

**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE MATANZAS
“CAMILO CIENFUEGOS”
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**Tesis presentada en opción al título académico de Máster en
Ciencias Agrícolas**

**Desarrollo de la roya naranja *Puccinia kuehnii*
(Krüger) Butler de la caña de azúcar: realidades y
perspectivas en la provincia Matanzas**

Autora: Ing. Yaraimé Moliner Pascual

Tutor: Dr. C. José R. Pérez Milián

Matanzas, 2013

PENSAMIENTO



PENSAMIENTO

“... en la ciencia no existe un amplio camino trillado y sólo podría alcanzar sus cimas resplandecientes; aquel que sin espantarse ante el cansancio la escale por caminos empedrados”.

Carlos Marx.

NOTA DE ACEPTACIÓN

_____ Presidente del Tribunal	_____ Firma
_____ Miembro del Tribunal	_____ Firma
_____ Miembro del Tribunal	_____ Firma
_____ Miembro del Tribunal	_____ Firma
_____ Miembro del Tribunal	_____ Firma

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo, Yaraimé Moliner Pascual declaro que soy la única autora de este trabajo que lleva por título: Desarrollo de la roya naranja ***Puccinia kuehnii*** (Krüger) Butler de la caña de azúcar: realidad y perspectivas en la provincia Matanzas y autorizo a la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, a hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

Yaraimé Moliner Pascual

DEDICATORIA

- ✓ Dedico este trabajo a mi madre, **María Teresa Pascual Pérez** por su apoyo incondicional y sus consejos oportunos en mi transcurso por la vida.

- ✓ También quiero dedicar este trabajo a mi padre, **José Luis Moliner Hitchman**, por su ejemplo, ayuda y ser mi guía y fuente de inspiración en este inmenso mundo del saber.

- ✓ A mi hermana, **Adrianet Moliner Pascual** por su confianza, cariño y apoyo.

- ✓ A mis princesitas, **Shadia Shalena Armas Moliner** y **Sheila Shailen Armas Moliner** por tener siempre una sonrisa cuando más la necesito.

- ✓ A mi esposo, **José Melecio González Rojas** por su amor, comprensión y apoyo brindado a pesar de la distancia, para lograr tan anhelado sueño.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a todas aquellas personas que tuvieron la amabilidad de abrirme las puertas cuando más necesité de su ayuda para lograr este sueño, ellos son: **MSc. José Acosta Granados, Ing. Lorenzo Cabrera, Dr. C. Gelasio Pérez Orama y MSc. Yosel Pérez Pérez.**

También un grato agradecimiento:

- ✓ Al Claustro de profesores de la Maestría Ciencias Agrícolas de la Universidad de Matanzas y compañeros de aula.
- ✓ Un agradecimiento especial para mi tutor el **Dr. C. José Ramón Pérez Milián** por su ayuda grata en todo momento y soportar mis insistencias.
- ✓ Al **Dr. C. Antonio Chinae Martín** por dedicarme parte de su tiempo en la corrección oportuna de este trabajo.
- ✓ A todos los trabajadores de la EPICA “Antonio Mesa Hernández” que indistintamente han contribuido a mi formación profesional en este Centro.
- ✓ Quiero dejar para el final, mi agradecimiento para una persona muy especial, el **Ing. Yasmany García López**, quien ha demostrado ser un verdadero amigo en todas las circunstancias y por enseñarme que en la vida, no todos somos como hojas de peperina.

A todos los que de una forma u otra me brindaron su ayuda desinteresada.

Muchas Gracias

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
1.1 Antecedentes históricos de la caña de azúcar	5
1.2 Características del cultivo	8
1.3 La caña de azúcar en el mundo.....	9
1.4 El cultivo de la caña de azúcar.....	11
1.5 Clasificación de enfermedad	11
1.6 Presencia de la roya naranja en diferentes partes del mundo.....	11
1.7 Posición Taxonómica de las especies de <i>Puccinia</i> patógenas para la caña de azúcar	14
1.8 Importancia de la roya	16
1.9 Distribución geográfica	17
1.10 Sintomatología	19
1.10.1 Diferenciación del ataque de la roya en campo.....	22
1.10.2 Diferenciación en laboratorio.....	24
1.11 Susceptibilidad de la caña de azúcar	28
1.12 Mecanismos de defensa	28
1.13 Rango de hospedantes	29
1.14 Medidas de control.....	29
1.14.1 Control Cultural.....	30
1.14.2 Control Químico.....	30
1.14.3 Control Biológico	31
1.15 Influencia de las condiciones ambientales	31
1.16 Identificación y diferenciación en campo y laboratorio de los agentes causales de la roya marrón y roya naranja en caña de azúcar.....	31
1.17 Microscopía óptica	32

1.18 Semejanzas y diferencias con otras enfermedades de la caña de azúcar causadas por hongos.....	34
MATERIALES Y MÉTODOS	37
2.1 Localización del área.....	38
2.2 Establecimiento de ensayos de resistencia.....	38
2.3 Evaluación en condiciones naturales	39
2.4 Metodología empleada en la toma de muestras	40
2.5 Metodología empleada en el procesamiento de las muestras	40
2.6 Criterios de evaluación	40
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
3.1 Estudio de los síntomas y signos de la roya naranja	43
3.2 Estudios en foco de infección con cultivares comerciales cubanos	48
3.3 Dinámica del comportamiento de los diferentes grados de infección de la roya naranja según la edad de las hojas	51
IMPACTO ECONÓMICO	53
4.1 Impacto económico esperado para la roya naranja	54
CONCLUSIONES	55
RECOMENDACIONES.....	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
ANEXOS.....	71

RESUMEN

Desde que se reportó la enfermedad roya naranja *Puccinia kuehnii* (Krüger) Butler de la caña de azúcar en el Continente Americano, constituyó una prioridad para la agricultura cañera en nuestro país. En marzo de 2008 se emitió la alerta fitosanitaria para su detección temprana y reducir el impacto negativo que pudiera producir en el país, hasta que a finales de año su presencia fue informada en el territorio nacional sobre los cultivares: C1051-73, C86-12, C88-380, C89-147, C90-317 y CP52-43. Se inspeccionaron las plantaciones comerciales y todas aquellas áreas que por su variabilidad genética, son consideradas áreas de riesgo para su presencia. Se tomaron muestras de síntomas que fueron enviadas al laboratorio para el estudio de las pústulas y las uredosporas. Los análisis de laboratorio y pruebas morfométricas realizadas a síntomas observados sobre algunos genotipos procedentes de diferentes áreas de la provincia, constituyeron las evidencias principales para reportar la presencia de la enfermedad en el territorio. Clones en diferentes etapas del esquema de selección y cultivares de la Colección de Germoplasma: CSG35-83, CSG266-92 y CSR37-83 entre otros, han mostrado los síntomas de la enfermedad; sin embargo sobre Q124 muy afectado en Australia y CP76-2086 susceptible en países cañeros como Guatemala y México, no se han observado los síntomas de la enfermedad en la provincia. El monitoreo estacionario a focos de la enfermedad reflejan inestabilidad en su comportamiento, situación que presumiblemente se asocia a la falta de concentración de inóculo en el ambiente, insuficiente para crear epifitias y por lo tanto se debe esperar un cambio radical en la evolución del patógeno para el futuro.

OPINIÓN DEL TUTOR

Ref. Desarrollo de la roya naranja *Puccinia kuehnii* (Krüger) Butler de la caña de azúcar: realidad y perspectivas en la provincia Matanzas.

La tesis, cuyo título se expresa en línea de referencia, presentada en opción al título académico de Máster en Ciencias Agrícolas, constituye un amplio y novedoso ensayo sobre una enfermedad, recientemente reportada en nuestro hemisferio, cuyo agente causal, *Puccinia kuehnii* (Krüger) Butler, presenta características epidemiológicas y de desarrollo, semejantes a las del patógeno *Puccinia melanocephala* Sydow, agente causal de la roya marrón de la caña de azúcar. Por estas razones, investigadores, docentes y productores han manifestado, a través de diferentes artículos, su preocupación en relación con el desarrollo futuro de esta patología. Aunque el trabajo no constituya una obra completa acerca de la enfermedad, es innegable que a través de su lectura podemos conocer cuán motivador ha sido el tema para la ciencia y la producción, cuando en un período de tiempo tan corto, hayan visto la luz tantos artículos, informes, noticias, etc. Estas preocupaciones, que son un reflejo, para Cuba y muchos otros países de nuestro continente, de los dramáticos momentos vividos con la epifitias surgida en la década del `80, han servido para que en un tiempo tan corto podamos contar con tanta información.

Aunque en materia fitosanitaria, donde tantas interacciones ocurren entre los patógenos, el medio ambiente y los hospedantes, no cuentan los vaticinios, la experiencia obtenida durante tantos años de estudio con este género de bacterias y la información acumulada, seguramente permitirán un enfrentamiento más exitoso y con resultados positivos en un tiempo más breve que el transcurrido para el control de la roya marrón; por constituir un objetivo de este trabajo elevar el nivel cognoscitivo de todos los factores involucrados e interesados en el tema, la tesis de Yaraimé reviste tanta importancia en estos momentos. Revisando la literatura internacional, no he encontrado ningún trabajo acerca de esta enfermedad con tanta información condensada en un solo documento.

En otro orden de cosas, considero que la aspirante, a través de este trabajo, ha demostrado su capacidad para la búsqueda de información, análisis de resultados experimentales obtenidos personalmente y la estructuración de un documento tan motivador y digno de la lectura y estudio del más preparado en el tema.

Personalmente siento la satisfacción de haberla guiado en este proyecto y lamento no haber podido estar más cerca, cuya ubicación laboral actual me impidió; sin embargo, ello también ha servido para que la aspirante haya demostrado su habilidad e independencia para abordar con seriedad y profesionalismo temas tan importantes como el que nos ocupa en el día de hoy.

Si la presentación y respuestas a las preguntas que la oponencia y el auditorio le formulen, se ajustan a las intenciones implícitas en cada interrogante, estoy convencido que el tribunal, al dar por concluido el ejercicio académico, premiará a la aspirante con una calificación que su entereza, habilidades e inteligencia merecen.

Agradezco a Yaraimé por haberme dado la oportunidad de compartir con ella tan importante y abarcador resultado, y al tribunal por las críticas y sugerencias que seguramente enriquecerán este trabajo.

Respetuosamente

Dr. José Ramón Pérez Milián

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar *Saccharum spp.* es uno de los cultivos agroindustriales más importantes a nivel mundial con un área comercial de 23 875,176 hectáreas en cerca de 80 países (Patade et al., 2008; FAO, 2012). Estas cifras ponen de manifiesto la gran importancia económica y social de la Industria Azucarera mundial y justifican las atenciones especiales al cultivo, para lograr altas producciones de caña y azúcar por unidad de superficie.

El cultivo de la caña de azúcar es afectado por las condiciones del clima, suelos y por factores bióticos. Entre las enfermedades de mayor importancia para el cultivo en el mundo se encuentran las royas *Puccinia melanocephala* H. Sydow y *P. Sydow* y *P. kuehnii* (Krüger) Butler, ocasionando pérdidas diez veces mayores que las producidas por el carbón *Ustilago scitaminea* H. Sydow en cultivares susceptibles a corto plazo.

La roya naranja *Puccinia kuehnii* (Krüger) Butler de la caña de azúcar fue reportada en la Compañía Azucarera La Estrella S.A (CALESA), Panamá, en el año 2008, sobre el cultivar SP74-8355, que aunque de forma limitado, había sido introducido en las áreas comerciales debido a sus bondades agroproductivas.

Su presencia, crea un nuevo escenario para investigadores y productores debido a su carácter destructor en cultivares susceptibles. Las experiencias en Cuba para el enfrentamiento a otras enfermedades, han demostrado la necesidad del estudio del comportamiento epidemiológico del patógeno y la reacción de progenitores y cultivares como las bases para su control.

PROBLEMA CIENTÍFICO

El desconocimiento acerca del desarrollo alcanzado por la roya naranja de la caña de azúcar y de la reacción de resistencia o susceptibilidad de los principales cultivares ante la enfermedad en la provincia Matanzas, no permite establecer medidas eficientes para su control.

HIPÓTESIS DE TRABAJO

Si se conoce el desarrollo alcanzado por la roya naranja de la caña de azúcar y la reacción de resistencia o susceptibilidad de los principales cultivares ante la enfermedad en la provincia Matanzas, se pudiera establecer medidas eficientes para su control.

OBJETIVO GENERAL

Conocer el desarrollo de la roya naranja de la caña de azúcar, así como la reacción de resistencia o susceptibilidad de los principales cultivares ante la enfermedad en la provincia Matanzas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir el estado del arte de la enfermedad roya naranja de la caña de azúcar.
- Conocer el desarrollo alcanzado en la provincia Matanzas por la enfermedad roya naranja de la caña de azúcar.
- Identificar la reacción de diferentes cultivares ante *P. kuehni*, evaluados por inoculación artificial y en condiciones de infección natural.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Antecedentes históricos de la caña de azúcar

El sector azucarero es sin lugar a dudas el más importante de la producción agroindustrial cubana a lo largo de estos siglos.

Ya a finales del siglo XVI se inicia en Cuba, la elaboración aunque de forma rudimentaria de la caña de azúcar, teniendo su mayor extensión entre 1778 y 1782, posterior a la toma de La Habana por los ingleses y un grupo de medidas tomadas por el Rey Carlos III, lo que favoreció el comercio y la importación de mano de obra esclava.

Durante el comienzo del siglo pasado se importaron los primeros trapiches horizontales de hierro y se introducen los llamados "trenes franceses". En la década de 1840 se inicia en Cuba la Revolución Técnica en la producción azucarera, manifestándose en la aplicación de procesos físicos y químicos en la actividad industrial.

En 1902 comienza la penetración del capital inversionista norteamericano en la industria azucarera, que fue, ese año de 25 millones y que alcanzó en 1927 los 800 millones. Durante esta época fueron construidos 75 centrales de gran capacidad, fundamentalmente en la zona de Camagüey y Oriente.

En general, la propiedad latifundista, el bajo nivel de calificación de la mano de obra, la caña cortada y alzada manualmente en su totalidad y el monocultivo cañero imperante, caracterizaron a la agricultura cubana en la primera mitad del presente siglo.

En 1959 triunfa la Revolución Cubana, y con ella comienzan las agresiones de toda índole por parte de los Estados Unidos.

En 1960, cuando la totalidad de los centrales pasan a manos del Gobierno Revolucionario, se suprime la cuota azucarera como una de las medidas de mayor envergadura económica, dadas las características monoexportadora y monoprodutora de Cuba.

De este modo, el país sufrió un gran impacto con la pérdida de sus mercados tradicionales, los suministros habituales, compra de equipos y piezas desaparecen, produciéndose además un éxodo considerable de personal calificado y ataques a los ingenios. Todo ello provocó un decrecimiento de la producción, siendo la más baja de 3,8 millones de toneladas de azúcar en 1963. En el mes de mayo de este año se inician los primeros estudios con el objetivo de elevar la producción, mediante un diagnóstico sobre la situación agrícola industrial en aquel momento.

En 1964 se crea el Ministerio de la Industria Azucarera (MINAZ), el cual sustituye a la antigua Empresa Consolidada del Azúcar.

En esta etapa las tierras dedicadas al cultivo se incrementaron en un 35%, se introdujeron nuevos cultivares, se inicia la ampliación del regadío y fueron diseñadas nuevas máquinas para la mecanización de la cosecha. En 1970 se realiza la mayor zafra del país y del mundo en ese año.

Durante el período de 1971-1975 la industria azucarera experimentó un gran auge en sentido general.

A partir de 1973 se verifica un aumento continuo. Las áreas cañeras se elevaron de 1 543 miles de hectáreas que existían en el año 63 a 1 634,6 miles de hectáreas respectivamente. La cosecha de caña aumenta su mecanización, el corte alcanza el 11,6% y el alza el 85,4%. En la zafra del 75 trabajaron más de mil combinadas; es importante destacar en este período la disminución de los macheteros a 180 mil, la mitad de lo que se empleaba antes de 1959.

Durante el quinquenio 1975-1980, las inversiones en la industria azucarera ascendieron a 968 millones de pesos, más del doble que el presupuesto empleado en el período 66-70.

La década del 80 se puede considerar de despegue en el desarrollo de la agroindustria azucarera, se construyeron los seis primeros centrales diseñados

por técnicos cubanos y con más del 60% del equipamiento cubano, que constituyen los primeros construidos en los últimos 50 años.

Fueron los primeros terminados: el 30 de Noviembre y el Batalla de las Guásimas que se concluyeron en 1980. Se trabajó además en la modernización de 40 centrales existentes.

En esta etapa se mejoró el sistema ferroviario incorporándose 195 locomotoras diesel; se pusieron en marcha cuatro terminales de azúcar a granel que permitieron aumentar en un 53% la exportación por este sistema. La caña cosechada mediante combinada pasó de un 25% en 1975 a un 45% en 1980. A inicios de la década del 80 se crean los Complejos Agroindustriales Azucareros.

En estos años se construyen 239 centros de acopio y limpieza de caña, lo que sumado al aumento de la mecanización del corte de la caña de azúcar en un 62%, permitió reducir el número de macheteros a 72 000.

Desde 1989 comienzan a gestarse en los países Socialistas de Europa cambios evidentes que dieron lugar a la disolución del campo socialista y por ende la ruptura de sus relaciones mercantiles, así como las principales fuentes de suministros, mercados y precios.

Esta situación trajo consigo severas consecuencias para todas las ramas de la economía en general, pero sin lugar a dudas una de las más afectadas fue la industria azucarera al quedarse desprovista hasta del combustible mínimo para la realización de determinadas actividades, sin los recursos necesarios para la reparación y mantenimiento de los equipos, para la preparación de la tierra y los cultivos: herbicidas, plaguicidas, etc. Todos estos factores conllevaron transformaciones sustanciales para este sector económico.

Para atenuar los efectos del déficit de recursos materiales y buscando disminuir los costos de mantenimiento, se elaboró una estrategia que se denominó: Plan de Rehabilitación, donde se contempló la introducción y generalización de nuevas

técnicas de recuperación de piezas y equipos y modificaciones tecnológicas aplicadas al equipamiento existente.

1.2 Características del cultivo

La caña de azúcar es el cultivo de mayor importancia en la producción de edulcorantes en el mundo. El área total en producción es de más de 20 millones de hectáreas distribuidas en Asia 42,5%, América 47,7% y en África y Oceanía cultivan 7,4% y 2,4%, respectivamente. El promedio mundial de producción es de 65,2 t/ha (FAO, 2002).

La importancia agronómica del cultivo se refleja en su presencia mundial; actualmente para el área Centroamericana es el rubro agroindustrial más estable debido al colapso de la producción de café; igualmente para el resto de América es un cultivo de suma importancia puesto que cada año se producen como promedio 450 millones de toneladas de caña y alrededor de 15 millones de litros de alcohol. Además, se obtienen unos 50 subproductos con un alto valor comercial y se generan más de 2,5 millones de empleos (Aday et al., 2006). Según CENGICAN (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar), en Guatemala, país que lidera la producción en la región Centroamericana, genera aproximadamente 250 mil empleos entre directos e indirectos. Es la principal fuente de ingresos para unos 22 mil cortadores y 15 mil más entre operarios de maquinaria, transportistas, técnicos y jornaleros.

El área en producción en América Central es de 395 mil hectáreas, teniendo un rendimiento promedio de 84t/ha de caña (FAO, 2002). En Honduras la elaboración de azúcar representa el 12,6% del valor total de las exportaciones de la industria alimentaria nacional equivalente a un monto de USD 12 223,700 (Loma, 2000); ocupa un área en producción de 47,924 hectáreas y produce cuatro millones 117 mil toneladas de azúcar.

Según FAO (2002), existen otras alternativas de producción de azúcar como la remolacha azucarera que tiene mucha importancia en Asia y Europa; en éste último prácticamente no hay caña de azúcar a excepción de Islas Canarias con 1 150 hectáreas. En el año 2002 el área mundial dedicada a esta producción era de 5 millones 979,044 hectáreas, la cual representaba el 23,7% de la producción azucarera mundial, siendo el principal productor Brasil con 34% de la producción mundial, India 18%, China 7%, Pakistán 4%, México 4%, Tailandia 3%, Colombia 3%, otros países representan el 27% (FAO, 2002); para la India, Pakistán, Cuba y Turquía, representa la base fundamental de su economía.

El liderazgo de Brasil en el mundo actualmente, se basa en los menores costos de producción y a la activa presencia del sector alcoholero como una importante alternativa de los subproductos de la caña en ese país.

1.3 La caña de azúcar en el mundo

Se cree que la caña de azúcar fue usada por primera vez en la Polinesia, desde dónde se extendió a la India. En el 510 a.c, el emperador Darius de la antigua Persia invadió la India, dónde encontró "el junco que da miel sin abejas". El secreto de la caña de azúcar, como muchos otros descubrimientos del hombre, fue guardado con gran cautela, mientras que el producto terminado fue exportado para obtener grandes beneficios.

El azúcar fue descubierto por los europeos occidentales a través de las cruzadas en el siglo once. A su regreso de las cruzadas, los cruzados divulgaron la existencia de esta "nueva especia" y las bondades de la misma. Los primeros datos sobre el azúcar fueron certificados en Inglaterra en 1099. Los siglos posteriores registraron un incremento significativo del comercio entre la Europa Occidental y la Europa del Este, incluyendo las importaciones de azúcar. Existe constancia de que hacia 1319, el azúcar estaba disponible en los mercados Londinenses por "two shillings a pound", lo que equivalía a varios meses de

salarios de un trabajador medio. Por ello, el azúcar estaba considerado como un bien de lujo.

En el siglo quince, el azúcar Europea era refinado en su mayoría en Venecia, pero Venecia perdió este monopolio en 1498, cuando Vasco De Gama estableció el comercio con la India. En cualquier caso, fue el descubrimiento de América el que cambió el consumo mundial de azúcar.

En uno de sus primeros viajes, Cristóbal Colón llevó consigo plantas de caña de azúcar y las plantó en tierras del Caribe. Este clima presentaba tantas ventajas para el cultivo de la caña de azúcar, que se estableció rápidamente una industria azucarera en aquel lugar. La demanda de azúcar en Europa era tan elevada que muchas de esas islas caribeñas fueron casi completamente deforestadas para crear grandes campos de cultivo de caña de azúcar, como por ejemplo la isla de Barbados, Antigua y parte de Tobago. Millones de personas fueron transportadas de diversas partes del mundo como África o la India para trabajar en los grandes campos de cultivo. La producción de azúcar estuvo por tanto íntimamente ligada al comercio de esclavos por parte de occidente.

El azúcar tenía tal importancia económica que todas las potencias Europeas establecieron o trataron de establecer colonias en las pequeñas islas del Caribe, lo que provocó numerosas batallas por el control de las islas. Mas adelante, el cultivo de caña de azúcar se trasladó a grandes plantaciones en otras partes del mundo (India, Indonesia, Filipinas y el Pacífico) para el suministro de los mercados Europeos y locales.

Las exigencias de humedad y variación de temperatura para obtener los máximos niveles de sacarosa han llevado a que en la mayor parte de las regiones azucareras del mundo, con excepción del Valle del Cauca, Hawaii y Perú, la cosecha de caña se realice únicamente durante una época del año, en lo que se denomina la zafra.

1.4 El cultivo de la caña de azúcar

La caña de azúcar pertenece a la familia **Poaceae** y al género **Saccharum**, en el cual existen seis especies: **spontaneun**, **robustum**, **barberi**, **sinense**, **edule** y **officinarum**.

S. officinarum corresponde a las cañas cultivadas hoy en día y se considera que fue domesticada a partir de **S. robustum**. Cada una de las especies mencionadas tiene sus propias características que la identifican de manera específica.

El número de cromosomas es variable dentro de cada especie, lo cual ha incidido en una variación genética amplia en sus progenies, cuando ellas han sido utilizadas en cruces entre las especies.

Los clones comerciales de caña de azúcar son derivados de las combinaciones entre las seis especies anteriores, predominando las características de **S. officinarum** como productora de azúcar (MAG, 1991; Cassalet y Rangel, s.f.).

1.5 Clasificación de enfermedad

Las enfermedades para cualquier cultivo, constituyen uno de los principales factores negativos para obtener altas y calificadas producciones a nivel mundial; son causadas principalmente por virus, bacterias u hongos (**Figuras 1, 2 y 3**). En las últimas décadas ha crecido considerablemente el número de organismos patógenos y agentes etiológicos detectados sobre el cultivo y se han extendido, de forma notable, los que existían con anterioridad (Badilla, 2002).

1.6 Presencia de la roya naranja en diferentes partes del mundo

La roya naranja es una enfermedad de origen fungoso que se encuentra dentro del grupo de las royas que está conformado por varias especies de hongos, considerado como uno de los grupos de enfermedades más destructivas de las

plantas y que están presentes en varios cultivos de importancia económica.

En caña de azúcar, se reportan principalmente dos especies: la roya naranja ***Puccinia kuehnii*** (Krüger) Butler y la roya marrón ***Puccinia melanocephala*** H. Sydow y P. Sydow. Estos hongos son parásitos obligados (dependen de su hospedante), y tienden a presentar muchas variantes dentro de sus respectivas especies.

La roya marrón ha sido una enfermedad de alto potencial destructivo desde 1949, mientras que la roya naranja se consideraba como una enfermedad menor; a partir del año 2000 pasó a formar parte de las enfermedades de alta importancia económica en el cultivo de la caña de azúcar (Virtudazo *et al.*, 2001).

Su presencia, fue informada por Krüger en 1890 en Java, y considerada una enfermedad de menor importancia y menos virulenta que ***P. melanocephala*** y causante de menos daños (Koike, 1988), hasta que en Australia una epifitía en el 2000 causó pérdidas estimadas entre 150 y 210 millones de dólares australianos. El cultivar Q124, en ese momento el más plantado en Queensland con el 45% del área ocupada, se infectó y causó la epidemia más importante en la historia de la industria azucarera australiana (Braithwaite, 2005).

Hasta el 2007 la roya naranja se observó en países como Papúa Nueva Guinea; Indonesia, Filipinas y Australia (Magarey *et al.*, 2005). En el Hemisferio Occidental se confirmó su presencia por primera vez en julio de 2007 en Florida, Estados Unidos, (Comisión, 2008a; Chaves, 2008a) y poco después en Luisiana, en los cultivares CP80-1743, CP89-2143 y CP72-2086, este último el más importante para esa época en Guatemala (Ovalle *et al.*, 2007, 2008, 2009; Comstock *et al.*, 2008).

Puccinia kuehnii se encuentra ampliamente distribuida en el sur de la Florida, donde ha presentado síntomas moderadamente severos en cultivares que ocupan aproximadamente el 25% del área comercial, y en numerosos clones

del programa de desarrollo de cultivares; se ha informado además en países de Asia, África, Centroamérica y América del Sur (Comstock *et al.*, 2008; Chavarría, 2008). En el 2007 fue detectada y confirmada en Guatemala, donde en los meses de julio y agosto se observaron síntomas en los cultivares SP71-5574, CP72-2086, Pindar, Q132, Q138, SP71-5574 y SP79-2233, en Costa Rica. Los mismos síntomas se observaron en el cultivar CP72-2086 en los Ingenios San Carlos y Monte Rosa en Nicaragua, en septiembre de 2007 (Chavarría *et al.*, 2009).

Para el año 2008, la enfermedad se presentaba ampliamente distribuida en todas las regiones de Costa Rica (Comisión, 2008a), no obstante, la severidad de los ataques se concentraban en la Región Sur sobre el cultivar SP71-5574, altamente susceptible a la enfermedad, donde llegó a tener infecciones con área foliar afectada superior al 35%.

Para la zafra 2007-2008, la Región Sur sufrió pérdidas en la producción del 26,5% que son atribuidas mayormente a esta enfermedad. Durante el 2008 se logró determinar que la roya naranja tiene el potencial de reducir en un 47% la producción de SP71-5574 en la Región Sur (Chaves *et al.*, 2008d).

En el año 2008 se encontró en México sobre los cultivares Mex57-1285, Mex61-230 y Co301; en El Salvador, en el cultivar CP72-2086 y en Panamá, en el cultivar SP74-8355 (Flores *et al.*, 2009).

En Sudamérica y el Caribe se presentó sobre los cultivares SP89-1115, RB72-454 y SP84-2025 en Brasil (Barbasso *et al.*, 2010), además de sospecharse su presencia en Puerto Rico, República Dominicana y Panamá (Chavarría, 2008).

En Colombia se detectó en julio del 2010 sobre el cultivar CC01-1884, en un experimento de prueba regional para zonas húmedas, plantado en el Ingenio La Cabaña (Ángel *et al.*, 2010).

En marzo de 2008 se emitió la alerta fitosanitaria en Cuba para su detección temprana, y reducir el impacto negativo que pudiera producir en el

país, por lo que una misión de investigadores cubanos visitaron Guatemala y se desarrollaron en el país un grupo de actividades, tales como: seminarios a más de 250 técnicos vinculados a la actividad fitosanitaria, Pesquisa Nacional para su detección precoz con encuestas periódicas en todo el Territorio Nacional, etc., hasta que a finales del año 2008 su presencia fue reportada en el país sobre los cultivares comerciales C1051-73, C86-12, C88-380, C89-147, C90-317 y CP52-43, luego de identificar sus síntomas en áreas experimentales de la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ETICA) de Villa Clara y ser confirmados en el Laboratorio Nacional de Sanidad Vegetal (Pérez *et al.*, 2009; Díaz *et al.*, 2010).

1.7 Posición Taxonómica de las especies de *Puccinia* patógenas para la caña de azúcar

Los hongos se encuentran clasificados en un reino propio según Whittaker en 1959, el reino Fungi. La palabra Fungi proviene de la palabra latina **sphongos**, que significa **esponja**. Otra palabra con la que frecuentemente nos referimos a los hongos es la palabra **micótico**, la cual viene del griego **mycota** que significa hongo.

Aunque según muchos autores actuales es difícil dar una definición concreta de lo que es un hongo, existen ciertas características, más o menos generales, que cumplen la mayoría de los grupos, como son:

✓ Están constituidos por hifas, las cuales son filamentos microscópicos con crecimiento apical; aún los hongos macroscópicos, que son los que podemos observar en nuestras salidas al campo, están constituidos de la misma manera.

✓ Cabe mencionar una excepción, no todos los hongos cumplen con esta regla, las levaduras, los hongos pertenecientes al orden de los *Chytridiomycetes*,

y los *Myxomycota*, son los que morfológicamente rompen esta regla.

- ✓ Son heterótrofos; es decir no pueden producir su propio alimento, sino que deben tomarlo del medio circundante. Aunque son heterótrofos, pueden actuar como parásitos, saprófitos y simbióticos.
- ✓ Estos, al contrario de las plantas no almacenan almidón como sustancia de reserva, sino el carbohidrato llamado glucógeno.
- ✓ Tienen, en su mayoría, una pared celular formada por quitina, que constituye el mismo carbohidrato que forma el exoesqueleto de los insectos.
- ✓ Se reproducen por esporas.
- ✓ Son organismos eucarióticos que pueden ser uni o pluricelulares
- ✓ Los hongos son organismos lisotróficos, es decir, que absorben sus nutrientes del medio.

En la **Figura 4** se presenta un hongo y sus estructuras fundamentales.

Las especies del género ***Puccinia*** (***melanocephala***, ***kuehnii*** y ***sparganioides***) causantes de la roya marrón y naranja, presentes en Cuba, y la roya ceniza, reportada recientemente en el Continente Africano, respectivamente, tienen la siguiente posición taxonómica, según Alexopoulos (1964):

Reino	Fungi
División	<i>Basidiomycota</i>
Clase	<i>Basidiomycetes</i>
Subclase	<i>Heterobasidiomycetes</i>
Orden	<i>Uredinales</i>
Familia	<i>Pucciniaceae</i>
Género	<i>Puccinia</i>
Especies	<i>Puccinia melanocephala</i> H. Sydow y P. Sydow, agente de la roya marrón
	<i>Puccinia kuehnii</i> (Krüger) Butler Agente de la roya naranja
	<i>Puccinia sparganioides</i> Ellys & Tracy agente de la roya ceniza

Las principales diferencias distintivas al microscopio de luz entre las uredosporas causantes de las enfermedades de la caña de azúcar conocidas por “roya” son morfométricas y de color (**Figura 5**).

1.8 Importancia de la roya

La calidad y el valor de la producción agrícola se ven afectados en gran medida por las enfermedades a las cuales los cultivos están expuestos. El 80% de estas enfermedades son producidas por hongos; entre ellas, las royas son de gran importancia. Los agentes causales de las royas pertenecen a la clase ***Basidiomycetes*** y específicamente al orden ***Uredinales***; son microscópicos y parásitos biotróficos (López, 2008).

Se ha notificado que más de 200 familias de plantas, tanto silvestres, como cultivadas, son atacadas al menos por un tipo de roya, que les produce diversos síntomas, tales como: defoliación, deformación, manchado,

marchitamiento, y cuando es severa, la muerte de la planta. De ahí su influencia en la calidad y/o rendimiento (López, 2008). En la **Figura 6** se observan hojas muy afectadas por roya naranja, mostrando necrosis como resultado del ataque de *P. kuehnii*.

Durante la zafra 2008-09 se efectuaron estudios del efecto de la roya naranja en la producción del cultivar CP72-2086, el más importante en Guatemala y se determinó que las pérdidas en caña planta fueron del orden de 16% en términos de azúcar por unidad de área (Ovalle. *et al.*, 2010).



Figura 6. Hojas del cultivar SP74-8355, susceptible a la roya naranja, mostrando gran parte del tejido necrosado (izquierda), y síntomas en el total del follaje (derecha) en Panamá. Fotos Pérez Milián.

1.9 Distribución geográfica

Puccinia kuehnii, es el causante de la roya naranja de la caña de azúcar en Asia, África, Australia, China, Guam, Indonesia, Japón, Península de Malasia, Myanmar, Nueva Caledonia, Pakistán, Papúa Nueva Guinea, Filipinas, en la parte occidental de Samoa, Islas Salomón, Sri Lanka, Taiwán, Tailandia, Vietnam y Fiji (Comstock et al., 2007; Raid y Sullivan., 2000 y Magarey, 2000). Este patógeno también apareció en la India en agosto de 1952, en el cultivar Co876 (Chenulu, 1954). En el 2007 en Florida infectó diferentes cultivares de caña de azúcar, lo que constituyó el primer informe verificado en este

hemisferio (López, 2008; Anón, 2008). Posteriormente se ha informado en Nicaragua, México (Milanés, 2008), Panamá (Pérez, 2008), Costa Rica (Chavarría, 2008), Guatemala (CENGICAÑA, 2008), Venezuela (Alfonso et al., 2008), Colombia (Ángel et al., 2010a, b) y Jamaica. En este último, en el año 2007 esta enfermedad causó pérdidas sobre el cultivar CP80-1743 que ascendieron al 25% de la producción (Comstock et al., 2012); nuevas investigaciones en este país indican experimentalmente, que las pérdidas acumuladas por unidad de superficie durante los años 2008-09 fue de 53% y 43%, respectivamente (Pérez, 2012).

Según Barbasso et al. (2010) la frecuencia de aparición, desde 1890, se presenta en la **Figura 7**.

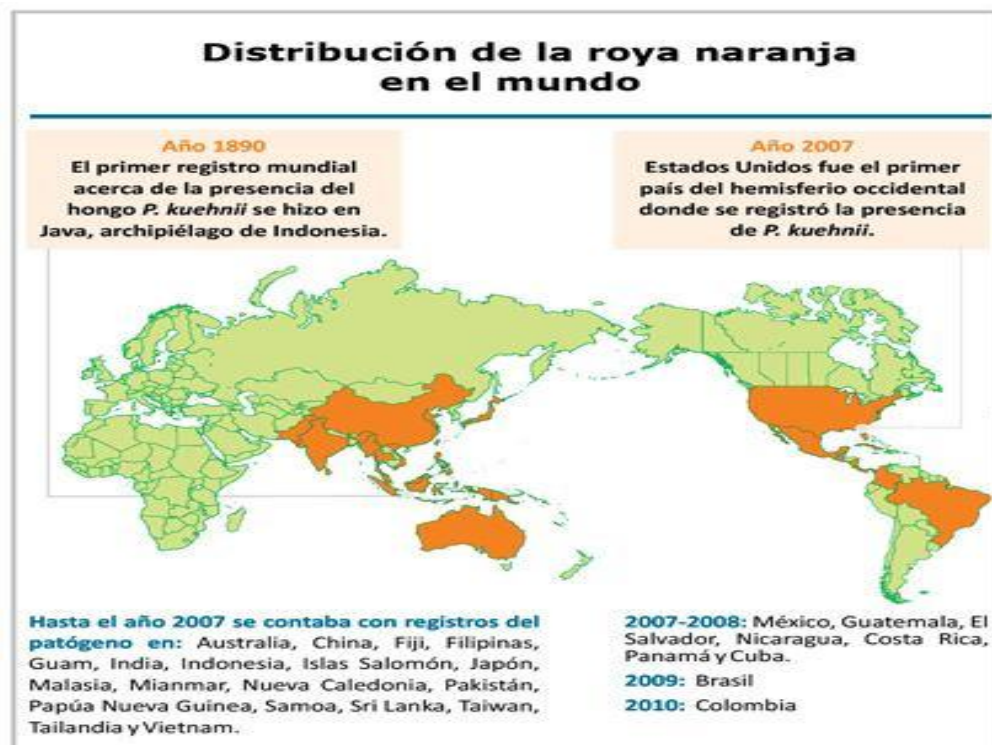


Figura 7. Frecuencia de aparición de la roya naranja en diferentes hemisferios, según Barbasso et al., 2010.

Puccinia melanocephala se encuentra distribuida en Angola, Australia, Barbados, Belice, Haití, Honduras, Jamaica, Panamá, Puerto Rico, El Salvador, Taiwán, Beni, Brasil, Burundi, Camerún, China, Colombia, Congo, Costa Rica, Cuba; Ecuador, EEUU, Guadalupe, Guyana, Hawaii, India, Indonesia, Japón, Kenia, Madagascar, Malawi, Martinica, México, Mozambique, Nicaragua, Pakistán, Perú, Sudáfrica, Trinidad y Tobago, Venezuela, Vietnam, Zambia, Norte de América (Raid y Sullivan, 2000).

El primer reporte confirmado de la roya marrón en América se hizo en República Dominicana en julio de 1978 sobre el cultivar B4362 en plantaciones menores de tres meses de edad, en un principio la clasificaron como *P. kuehnii* (Whittle, 1978), debido al poco conocimiento del agente causal, posteriormente se confirmó como *P. melanocephala*.

En Cuba, esta enfermedad fue encontrada por primera vez en septiembre de 1978, y ya en diciembre de ese mismo año estaba distribuida en todo el país (Navarro, 2008; Raid y Sullivan, 2000).

1.10 Sintomatología

De acuerdo con Raid y Sullivan (2000) los síntomas iniciales de la roya en la caña de azúcar, generalmente, se manifiestan como lesiones diminutas y elongadas que forman un halo amarillento-verdoso (**Figura 8**).



Figura 8. Síntomas iniciales de las “royas” en caña de azúcar

El agente causal de la roya naranja es un parásito débil, que ocasiona pústulas muy pequeñas a diferencia del causante de la roya marrón (**Figura 9**). Las lesiones de esta roya en particular no son de color carmelita oscuro, las pústulas aparecen principalmente en la superficie axial o envés de las láminas foliares, también en ocasiones puede aparecer en las vainas y en las partes florales, pero raramente en tallos. En algunos casos, están rodeadas por un halo estrecho, blanquecino o amarillo, que contienen masas de esporas pulverulentas anaranjadas (**Figura 10**).

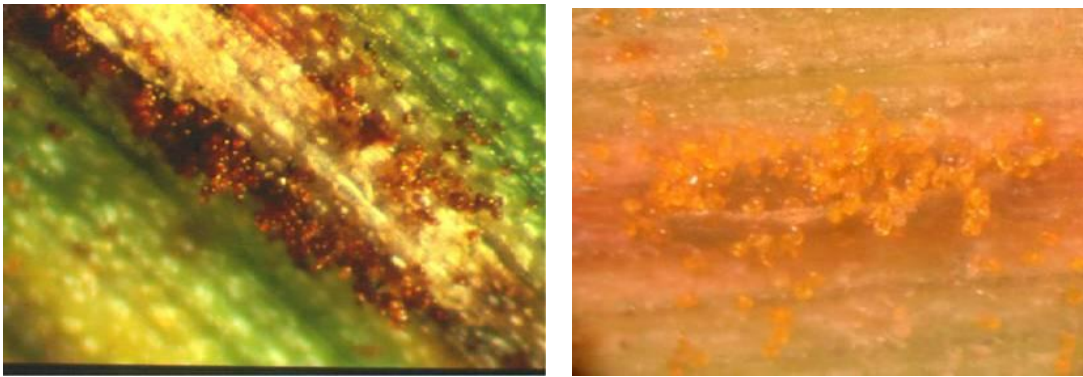


Figura 9. Pústulas de roya marrón (izquierda) y de roya naranja (derecha). Fotos Pérez et al., 2008



Figura 10. Síntomas característicos de la roya naranja en una hoja del cultivar CP72-2086 en la Finca Magdalena, Guatemala. Foto Pérez Milián

Las esporas pueden dispersarse de las pústulas y formar un polvo granulado anaranjado en la superficie de la hoja, en torno a la pústula que le da un aspecto de mayor amplitud. Con el aumento de la edad de las hojas, las pústulas empiezan a producir esporas negras en lugar de anaranjadas, las que se asemejan a manchas de alquitrán. De aquí que sean más fácilmente distinguibles en las hojas inferiores (Raid y Sullivan, 2000 y Victoria et al., 1988).

Al inicio, los síntomas de la roya, como se presenta en la **Figura 8**, se corresponden 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, toman un color carmelita, rodeadas de un halo amarillo pálido (Victoria et al., 2007). A partir de éstas, se forma un abultamiento de la epidermis (pústulas) desde 2 a 20 mm de longitud por 1 a 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 el limbo, dándole a los campos apariencia de quemados (**Figura 11**).



Figura 11. Aspecto general de un campo sembrado con un cultivar susceptible a roya marrón muy afectado por el ataque de *P. melanocephala*

Las plantas después de los seis meses de edad presentan una recuperación cuyo grado depende del nivel de susceptibilidad del cultivar (Anón, 2003). Las pústulas aparecen muy similares a las de la roya naranja (Raid y Sullivan 2000). Una vez que ocurre la ruptura de la epidermis se liberan masas de esporas de color anaranjado-carmelita, las cuales son fácilmente diseminadas por el viento a grandes distancias (López, 2008).

1.10.1 Diferenciación del ataque de la roya en campo

Debido a su cercanía taxonómica, existen similitudes en la sintomatología de la roya marrón y la roya naranja en caña de azúcar (Cadavid et al., 2010). Inicialmente, en ambas royas se presentan pequeñas manchas cloróticas y alargadas de color amarillo pálido, en ambos lados de la hoja, que aumentan de tamaño y adquieren una coloración carmelita oscuro en la roya marrón (**Figura 12a**) y anaranjado o café claro en la roya naranja (**Figura 12b**). Lesiones jóvenes de roya naranja nunca llegan a ser café oscuro. Las lesiones de las dos royas forman pústulas, principalmente en el envés de las hojas, que contienen las esporas del hongo.

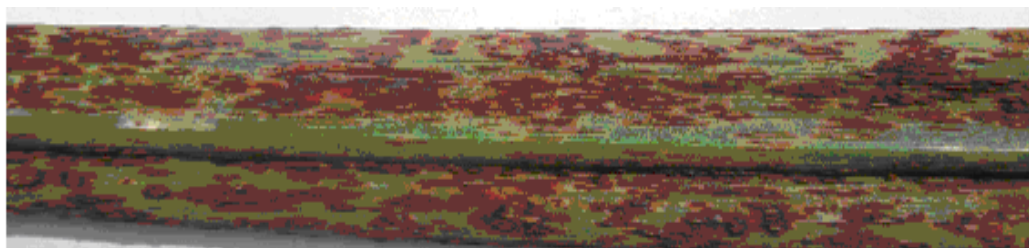


Figura 12a. Síntomas de roya marrón en hojas de B4362 en la EPICA de Jovellanos.



Figura 12b. Síntomas de roya naranja en hojas de C95-414 en el BSR, René Fraga.

La secuencia de aparición de los síntomas de la roya naranja y su evolución, se inician con pequeñas lesiones alargadas de color amarillo pálido sobre ambos lados del limbo, que aumentan de tamaño, forman pústulas en el envés de la hoja y adquieren una coloración anaranjada o café claro. En esas pústulas la epidermis de la hoja se rompe y ocurre la liberación de las esporas, como en la roya marrón, que tienen una apariencia de polvo anaranjado disperso y se diseminan con el viento a grandes distancias. Finalmente, las lesiones viejas de roya naranja pueden llegar a ser de color marrón oscuro y alcanzar una coloración muy semejante a la de la roya marrón.

Recientemente se ha reportado en el Continente Africano una nueva roya que difiere del resto, en la presencia y color de las pústulas, las cuales pueden encontrarse en ambos lados del limbo; se conoce en la literatura como roya ceniza (ash rust), supuestamente causada por *Puccinia sparganioides* Ellys & Tracy y hasta la fecha no se ha reportado en otros países (**Figura 13**).

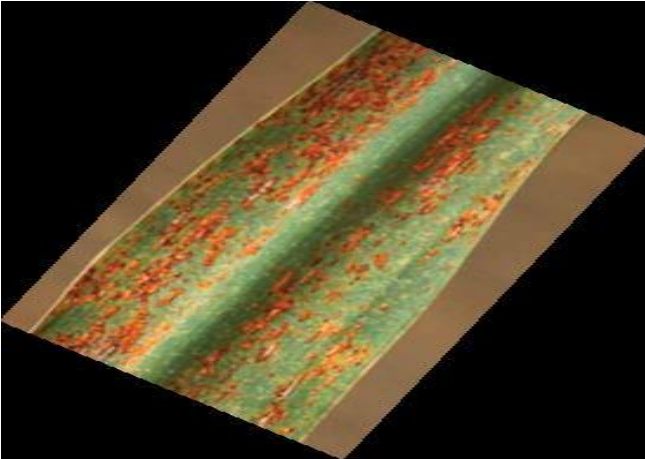


Figura 13. Síntomas de la roya ceniza (ash rust) según Martin et al., 2012

1.10.2 Diferenciación en laboratorio

- **Generalidades**

Las royas son causadas por parásitos obligados, altamente especializados y muy difíciles de cultivar sobre medios artificiales en el laboratorio.

Los **Uredinales** se clasifican en dos grupos a partir de sus ciclos de vida: los macrocíclicos, o de ciclo largo, cuando se origina al menos un estado adicional a las teliosporas y basidiosporas; y los microcíclicos, o de ciclo corto, cuando las teliosporas y basidiosporas son las únicas esporas producidas (Alexopoulos, 1964; Agrios, 2005).

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

- **Biología**

El ciclo vital de las royas es uno de los más complejos de todo el reino **Fungi**, ya que producen hasta cinco tipos de estadios, con esporas diferentes, separados en tiempo y espacio, lo que hace difícil su conocimiento y su control. Los estadios: (0) espermacio, (I) aeciosporas, (II) uredosporas, (III) teliosporas y (IV) basidiosporas y sus respectivas estructuras que las originan: espermogonios, aecidios, uredinios, telios y basidios (Anón, 2003); las uredosporas de *P. melanocephala* son más pequeñas (28-33 x 17-26 μm) comparadas con las de *P. kuehnii*, (30-43 x 17-26 μm) (Purdy y Dean, 1983), pero estas últimas se diferencian de las de *P. melanocephala* en cuanto a su color y forma, ya que son ovales, de color amarillo pálido y con engrosamiento apical (Alfonso et al, 2008). Estas características pueden ser observadas en epígrafes posteriores (**Figura 14**).

- **Epifitiología**

La roya naranja y la marrón son diferentes respecto a la forma en que se presentan, dependiendo de las condiciones ambientales. La roya naranja de la caña de azúcar aparece en verano y otoño; esta se ve favorecida por las condiciones templadas húmedas, lo que no ocurre con la carmelita que se favorece por las temperaturas frías (Newton, 2007). En ambos patógenos la producción de uredosporas continúa por más de 23 días después de la formación de los uredosoros. El número total de uredosporas producidas por soros está estimado para *P. melanocephala* en $1,27 \times 10^4$ y para *P. kuehnii* en $4,7 \times 10^3$

La severidad de la epifitia de la roya naranja se incrementa de forma exponencial con el tiempo. Este es el motivo por el que aparece de manera repentina, durante condiciones ambientales favorables. La germinación de las esporas ocurre dentro del intervalo de 17-34°C de temperatura, pero la óptima

es de 18 °C y 94% de humedad relativa (Infante et al., 2009). El proceso infeccioso requiere de humedad, que puede provenir de la lluvia o el rocío. La infección puede presentarse en unas cuatro horas en presencia de condiciones favorables para su desarrollo.

La dispersión de las esporas a las hojas superiores y campos adyacentes se ve favorecida por el viento (Hsieh y Fang 1983; Hsieh et al., 1977).

La roya marrón ataca las hojas y se presenta con mayor intensidad en plantas de 4 a 5 meses de edad (Victoria et al., 1990, 2007; Comstock y Ferreira, 1986;). El ataque de la misma reduce el área fotosintética, y en genotipos susceptibles detiene el crecimiento. De los uredosoros producidos por la roya marrón, se liberan esporas que van a infectar nuevas hojas, además de dispersarse por el viento como la roya naranja; también ocurre por la influencia del agua de lluvia.

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). Para ambos patógenos la temperatura óptima de germinación de las uredosporas está entre 22-26°C, aunque el intervalo de temperatura para la germinación es de 10-34°C (Purdy y Dean, 1983; Hsieh y Fang, 1983; Hsieh et al., 1977), sin embargo para el caso de las teliosporas, la temperatura óptima de germinación es de 15-20°C (Purdy y Dean, 1983).

En ambos patógenos, 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, 1983).

Las uredosporas permanecen viables por dos meses mientras que son mantenidas dentro de un rango de 5-10^o C, pero cuando se exponen a 26^o C, pierden viabilidad. Tres horas después de ser incubadas a 26^o C germinan con la aparición de varios tubos germinativos en una misma uredospora, pero generalmente sólo es producido un tubo germinativo (Hsieh et al., 1977).

El genotipo del hospedante y la edad de la planta son factores importantes para el desarrollo de ambas royas en el cultivo de la caña de azúcar. En dependencia del genotipo de los hospedantes, la gama de síntomas puede ser desde abundante y bien esporuladas, hasta la presencia de puntos necróticos o una ligera clorosis. Las plantas jóvenes de dos a seis meses de edad son más sensibles a la roya que las plantas maduras (Victoria et al., 1995; Victoria, 1984), por lo que la severidad de la enfermedad disminuye a menudo con la edad.

La asociación entre la severidad de la roya y los factores del suelo, tales como pH y nutrientes, ha sido informada por Anderson y colaboradores (Anderson et al., 1990). Sin embargo, la interacción genotipo-ambiente es un problema muy específico, por lo que se debe tener precaución al hacer generalizaciones de los casos. Existen criterios, que la severidad de la roya es promovida por la fertilización nitrogenada (Victoria et al., 1995).

En el valle del Río Cauca, observaron que la respuesta varietal y la severidad de la roya fueron menores en sitios donde se registraron valores altos de precipitación, radiación solar y evaporación, y mayores donde las mismas variables presentaron valores bajos (Comstock y Ferreira, 1986). Otros investigadores encontraron mayor severidad de la enfermedad en ambientes con temperaturas bajas y humedad relativa alta, según Bailey (1979), Sandoval y Alfonso (1986) citados por Anthony (2008).

1.11 Susceptibilidad de la caña de azúcar

La susceptibilidad de los cultivares de caña de azúcar a *P. kuehnii* está correlacionada con el número de uredosporas producidas por unidad de área foliar infectada, pero no, con el periodo de latencia, la longitud de los soros en 15 días, ni tampoco con el número de pústulas producidas por unidad de área foliar infectada. Por lo tanto, la producción de uredosporas es más confiable para la evaluación de la resistencia de los genotipos a la roya (Hsieh y Fang, 1983). No obstante, en ambos agentes causales, el número de pústulas producido por hojas ha sido usado como criterio para determinar la susceptibilidad de genotipos de caña de azúcar a la roya, aún cuando en investigaciones recientes, se ha demostrado que no hay correlación entre el número de pústulas y el número de uredosporas producidas en diferentes especies (Purdy y Dean, 1983; Hsieh y Fang, 1983; Atieza y Quimio, 1982; Liu, 1980).

En el caso de *P. kuehnii* la resistencia parece ser relativamente común en cultivares de caña obtenidos en la India, debido a la resistencia de sus progenitores, a pesar que la incidencia de la roya puede variar mucho de un año a otro, dependiendo de las condiciones climáticas (Hughes et al., 1964). Estudios recientes realizados en La Florida (Glyn, 2012) reflejan que más del 80% de los cultivares comerciales están en el rango entre moderadamente hasta altamente susceptibles a *P. kuehnii*.

1.12 Mecanismos de defensa

Las plantas en su evolución han desarrollado mecanismos complejos para resistir el ataque de los patógenos (Sandoval, 2001). En las plantas superiores se han encontrado 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, de

acuerdo con Broglie (1993) citado por Díaz et al. (1996).

López (2002) detectó una elevada acumulación de proteínas relacionadas con la defensa a la roya en el cultivar resistente CP52-43 en etapas tempranas post inoculación, comparadas con patrones sanos y el cultivar susceptible B4362. Demostró además la utilidad de la beta 1-3 gluconasas como indicador potencial de la resistencia en cultivares resistentes a ***P. melanocephala***, post inoculadas en condiciones controladas.

1.13 Rango de hospedantes

Ambos patógenos se han identificado en el género ***Erianthus***, en *narenga porphyrocoma* y en casi todas las especies de ***Saccharum*** (Purdy y Dean, 1983; Anón, 2008; Purdy et al., 1983). ***P. kuehnii*** ha sido encontrada en: *Erianthus arundinaceus* Retz, *S. officinarum* L., *S. spontaneum* L. y *Sclerostachya fuscum* (Roxb), mientras que ***P. melanocephala*** agente causal de la roya marrón además de tener hospedantes similares a ***P. kuehnii*** como ***S. officinarum*** y ***S. spontaneum***, también se encontró en varios híbridos (***spontaneum - officinarum - robustum***), en *Erianthus ravennae* (L.) Beauv. y en *E. refipilis* (Steud) Griseb. *S. spontaneum* y *Erianthus fulvus* (R. Br.) Kunth, son hospedantes intermediarios de ***P. melanocephala***, los cuales pueden permanecer como perennes en zonas montañosas, y en áreas plantadas, permitiendo así la sobrevivencia y perpetuación de la especie (Sandoval, 2001).

1.14 Medidas de control

La vía más económica y eficiente para el control de ambos patógenos es el empleo de cultivares resistentes, los que pueden ser obtenidos a través de métodos tradicionales y biotecnológicos (Victoria et al., 1995, 2007; Anón, 2008; Asnaghi et al., 2001).

Otras medidas recomendadas por algunos autores se exponen en los epígrafes siguientes:

1.14.1 Control Cultural

Entre las medidas eficaces para el control de ambos patógenos se encuentran: la destrucción de residuos, cuyo objetivo es reducir la fuente de inóculo, ajuste del periodo de plantación a las 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 cultivares para evitar por un lado, daños severos producto del ataque de algún patógeno sobre un cultivar susceptible y por otro, la aparición de formas resistentes del mismo, una fertilización nitrogenada y riego adecuado, una vez pasado el ataque de la enfermedad, estimula la producción de nuevo follaje libre de infección y la recuperación completa de la planta, alcanzándose a veces, producciones de caña tan altas como las obtenidas con cultivos sanos (Victoria et al., 2007; Anón, 2008).

Además de lo expuesto anteriormente, un excelente modo para el control de dichos patógenos es la resistencia genética heredada, la que limita su infección, y retrasa el crecimiento del hongo y la formación de esporas (Comstock y Ferreira, 1986) y por ende retarda las epifitias.

1.14.2 Control Químico

Diferentes fungicidas como: Mancozeb, Benomyl, Oxychloride, Methyl, Maneb, Bayleton, entre otros, se destacan por su eficacia en el control de la roya en el cultivo de la caña de azúcar (SRA_ LGAREC, 2002).

1.14.3 Control Biológico

Uno de los agentes de control biológico de la roya es *Sphaerellopsis filum* (Biv.ex.Fr.Fr.) (*Darluka filum*) (Biv) Castagne, el cual fue encontrado parasitando a *P. melanocephala* (Arteaga et al., 1988), y también se ha empleado *Cladosporium uredinicola* Speg (Abdel et al., 2008).

1.15 Influencia de las condiciones ambientales

Se ha demostrado que ciclos alternos de lluvia con días secos y la presencia de rocío durante las noches y parte de las mañanas, son condiciones muy favorables para la infección y producción de esporas. La diseminación de la roya naranja se ve favorecida por condiciones de viento, y la lluvia fuerte tiene un efecto negativo en la diseminación al lavar las esporas de las hojas.

Por otro lado, las infecciones más severas de roya marrón tienen lugar durante los períodos frescos cuando las plantaciones están entre los tres y seis meses de edad. En contraste, la infección por roya naranja está favorecida por las condiciones más calurosas (Barrantes y Chavarría, 2009).

1.16 Identificación y diferenciación en campo y laboratorio de los agentes causales de la roya marrón y roya naranja en caña de azúcar

Las enfermedades conocidas como royas son consideradas muy destructivas para las plantas. Son producidas por hongos pertenecientes a la clase *Basidiomycetes*, del orden *Uredinales* y familia *Pucciniaceae*, a los que pertenecen también los agentes causales de la roya marrón y la roya naranja en caña de azúcar, *P. melanocephala* y *P. kuehnii*, respectivamente. (Alexopoulos, 1964; Agrios, 2005)

Según Ryan y Egan (1989), los síntomas foliares y las características de las esporas asociadas a los patógenos de roya marrón (**Figura14**) y roya naranja

(Figura 15) en caña de azúcar pueden ser fácilmente distinguidos; sin embargo, experiencias personales indican que al principio ambos pueden ser confundidos con la presencia de otras enfermedades fungosas.

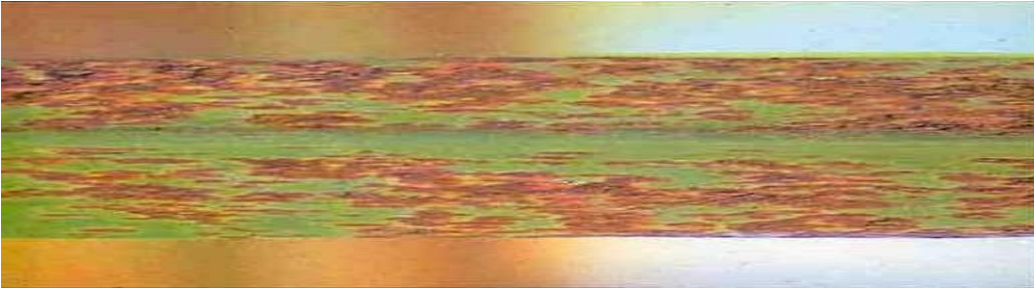


Figura 14. Síntomas de roya marrón en hojas de B4362 en Cuba. Foto tomada en áreas experimentales de la EPICA Jovellanos.



Figura 15. Síntomas en hojas del cultivar CP72-2076, donde se reportó por primera vez la roya naranja en Guatemala y que ha sido informada con síntomas en otros países como México. Foto Pérez Milián tomada en Ingenio Magdalena, Guatemala, en diciembre de 2007.

1.17 Microscopía óptica

En el uredinio que contiene las uredosporas de *P. melanocephala*, causante de la roya marrón, se observan típicamente dos estructuras: las uredosporas, de color rojizo-café de forma generalmente ovoide con pared delgada y uniforme, y los parafisos, señalados por la flecha, estructuras hialinas de cuello largo, que facilitan la dispersión de las uredosporas con el viento (Figura 16). En el telio de *P. melanocephala*, las teliosporas son biceptadas, de una coloración generalmente café oscura.



Figura 16. Uredinio de roya marrón (Izquierda), y roya naranja (Derecha); obsérvese diferencias estructurales, color y tamaño de las uredosporas. Fotos Pérez et al., 2008.

Como se observa en la **Figura 16** en el uredinio de *P. kuehnii*, causante de la roya naranja, los parafisos están ausentes y las uredosporas son de color anaranjado claro, de forma generalmente piriforme, con un engrosamiento en la parte apical de la pared, como se señala por la flecha, característico de la especie. En el telio, aunque se ha registrado la presencia de teliosporas hialinas en *P. kuehnii*, de acuerdo con Virtudazo *et al.* (2001) en Colombia, hasta la fecha no se han visualizado en lesiones de roya naranja.

En la **Tabla 1** se presenta un resumen de las principales características que diferencian a ambos patógenos.

Tabla 1. Comparación de las características de la sintomatología y el organismo causal de la roya marrón *P. melanocephala* y roya naranja *P. kuehnii*

Características	Roya marrón	Roya naranja
Localización de las pústulas	Distribuidas en el limbo de la hoja	Tienden a agruparse
Color de las pústulas	Marrón a parduzcas	Anaranjadas
Forma de las pústulas	Alargadas	Estrechadas y más pequeñas
Color de las uredosporas	Naranja parduzcas	Amarillo
Engrosamiento apical	No	Si
Tamaño de las uredosporas	24-44 x 20-30 μm	29-57,5 x 18-34,5 μm

Una nueva roya, conocida en idioma Inglés como “ash rust” o roya ceniza, tentativamente producida por el hongo *P. sparganioides*, ha sido reportada por investigadores de Sudáfrica en el año 2012 atacando la caña de azúcar en diferentes países del Continente Africano (Martin et al., 2012); según los relacionados investigadores, sus síntomas aparecen como lesiones anaranjadas sobre el follaje de las plantas, con la diferencia que las pústulas se observan por el haz y el envés de las hojas.

1.18 Semejanzas y diferencias con otras enfermedades de la caña de azúcar causadas por hongos

Las lesiones de la roya marrón y la roya naranja en caña de azúcar se caracterizan por la presencia de pústulas con apariencia de polvo disperso donde se encuentran las esporas del hongo. Esta característica permite diferenciarlas de otras enfermedades como: mancha café *Cercospora longipes* (Butler), mancha anular *Leptosphaeria sacchari* Breda de Haan y mancha

amarilla *Mycovellosiella koepkei* (Krüger) también causadas por hongos, que se manifiestan porque en las hojas se presentan manchas de coloraciones semejantes a las lesiones por roya (**Figura 17**). No obstante, ninguna de esas enfermedades está asociada con la producción de las pústulas características de las royas. Estas enfermedades fungosas muy comunes en la caña de azúcar en Cuba, ocasionalmente son confundidas por algunos técnicos con los síntomas de roya.

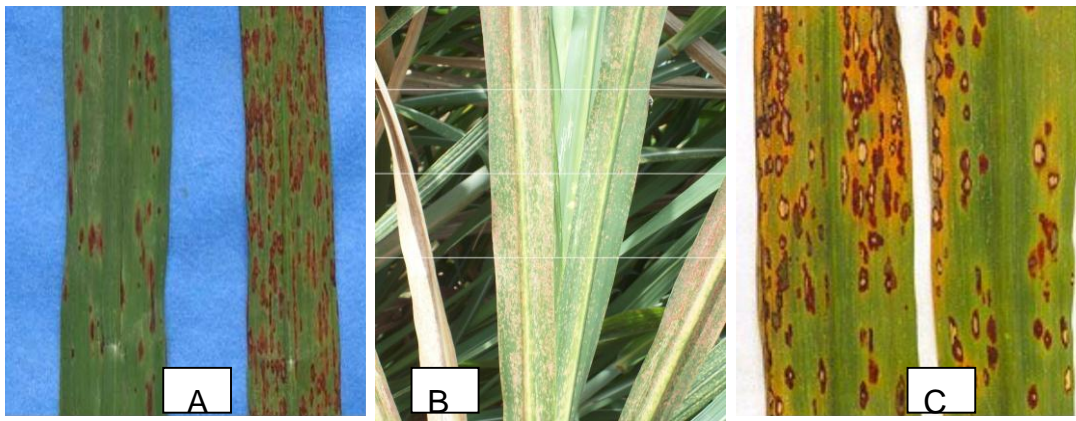


Figura 17. Enfermedades fungosas de la caña de azúcar: A) mancha café *Cercospora longipes* (Butler), B) mancha amarilla *Mycovellosiella koepkei* (Krüger) y C) mancha anular *Leptosphaeria sacchari* Breda de Haan

Sin embargo, la práctica ha demostrado que la enfermedad conocida como *phyllosticta* de la caña de azúcar producida por *Phyllosticta saccharicola* P. Henn es la más confundida con la roya naranja por la semejanza de los síntomas, sobre todo en el color, diferenciándose por la inexistencia de pústulas que caracterizan a *P. kuehnii* (**Figura 18**).



Figura 18. Síntomas producidos por *Phyllosticta saccharicola* P. Henn (Anamorfo de *Leptosphaeria sacchari*. Breda de Haan) en el cultivar DB9627, susceptible; obsérvese en la foto de la derecha dos surcos muy afectados por esta enfermedad, entre dos cultivares que no están afectados. (Fotos Pérez Milián en Panamá).

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Localización del área

Las investigaciones se realizaron en áreas de la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA) “Antonio Mesa Hernández” y de las Unidades Empresariales de Base (UEBs) de la provincia Matanzas. Para el establecimiento de los diferentes ensayos, así como para las evaluaciones en condiciones naturales de la roya naranja, se utilizó el mismo procedimiento que para la roya marrón (INICA, 2011), pues además, las formas de propagación, localización de los síntomas y efectos de ambos patógenos son similares; en este sentido, fueron realizadas las siguientes actividades:

2.2 Establecimiento de ensayos de resistencia

En los meses de septiembre-octubre se plantó un surco de 6 m de longitud de 27 cultivares comerciales; cada dos cultivares se intercaló un surco del cultivar C89-147 infectado por el organismo causal de la roya naranja; además todo el estudio se bordeó con dicho cultivar, a los efectos de garantizar la presión de inóculo suficiente para que los cultivares susceptibles fueran infectados de forma natural.

Otro ensayo, en el cual fueron incluidos los mismos cultivares, fue realizado en condiciones de vivero, esta vez cubriendo con el follaje enfermo del cultivar C95-414 sobre una población de 25 plantas. Las evaluaciones en ambos experimentos se realizaron a los 3, 6 y 9 meses de edad de las plantas durante dos años.

2.3 Evaluación en condiciones naturales

Fue evaluado el desarrollo natural de *P. kuehni* en diferentes áreas. En las primeras etapas fueron priorizadas aquellas áreas donde existía mayor variabilidad genética: Lotes Clonales (segunda etapa del esquema de selección, donde se propagan las posturas seleccionadas por vía agámica en pequeñas parcelas), Colección de Germoplasma (cantidad de variedades, cultivares y géneros afines del complejo *Saccharum*, procedentes de diferentes países y zonas geográficas del mundo, que constituyen los recursos genéticos para el mejoramiento), Bancos de Semilla Categorizadas y experimentos de cultivares.

Los cultivares que fueron detectados con presencia de roya naranja en 2008 fueron considerados como “foco”, y por lo tanto, su evolución fue seguida para determinar el progreso de la enfermedad.

Tanto en condiciones de campo como en vivero, se emplearon los cultivares siguientes:

Co997	B80250	C86-56	C334-64	C90-530
C90-317	C1051-73	C89-147	C120-78	C90-317
C89-156	C88-380	C132-81	C89-147*	Q124*
C86-503	C89-176	C86-12	C85-102	C137-81
C1051-73	SP70-1284	C90-317	C89-147	C87-51
Ja64-11	C89-148	C266-70	B78505	C95-414*

Nota: C89-147* fue empleado como testigo en campo; mientras que C95-414* se empleó como testigo en vivero. Ambos cumplían también con la función de foco de infección. El cultivar Q124* fue utilizado como testigo internacional.

2.4 Metodología empleada en la toma de muestras

En condiciones naturales se establecieron tres estaciones de muestreo en la diagonal del campo y en cada una se evaluaron todas las hojas de 10 plantas al azar, determinando el grado de infección.

En los ensayos se tomaron 10 plantas, evaluando en ellas todas las hojas.

Las muestras se trasladaron hasta el Laboratorio de Fitopatología de la EPICA para su observación y evaluación.

2.5 Metodología empleada en el procesamiento de las muestras

Cada muestra colectada se sometió a una observación detallada, a simple vista primero y seguidamente bajo microscopio estereoscópico, para caracterizar cualquier sintomatología observada. Las hojas con síntomas o signos sospechosos de roya naranja, estando en el Laboratorio de Fitopatología de la EPICA, fueron observadas las uredosporas en un microscopio de luz LEICA con aumento 40x; el tamaño, morfología y color, se compararon con los obtenidos en muestras testigo de roya marrón.

Los caracteres más relevantes se fotografiaron y se conservaron en preparaciones fijas.

2.6 Criterios de evaluación

En aquellas áreas donde se detectó la presencia de *P. kuehni*, se evaluó el desarrollo de la enfermedad mediante el siguiente método (**Tabla 2**).

Tabla 2. Escala para medir la reacción del hospedante a la roya naranja.

Grado	Descripción de los síntomas	Reacción
1	No hay evidencias macroscópicas de la enfermedad	AR
2	Manchas cloróticas y necróticas con pequeñas protuberancias en el envés de la hoja +5 en adelante	R
3	Manchas cloróticas y necróticas de color pardo oscuro y abundancia de pústulas de la hoja + 5 en adelante	INT.
4	Abundantes manchas necróticas que pueden unirse, necrosando gran parte de la hoja; pústulas abundantes en las hojas +2 a +4 y presentes en la +1 y -1 que pueden ocupar el cogollo. El campo tiene una apariencia general de quemado.	S
5	Pústulas grandes (\geq a 8 mm de largo) que se unen formando parches. Puede producirse amarillamiento de las hojas, así como necrosis del tejido.	AS

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Estudio de los síntomas y signos de la roya naranja

Los trabajos realizados en la EPICA para identificar la presencia de la enfermedad, permitió establecer que en el uredinio que contiene las uredosporas procedentes de hojas mostrando síntomas semejantes a la roya naranja, las uredosporas son de color anaranjado claro, de forma generalmente piriforme, con un engrosamiento en la parte apical de la pared, característico de la especie (**Figura 19a**), mientras que en el uredinio procedente de hojas con síntomas auténticos de roya marrón, las uredosporas son de color rojizo-café de forma generalmente ovoide con pared delgada y uniforme, y aunque los parafisos, estructuras hialinas de cuello largo que facilitan la dispersión de las uredosporas con el viento, no se observan con nitidez, el tamaño y color las diferencian con relativa facilidad. (**Figura 19b**)

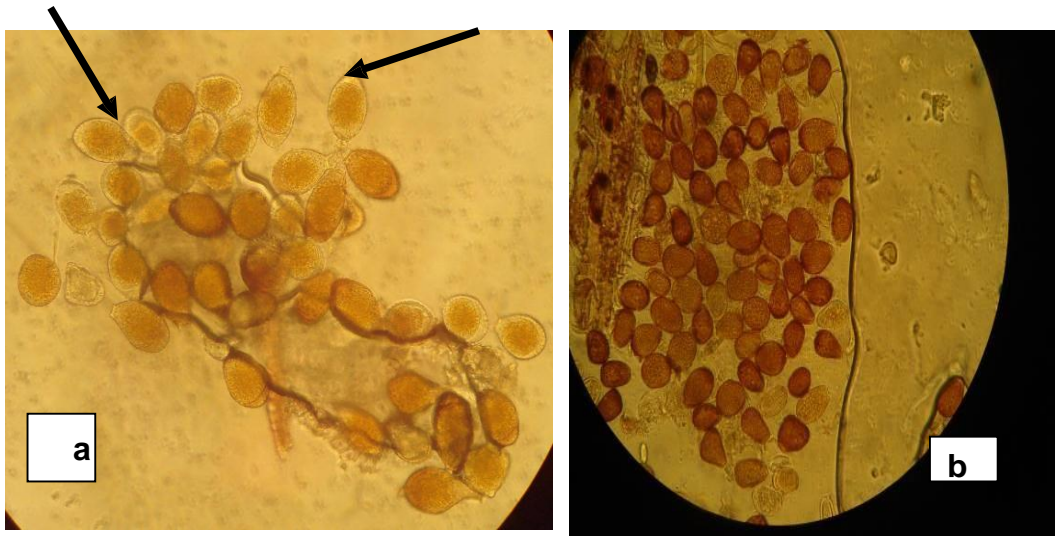


Figura 19. Uredinios conteniendo uredosporas de roya. **a)** roya naranja *P. kuehnii* (Krüger) Butler **b)** roya marrón *P. melanocephala* Sydow y *P. Sydow*. (Fotos tomadas en el Laboratorio de Fitopatología EPICA, Jovellanos en un microscopio de luz LEICA. Tamaño 40x)

En la **Tabla 3** se presentan los resultados del primer chequeo en condiciones naturales en aquellas áreas de mayor variabilidad genética existentes en la EPICA; donde se confirmó la presencia de la enfermedad en la Colección de Germoplasma, sobre genotipos de interés genético, mientras que sólo un

genotipo de interés comercial en Cuba: Co997, presentó pústulas de la roya naranja.

Es de interés el resultado obtenido en dos Lotes de Posturas, cada uno con más de 30 mil genotipos, que no presentaron los síntomas de la enfermedad.

Los cultivares afectados en la Colección de Germoplasma, por tratarse de caña planta y en un área fija o que por lo menos se mantiene durante varios años en el mismo sitio, fue evaluado como un foco de la enfermedad, a partir del cual se estudió el progreso de la infección en función del tiempo, lo cual puede apreciarse en la tabla que se muestra seguidamente.

Tabla 3. Pesquisaje de roya naranja de la caña de azúcar en la EPICA, Jovellanos.

No	Área (ha)	Localización	Cepa	Edad (meses)	Total de genotipos	Genotipos con síntomas
1	1,00	C/G	Planta	4	+ 3 000	11*
2	3,00	Lote Postura 2007	Planta	13	30 000	0
3	1,00	Lote Postura 2008	Planta	3	38 000	0
4	0,25	Experimento estabilidad del patógeno roya	Retoño	3	21	B4362 (roya marrón)
5	0,70	Estudio resistencia progenitores a roya	Retoño	5	349	0
6	1,00	Lote Clonal 1	Planta	2	8 000	0
7	1,50	BSB	Planta	2	30	0
8	0,50	Jardín de cultivares	Planta	1,5	45	0

*Cultivares en la Colección de Germoplasma que han presentado síntomas semejantes a los de la roya naranja: CSG635-83, CP73-1547, L62-124, EROS, N55-805, C174, CSG266-92, CSR37-83, PR1000, Co997 y My5596.

El estudio de la sintomatología de estos mismos cultivares dos años después reflejan una situación aparentemente contradictoria a lo que se debería esperar. Como se expresa en la **Tabla 4**, en nueve de los 11 cultivares con síntomas en grado 3 en 2009, ocho no presentaron los síntomas, mientras que uno: B80488 se incluyó en la lista presentando grado 3.

En la propia **Tabla 4**, los cultivares comerciales C89-147 y C323-68 que en el año 2009, en el Banco de Semilla Registrada [BSR (R-I)] de la UEB Juan Ávila, presentaron grado 3 de la enfermedad, ya en el año 2011 no presentaron síntomas.

En esta misma tabla se observan otros casos que reflejan el mismo comportamiento observado hasta ahora, sin embargo llama la atención el hecho que los cultivares Q124, que sufrió en Australia afectación del rendimiento en más de 40%, y que CP72-2086, hasta la fecha reconocido como el cultivar comercial más susceptible en Centroamérica y México (Milanés, 2008; Davis, 2009) no han presentado síntomas de la roya naranja en la provincia.

Otros resultados reflejados en la tabla en cuestión indican, que el mayor grado de afectación observado fue a partir de la hoja +4 en adelante con la única excepción de Co213 en un reservorio de mosaico, donde presentó abundantes manchas necróticas, gran parte del tejido de la hoja necrosado, con pústulas abundantes en las hojas +2 a +4 (Grado 4). Lo más significativo es que en el mismo periodo del año 2011 este cultivar, en el mismo sitio, no presentó los síntomas de la roya naranja.

Tabla 4. Resultados del estudio del desarrollo de la roya naranja en cultivares de caña de azúcar, según la infección observada en focos de infección desde su aparición en el año 2008.

Cultivares	Foco de infección	Mayor grado de afectación observado en la hoja			
		2009		2011	
		Grado	Hoja + afectada	Grado	Hoja + afectada
PR1000	C/G	3	+4	1	-
L62-124		3	+4	1	-
CSR37-83		3	+4	1	-
N55-805		3	+4	1	-
CSG266-92		3	+5	1	-
CSG635-83		3	+5	1	-
CP73-1547		3	+6	1	-
Co997		3	+5	1	-
B80848		1	-	3	+5
Co997	Estudio en foco de infección	3	+5	1	-
C90-317		3	+5	1	-
C88-380		3	+5	1	-
C89-147	R-I Juan	3	+4	-	-
C323-68	Ávila	3	+4	-	-
Co213	Reservorio de mosaico	4	+3	1	-
Cultivares patrones susceptibles en otras áreas cañeras del mundo					
Q124	C/G	1	-	1	-
CP72-2086		1	-	1	-

Entre las causas que pueden estar influenciando el comportamiento tan inestable de la enfermedad, pudieran numerarse las siguientes:

- ✚ **Influencia de las condiciones ambientales:** Entre otros autores (Barrantes y Chavarría, 2009), han escrito que los síntomas de la roya naranja son más frecuentes y severos en época calurosa y de lluvias. Sin embargo los resultados en Cuba y en la provincia han demostrado que durante el periodo seco y fresco la enfermedad se observa con mayor frecuencia, con una tendencia a desaparecer durante el periodo lluvioso.
- ✚ **Resistencia de los cultivares:** Pérez (datos no publicados), ha planteado que aunque la roya naranja ha sido reportada recientemente en nuestro hemisferio, es posible que anteriormente hubo algunos intentos del patógeno por vulnerar la vigilancia, pero que con la existencia en todos los países del área de programas de obtención de cultivares resistentes a la roya marrón, algún genotipo con síntomas de roya naranja puede haber sido eliminado en etapas tempranas.
- ✚ **Variabilidad o surgimiento de nuevas razas del patógeno:** hasta la fecha muy poco se ha dicho respecto a la variabilidad del patógeno, sin embargo, evidencias circunstanciales indican que existe la posibilidad de que nuevas razas del patógeno hayan surgido. En Australia, el cultivar Q47, exhibió los síntomas de la enfermedad por muchos años, sin embargo cuando surgió la epifitias que afectó seriamente el cultivar Q124 en el país, el primero mantuvo sus niveles de infección históricos, por lo que el surgimiento de la epidemia fue causada, según Braithwaite (2005) por la aparición de una nueva raza del patógeno.

- ✚ **Baja concentración de esporas en el ambiente:** independientemente de las diferentes hipótesis o criterios en relación con el desarrollo o nivel de virulencia actual mostrado por *P. kuehnii* (Pérez et al., 2008), es obvio que aún la concentración de esporas en el ambiente es insuficiente para provocar una gran epifitía de roya naranja en Cuba.

3.2 Estudios en foco de infección con cultivares comerciales cubanos

Los cultivares detectados en condiciones naturales presentando pústulas de roya naranja, C89-147, evaluado con grado 3 (Intermedia) y C95-414, evaluado como susceptible en condiciones naturales (Grado 4), fueron utilizados como fuente de inóculo, para prueba de resistencia con cultivares comerciales en campo y vivero, respectivamente. Los resultados obtenidos en las dos pruebas realizadas se presentan en la **Tabla 5**.

Como se observa en la tabla, los testigos (fuente de inóculo) empleados, presentaron en las condiciones de la EPICA resultados similares, según la escala, al comportamiento observado en condiciones naturales, aunque en estas condiciones la intensidad de la enfermedad en ambos cultivares, fue mayor que los estudios en condiciones experimentales.

El cultivar Q124, tampoco presentó ninguna afectación por la enfermedad (Alfonso et al., 2000), aspecto este que aún no contamos con resultados suficientes para discernir si la situación está siendo influenciada por el ambiente, o si estamos en presencia de un nuevo biotipo del patógeno.

Tabla 5. Resultados de la prueba de “foco de infección” en campo de cultivares comerciales frente a la roya naranja de la caña de azúcar.

Cultivares	Grado de infección				Cultivares	Grado de infección			
	Cpo	R	Vro	R		Cpo	R	Vro	R
Co997	1	AR	1	AR	C132-81	1	AR	1	AR
C90-317	1	AR	1	AR	C86-12	1	AR	1	AR
C89-156	1	AR	1	AR	C90-317	1	AR	1	AR
C86-503	1	AR	1	AR	C266-70	1	AR	1	AR
C1051-73	2	R	2	R	C334-64	1	AR	1	AR
Ja64-11	1	AR	1	AR	C120-78	1	AR	1	AR
B80250	1	AR	1	AR	C85-102	1	AR	1	AR
C88-380	1	AR	1	AR	C95-414	No prueba		4	S
C89-176	2	R	2	R	B78505	1	AR	1	AR
SP70-1284	1	AR	1	AR	C90-530	1	AR	1	AR
C89-148	1	AR	1	AR	C90-317	2	R	2	R
C86-56	2	R	2	R	Q124**	1	AR	No prueba	
C89-147	3	I	2	R	Leyenda: Cpo=Campo Vro=Vivero R=Reacción				

Un estudio similar, con cultivares cubanos o de importancia comercial en Cuba, fue realizado en Panamá, empleando como **foco de infección** el cultivar SP74-8355, el cual ha mostrado susceptibilidad a la enfermedad en las condiciones de aquel país. En la **Tabla 6** se muestran los resultados de este estudio, apreciándose que, al igual que lo sucedido en las condiciones de la EPICA, los cultivares que se repiten en ambas localidades se manifestaron de forma similar, destacándose entre estos resultados, que los cultivares C89-176 y C89-147 se comportaron como resistente en Cuba e intermedia en Panamá la primera, mientras que C89-147 resultó resistente en Panamá e intermedia en Cuba.

Tabla 6. Reacción de cultivares comerciales y/o cultivados en Cuba, plantados en foco de infección de roya naranja en Panamá.

No.	Cultivares	Grado de afectación
1	Ja60-5	3
2	C137-81	1
3	C86-12	1
4	C86-156	2
5	C86-456	1
6	C86-503	1
7	C89-147	2
8	C89-148	1
9	C89-176	3
10	C89-250	1
11	C90-316	1
12	C90-317	1
13	C90-469	1
14	C90-530	1
15	C93-350	1
16	C78-505	1
17	C86-56	1
T	SP74-8355	4

Cultivares foráneos de importancia comercial en Cuba

18	SP70-1284	1
19	Co997	1
20	B79505	1

Los estudios en ambas localidades también reflejan el hecho de que Co997 presentó en el año 2009 grado 3 de infección frente a roya naranja en condiciones naturales (**Tabla 4**), sin embargo en condiciones de foco de infección no presentó síntomas de la enfermedad en ninguna de las dos localidades.

3.3 Dinámica del comportamiento de los diferentes grados de infección de la roya naranja según la edad de las hojas

Se estudió la dinámica de presencia de pústulas de roya naranja en los patrones C89-147 y C95-414, empleados como foco de infección para los experimentos, tomando como referencia los resultados obtenidos de la medición de 25 hojas de cada uno de los valores (+1 a la +7) en el periodo en que mayor infección presentaron. Los resultados obtenidos se presentan en la **Figura 20**.

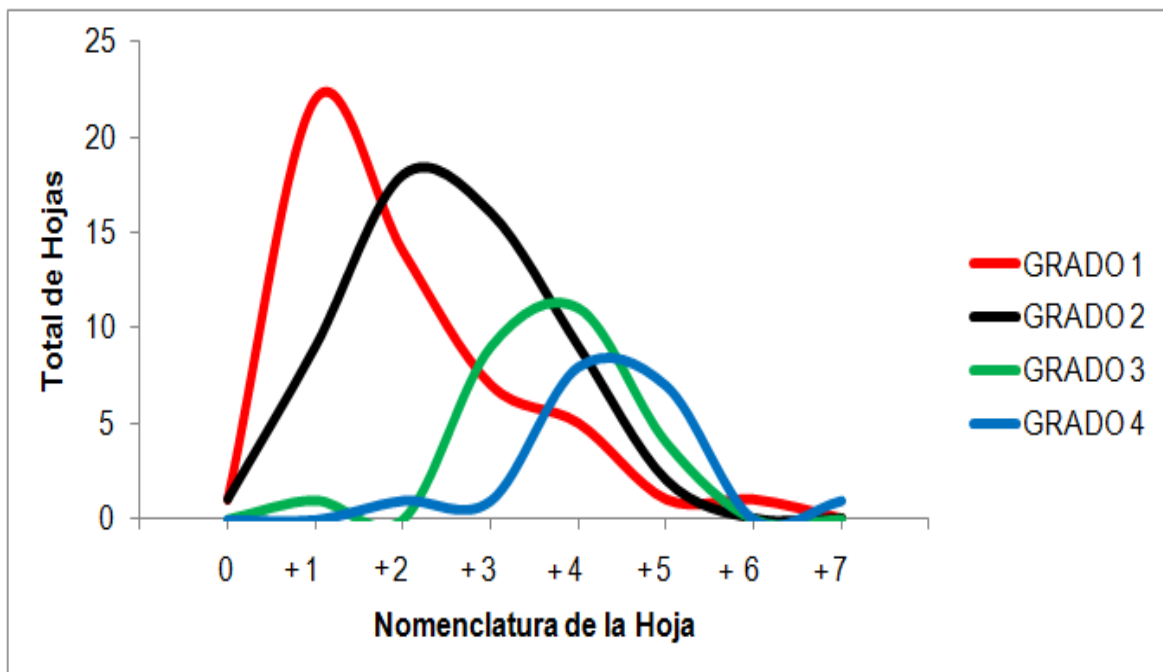


Figura 20. Dinámica de presencia de pústulas, grados de afectación de la roya naranja, en cultivares empleados como focos de infección de la enfermedad.

Los niveles diferentes de afectación en el follaje de los cultivares estudiados, muestran que el menor grado de afectación se presenta entre las hojas +1 y +2, mientras que a partir de éstas comienza a aumentar y sólo se observa la mayor frecuencia de los valores 3 y 4 de la escala entre las hojas +4 y +5.

Estos resultados indican que aún los cultivares más susceptibles encontrados en los estudios presentan la mayor acumulación de pústulas en las hojas más viejas. En las **Figuras 21** y **22** se presenta la manifestación de los síntomas que generalmente ha sido observada en la provincia Matanzas.



Figura 21. Abundantes pústulas de roya naranja en la hoja +3 del cultivar C95-414 en la R-I de la UEB René Fraga de Matanzas.



Figura 22. Presencia de pústulas características de la roya naranja en la hoja +3 del cultivar C89-147, en semilla R-I de la UEB René Fraga de Matanzas.

IMPACTO ECONÓMICO

4.1 Impacto económico esperado para la roya naranja

Tomando como base las experiencias adquiridas con la aparición y desarrollo posterior de la roya marrón en Cuba, se puede concluir que las pérdidas ocasionadas por dicha enfermedad en la producción de caña son variables. En algunos países se consideraba que era una afección sin importancia económica; en el caso de Cuba por el contrario, se estima que durante la zafra de 1980 fue responsable de la pérdida de 1 300 000 toneladas de azúcar, además de ocasionar la proscripción de numerosos cultivares comerciales con amplios perfiles de adaptabilidad a las condiciones suelo-climáticas del país.

A pesar de que la detección de la roya naranja en la Provincia es un hecho muy reciente, existe el criterio que sus daños son aún imperceptibles, debido a que los valores de susceptibilidad observados en los cultivares comerciales no son altos, desde el punto de vista epidemiológico. No obstante, es necesario concederle importancia potencial, por cuanto la concentración de inóculo en el ambiente aumenta a partir de la liberación de uredosporas cuando se abren las pústulas, lo cual pudiera contribuir al aumento de la enfermedad, en función del tiempo.

CONCLUSIONES

- 1) En la provincia de Matanzas no se han observado pérdidas por roya naranja y la mayoría de los cultivares comerciales probados han presentado niveles aceptables de resistencia.
- 2) Sobre los cultivares Q124 y CP72-2086 no se han observado síntomas en nuestro país, a pesar de que se encuentran entre los más infectados en otros países; mientras que el cultivar C95-414 mostró susceptibilidad ante el desarrollo de la enfermedad.
- 3) De forma general, la roya naranja mostró mayor incidencia en los meses de octubre en adelante en el período 2009, coincidiendo con lo observado hasta la fecha en el Territorio Matancero.
- 4) La presencia de la enfermedad ha mostrado inestabilidad en el tiempo, a partir del monitoreo estacionario en el Germoplasma y otras áreas con alta variabilidad (Lotes Clonales, Bancos de Semillas Categorizadas, Experimentos de cultivares), lo cual debe tenerse en cuenta al determinar la severidad.
- 5) La dinámica de aparición de las pústulas en los genotipos más susceptibles aumenta a medida que las hojas son más viejas (+ 4 en adelante), elemento de gran importancia al evaluar la resistencia de los cultivares.

RECOMENDACIONES

- 1) Continuar monitoreando aquellas áreas que, como la Colección de Germoplasma, puedan servir como referencia para medir la evolución futura de la enfermedad.
- 2) Mantener dentro del área de la EPICA, bancos con los cultivares C89-147 y C95-414, que permitan su observación sistemática, con el objetivo de evaluar el progreso de la enfermedad en el tiempo.
- 3) Realizar estudios para determinar si el biotipo de *P. kuehnii* (Krüger) Butler presente en Cuba es diferente al identificado en otros países de la Región.
- 4) Continuar empleando la metodología utilizada en el presente Trabajo de Maestría, para discriminar los genotipos que resulten susceptibles a la roya naranja.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Baky, N. F.; Arafat, S.; Nehal, A. y Abdel-Shalam, H. 2008. Three *Cladosporium* spp. as Promising Biological Control Candidates for Controlling Whiteflies (*Bemisia* spp.) in Egypt. (1):188-195.
- Aday, O. C.; Morales, M.; Barroso, F. J.; China, A.; Rodríguez, M.; Pineda, E.; Suárez, H. J.; Díaz, F. R. y Gómez, J. D. 2006. Fitocaña. Catálogo de plagas y enfermedades de la caña de azúcar en Cuba, en formato HTML. XV Congreso Científico INCA; ISBN 959-7023-36-9: 131.
- Agrios, G. N. 2005. Plant Pathology. Fifth edition. Elsevier. 922p.
- Alexopoulos, C. J. 1964. Introductory Mycology. Second edition. John Wiley & Sons, Inc. 611p.
- Alfonso, Isabel.; Pérez, J. R.; La O, María.; Rodríguez, Eida. y Rodríguez, Mérida. 2008. Roya naranja en caña azúcar: alerta fitosanitaria para el Caribe. En: Actas del VI Seminario Científico Internacional de Sanidad Vegetal. Palacio de las Convenciones. Sept. La Habana, Cuba. 22-26.
- Alfonso, I.; Cornide, T.; Sandoval, J.; Rodríguez, I.; Ojeda, E. y Villena, J. 2000. Sistema evaluativo de la resistencia a las principales enfermedades de la caña de azúcar en Cuba. Roya *Puccinia melanocephala* H. y P. Sydow, *Rev. Cuba Caña*, Número Especial, La Habana, 33-42.
- Anderson, D. L.; Raid, R. N.; Irey, M. S. y Henderson, L. J. 1990. Association of sugarcane rust severity with soil factors in Florida. *Plant Dis.* 74:683-686.

- Ángel, J. C.; Cadavid, M. y Victoria, J. I. 2010. Presencia de roya naranja (*Puccinia kuehni*) en el Valle del Cauca y estrategias para su manejo. Primer informe de avance. CENICAÑA, Cali, Colombia. Disponible en: http://cenicana.org/pdf/documentos_de.../doc_trabajo_175.pdf. [Consultado: 25 abril 2012]
- Ángel, S.; Cadavid, O.; Marcela, Jorge.; Victoria, J. I. 2010. Carta trimestral. Alerta fitosanitaria roya naranja en el Valle del río Cauca. Enero-Junio. Vol. 32. Nos. 1-2.
- Ángel, J. C.; Cadavid, M. y Victoria, J. I. 2010a. Presencia de roya naranja (*Puccinia kuehni*) en el Valle del Cauca y estrategias para su manejo. Primer informe de avance. CENICAÑA, Cali, Colombia. 13p.
- Ángel, J. C.; Cadavid, M. y Victoria, J. I. 2010b. Alerta fitosanitaria, roya naranja en Valle del río Cauca. CENICAÑA, Cali, Colombia. Carta trimestral, v.32, (enero-junio): 2-3.
- Anónimo. 2008. Aparecimiento de la Enfermedad roya naranja (*Puccinia kuehni*) en el Cultivo de Caña de Azúcar en Guatemala.
- Anónimo. 2008a. Informe sobre resultados del estudio acerca de la roya naranja (*P. kuehni*) en las plantaciones comerciales de caña de la Región Sur Colombia. 19 p.
- Anónimo. 2003. Roya, enfermedad de importancia económica. Centro de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Colombia. CENICAÑA; 2003-2008. Disponible en: <http://www.cenicana.org> [Consultado: 28 abril 2012].

- Anthony, P. K. 2008. Plant diseases. Published by The American Phytopathological Society. Disponible en: <http://apsjournals.apsnet.org/loi/pdis?cookieSet=1> [Consultado: 23 mayo 2012].
- Arteaga, Soria.; Pérez, L. A. y Cupull, S. R. 1988. Estudio sobre el micoparásito de la roya *Darluca filum* Cast en caña de azúcar. Centro Agrícola; 15(4):23-29.
- Asnaghi, C., D'Hont, A.; Glaszmann, R. R. 2001. Resistance of sugarcane cultivar R570 to *Puccinia melanocephala* isolates from different geographic locations. Plant Dis; 85:282-286.
- Atieza C. S., Quimio A. J. 1982. Reactions to rust of sugarcane clones and varieties. Sugarcane Pathologists Newsletter; 29:3-10.
- Badilla, F. 2002. Un programa exitoso de control biológico de insectos plagas en la caña de azúcar en Costa Rica. Revista Manejo Integrado de Plagas y Agroecología. No.64: 77-87.
- Barbasso, D.; Jordao, H.; Maccheroni, W.; Boldini, J.; Bressiani, J. y Sanguino, A. 2010. First report of *Puccinia kuehnii* causal agent of orange rust of sugarcane, in Brazil. Plant Disease 94 (9):1170.
- Barrantes Mora, J. C y Chavarría Soto, Erick. 2009. Acciones estratégicas y en proceso como respuesta para enfrentar el ataque de la Roya Naranja en la costa sur, Dirección de investigación y extensión de la caña de azúcar, LAICA, Costa Rica, Informe: 20 pp. <http://www.cengicaña.org/Portal/> [Consulta: 14 junio 2012].

- Braithwaite, K. S. 2005. Final Report-SRDC Project BSS258 Assessing the Impact That Pathogen Variation Has on the Sugarcane Breeding Program, Sugar Research and Development Corporation, BSES, Australia.
- Cadavid Ordóñez, M., Ángel Sánchez, J. C y Victoria, J. I. 2010. Métodos de diferenciación en campo y laboratorio de los agentes causales de la roya café *Puccinia melanocephala* y roya naranja *Puccinia kuehnii* en la caña de azúcar. Carta Trimestral, N^{os} 3 y 4.
- Cassalet, D. C. y Rangel, J. H. (s.f.). Mejoramiento genético. CENICAÑA. Cali, Colombia. 18 pp.
- CENGICAÑA. 2008. Plan de acción por la presencia de la roya naranja en la variedad CP72-2086 en Guatemala. Disponible en: www.cengicana.org/. [Consultado: 30 marzo. 2012].
- Comstock, J., Glynn, N. C.; and Davidson, R. W. 2012. Sugarcane Orange Rust: its history and impact in Florida. International Society of Sugarcane Technologist, 10th Pathology Workshop. 7 – 11 mayo de 2012 (Resume).
- Comstock, J. C.; Sood, S. G.; Glynn, N. C.; Shineii, J.; McKemy, J. M.; Castlebury, L. A.. 2008. First Report of *Puccinia kuehnii* Butler, Causal Agent of Orange Rust of Sugarcane in the United States and Western Hemisphere, *Plant Disease* 92 (1):175, EE. UU.
- Comstock, J.; Sood, S.; Glynn, N.; Mckemy, J. y Castlebury, Lisa. 2007. First report of *Puccinia kuehnii*, causal agent of Orange Rust of Sugarcane, in the United States and Western Hemisphere. October15. Disponible en:http://www.ars.usda.gov/research/publications/publications.htm?seq_no_115_214496. [Consultado: 18 abr. 2012].

- Comstock, J. C. y Ferreira, S. A. 1986. Sugarcane rust: Factors affecting infection and symptom development. In: Proceedings of International Society of Sugarcane Technologists Congress. Jakarta, Indonesia. 21-31 Aug; 19: 402-410.
- Cuéllar, I. A.; Villegas, R. y De León, M. E. 2002. Álvaro Reynoso: 140 años después. La Habana, 12-17.
- Chavarría, E.; Subirós, F.; Vega, J.; Ralda, G.; Glynn, N. C.; Comstock, J. C. and Castlebury L. A. 2009. First report of Orange Rust of sugarcane caused by *Puccinia kuehnii* in Costa Rica and Nicaragua. Plant Disease 93(4):425.
- Chavarría, E. 2008. La roya de la caña de azúcar», informe de la Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (Laica), presentación Power Point para reunión con gerentes de ingenios, Costa Rica, abril, <http://www.cengicaña.org/Portal/> [Consulta: 4 mayo 2012].
- Chaves Solera, M. 2008a. Circular No 06-2008. San José, Costa Rica, DIECA-LAICA. 20 de mayo.1 p.
- Chaves Solera, M.; Barrantes Mora; J. C.; Angulo Marchena, A.; Rodríguez Rodríguez, M.; Villalobos Méndez, C.; Bolaños Porras, J.; Calderón Araya, G.; Araya Vindas, A. 2008d. Informe Técnico: Análisis de la disminución de la producción agroindustrial de azúcar de Costa Rica. Zafra 2007/2008. San José, Costa Rica, LAICA-DIECA, octubre.95 p.
- Chenulu, VV. 1954. Rust on Co876 a cultivated variety of sugarcane; 2:331-332.

- China, M. A.; Pérez, G.; Naranjo, F.; Abrantres, I. y otros. 2007. Síntesis histórica de la Estación Experimental de la Caña de Azúcar de Jovellanos “Antonio Mesa Hernández”, 1947-2007. CD-ROM, ISSN1028-6527, 82 pp.
- Davis, R. M. 2009. First report of orange rust of sugarcane caused by *Puccinia kuehnii* in México, El Salvador y Panamá. *Plant Disease* 93(12): 1347 (Abstract).
- Díaz, O. A.; Barroso, F. J.; Díaz, F. Martín, E. L.; Pérez, L.; Alfonso, I.; Pérez, J. y Barroso, J. 2010. Presencia de la roya naranja *Puccinia kuehnii* (Krüger) Butler en áreas experimentales de caña de azúcar de la región central de Cuba. *Fitosanidad* 14(2):83-89.
- Díaz, Maricela; Hernández, Silvia. y Fric, F. 1996. Actividad Enzimática de Quitinasas y Proteasas en la interacción Roya-Caña de Azúcar. *Rev. Protección Veg.*; 11(1):26.
- FAO-STAT. 2012. Sugar cane area harvest, 2010. FAO Statistic Division. Disponible en <http://faostat.fao.org> [Consulta: 9 junio 2012].
- FAO-STAT, It.2002. Datos agrícolas: Cultivos primarios caña de azúcar (en línea). Roma, It. Disponible en: <http://apps.fao.org/page/from?collection=Production.Crops.Primary&Domain=Production&servlet=1&language=ES&hostname=apps.fao.org&version=default> [Consultado 22 septiembre 2012]
- Flores, R. C.; Loyo, J. R.; Ojeda, R. A.; Rangel, C. A.; Cerón, F.A.; Márquez, W.; Guerra-Moreno, A. S.; Hernandez-Ibarra, H. M.; González, R. E.; Castlebury, L. A.; Dixon, L. J.; Glynn, N. C.; Comstock, J. C.; Flynn, J. and Amador, J. 2009. First report of Orange Rust of sugarcane caused by *Puccinia kuehnii* in Mexico, El Salvador and Panama. *Plant Disease* 93(12):1347.

- Glynn, N. C. 2012. Breeding for Resistance to Orange Rust of Sugarcane Caused by *Puccinia kuehnii*. American Phytopathological Society Abstracts. P175.
- Hsieh, W. H. y Fang, J. G. 1983. The uredospore production of *Puccinia melanocephala* and *Puccinia kuehnii* in sugarcanes. Plant Prot Bull. (Taiwan); 25(4):239-244.
- Hsieh, W. H.; Lee, ChS Chan, S. I. 1977. Rust Disease of sugarcane in Taiwan: the causal organism *Puccinia melanocephala* Sydow. Taiwan Sugar; 24(5):416-420.
- Hughes, C. G., Abbott, E. V. y Wismer, C. A. 1964. Sugarcane diseases on the world. Revolutionary Edition. Book's Institute. Second Part.
- Infante, D.; Martínez, E. y González, H. 2009. *Puccinia kuehnii* (Krüger) Butler y *Puccinia melanocephala* H. Sydow & P. Sydow en el cultivo de la caña de azúcar. Rev. Protección Veg. Vol. 24. No. 1:22.28.
- Jorge, H.; Jorge, I. y otros, INICA 2011: Normas y Procedimientos del Programa de Fitomejoramiento de la Caña de Azúcar en Cuba: ISSN 1028-6527: pp. 179-182.
- Koike, H. L.: 1988. *Sugar Cane Diseases. A Guide for Field Identification*, FAO, Roma, Italia.
- Liu, L. J. 1980. Evaluation of sugarcane for resistance to rust in Puerto Rico and in the Dominican Republic. In: Proc. Int. Soc. Sugarcane; 17:1387-1392.
- Loma Osorio, E. 2000. Estudio de la Agroindustria agroalimentaria en Honduras: Opciones de cooperación técnica y empresarial. IICA, AESI. San José, Costa Rica. 147 p.

- López, A. 2008. La importancia de las royas (Fungi: Uredinales) en la agricultura y silvicultura en México. Disponible en: <http://www.uv.mx/institutos/forest/foresta/num1/roya.htm> [Consultado: 21 abr. 2012].
- López, Rosemary. 2002. Bases Bioquímicas- Moleculares de la Respuesta de Defensa de la Caña de azúcar (*Saccharum* spp.) a *Puccinia melanocephala* H & P. Sydow. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas. Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA).
- Magarey, R.; Staier, T.; Bull, J.; Croft, B. y Willcox, T. 2005. The Australian Sugarcane Orange Rust Epiphytotic, ISSCT, Proceedings XXV Congreso, Guatemala, pp. 648-653.
- Magarey, R. C. 2000. Orange rust. In: A guide to sugarcane diseases. Rut P, Roger A, Bailey JC, Comstock BJ, Croft A, Salem S, Editors. Chapter II, p. 121-125.
- Martin, L., McFarlane, S. y Rutherford, S. 2012. Update on New Rust infecting sugarcane. South African Sugarcane Research Institute. The Link – January, Reprinted.
- Milanés, N. 2008: Información sobre enfermedades de la caña "Actualización sobre la Roya Naranja". Revista ATAM, vol. 15, N° 1, pp.22.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. 1991. Aspectos técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica. Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola. San José, Costa Rica.

- Navarro, L. A. 2008. Plagas emergentes de plantas que han afectado el hemisferio americano y nuevas amenazas: impacto económico y factores que han contribuido a las mismas. Centro Nacional de Sanidad Vegetal. República [de Cuba. Disponible en: <http://www.uaslp.mx/PDF/4155-1482.pdf>. [Consultado: 15 marzo 2012].
- Newton, W. 2007. Detecciones de roya de la caña de azúcar, *Puccinia kuehnii*, en el condado de Palm Beach, Florida, Estados Unidos NAPPO Phytosanitary Alert System. Disponible en: <http://www.pestalert.org/espanol/oprDetail.cfm?oprID=270>. [Consultado: 17 abr. 2012].
- Ovalle, W.; Orozco, H.; Fong, E. y García, S. 2010. The effect of orange rust (*Puccinia kuehnii*) on sugar yield in six sugarcane varieties in Guatemala. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol., Vol. 27. 2010.
- Ovalle, W.; Orozco, H.; Quemé, J.; Melgar, M. y García, S. 2009. La roya naranja en Guatemala y estrategias para su manejo. Disponible en: <http://www.SugarJournal.com> [Consultado: 17 abr. 2012].
- Ovalle, W.; Comstock, J. C.; Glynn, N. C. and Castlebury, L. A. 2008. L.A. First report of *Puccinia kuehnii*, causal agent of Orange Rust of sugarcane, in Guatemala. Plant Disease 92(6):973.
- Ovalle, Werner.; Orozco, H.; Queme, J. L. y Melgar, M. 2007. Avances del plan de acción por la presencia de la roya naranja en la variedad CP72-2086 en Guatemala, ppt.
- Patade, V. Y.; Suprasanna, P. and Bapat, V. A. 2008. Gamma irradiation of embryogenesis callus cultures and in vitro selection for salt tolerance in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). Agriculture Sciences in China. Plant Cell Culture Technology Section. 7, 9: 1147-1152.

- Pérez, L.; Martín, E. L.; Barroso, F.; Martínez, E.; Borrás, O. y Hernández, I. 2009. Definitive Identification of Orange Rust of Sugarcane Caused by *Puccinia kuehnii* in Cuba. *New Disease Report*, vol. 20.
- Pérez Milián, J. R. 2012. Desarrollo alcanzado por la roya naranja de la Caña de Azúcar, Diversificación 2009, La Habana, ppt.
- Pérez Milián, J. R.; Alfonso Terry, Isabel.; Estrada Martínez, M. E.; Suárez, H. J.; Rodríguez, Mérida. 2008. Roya naranja de la caña de azúcar *Puccinia kuehnii* (Krüger) Butler: una peligrosa enfermedad que amenaza Cuba, Revista ATAC, En Prensa.
- Pérez Milián, J. R. 2008. Roya naranja en SP74-8355 en áreas de la Compañía Azucarera La Estrella S.A, (CALESA), Panamá: Informe de consultoría, 20 pp.
- Purdy, L. H.; Liu, J. L. y Dean, J. L. 1983. Sugar Rust, a Newly Important Disease. *Plant Dis.*; 67(11):1.
- Purdy, L. H, Dean, J. L. 1983. Rust, an old disease with new importance in Sugarcane. *Sugar y Azúcar*; 78(12):30-32.
- Raid, R. N. y Sullivan, S. 2000. Common rust. In: A guide to sugarcane diseases. Rott P, Roger A, Bailey JC, Comstock BJ, Croft A, Salem S, Editors. Chapter I; p. 85-89.
- Ryan, C. C. and Egan, B. T. 1989. Rust. Chapter XIII pages. 189-202. In: *Diseases of Sugarcane*.
- Sandoval, Ileana. 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).

- SRA _ LGAREC. 2002. Agricultural Research and Extension Center .La Granja. Disponible en: <http://e-sra.org/lgarec/departments.php?page=includes/departments/grides/pest/table5>. [Consultado: 13 mayo 2012].
- Victoria, J. I.; Guzmán, M. L. y Ángel, J. C. 2007. Enfermedades de la caña de azúcar en Colombia. CENICAÑA; 29(1):265-293.
- Victoria, J. I.; Guzmán, M. L. y Ángel, J. C. 1995. Enfermedades de la caña de azúcar en Colombia. Págs. 265-293. En: C. Cassalet, J. Torres y C. Isaacs. (eds.) El cultivo de la caña de azúcar en la zona azucarera de Colombia. CENICAÑA, Cali, Colombia.
- Victoria, J.; Moreno, C. y Casslett, C. 1990. Genotype environment interaction and its effect on sugarcane rust incidence. Sugarcane; 4:13- 17.
- Victoria, J. I.; Moreno, C. y Casslett, C. 1988. Interacción genotipo-ambiente y su efecto en la incidencia de la roya de la caña de azúcar. CENICAÑA, 19 pág.
- Victoria, J. I.; Ochoa, B. O. y Gómez, Y. J. 1984. La roya de la caña de azúcar en el valle de Cauca: diseminación y efecto en la producción. En: Actas del Congreso de la Sociedad de Colombia de Técnicas de la caña de azúcar. Colombia. 28-30 Nov.
- Virtudazo, E. V.; Nojima, H. y Kakishima, M. 2001. Taxonomy of *Puccinia* Species Causing Rust Diseases on Sugarcane, *Rev. Mycoscience* 42:167-175, Japón.
- Whittle, A. 1978. A report of rust of Dominican Republic and Florida-West Indies: Central Sugarcane. Breeding Station. July.

ANEXOS

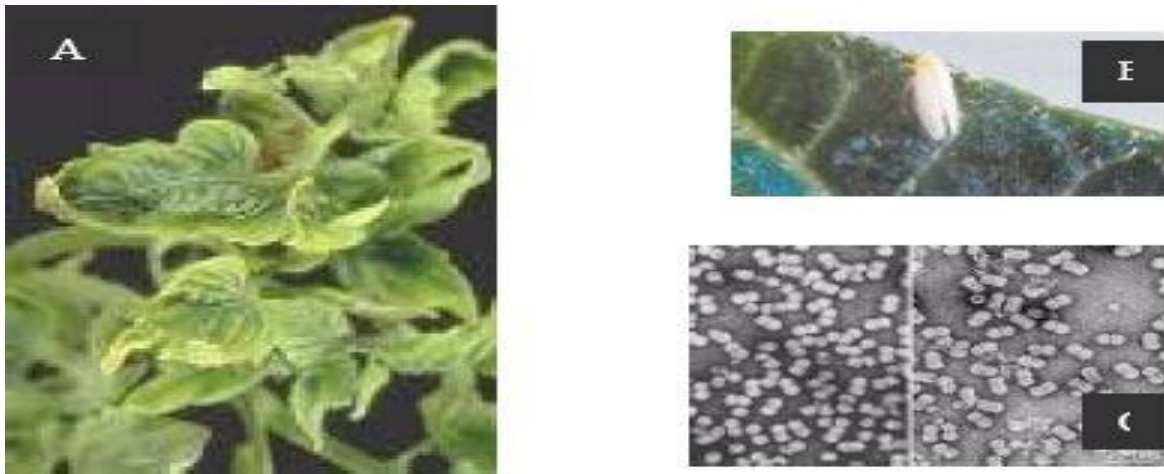


Figura 1. Síntomas de la infección del Virus de la cuchara del tomate: (A) Planta de tomate (B) Vector de transmisión del virus *Bemisia tabaci* (C) Partículas del Virus de la cuchara vistas al microscopio electrónico.

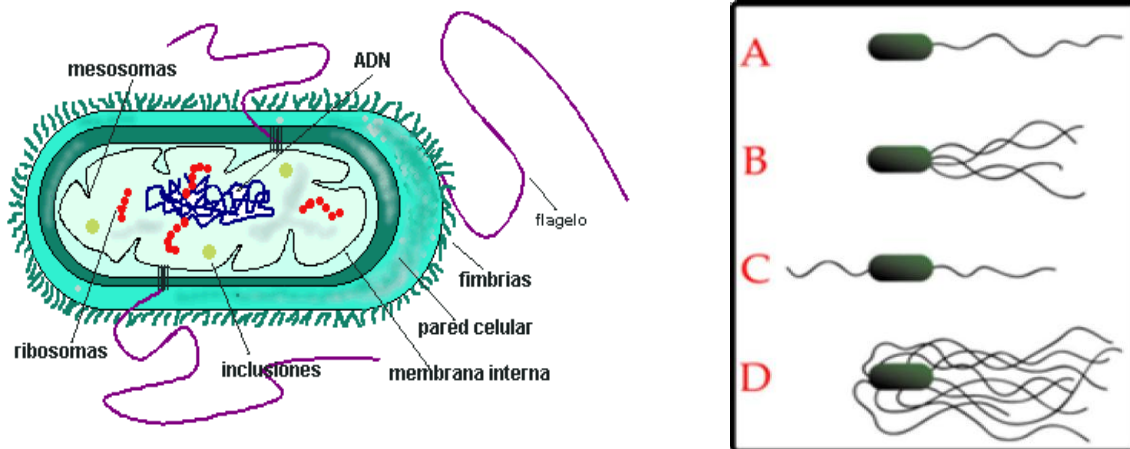
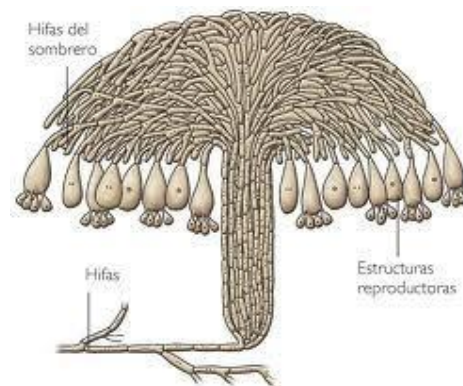
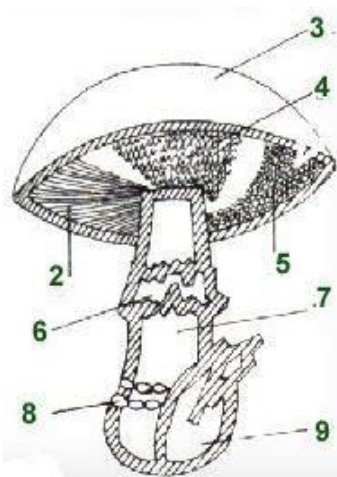


Figura 2. Estructura general de una bacteria (Izquierda) y derecha, diferentes tipos de disposición de los flagelos bacterianos: A) Monotrico, B) Lofotrico, C) Anfotrico y D) Peritrico.



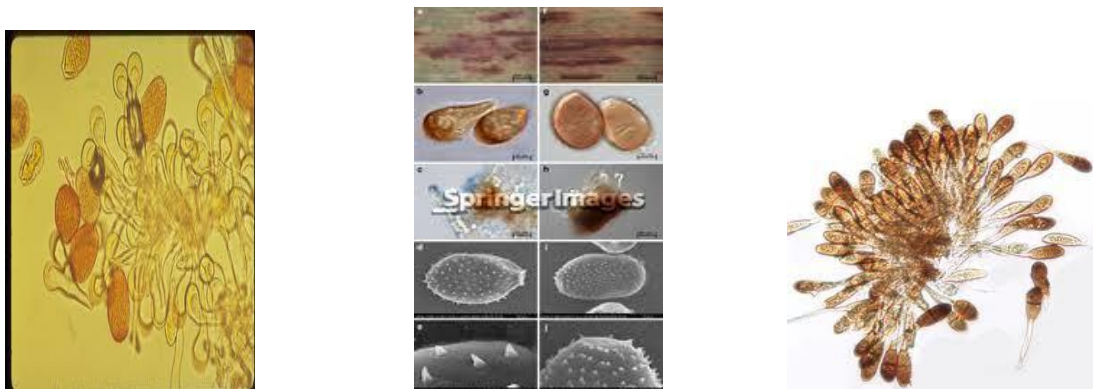
Figura 3. Hongo conocido como Oidio *Oidium euonymi*, izquierda, que ataca diferentes especies; enfermedad *fumagina* (*Fumago* sp.) en cítricos, centro, y, derecha, pudrición roja del tallo en caña de azúcar *Colletotrichum falcatum* Went.



Leyenda

- | | |
|---------------|-------------------------|
| 2- Laminillas | 6- Anillo |
| 3- Sombrero | 7- Estípite |
| 4- Acúleos | 8- Residuos de la volva |
| 5- Poros | 9- Volva membranosa |

Figura 4. Representación gráfica de un hongo de sombrero, muy común en la naturaleza, y sus estructuras fundamentales.



P. melanocephala Sydow *P. kuehnii* Krüger (Butler) *P. sparganioides* Ellys & Tracy

Figura 5. Uredinios de las diferentes especies de roya que atacan la caña de azúcar; obsérvese diferencias entre ellas.