94-8	0	0	*R	CXZ 75-644	0	0	*R	NA 63-103	0	0	*R
MEX 95-27	0	0	*R	EMEX 0021	0	34	R,S	RB 85-5536	0	0	*R
MEX 94-4	12	37	*S	CP 80-1743	0	29	R,S	CP 80-1827	0	0	*R
MEX 94-192	0	0	*R	L 79-321	0	0	*R	MODMEX 95-401	0	0	*R
TCP 89-3493	0	0	*R	ITV 92-1424	0	0	*R	ICP MEX 92-1420	0	25	R,S
YZ 84-7	0	0	*R	CP 90-1424	0	0	*R	MOTZ-MEX 91-207	0	0	*R
MEX 95-104	0	0	*R	ITV 92-373	0	0	*R	MEX 92-101	0	0	*R
MEX 95-39	13	40	*S	MEX 91-566	0	0	*R	CP 70-1527	0	17	R,S
COLMEX 00-10	0	0	*R	SP 72-4928	0	0	*R	ICPMEX 93-1455	0	16	R,S
COLMEX 00-76	0	0	*R	CP 87-1233	0	0	*R	MEX 91-195	0	0	*R
MEX 95-70	0	0	*R	MZC 74-275	0	0	*R	LTMEX 96-9	0	0	*R
B 76-56	0	0	*R	SP 71-6180	0	0	*R	CL 61-620	0	0	*R
SP 80-1815	0	0	*R	LGM 92-65	0	0	*R	CAZE MEX 93-43	0	0	*R
MEX 96-19	0	0	*R	SP 74-5203	0	38	R,S	B 69-404	0	33	R,S
MEX 95-60	0	0	*R	LT MEX 94-2	0	0	*R	CP 88-1508	0	16	R,S
B 78-266	0	0	*R	CP 89-2143	0	0	*R	MEX 92-27	0	15	R,S
MEX 95-3	17	43	*S	MOTZMEX 71-789	0	0	*R	NCo 310	60	88	*S t+
MEX 95-52	18	30	*S	LTMEX 96-10	0	25	R,S	Mex 69 290	0	0	*R t-
B 86-492	0	0	*R	MEX SFC 95-46	0	0	*R	B 4362	25	23	*S t+

*R= resistente en ambos ciclos, R = Resistente un ciclo *S = susceptible dos ciclos, S = Susceptible un ciclo (t+) = testigo susceptible y (t-) = testigo resistente

El aumento en el número de clones/variedades en ciclo soca con presencia de soros fue señalado por González (1998) y Briceño *et al.* (2005), lo cual se atribuye a que la infección de tallos de caña de azúcar por el hongo *U. scitaminea* ocurre únicamente a

través de las yemas y en brotes jóvenes, siendo mayor a medida que se inician los cortes del cultivo y aumentan las fuentes de inóculo o tallos infectados.

4.2.2.2. Respuesta de los clones en ciclo plantilla (Agosto 2010) y soca (Agosto 2011) en base al porcentaje de incidencia de *U. scitaminea*.

El porcentaje de incidencia (Cuadro 13), dado por el número de tallos enfermos y el número de tallos totales, permitió detectar diferencias entre los clones y entre los ciclos de cultivo en los cuales se evaluó la enfermedad.

Cuadro 13. Respuesta de 66 clones/variedades de caña de azúcar al carbón en ciclo plantilla (agosto 2010) y soca (agosto 2011) en base al porcentaje de incidencia.

Clon	Plantilla	Soca	Reacción	Clon	Plantilla	Soca	Reacción	Clon	Plantilla	Soca	Reacción
CP 94-1674	0	0	*R	SP 80-1816	0	0	*R	LTMEX 93-354	0	0	*R
SP 83-5073	0	0	*R	B 86-88	0	0	*R	SP 79-2233	0	0	*R
COLMEX 95-27	0	0	*R	EMEX 0062	0	0	*R	MEX 91-344	0	0	*R
COLMEX 94-8	0	0	*R	CXZ 75-644	0	0	*R	NA 63-103	0	0	*R
MEX 95-27	0	0	*R	EMEX 0021	0	18	R,S	RB 85-5536	0	0	*R
MEX 94-4	9	17	MR,S	CP 80-1743	0	18	R,S	CP 80-1827	0	0	*R
MEX 94-192	0	0	*R	L 79-321	0	0	*R	MODMEX 95-401	0	0	*R
TCP 89-3493	0	0	*R	ITV 92-1424	0	0	*R	ICP MEX 92-1420	0	20	R,S
YZ 84-7	0	0	*R	CP 90-1424	0	0	*R	MOTZ-MEX 91-207	0	0	*R
MEX 95-104	0	0	*R	ITV 92-373	0	0	*R	MEX 92-101	0	0	*R
MEX 95-39	8	25	MR,S	MEX 91-566	0	0	*R	CP 70-1527	0	21	R,S
COLMEX 00-10	0	0	*R	SP 72-4928	0	0	*R	ICPMEX 93-1455	0	19	R,S
COLMEX 00-76	0	0	*R	CP 87-1233	0	0	*R	MEX 91-195	0	0	*R
MEX 95-70	0	0	*R	MZC 74-275	0	0	*R	LTMEX 96-9	0	0	*R
B 76-56	0	0	*R	SP 71-6180	0	0	*R	CL 61-620	0	0	*R
SP 80-1815	0	0	*R	LGM 92-65	0	0	*R	CAZE MEX 93-43	0	0	*R
MEX 96-19	0	0	*R	SP 74-5203	0	22	R,S	B 69-404	0	21	R,S
MEX 95-60	0	0	*R	LT MEX 94-2	0	0	*R	CP 88-1508	0	23	R,S
B 78-266	0	0	*R	CP 89-2143	0	0	*R	MEX 92-27	0	21	R,S
MEX 95-3	11	25	MR,S	MOTZMEX 71-789	0	0	*R	Nco 310	32	33	*AS t+
MEX 95-52	11	20	MR,S	LTMEX 96-10	0	20	R,S	Mex 69 290	0	0	*R t-
B 86-492	0	0	*R	MEX SFC 95-46	0	0	*R	B 4362	20	28	*S t+

*R= resistente en ambos ciclos, R = resistente en un ciclo, MR = moderadamente resistente en un ciclo, *S = Susceptible en ambos ciclos, S = susceptible en un ciclo, *AS= altamente susceptible en ambos ciclos, t+= testigo susceptible, t- testigo resistente.

Como resultado del conteo de tallos sanos y tallos con presencia de soros en plantilla los clones/variedades se clasificaron en cuatro grupos. El grupo I conformado por 60 clones/variedades resistente (con ausencia de soros). El grupo II integrado por cuatro clones/variedades; Mex 94-4, Mex 95-39, Mex 95-3 y Mex 95-52, con un porcentaje de severidad del 5 al 15%, las cuales fueron catalogadas como moderadamente resistentes. El grupo III compuesto por la variedad B 4362 que presento un porcentaje de severidad no mayor al 30% y fue catalogada como susceptible. El grupo IV compuesto por la variedad NCo 310 que presento un porcentaje de severidad mayor al 30% y fue catalogada como altamente susceptible (Anexo 15).

Como resultado del conteo de tallos sanos y tallos con presencia de soros en ciclo soca se clasificaron tres grupos de clones/variedades en base a su porcentaje de severidad. El grupo I conformado por 50 clones/variedades resistentes (con ausencia de soros ó látigos) con desarrollo normal. El grupo II integrado por 15 clones/variedades cuyo porcentaje de incidencia fue mayor al 15 % y menor o igual 30%, estas fueron catalogadas como susceptibles Mex 94-4, Mex 95-39, Mex 95-3, Mex 95-52, EMEX 0021, CP 80-1743, SP 74-5203, LT MEX 96-10, ICP Mex 92-1420, CP 70-1527, ICP Mex 93-43, B 69-404, CP 88-1508, Mex 92-27, B 4362 y el grupo III conformado por la variedad NCo 310 la cual presento una severidad mayor al 30 % y fue catalogada como altamente susceptible (Anexo 17). Presentando cepas con desarrollo sacatozo, así como, múltiples tallos delgados.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por otros autores, en evaluación realizadas bajo condiciones de infección natural (Comstock *et al.*, 1983;). En general, el porcentaje de incidencia reflejan promedios de infección menores en plantilla que en soca. Chao *et al.* (1990), obtuvieron resultados diferentes entre plantilla y soca para clones/variedades de caña, habiendo determinado que la reacción al carbón en experimentos de pruebas con ó sin inoculación, puede ser moderadamente diferente entre ciclos, entre experimentos y durante el mismo periodo de cultivo en diferentes años.

Briceño *et al.*, 2005, observaron un aumento en el número de variedades con presencia de soros debido a que la infección ocurre únicamente a través de las yemas y en brotes

jóvenes, siendo mayor a medida que se inician los cortes del cultivo y aumentan las fuentes de inóculo o tallos infectados.

Como resultado del diagnóstico visual observado en campo por la presencia de alteraciones estructurales en el tallo se observaron en el laboratorio los látigos y sus masas de teliosporas en los clones de caña de azúcar evaluados (Figura 14), los cuales presentaron un proceso de infección de *U. scitaminea*. Estos resultados coinciden con los reportados por Acevedo y De Lima (2002) los que afirman que en las variedades susceptibles observaron alteraciones estructurales en meristemas, antes de la presencia del látigo.

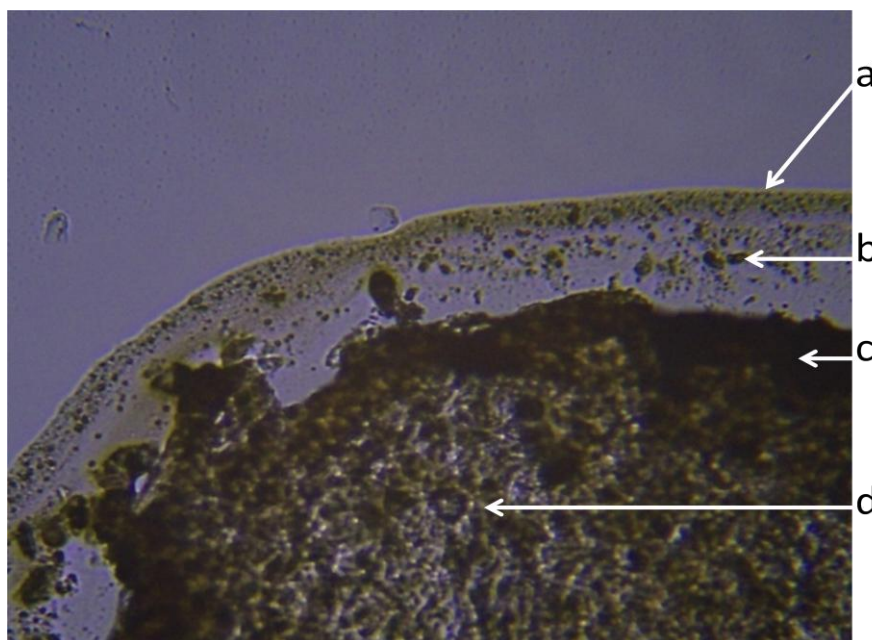


Figura 14.- Corte transversal de un látigo de caña de azúcar mostrando teliosporas de *U. scitaminea* en uno de los clones susceptibles evaluados. a) Membrana, b) Teliosporas dispersas, c) Densa mas de teliosporas, d) Tejido parenquimatoso del centro del látigo.

El análisis de varianza indicó diferencias significativas entre el comportamiento de las variedades en base a su porcentaje de incidencia (con ausencia de soros o látigos para los ciclos plantilla $F_{(65,128, \alpha = 0.05)} 108.67$ (Anexo 10), $F_{(65,128, \alpha = 0.05)} 241.20$ (Anexo 14) y

soca $F_{(65,128, \alpha = 0.05)}$ 85.06 (Anexo 12), $F_{(65,128, \alpha = 0.05)}$ 141.68 (Anexo 16), dichas diferencias fueron corroboradas mediante la prueba de medias de Tukey ($P > 0.05$).

Como resultado de las evaluaciones a las enfermedades de roya café y carbón en 63 clones de caña de azúcar, el clon SP 74-5203 resulto ser muy susceptible a ambas enfermedades. En base a los resultados obtenidos en la presente investigación se discutirán con los responsables del programa de mejoramiento genético en México de la caña de azúcar, que proporcionaron los clones estudiados.

4.2.2.3. Identificación de la roya café y el carbón

Descripción de la Roya café evaluada

En los clones evaluados la roya se identificó como *Puccinia melanocephala* Syd. & P. Syd. En material de hojas prensadas de la variedad B 4362, los síntomas no se delimitaron por las nervaduras y fueron: pústulas lineales en el envés de hojas (raras en el haz), de 1-4(-5) mm de largo y en lesiones necróticas de 2-5(-5.5) mm de largo x 0.5-1.0 mm de ancho. Generalmente una pústula por lesión, y de dos a tres lesiones se observaron podían coalescer. En envés fueron síntomas café rojizo a oscuro, y en el haz café a café rojizo, y otras de misma coloración aunque muy pálida.

Uredosporas fueron de una célula (amerosporas), principalmente obovoid, algunas elipsoidal y oval, de hialinas a tenue amarillo pálido (inmaduras) y café-canela a café (maduras), equinuladas, algunas con cuatro poros germinativos, 30-37.5(-40.25) x 17.5-27.5(-32.5) μm , y grosor de pared de 2.5 μm , esporádicas con pedicelo.

Parafisos hialinos y café-canela a café, fácil de observar, principalmente spathulate (forma de cuchara), (40.0-57.5-)62.5-97.5 μm de largo, ancho de la cabeza (capitate) 12.5-22.5 μm , y pared apical gruesa, 5.0-7.5(-8.75) μm . Los datos descritos concordaron con lo reportado por Virtudazo *et al.* (2001) y Sydow *et al.* (1906); para la roya café, según características comparativas dadas en Cuadro 1 de revisión de literatura.



Figura 15. Estructuras morfológicas de *P. melanocephala* caracterizadas en el material prensado de la variedad B 4362 del estudio realizado en Cárdenas, Tabasco. A. Uredospora, B. Acercamiento de la uredospora, C. Parafisis, D. Acercamiento de parafisis. A, C, D: Microscopio compuesto a 40X; B: a 100X.

Descripción del carbón evaluado

En los clones evaluados el carbón se identificó como *Ustilago scitaminea* Syd. En material de plantas prensadas de la variedad NCo 310, los síntomas fueron los soros o látigos. Inicialmente se formaron internamente masa de teliosporas a lo largo del tallo rodeando la medula y emergieron apicalmente del tallo. Posteriormente el soro ó látigo cubierto por una membrana grisácea. Al madurar el soro la membrana se desprendió ó desintegro y dejó expuesta una densa y polvosa masa negra de teliosporas entre ó alrededor del tejido fibroso. Las teliosporas fueron unicelulares (amerosporas), globosas, equinuladas, ligeramente amarillenta-rojiza a café, y de (5.5-)6-7(-8.0) μm de diámetro. Los datos descritos concordaron con lo reportado en MycoBank (Robert *et al.*, 2005).

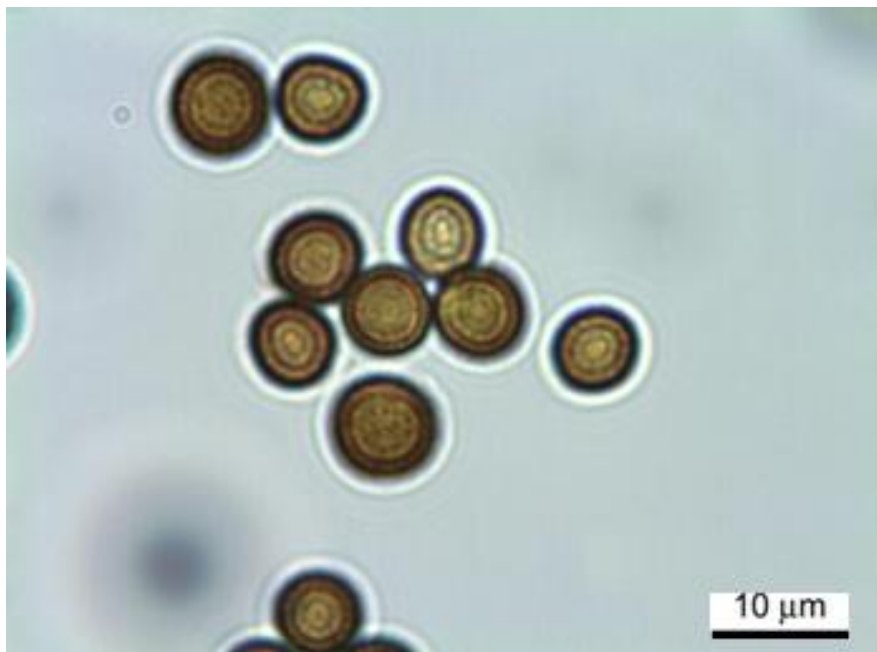


Figura 16.- Teliosporas globosas de *U. scitaminea*. Microscopio compuesto a 100X

El material analizado se depositó en el Herbario CMPH (Herbario de Micología de Enfermedades de las Plantas del Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo) con registro internacional.

V. CONCLUSIONES

Por los resultados obtenidos se concluye que:

1. En base al porcentaje de severidad se clasificaron 56 clones de caña de azúcar como resistentes a roya café.
2. En base al porcentaje de incidencia se clasificaron 50 clones de caña de azúcar como resistentes al carbón. .
3. La nueva aportación de este estudio fue que: de los 63 clones de caña de azúcar evaluados, se detectaron 43 clones como resistentes a las enfermedades de la roya café y carbón, bajo condiciones de infección natural en Cárdenas, Tabasco.
4. El clon SP 74-5203 resultó susceptible a ambas enfermedades.

VI. RECOMENDACIONES

1. Continuar evaluando los clones por tres años.
2. Determinar con el programa de fases avanzadas de selección en México de mejoramiento genético de caña de azúcar sobre los antecedentes conocidos a estos clones y la forma en que fueron seleccionados, esto para futuras investigaciones.
3. Evaluar los 43 clones resistentes a roya y carbón, a otras enfermedades como la escaldadura foliar (*Xanthomonas albilineans*) y la roya naranja (*Puccinia kuehni*).

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.
- Buriticá P. 2001. Descubriendo ancestros de los uredinales. *Rev. Acad. Colom. Cien.* 25:395-401.
- Buriticá P. 2003. Centros naturales de diversificación en el orden *Uredinales* (Fungi, royas). *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*.56:1999-2019.

- Barbieri V; 1993. Condicionamiento climático da produtividade de potencial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*); um modelo matemático-fisiológico de estimativa. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura —Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 142 p.
- Benvenuti FA. 2005. Relação de índices espectrais de vegetação com a produtividade da cana-de-açúcar e atributos edáficos Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola 120 p.
- Barrante J; y Chavarría E. 2008. Acciones estratégicas realizadas y en proceso como respuesta para enfrentar el ataque de roya en la zona sur», informe presentado por la Liga Agrícola Industrial de Caña de Azúcar (Laica), Costa Rica. Pp 105.
- Brown W; Hill J; and Velasco V. 2001. Barley yellow rust in North America. *Ann. Rev. Phytopathol.* 39:367-384
- 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.
- Capote M. 2007. Bases morfofisiológicas de la interacción carbón-caña de azúcar. Tesis presentada en opción al Título Académico de Maestro en Ciencias. Universidad de la Habana. 56 p.
- Cardona GL. 2008. Variabilidad de la roya (*Puccinia melanocephala*) presente en cultivos de caña de azúcar por medio de técnicas de moleculares. Informe final joven investigador Convenio Colciencias – Cenicaña 27 p.
- 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.

- Cordine MT; Lima H; y Surlí J. 1993. La resistencia genética de las plantas cultivadas. Pp. 195. ISBN 959-05-0054-4.
- Chandra P; Singh IS; and Singh SB. 2005. Biochemical changes during flowering of sugarcane. *Sugartech* 7(4): Pp 160-162.
- Chavarría SE. 2006. Escalas descriptivas para la evaluación de enfermedades de la caña de azúcar, LIGA AGRÍCOLA INDUSTRIAL DE LA CAÑA DE AZÚCAR, San José, Costa Rica. Pp 3-15.
- Chao CP; Hoy JW; Saxton AM; and Martin FA. 1990. Heritability of resistance and repeatability of clone reactions to sugarcane smut in Louisiana. *Phytopathology* 80:622-626.
- 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.
- China A. y Rodríguez E. 2010. Enfermedades de la caña de azúcar. 2 ed. Habana Cuba, Edición Publica. p. 152.
- Cummins G. and Hiratsuka Y. 2003. Illustrated genera of rust fungi. American Phytopathological Society, St. Paul; Pp 58-64.
- De Souza RG. 2008. Validation of the dear dorff model for estimating energy balance components for a sugarcane crop. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, 658(4):325-334.
- Díaz M; Hernández S; y Fric F. 1996. Actividad Enzimática de Quitinasas Proteasas en la interacción Roya- Caña de Azúcar. *Rev Protección Veg.* ;11(1):26.
- Dillewijn CV. 1978. Botánica de la caña de azúcar. Edit. Rev. I.C.L. La Habana. 460 p
- 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.
- Eversmeyer MG; and Kramer CL. 2000. Epidemiology of wheat leaf and stem rust in the Central Great Plains of the USA. *Rev. Phytopathol.* 38:491-513.
- 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; y Osada. S. 1979. La Roya de la Caña de Azúcar. (*Puccinia* sp), en México. IMPA. Córdoba. Veracruz, México.
- 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.numero 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.
- GEPLACEA (Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar). 1979. La enfermedad del carbón. Primera reunión de fitopatólogos, fitomejoradores y responsables de Sanidad Vegetal, sobre prevención y control del carbón y la roya de la caña de azúcar. Panamá. Pp 5-11.
- González R. 1998. Bases para el control del carbón de la caña de azúcar (*Ustilago scitaminea* Sydow). Tesis defendida en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas, Instituto Superior de Ciencias Agrícolas de La Habana. Pp. 34-54.
- Hahn M. 2000. The rust fungal. Kronstand, J. Fungal pathology. Kluwer. Academic Publisher in the Netherlands.
- Huerta ER; Becerra EN; y Márquez M. 1979 Deteccion y descripción de la roya (*Puccinia Erianthii*) en la caña de azúcar (*Saccharum officinatum*) en el Estado de Tabasco. Col. Sup. Agric. Trop., SARH, Cárdenas, Tabasco.

- Hughes, CG.; Abbott EV.; y Wisner CA. 1964. Sugarcane diseases of the world. v. 2. Elsevier Publishing Co., Nueva York. 354 p.
- Hsieh WH, Lee ChS, Chan SI. 1977. Rust Disease of sugarcane in Taiwan: the causal organism *Puccinia melanocephala* Sydow. Taiwan Sugar.; 24(5):416-420.
- Hunsigi G. 2001. Sugarcane in agriculture and industry. Eastern Press Pvt. Ltd., Bangalore, India. Pp.4-91
- Humbert RP. 1974. El cultivo de la caña de azúcar. Edit. CECSA. México D.F. Pp. 7-19.
- IMPA. Instituto para el Mejoramiento de la Producción de Azúcar. 1980. Programa de variedades. Metodología Experimental, México. Pp.1-59
- Infante D; Martínez B; González N; y Reyes Y. 2009. Mecanismos De Acción De *Trichoderma* frente a Hongos Fitopatógenos *Trichoderma*. Rev. Protección Veg. V.24 N.1 La Habana Ene.-Abr. Versión Impresa ISSN 1010-2752.
- Inman B; and Smith D. 2005. Water relations in sugarcane and response to waters déficits. Fields Crops Research, 92, Pp. 185-202.
- Ileana SR. 2001. La roya de la caña de azúcar en Cuba. Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal (INISAV). La Habana. Centro de Información y Documentación de la Sanidad Vegetal (CIDISAV).
- James G. 2004. Sugarcane. Second edition Blackwell Science Ltd, Oxford UK, 216 p.
- Johnson RM; Grisham MP. and Richard EP. Jr. 2007. Relationship between sugarcane rust severity and soil properties in Louisiana. Phytopathology 97:748-755.
- Juárez. LJ; y Valdez BA. 2000. Resistencia varietal a la enfermedad de la roya de la caña de azúcar (*Puccinia melanocephala*). Programa nacional de variedades del FOCYTCAÑA. 84 p.
- 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.
- Leonard KJ; and Szabo LJ. 2005. Stem rust of small grains and grasses caused by *Puccinia graminis*. Molecular Plant Pathology 6 (2): 99-111.
- Liu LJ. 1980. Observaciones y consideraciones sobre la incidencia varietal de la roya de la caña de azúcar y la posible presencia de razas fisiológicas. Santo Domingo, República Dominicana. El cañero 9: 6-9.
- López A. 2008. La importancia de las royas (Fungi: Uredinales) en la agricultura y silvicultura en México. (Consultado 09/09/11). Disponible en: <http://www.uv.mx/institutos/forest/foresta/num1/roya.htm>
- 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 Dekker. Inc. Pp. 643-669.
- Nass H; Ramírez E; Gil F; Ramón M; Arias M; y Cova J. 2006. Epidemiología y control de la Roya de la caña de azúcar (*Puccinia melanocephala*) en Venezuela (2002-2004). Hoja de Caña. Fundación Azucarera para el Desarrollo, la Productividad y la Investigación. Chivacoa. Venezuela. Marzo N° 2. Pp.7-9.
- Nzioki HS; Jomoza 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.
- Oloriz MI; Rojas L; Gil V; Portal O; Jiménez E. 2008. Histopatología de la interacción compatible e incompatible entre *Puccinia melanocephala* y caña de azúcar var. B4362. *Biotecnología Vegetal Vol. 8, No. 1: 123 - 125*, ISSN 2074-8647.
- Osada KS.; Reyes E. 1981. Estudio preliminar de la influencia de algunos factores en la incidencia de la roya. IMPA México, Pp. 48-53.

- 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.
- Raff M.1998. Cell suicide for beginners. *Nature* 396:119-122.
- Ramallo CJ; y de Ramallo NE. V. 2002. Situación actual de la roya de la caña de azúcar en Tucumán. *Avance Agroindustrial* 23:12-16.
- 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.
- Sandoval, I. 2001. La roya de la caña de azúcar en Cuba. Instituto de investigaciones de Sanidad Vegetal. La Habana. 107 p.
- SIAP 2009. Sistema de Información Agropecuaria. Padrón de productores de caña de azúcar (Zafra 2009-2010). Secretaria de agricultura pesca y alimentación SAGARPA.
- SIAP 2011. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, con información de las Delegaciones de la Sagarpa, avance de siembras y cosechas, resumen nacional por estado (Perennes) 2011; Riego+Temporal.
- Sydow H; Sydow P; and Butler EJ. 1906. Fungi Indiae *orientalis* I1. Ann. Mycol. 4: 485-501.
- Sivanesen A; and Waller JM.. 1986 Sugarcane diseases Phytopathological, Commonwealth Mycological Institute. Gran Bretaña. Paper N° 29.
- 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, Guatem a la 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*. Phytophatology 73: 695- 699
- 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=AGRI CULTURE consultado el: 22/Julio/2010
- 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.

- Victoria JI; Ochoa O; y Cassalett, C. 1984. Enfermedades de la caña de azúcar en Colombia. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA). Serie técnica no. 2. 27 p.
- Victoria JI; Moreno C; and Casslett C. 1990. Genotype environment interaction and its effect on sugarcane rust incidence. *Sugarcane*. 4:13- 17.
- Victoria, JI; Guzmán ML; y Ángel F. 1995. Enfermedades de la caña de azúcar en Colombia. En: C. Cassalett, J. Torres y C. Isaac (eds). *El Cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia*. p. 265-293.
- Victoria JI; Guzmán ML; y Ángel JC. 2007. Enfermedades de la caña de azúcar en Colombia. *CENICAÑA*;29(1):265-293.
- Virtudazo EV; Nojima H; y Kakishima M. 2001. Taxonomy of *Puccinia* species causing rust diseases on sugarcane. *Mycoscience* 42: 167-175.
- Walker JC. 1965. *Disease resistance in the vegetable crops*. III *Bot. Review*, 3: 331-380
- Waller DT. 1970. Sugarcane smut (*Ustilago scitaminea*) in Kenya. II. Infection and resistance. *Transactions of the British Mycological society* 54:405-414.
- 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.
- Xin-GZ; Stephen PL; and Donald RO. 2008. What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass? *Current Opinion in Biotechnology*, 19:153–159.
- Yang, SJ. 1997. The water use efficiency of sugar cane crop – a review. ISSCT Irrigation Workshop. Townsville, Australia, Sept. 15 – 19, 22 p

VIII. ANEXOS

Anexo 1.- Comportamiento de los factores climáticos en el área experimental del colegio de postgraduados Campus Tabasco de Febrero-Agosto 2010 y Febrero-Agosto 2011

Año 2010	Temperatura (°C)		Punto de rocío (°C)		Humedad (%)		
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Promedio
Febrero	28	20	21	17	95	61	79
Marzo	30	20	21	17	92	55	73
Abril	34	24	24	22	92	54	72
Mayo	37	25	25	22	90	45	65
Junio	36	25	26	23	91	53	72
Julio	34	25	26	23	94	57	75
Agosto	33	25	26	23	94	59	78
2011							
Febrero	35	23	26	21	94	49	71
Marzo	32	22	23	20	94	54	73
Abril	35	24	25	21	91	48	67
Mayo	36	26	25	23	90	49	67
Junio	35	25	25	23	94	52	74
Julio	34	24	26	23	96	58	78
Agosto	34	26	26	24	93	57	76

Anexo 2.- Resultados del análisis de varianza del grado de reacción en el ciclo plantilla a la roya café

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados Medios	F calculada	F Tablas
Tratamiento	65	39.51	0.60	39.72	<2e-16 ***
Bloque	2	0.01	0.005	0.32	0.7196
Error	128	1.99	0.015		
Total	195	41.51			

*** Altamente significativo

Anexo 3.- Resultados de la prueba de Tukey para el grado de reacción en ciclo plantilla a la roya café.

Variedad			Media general	Agrupación	Reacción
B 4362			5	a	Muy Susceptible
B 86-88			4	b	Susceptible
MEX 95-104			3	c	Moderadamente Resistente
MEX 95-70					
CP 94-1674	SP 80-1816	LTMEX 93-354	2	d	Resistente
SP 83-5073	EMEX 0062	SP 79-2233			
COLMEX 95-27	CXZ 75-644	MEX 91-344			
COLMEX 94-8	EMEX 0021	NA 63-103			
MEX 95-27	CP 80-1743	RB 85-5536			
MEX 94-4	L 79-321	CP 80-1827			
MEX 94-192	ITV 92-1424	MODMEX 95-401			
TCP 89-3493	CP 90-1424	ICP MEX 92-1420			
YZ 84-7	ITV 92-373	MOTZ-MEX 91-207			
MEX 95-39	MEX 91-566	CP 70-1527			
COLMEX 00-10	SP 72-4928	ICPMEX 93-1455			
COLMEX 00-76	CP 87-1233	MEX 91-195			
B 76-56	MZC 74-275	LTMEX 96-9			
SP 80-1815	SP 71-6180	CL 61-620			
MEX 96-19	LGM 92-65	CAZE MEX 93-43			
MEX 95-60	SP 74-5203	B 69-404			
B 78-266	LT MEX 94-2	CP 88-1508			
MEX 95-3	CP 89-2143	MEX 92-27			
MEX 95-52	MEX 92-101	Nco 310			
MOTZMEX 71-789	LTMEX 96-10				
B 86-492	MEX SFC 95-46				
Mex 69 290			1	e	Inmune

Anexo 4.- Resultados de los análisis de varianza para la reacción al patógeno en el ciclo soca para la roya café.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadros	Cuadros Medios	Fcalculada	F de Tablas
Tratamiento	65	100.021	1.56	290.29	<2e-16***
Bloque	2	0.01	0.005	1	0.3708
Error	128	0.65	0.005		
Total	195	100.681			

Anexo 5.- Resultados de la prueba de Tukey para el grado de reacción al patógeno en el ciclo soca a la roya café.

Variedad			Media	Agrupación	Reacción
B 4362 (roya café)			5	a	Muy Susceptible
MEX 95-104			4	b	Susceptible
MEX 95-70					
B 86-88					
SP 74-5203					
CP 89-2143					
LT MEX 94-2			3	c	Moderadamente Resistente
CL 61-620			2	d	Resistente
CP 94-1674	MEX 95-3	LTMEX 96-10			
SP 83-5073	MEX 95-52	MEX SFC 95-46			
COLMEX 95-27	B 86-492	LTMEX 93-354			
COLMEX 94-8	SP 80-1816	SP 79-2233			
MEX 95-27	EMEX 0062	MEX 91-344			
MEX 95-70	CXZ 75-644	NA 63-103			
MEX 94-192	EMEX 0021	RB 85-5536			
TCP 89-3493	CP 80-1743	CP 80-1827			
YZ 84-7	L 79-321	MODMEX 95-401			
MEX 95-39	ITV 92-1424	ICP MEX 92-1420			
COLMEX 00-10	CP 90-1424	MOTZ-MEX 91-207			
COLMEX 00-76	ITV 92-373	MEX 92-101			
B 76-56	MEX 91-566	CP 70-1527			
SP 80-1815	SP 72-4928	ICPMEX 93-1455			
MEX 96-19	CP 87-1233	MEX 91-195			
B 86-88	MZC 74-275	LTMEX 96-9			
B 78-266	SP 71-6180	CAZE MEX 93-43			
MEX 92-27	LGM 92-65	B 69-404			
CP 88-1508	MOTZMEX 71-789	Nco 310			
Mex 69-290			1	e	Inmune

Anexo 6.- Resultados del análisis de varianza acuerdo al porcentaje de severidad para el ciclo plantilla a la roya café.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadros	Cuadros Medios	Fcalculada	F de Tablas
Variedad	65	3979.7	62.18	75.11	<2e-16 ***
Bloque	2	0.04	0.02	0.02	0.9755
Error	128	106	0.84		
Total	195	4085.74			

Anexo 7.- Resultados de la prueba de Tukey para el porcentaje severidad para el ciclo plantilla a la roya café.

Variedad			Media	Agrupación	Reacción
B 4362			31.66	a	Muy Susceptible
MEX 95-104			15	b	Moderadamente Susceptible
MEX 95-60			13		
MEX 94-4			11.66		
CP 94-1674	EMEX 0062	SP 79-2233	1, 2	c	Resistente
SP 83-5073	CXZ 75-644	MEX 91-344			
COLMEX 95-27	EMEX 0021	NA 63-103			
COLMEX 94-8	CP 80-1743	RB 85-5536			
MEX 95-27	L 79-321	CP 80-1827			
MEX 94-4	ITV 92-1424	MODMEX 95-401			
MEX 94-192	CP 90-1424	ICP MEX 92-1420			
TCP 89-3493	ITV 92-373	MOTZ-MEX 91-207			
YZ 84-7	MEX 91-566	MEX 92-101			
MEX 95-39	SP 72-4928	CP 70-1527			
COLMEX 00-10	CP 87-1233	ICPMEX 93-1455			
COLMEX 00-76	MZC 74-275	MEX 91-195			
B 76-56	SP 71-6180	LTMEX 96-9			
SP 80-1815	LGM 92-65	CL 61-620			
MEX 96-19	SP 74-5203	CAZE MEX 93-43			
MEX 95-60	LT MEX 94-2	B 69-404			
B 78-266	CP 89-2143	CP 88-1508			
MEX 95-3	MOTZMEX 71-789	MEX 92-27			
MEX 95-52	LTMEX 96-10	NCo 310			
B 86-492	MEX SFC 95-46				
SP 80-1816	LTMEX 93-354				
Mex 69 290			0	d	Inmune

Anexo 8.- Resultados de los análisis de varianza del porcentaje de severidad para el ciclo soca a la roya café.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadros	Cuadros Medios	F calculada	F Tablas
Tratamiento (Variedad)	65	9755.3	152.42	181.7153	< 2e-16 ***
Bloque	2	5.8	2.9	3.3946	0.03665 *
Error	128	106.9	0.83		
Total	195	9868			

Anexo 9.- Resultados de la prueba de Tukey para el porcentaje de severidad para el ciclo soca de la roya café.

Variedad			Media	Agrupación	Reacción
B 4362			34	a	Muy Susceptible
CXZ 75-644			23	b	Susceptible
CP 89-2143			22		
MEX 95-70			21		
SP 74-5203			21		
B 86-88			21		
MEX 95-104			19		
CL 61-620			13	c	Moderadamente resistente
LT MEX 94-2			9		
CP 94-1674	MEX 95-3	LTMEX 96-10	2	d	Resistente
SP 83-5073	MEX 95-52	MEX SFC 95-46			
COLMEX 95-27	B 86-492	LTMEX 93-354			
COLMEX 94-8	SP 80-1816	SP 79-2233			
MEX 95-27	EMEX 0062	MEX 91-344			
MEX 94-4	EMEX 0021	NA 63-103			
MEX 94-192	CP 80-1743	RB 85-5536			
TCP 89-3493	L 79-321	CP 80-1827			
YZ 84-7	ITV 92-1424	MODMEX 95-401			
MEX 95-39	CP 90-1424	ICP MEX 92-1420			
COLMEX 00-10	ITV 92-373	MOTZ-MEX 91-207			
COLMEX 00-76	MEX 91-566	MEX 92-101			
B 76-56	SP 72-4928	CP 70-1527			
SP 80-1815	CP 87-1233	ICPMEX 93-1455			
MEX 96-19	MZC 74-275	MEX 91-195			
MEX 95-60	SP 71-6180	LTMEX 96-9			
B 78-266	LGM 92-65	CAZE MEX 93-43			
CP 88-1508	MOTZMEX 71-789	B 69-404			
MEX 92-27	NCo 310				
Mex 69 290					

Anexo 10.- Resultados del análisis de varianza del grado de reacción en el ciclo plantilla al carbón.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadros	Cuadros Medios	FCalculada	F de Tablas
Tratamiento (Variedad)	65	13051.1	203.92	108.67	<2e-16 ***
Bloque	2	3.5	1.75	0.9386	0.3939
Error	128	240.2	1.87		
Total	195	13284.8			

Anexo 11.- Resultados de la prueba de Tukey para el grado de reacción (tallos Enfermos) en el ciclo plantilla al carbón.

Variedad			Media	Agrupacion	Reaccion
Nco 310			60	a	Altamente Susceptible
B 4362			24	b	Susceptible
MEX 95-52			18		
MEX 95-3			17		
MEX 95-39			13		
MEX 94-4			12		
CP 94-1674	MODMEX 95-401	SP 72-4928	0		
SP 83-5073	ICP MEX 92-1420	CP 87-1233			
COLMEX 95-27	MOTZ-MEX 91-207	MZC 74-275			
COLMEX 94-8	MEX 92-101	SP 71-6180			
MEX 95-27	CP 70-1527	LGM 92-65			
MEX 94-192	ICPMEX 93-1455	SP 74-5203			
TCP 89-3493	MEX 91-195	LT MEX 94-2			
YZ 84-7	LTMEX 96-9	CP 89-2143			
MEX 95-27	CL 61-620	MOTZMEX 71-789			
COLMEX 00-10	CAZE MEX 93-43	LTMEX 96-10			
COLMEX 00-76	B 69-404	MEX SFC 95-46			
B 76-56	CP 88-1508	LTMEX 93-354			
SP 80-1815	CXZ 75-644	SP 79-2233			
MEX 96-19	EMEX 0021	MEX 91-344			
MEX 95-60	CP 80-1743	NA 63-103			
B 78-266	L 79-321	RB 85-5536			
B 86-492	ITV 92-1424	CP 80-1827			
SP 80-1816	CP 90-1424	MEX 92-27			
EMEX 0062	ITV 92-373	MEX 91-566			
Mex 69 290					

Anexo 12.- Resultados del análisis de varianza del grado de reacción en el ciclo soca al carbón.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadros	Cuadros Medios	Fcalculada	F de Tablas
Tratamiento (Variedad)	65	48206	753.21	85.06	<2e-16 ***
Bloque	2	8	4	0.4722	0.6248
Error	128	1135	8.86		
Total	195	49349			

Anexo 13.- Resultados de la prueba de Tukey para del grado de reacción (tallos enfermos) en el ciclo soca al carbón.

Variedad			Media	Agrupación	Reacción
Nco 310			87.9	a	Altamente Susceptible
B 4362			55	b	
MEX 94-4			42.5		
B 69-404			39.4		
MEX 95-52			38		
CP 80-1743			37.4		
CP 70-1527			32.5		
MEX 95-3			29.6		
MEX 95-39			28.8		
SP 74-5203			24.9		
ICP MEX 92-1420			24.6		
LTMEX 96-10			23.9		
EMEX 0021			17.4		
CP 88-1508			16.3		
MEX 92-27			16.2		
ICPMEX 93-1455			15.4		
CP 94-1674	EMEX 0062	NA 63-103	0		c
SP 83-5073	CXZ 75-644	RB 85-5536			
COLMEX 95-27	L 79-321	CP 80-1827			
COLMEX 94-8	ITV 92-1424	MODMEX 95-401			
MEX 95-27	CP 90-1424	MOTZ-MEX 91-207			
MEX 94-192	ITV 92-373	MEX 92-101			
TCP 89-3493	MEX 91-566	MEX 91-195			
YZ 84-7	SP 72-4928	LTMEX 96-9			
MEX 95-104	CP 87-1233	CL 61-620			
COLMEX 00-10	MZC 74-275	CAZE MEX 93-43			
COLMEX 00-76	SP 71-6180	MEX SFC 95-46			
MEX 95-70	LGM 92-65	LTMEX 93-354			
B 76-56	LT MEX 94-2	SP 79-2233			
SP 80-1815	CP 89-2143	MEX 91-344			
MEX 96-19	MOTZMEX 71-789	SP 80-1816			
MEX 95-60	B 86-88	B 86-492			
B 78-266	Mex 69 290				

Anexo 14.- Resultado del análisis de varianza del porcentaje incidencia de tallos enfermos para el ciclo plantilla al carbón.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadros	Cuadros Medios	F calculada	F de Tablas
Tratamiento (Variedad)	65	4164.9	6507	241.20	<2e-16 ***
Bloque	2	0.1	0.05	0.2471	0.7815
Error	128	34.5	0.27		
Total	195	41995			

Anexo 15.- Resultados de la prueba de Tukey del porcentaje de incidencia de tallos enfermos en el ciclo plantilla al carbón.

Variedad			Media	Agrupación	Reacción
NCo 310			32.	a	Altamente Susceptible
B 4362			25	b	Susceptible
MEX 95-52			11		
MEX 95-3			11		
MEX 95-39			9		
MEX 94-4			9		
CP 94-1674	MODMEX 95-401	SP 72-4928	0	d	Resistente
SP 83-5073	ICP MEX 92-1420	CP 87-1233			
COLMEX 95-27	MOTZ-MEX 91-207	MZC 74-275			
COLMEX 94-8	MEX 92-101	SP 71-6180			
MEX 95-27	CP 70-1527	LGM 92-65			
MEX 94-192	ICPMEX 93-1455	SP 74-5203			
TCP 89-3493	MEX 91-195	LT MEX 94-2			
YZ 84-7	LTMEX 96-9	CP 89-2143			
MEX 95-27	CL 61-620	MOTZMEX 71-789			
COLMEX 00-10	CAZE MEX 93-43	LTMEX 96-10			
COLMEX 00-76	B 69-404	MEX SFC 95-46			
B 76-56	CP 88-1508	LTMEX 93-354			
SP 80-1815	CXZ 75-644	SP 79-2233			
MEX 96-19	EMEX 0021	MEX 91-344			
MEX 95-60	CP 80-1743	NA 63-103			
B 78-266	L 79-321	RB 85-5536			
B 86-492	ITV 92-1424	CP 80-1827			
SP 80-1816	CP 90-1424	MEX 92-27			
EMEX 0062	ITV 92-373	MEX 91-566			
Mex 69 290					

Anexo 16.- Resultado del análisis de varianza del porcentaje de incidencia de tallos enfermos el ciclo soca al carbón.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadros	Cuadros Medios	Fcalculada	F de Tablas
Tratamiento (Variedad)	65	16773.9	262.09	141.68	<2e-16 ***
Bloque	2	6.2	3.1	1.68	0.1902
Error	128	235.8	1.84		
Total	195	1501594			

Anexo 17.- Resultados de la prueba de Tukey del porcentaje de incidencia de tallos enfermos en el ciclo plantilla al carbón.

Variedad			Media	Agrupación	Reacción
Nco 310			33	a	Altamente Susceptible
B 4362			25	b	Susceptible
MEX 94-4			25		
B 69-404			25		
MEX 95-52			23		
CP 80-1743			22		
CP 70-1527			21		
MEX 95-3			21		
MEX 95-39			21		
SP 74-5203			20		
ICP MEX 92-1420			20		
LTMEX 96-10			20		
EMEX 0021			19		
CP 88-1508			18		
MEX 92-27			18		
ICPMEX 93-1455			17		
CP 94-1674	EMEX 0062	NA 63-103	0	c	Resistente
SP 83-5073	CXZ 75-644	RB 85-5536			
COLMEX 95-27	L 79-321	CP 80-1827			
COLMEX 94-8	ITV 92-1424	MODMEX 95-401			
MEX 95-27	CP 90-1424	MOTZ-MEX 91-207			
MEX 94-192	ITV 92-373	MEX 92-101			
TCP 89-3493	MEX 91-566	MEX 91-195			
YZ 84-7	SP 72-4928	LTMEX 96-9			
MEX 95-104	CP 87-1233	CL 61-620			
COLMEX 00-10	MZC 74-275	CAZE MEX 93-43			
COLMEX 00-76	SP 71-6180	MEX SFC 95-46			
MEX 95-70	LGM 92-65	LTMEX 93-354			
B 76-56	LT MEX 94-2	SP 79-2233			
SP 80-1815	CP 89-2143	MEX 91-344			
MEX 96-19	MOTZMEX 71-789	SP 80-1816			
MEX 95-60	B 86-88	B 86-492			
B 78-266	Mex 69 290				

Anexo 18.- Ficha del carbón (*Ustilago scitaminea*) del Herbario CMPH

HERBARIO CMPH - ORGANISMOS FUNGOSOS

COLEGIO DE POSTGRADUADOS-CAMPUS MONTECILLO

Fecha colecta 15-Marzo-2012 Muestra No. 1

Patógeno *Ustilago scitaminea* Sydow

Asociado _____

Saprofítico _____ Sustrato _____

Planta Caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.)

(nombre común y científico)

Parte de la planta Tallo

(hojas, tallo, fruto, semilla, raíz, etc.)

Lugar de colecta Cárdenas, Tabasco

(colonia, barrio, ejido, pueblo, ciudad, Mpio., Edo., etc.)

Km 21, Carretera Cardenas-Coatzacoalcos, (Área experimental del Colégio de Postgraduados Campus Tabasco)

Georeferenciación: Longitud 93°35'25.67'', Latitud 17°59'8.32

Colector Ing. Jose Luis Hernandez Soriano

Identificó Ing. Jose Luis Hernandez Soriano

Indicar: Variedad NCo 310

(cultivo, variedad, ornamental, silvestre, huerto, traspatio,

jardín público, jardín privado, planta aislada, etc.)

REFERENCIA USADA Flores C. S. 1997. Las enfermedades de la caña de azúcar en México.

Anexo 19.- Ficha de la roya café (*Puccinia melanocephala*) del Herbario CMPH

HERBARIO CMPH - ORGANISMOS FUNGOSOS

COLEGIO DE POSTGRADUADOS-CAMPUS MONTECILLO

Fecha colecta 15-Marzo-2012 Muestra No. 1

Patógeno *Puccinia melanocephala* Syd. & P. Syd.

Asociado _____

Saprofítico _____ Sustrato _____

Planta Caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.)

(nombre común y científico)

Parte de la planta _____ Hoja _____

(hojas, tallo, fruto, semilla, raíz, etc.)

Lugar de colecta Cárdenas, Tabasco

(colonia, barrio, ejido, pueblo, ciudad, Mpio., Edo., etc.)

Km 21, Carr. Cardenas-Coatzacoalcos, (Área experimental del Colégio de Postgraduados Campus Tabasco).

Georeferenciación: Longitud 93°35'25.67'', Latitud 17°59'8.32

Colector Ing. Jose Luis Hernandez Soriano

Identificó Ing. Jose Luis Hernandez Soriano

Indicar: Variedad B 4362

(cultivo, variedad, ornamental, silvestre, huerto, traspatio,

jardín público, jardín privado, planta aislada, etc.)

REFERENCIA USADA Flores C. S. 1997. Las enfermedades de la caña de azúcar en México.