

VOL X

AGRÁRIAS

PESQUISA E INOVAÇÃO NAS CIÊNCIAS QUE
ALIMENTAM O MUNDO

EDUARDO EUGÊNIO
SPERS
(Organizador)

 EDITORA
ARTEMIS

2023

VOL X

AGRÁRIAS

PESQUISA E INOVAÇÃO NAS CIÊNCIAS QUE
ALIMENTAM O MUNDO

EDUARDO EUGÊNIO
SPERS
(Organizador)

 EDITORA
ARTEMIS

2023



O conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons Atribuição-Não-Comercial NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0). Direitos para esta edição cedidos à Editora Artemis pelos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento, desde que sejam atribuídos créditos aos autores, e sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

A responsabilidade pelo conteúdo dos artigos e seus dados, em sua forma, correção e confiabilidade é exclusiva dos autores. A Editora Artemis, em seu compromisso de manter e aperfeiçoar a qualidade e confiabilidade dos trabalhos que publica, conduz a avaliação cega pelos pares de todos manuscritos publicados, com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

Editora Chefe	Prof. ^a Dr. ^a Antonella Carvalho de Oliveira
Editora Executiva	M. ^a Viviane Carvalho Mocellin
Direção de Arte	M. ^a Bruna Bejarano
Diagramação	Elisangela Abreu
Organizador	Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers
Imagem da Capa	Shutterstock
Bibliotecário	Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Conselho Editorial

Prof.^a Dr.^a Ada Esther Portero Ricol, *Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”*, Cuba
Prof. Dr. Adalberto de Paula Paranhos, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
Prof. Dr. Agustín Olmos Cruz, *Universidad Autónoma del Estado de México*, México
Prof.^a Dr.^a Amanda Ramalho de Freitas Brito, Universidade Federal da Paraíba, Brasil
Prof.^a Dr.^a Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof.^a Dr.^a Ana Júlia Viamonte, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, *Universidad Nacional del Altiplano*, Peru
Prof.^a Dr.^a Angela Ester Mallmann Centenaro, Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil
Prof.^a Dr.^a Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla*, Espanha
Prof.^a Dr.^a Carmen Pimentel, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
Prof.^a Dr.^a Catarina Castro, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
Prof.^a Dr.^a Cirila Cervera Delgado, *Universidad de Guanajuato*, México
Prof.^a Dr.^a Cláudia Neves, Universidade Aberta de Portugal
Prof.^a Dr.^a Cláudia Padovesi Fonseca, Universidade de Brasília-DF, Brasil
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil
Prof. Dr. David García-Martul, *Universidad Rey Juan Carlos de Madrid*, Espanha
Prof.^a Dr.^a Deuzimar Costa Serra, Universidade Estadual do Maranhão, Brasil
Prof.^a Dr.^a Dina Maria Martins Ferreira, Universidade Estadual do Ceará, Brasil
Prof.^a Dr.^a Edith Luévano-Hipólito, *Universidad Autónoma de Nuevo León*, México
Prof.^a Dr.^a Eduarda Maria Rocha Teles de Castro Coelho, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal
Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers, Universidade de São Paulo (USP), Brasil
Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima, Brasil
Prof.^a Dr.^a Elvira Laura Hernández Carballido, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, México



Prof.ª Dr.ª Emilas Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste/ Universidad Tecnológica Nacional, Argentina*
Prof.ª Dr.ª Erla Mariela Morales Morgado, *Universidad de Salamanca, Espanha*
Prof. Dr. Ernesto Cristina, *Universidad de la República, Uruguay*
Prof. Dr. Ernesto Ramírez-Briones, *Universidad de Guadalajara, México*
Prof. Dr. Fernando Hitt, *Université du Québec à Montréal, Canadá*
Prof. Dr. Gabriel Díaz Cobos, *Universitat de Barcelona, Espanha*
Prof.ª Dr.ª Gabriela Gonçalves, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal
Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointner Malpass, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil
Prof.ª Dr.ª Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis, Argentina*
Prof.ª Dr.ª Glória Beatriz Álvarez, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*
Prof. Dr. Gonçalo Poeta Fernandes, Instituto Politécnico da Guarda, Portugal
Prof. Dr. Gustavo Adolfo Juarez, *Universidad Nacional de Catamarca, Argentina*
Prof. Dr. Håkan Karlsson, *University of Gothenburg, Suécia*
Prof.ª Dr.ª Iara Lúcia Tescarollo Dias, Universidade São Francisco, Brasil
Prof.ª Dr.ª Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura, Peru*
Prof.ª Dr.ª Isabel Yohena, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*
Prof. Dr. Ivan Amaro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bío-Bío, Chile*
Prof.ª Dr.ª Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas, Brasil
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz, *University of Miami and Miami Dade College, Estados Unidos*
Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha, Espanha*
Prof. Dr. João Manuel Pereira Ramalho Serrano, Universidade de Évora, Portugal
Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, UniFIMES - Centro Universitário de Mineiros, Brasil
Prof. Dr. Jorge Ernesto Bartolucci, *Universidad Nacional Autónoma de México, México*
Prof. Dr. José Cortez Godínez, Universidad Autónoma de Baja California, México
Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Diaz, Instituto Politécnico Nacional, México
Prof. Dr. Juan Carlos Mosquera Feijoo, *Universidad Politécnica de Madrid, Espanha*
Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, *Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín, Colômbia*
Prof. Dr. Juan Manuel Sánchez-Yáñez, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México*
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil
Prof.ª Dr.ª Livia do Carmo, Universidade Federal de Goiás, Brasil
Prof.ª Dr.ª Luciane Spanhol Bordignon, Universidade de Passo Fundo, Brasil
Prof. Dr. Luis Fernando González Beltrán, *Universidad Nacional Autónoma de México, México*
Prof. Dr. Luis Vicente Amador Muñoz, *Universidad Pablo de Olavide, Espanha*
Prof.ª Dr.ª Macarena Esteban Ibáñez, *Universidad Pablo de Olavide, Espanha*
Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodríguez, *Universidad Santiago de Compostela, Espanha*
Prof.ª Dr.ª Márcia de Souza Luz Freitas, Universidade Federal de Itajubá, Brasil
Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil
Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, Universidade Federal de Sergipe, Brasil
Prof.ª Dr.ª Mar Garrido Román, *Universidad de Granada, Espanha*
Prof.ª Dr.ª Margarida Márcia Fernandes Lima, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil
Prof.ª Dr.ª María Alejandra Arecco, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*
Prof.ª Dr.ª Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia, Brasil
Prof.ª Dr.ª Maria Carmen Pastor, *Universitat Jaume I, Espanha*
Prof.ª Dr.ª Maria do Céu Caetano, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
Prof.ª Dr.ª Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, Universidade Federal do Maranhão, Brasil
Prof.ª Dr.ª Maria Gracinda Carvalho Teixeira, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil



Prof.ª Dr.ª Maria Lúcia Pato, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal
Prof.ª Dr.ª Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba*
Prof.ª Dr.ª Mauriceia Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras, Brasil
Prof.ª Dr.ª Ninfa María Rosas-García, Centro de Biotecnología Genómica-Instituto Politécnico Nacional, México
Prof.ª Dr.ª Odara Horta Boscolo, Universidade Federal Fluminense, Brasil
Prof. Dr. Osbaldo Turpo-Gebera, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Peru*
Prof.ª Dr.ª Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras, Brasil
Prof.ª Dr.ª Paula Arcoverde Cavalcanti, Universidade do Estado da Bahia, Brasil
Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará, Brasil
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares, Universidade Federal do Piauí, Brasil
Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí, Brasil
Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
Prof.ª Dr.ª Silvia Inés del Valle Navarro, *Universidad Nacional de Catamarca, Argentina*
Prof.ª Dr.ª Solange Kazumi Sakata, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)- USP, Brasil
Prof.ª Dr.ª Stanislava Kashtanova, *Saint Petersburg State University, Russia*
Prof.ª Dr.ª Teresa Cardoso, Universidade Aberta de Portugal
Prof.ª Dr.ª Teresa Monteiro Seixas, Universidade do Porto, Portugal
Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa, Brasil
Prof.ª Dr.ª Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
Prof.ª Dr.ª Vera Lúcia Vasilévski dos Santos Araújo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilar, *Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Colômbia*
Prof. Dr. Xosé Somoza Medina, *Universidad de León, Espanha*

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

A277 Agrárias [livro eletrônico] : pesquisa e inovação nas ciências que alimentam o mundo X / Organizador Eduardo Eugênio Spers. – Curitiba, PR: Artemis, 2023.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

Edição bilíngue

ISBN 978-65-81701-05-5

DOI 10.37572/EdArt_301123055

1. Ciências agrárias – Pesquisa. 2. Agronegócio. 3. Sustentabilidade.
I. Spers, Eduardo Eugênio.

CDD 630

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



APRESENTAÇÃO

As Ciências Agrárias são um campo de estudo multidisciplinar por excelência, e um dos mais profícuos em termos de pesquisas e aprimoramento técnico. A demanda mundial por alimentos e a crescente degradação ambiental impulsionam a busca constante por soluções sustentáveis de produção e por medidas visando à preservação e recuperação dos recursos naturais.

A obra **Agrárias: Pesquisa e Inovação nas Ciências que Alimentam o Mundo** compila pesquisas atuais e extremamente relevantes, apresentadas em linguagem científica de fácil entendimento. Na coletânea, o leitor encontrará textos que tratam dos sistemas produtivos em seus diversos aspectos, além de estudos que exploram diferentes perspectivas ou abordagens sobre a planta, o meio ambiente, o animal, o homem e a sociedade no ambiente rural.

É uma obra que fornece dados, informações e resultados de pesquisas tanto para pesquisadores e atuantes nas diversas áreas das Ciências Agrárias, como para o leitor que tenha a curiosidade de entender e expandir seus conhecimentos.

Este Volume X traz 14 trabalhos de estudiosos de diversos países, divididos em dois eixos temáticos: *Produtividade e eficiência na produção vegetal* e *Sustentabilidade e reaproveitamento produtivo*.

Desejo a todos uma ótima leitura!

Eduardo Eugênio Spers

SUMÁRIO

PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA NA PRODUÇÃO VEGETAL

CAPÍTULO 1.....1

HIDROGELES DE QUITOSANO Y POLIACRILAMIDA SOBRE LAS PROPIEDADES EDÁFICAS Y EL CRECIMIENTO DE *Lupinus exaltatus*

Néstor Gutiérrez Pérez

Elizabeth García Gallegos

Oscar Gumersindo Vázquez Cuecuecha

Elizabeth Hernández Acosta

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3011230551

CAPÍTULO 2.....10

FERTILIZANTE DE LENTA LIBERACIÓN COMPLEMENTARIO AL FERTIRRIEGO Y SU EFECTO EN PRODUCCIÓN DE LIMA MEXICANA

José C. García-Preciado

Silvia H. Carrillo Medrano

Miguel A. Manzanilla Ramírez

María Guzmán Martínez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3011230552

CAPÍTULO 3.....17

COLORIMETRIC CHARACTERISATION OF TROPICAL WOODS

José Amador Honorato-Salazar

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3011230553

CAPÍTULO 4.....26

PANORAMA AGROECONÓMICO DE LA GUANÁBANA (*Annona muricata*) EN AMÉRICA

Emma Gloria Ramos Ramírez

Carlos García Pérez

María del Pilar Méndez Castrejón

Juan Alfredo Salazar Montoya

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3011230554

CAPÍTULO 5..... 38

DESCRIPCIÓN FÍSICA DE SEMILLAS DE GENOTIPOS DE MAÍZ AZUL

Germán Fernando Gutiérrez-Hernández

José Luis Arellano-Vázquez

Luis Fernando Ceja-Torres

Estela Flores-Gómez

Patricia Vázquez-Lozano

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3011230555

CAPÍTULO 6..... 44

IDENTIFICACIÓN MOLECULAR DE MALEZAS TOLERANTES AL GLIFOSATO

David Antonio Moreno Medina

Carmen Yazmin Rojas Cardona

Alma Cuellar Sánchez

Victor Becerra Ruiz

Esteban Montiel Palacios

José Luis Gadea Pacheco

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3011230556

CAPÍTULO 7..... 53

ENFERMEDADES DE IMPORTANCIA ECONÓMICA EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM* SPP.) EN MÉXICO

Manuel de Jesús Bermúdez Guzmán

Francisco Javier Delgado Virgen

Jeovani Francisco Cervantes Preciado

Mario Orozco Santos

Claudia Yared Michel López

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3011230557

CAPÍTULO 8..... 88

APERTURAS Y ESTRATEGIAS COMO MÉTODO EN LA ENSEÑANZA AGROPECUARIA

Rafael Menendez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3011230558

CAPÍTULO 9.....92

COMPOSTAJE-VERMICOMPOSTAJE, APROVECHAMIENTO SECUENCIAL DE RESIDUOS VINÍCOLAS: PRIMEROS RESULTADOS

Manuela Andrés Abellán
Marta Isabel Picazo Córdoba
Consolación Wic Baena
Manuela Rubio García
Rocío Ballesteros González
Francisco Ramón López Serrano
Francisco Antonio García Morote
Eva María Rubio Caballero
Soledad Ramírez Guijarro
José Manuel Flores López-Pintor
Carlos García Izquierdo

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3011230559

CAPÍTULO 10..... 100

BIOPROCESOS PARA EL TRATAMIENTO DE FECAS CANINAS

Ian Homer Bannister
María Teresa Varnero
Fabian Abarza Villalobos

 https://doi.org/10.37572/EdArt_30112305510

CAPÍTULO 11..... 114

AS BEBIDAS DE LEGUMINOSAS COMO ALTERNATIVA AO LEITE: BEBIDAS DE GRÃO-DE-BICO E DE TREMOÇO COM DIGESTIBILIDADE MELHORADA E POTENCIAL BIOACTIVO PARA A SAÚDE HUMANA

Carla Margarida Duarte
Joana Mota Guerreiro
Ricardo Manuel Assunção
Carla Martins
Ana Cristina Ribeiro
Ana Isabel Lima
Anabela Raymundo
Maria Cristiana Nunes
Ricardo Boavida Ferreira

Isabel de Sousa

 https://doi.org/10.37572/EdArt_30112305511

CAPÍTULO 12142

USO DE ACOLCHADOS PLÁSTICOS PARA REDUCIR EL IMPACTO DEL HUANGLONGBING Y PROMOVER PRECOCIDAD DE LA PRODUCCIÓN EN LIMÓN MEXICANO

Mario Orozco Santos

Manuel de Jesús Bermúdez Guzmán

Karina de la Paz García Mariscal

José Concepción García Preciado

 https://doi.org/10.37572/EdArt_30112305512

CAPÍTULO 13162

MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF MIXED PIGS FOR SUSTAINABILITY IN THE LEGAL AMAZON, BRAZIL

Leandro Macedo Miranda

Thiago Machado da Silva Acioly

Diego Carvalho Viana

Valene da Silva Amarante

 https://doi.org/10.37572/EdArt_30112305513

CAPÍTULO 14172

MICROORGANISMOS E RESÍDUO AGROINDUSTRIAL VISANDO INCREMENTOS NA FERTILIDADE DE UM SOLO DEGRADADO

Jéssica Alves de Oliveira

Diego Gonçalves Feitosa

Flávia Mendes dos Santos Lourenço

Katia Luciene Maltoni

Ana Maria Rodrigues Cassiolato

 https://doi.org/10.37572/EdArt_30112305514

SOBRE O ORGANIZADOR.....183

ÍNDICE REMISSIVO 184

CAPÍTULO 7

ENFERMEDADES DE IMPORTANCIA ECONÓMICA EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM SPP.*) EN MÉXICO¹

Data de submissão: 10/10/2023

Data de aceite: 31/10/2023

Dr. Manuel de Jesús Bermúdez Guzmán

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)
Campo Experimental Tecomán
Laboratorio de Biotecnología
Tecomán, Colima, México
ORCID: 0000-0003-1949-1922

Dr. Francisco Javier Delgado Virgen

Instituto Tecnológico Nacional de México (TecNM)
Campus Colima
Laboratorio de Microbiología
Colima, Colima, México
ORCID: 0000-0002-2650-3170

M. C. Jeovani Francisco Cervantes Preciado

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)
Campo Experimental Tecomán
Laboratorio Agroindustrial
Tecomán, Colima, México
ORCID: 0000-0002-2448-7904

Dr. Mario Orozco Santos

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)
Campo Experimental Tecomán
Laboratorio de Fitopatología
Tecomán, Colima, México
ORCID: 0000-0002-9451-2626

Dra. Claudia Yared Michel López

Universidad Autónoma de Baja California (UABC)
Instituto de Ciencias Agrícolas (ICA)
Ejido Nuevo León, Mexicali
Baja California, México
ORCID: 0000-0002-3595-1768

RESUMEN: La caña de azúcar constituye el principal cultivo agroindustrial en México, debido a su importancia económica y social. Este cultivo se ha visto afectado en su productividad a nivel mundial por factores abióticos y bióticos, entre estos últimos, están las enfermedades causadas por hongos, bacterias y virus. Actualmente, entre los hongos de importancia económica se destacan *Puccinia melanocephala* y *P. kuehni*, agentes causales de la roya café y la roya naranja en caña de azúcar, respectivamente. Entre las bacterias reportadas en México para este cultivo se encuentran *Xanthomonas albilineans*, *X. vasicola* pv. *vasculorum* y *Leifsonia xyli* subsp. *xyli*, agentes causales de las enfermedades de escaldadura de la

¹ Esta información corresponde a una serie de trabajos publicados previamente como folletos técnicos por el INIFAP, los cuales fueron generados con el proyecto de investigación titulado "Diagnóstico molecular de enfermedades en caña de azúcar", el cual fue financiado por recursos fiscales del INIFAP. Esta obra cuenta con información actualizada sobre la producción de caña de azúcar.

hoja, gomosis y raquitismo de las socas, respectivamente. Finalmente, entre los virus de importancia económica se destacan el *Virus del mosaico de la caña de azúcar* (ScMV) y el *Virus de la hoja amarilla de la caña de azúcar* (ScYLV). Todas estas enfermedades han causado cuantiosas pérdidas económicas en cultivos de caña de azúcar de México y el mundo. La presente obra tiene la finalidad de poner a disposición de técnicos y productores información sobre la importancia que tienen estas enfermedades en el cultivo, así como conocimientos acerca de su distribución, síntomas y métodos de control.

PALABRAS CLAVE: Bacterias. Caña de azúcar. Enfermedades. Hongos. Virus.

DISEASES OF ECONOMIC IMPORTANCE IN SUGARCANE CROP (*SACCHARUM* SPP.) IN MEXICO

ABSTRACT: Sugarcane is the main agro-industrial crop in Mexico, due to its economic and social importance. This crop has been affected in its productivity worldwide by abiotic and biotic factors, among the latter, there are diseases caused by fungi, bacteria, and viruses. Currently, among the economically significant fungi are *Puccinia melanocephala* and *P. kuehnii*, causal agents of brown rust and orange rust in sugarcane, respectively. Among the bacteria reported in Mexico for this crop are *Xanthomonas albilineans*, *X. vasicola* pv. *vasculorum* and *Leifsonia xyli* subsp. *xyli*, causal agents of leaf scald, gummosis, and ratoon stunting diseases, respectively. Finally, among economically important viruses are Sugarcane mosaic virus (ScMV) and Sugarcane yellow leaf virus (ScYLV). All these diseases have caused substantial economic losses in sugarcane crops in Mexico and the world. The purpose of this work is to provide technicians and producers with information about the importance of these diseases in cultivation, as well as knowledge about their distribution, symptoms, and control methods.

KEYWORDS: Bacteria. Sugarcane. Diseases. Fungi. Viruses.

1 INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (híbridos de *Saccharum* spp.) es una gramínea tropical perenne que constituye uno de los cultivos de mayor importancia económica y social en México, representa una fuente de empleo directo en el campo e industria, en la producción de azúcar y en la elaboración de subproductos como el alcohol, piloncillo, alimento para el ganado, entre otros. Además, también es empleada como materia prima para la fabricación de edulcorantes naturales y para la producción de etanol utilizado como biocombustible (Almazan et al., 1998).

Aproximadamente el 80% de las enfermedades que afectan a este cultivo son de origen fungoso, entre estas destacan los fitopatógenos de *Puccinia melanocephala* y *P. kuehnii* y, causantes de las enfermedades conocidas como roya café y roya naranja, respectivamente. El 20% restante es causado por bacterias, fitoplasmas y virus; entre los patógenos bacterianos de importancia económica a nivel mundial, destacan *Xanthomonas albilineans*, *Xanthomonas vasicola* pv. *vasculorum* y *Leifsonia xyli* subsp. *xyli*, causantes

de las enfermedades de la escaldadura de la hoja, gomosis y raquitismo de las socas, respectivamente. Finalmente, en relación con los fitopatógenos virales en México se ha reportado la presencia del *Virus del mosaico de la caña de azúcar* (ScMV) y el *Virus de la hoja amarilla de la caña de azúcar* (ScYLV), causantes de las enfermedades conocidas como mosaico de la caña de azúcar y síndrome de la hoja amarilla de la caña de azúcar, respectivamente. Todas estas enfermedades tienen una amplia distribución en México y el mundo. Los fitopatógenos de origen bacteriano y viral están confinados a los haces vasculares (xilema) de las plantas de caña de azúcar (Gillaspie y Teakle, 1989; Ricaud y Autrey, 1989; Ricaud y Ryan, 1989).

El presente capítulo de libro recopila información general sobre el impacto económico que tienen las diversas enfermedades que afectan el cultivo de la caña de azúcar, ocasionadas por hongos, bacterias y virus a nivel mundial, así como la clasificación taxonómica de los fitopatógenos, distribución geográfica, síntomas y métodos de manejo y control.

2 IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

El género *Saccharum* está compuesto por seis especies: *S. robustum*, *S. spontaneum*, *S. officinarum*, *S. barberi*, *S. sinense* y *S. edule*. En la actualidad, todas las variedades comerciales de caña de azúcar que se cultivan en el mundo son híbridos interespecíficos que se han derivado principalmente del germoplasma de 20 variedades de *S. officinarum* y 10 variedades de *S. spontaneum* (Arcenaux, 1967; Daniels y Roach, 1987; Tai et al., 1995).

Durante el año 2021 se produjeron a nivel mundial un total de 2,020,705,298 toneladas de caña de azúcar. Los cinco principales países que contribuyeron con esta cifra fueron Brasil, India, China, Pakistán y Tailandia, ocupando México el sexto lugar con una producción de 55,485,309 toneladas (Figura 1). Los países que registraron los mayores rendimientos de campo, expresados en t/ha, fueron: Perú, Guatemala, Senegal y Malawi. En el año 2021 México ocupó el lugar 36 con un rendimiento de 68 t/ha, el cual es superior a la media mundial de 59 t/ha (Figura 2) (FAO, 2023).

En México, la industria azucarera es históricamente una de las más importantes, debido a su relevancia económica y social en el campo; generando más de dos millones de empleos, tanto en forma directa como indirecta. Esta actividad se desarrolla en 16 estados de la República Mexicana, y en el año 2022 se obtuvo una producción primaria que tiene un valor cercano a los 52 mil millones de pesos.

Figura 1. Producción mundial de caña de azúcar en el año 2021 (FAO, 2023).

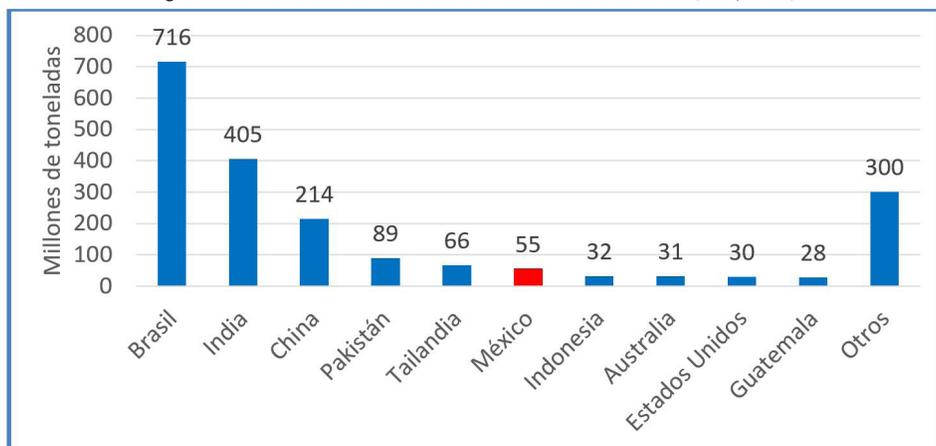
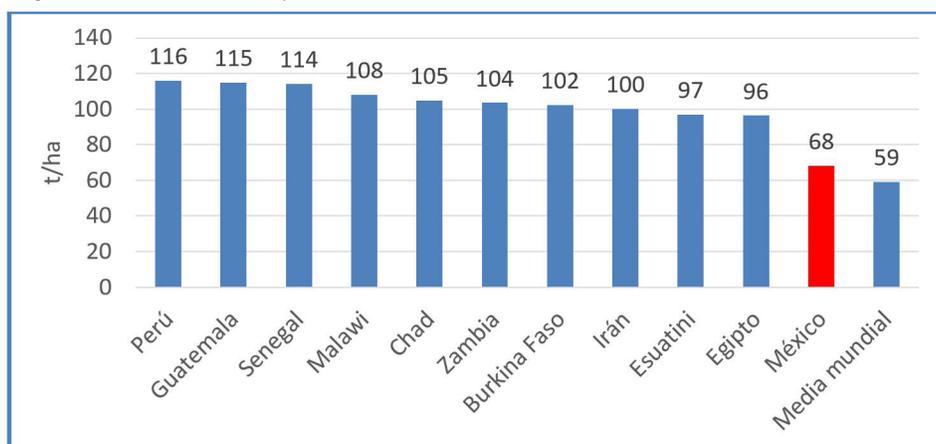


Figura 2. Rendimientos de campo a nivel mundial obtenidos de caña de azúcar en el año 2021 (FAO, 2023).



Esta cifra se ha elevado, ya que en el 2016 alcanzó los 31 mil millones de pesos, es decir, que el valor monetario de la producción actual de caña de azúcar en México ha aumentado 21 mil millones de pesos en los últimos 6 años. Lo anterior, a pesar de que la producción obtenida de caña de azúcar (toneladas) no ha aumentado, y contrariamente ha disminuido según los datos del SIAP, ya que en el año 2016 se registró una producción de 56.44 millones de toneladas de caña de azúcar y en el 2022 disminuyó a 55.55 millones de toneladas (SIAP, 2023). Lo anterior, probablemente se deba a un envejecimiento del campo cañero, ocasionado principalmente por el deterioro genético del cultivo de dos variedades (CP 72-2086 y Mex 69-290) que se han sembrado durante un largo periodo de tiempo, aunado a la susceptibilidad de ataques de plagas y enfermedades.

Una muestra clara del deterioro genético se ve reflejado en el rendimiento de caña de azúcar que tiene México actualmente (cerca de 70 t/ha) comparado con su

rendimiento en el 2016 (72 t/ha). Resulta necesario rejuvenecer el campo cañero con nuevas variedades de caña de azúcar adaptadas para cada región agroclimática para poder elevar los rendimientos.

Los estados de la República Mexicana que contribuyen con la mayor superficie sembrada con caña de azúcar son: Veracruz, San Luis Potosí, Jalisco, Tamaulipas y Oaxaca. La primera de estas entidades es la más importante ya que tuvo casi 298 mil hectáreas cosechadas durante el año 2022; además de que ahí se cuenta con más de 20 ingenios azucareros, generando una importante derrama económica. Por otra parte, a nivel nacional, el rendimiento de campo promedio en el 2022 fue estimado en 70 t/ha (SIAP, 2023).

Los estados más sobresalientes en este parámetro son: Puebla, México, Morelos y Chiapas, que superan las 90 t/ha. A pesar de la importancia que representa el estado de Veracruz, el rendimiento que registra esta entidad se encuentra prácticamente en la media nacional con 69.7 t/ha (Cuadro 1).

Cuadro 1. Producción agrícola de caña de azúcar en México en el año 2022 (SIAP, 2023).

Entidad	Cosechada	Producción	Rendimiento
Puebla	16,716.00	1,862,284.30	111.41
México	134	13,728.30	102.45
Morelos	20,066.00	1,993,631.65	99.35
Chiapas	32,214.20	3,021,677.32	93.8
Jalisco	79,276.00	7,011,454.52	88.44
Michoacán	13,849.87	1,170,812.79	84.54
Sinaloa	5,610.00	409,852.00	73.06
Colima	15,993.08	1,132,553.68	70.82
Veracruz	297,708.96	20,750,194.42	69.7
Campeche	17,281.00	1,196,751.74	69.25
Nayarit	28,098.00	1,884,935.69	67.08
San Luis Potosí	90,458.00	5,456,201.74	60.32
Quintana Roo	32,673.00	1,862,772.45	57.01
Oaxaca	57,436.50	3,215,628.99	55.99
Tabasco	39,742.00	2,101,565.60	52.88
Tamaulipas	47,948.64	2,472,038.25	51.56
Total	795,205.25	55,556,083.44	69.86*

*Promedio.

3 IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LAS ENFERMEDADES EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

3.1 HONGOS

Aproximadamente el 80% de las enfermedades que afectan a cultivos de importancia económica en el mundo son ocasionados por hongos patógenos. Estos microorganismos afectan directamente a las plantas disminuyendo la calidad y el valor de su producción agrícola.

3.1.1 Royas (*Puccinia* spp.)

Dentro del grupo de los hongos, las royas son de gran importancia por causar pérdidas económicas considerables. Aproximadamente más de 200 familias de plantas, tanto silvestres, como cultivadas, son atacadas al menos por un tipo de roya. Estos fitopatógenos producen diversos síntomas como: defoliación, deformación, manchado, marchitamiento, y cuando es severa, la muerte de la planta (López-Ramírez, 1998).

Históricamente, entre las enfermedades de mayor importancia económica para el cultivo de caña de azúcar en el mundo se encuentran las royas: *P. melanocephala* y *P. kuehni*, que han ocasionado pérdidas diez veces mayores a las producidas por el carbón (*Sporisorium scitamineum*) en variedades susceptibles (Purdy et al., 1983; Molina, 1999).

El hongo comienza a colonizar la superficie de las hojas de caña, las cuales constituyen la principal fábrica fotosintética para que estas plantas puedan producir y almacenar la sacarosa, que finalmente es extraída del tallo. Al verse afectadas las hojas por las royas, la tasa fotosintética disminuye, lo que ocasiona un retraso en el crecimiento de las plantas, así como una baja en la producción y acumulación de azúcar. La roya café fue causante de grandes epidemias en la India desde 1949 y subsecuentemente con regularidad en varias provincias de esta región (Egan, 1964).

En México, no se conoce información precisa sobre las pérdidas ocasionadas por la roya; en algunos países la consideran sin importancia y no se ha establecido una metodología para evaluar los daños causados por esta enfermedad en caña de azúcar. Sin embargo, las pérdidas han sido cuantificadas en México mediante la comparación de la producción obtenida en variedades cultivadas de caña de azúcar antes y después de ser afectadas por la roya.

Osada y Reyes (1980) compararon la producción de la variedad B-4362 en 1978-1979, antes de que fuera afectada por roya café, con la producción en 1979-1980, cuando se presentó el daño. Estos autores reportaron pérdidas que oscilaron de 1.5 a 21.7 t/ha

de caña de azúcar, con un promedio de 12.6 t/ha en cuatro zonas cañeras de México. En 1978-1979 había 10,588 hectáreas con la variedad B-4362, y en 1979-1980, 10,668 hectáreas, en las cuatro áreas utilizadas en la comparación. Estos datos podrían indicar que 1,344,168 toneladas de caña de azúcar de la variedad B-4362 se perdieron a causa de la roya café de 1979-1980 en México.

El impacto de los daños ocasionados por *P. melanocephala* fue en aumento en las áreas del Caribe donde estaba cultivada la variedad B-4362. En 1978 y 1980 Cuba aumentó la superficie cultivada con la variedad antes mencionada en un 40 y 28%, respectivamente. Las pérdidas en la producción fueron similares a las reportadas en México y se atribuyó a la roya café la pérdida de 1,300,000 toneladas de azúcar (Purdy y Dean, 1981).

La roya naranja no había sido considerada como una enfermedad de importancia económica por su incapacidad de iniciar y propagar una epidemia (Egan, 1964). *P. kuehni* constituye una amenaza para la producción cañera del continente americano, después de su aparición en Costa Rica, Estados Unidos y Guatemala (Braithwaite, 2005). *P. kuehni* se encuentra ampliamente distribuido en el sur de Florida, donde ha presentado síntomas moderadamente severos en variedades que ocupan aproximadamente el 25% del área comercial, y en numerosos clones del programa de selección de variedades (Comstock et al., 2008).

3.2 BACTERIAS

Las bacterias fitopatógenas causan enfermedades en plantas cultivadas y son responsables anualmente de cuantiosas pérdidas económicas en todos los países del mundo. Entre los géneros de este tipo de patógenos, *Pseudomonas*, *Xanthomonas* y *Leifsonia* son los más importantes debido a que causan afectaciones a la caña de azúcar (CONADESUCA).

3.2.1 Escaldadura de la hoja (*Xanthomonas albilineans*)

La severidad de la enfermedad de la escaldadura de la hoja, así como la resistencia o tolerancia de algunas variedades de caña difieren de un lugar a otro, debido principalmente a la diferencia de las condiciones climáticas, la variación del patógeno y carga bacteriana. Las estaciones lluviosas son favorables para la diseminación de la enfermedad, mientras que los periodos de estrés (por sequía y bajas temperaturas) en plantas maduras, aumentan su severidad (Ricaud y Ryan, 1989). La escaldadura de la hoja afecta el rendimiento de la caña de azúcar en campo, así como la calidad del jugo en fábrica, debido a que detiene el crecimiento, reduce el número de tallos y retarda el

desarrollo de brotes en las plantas. La escaldadura de la hoja se manifiesta en cuatro fases: la forma crónica, la aguda, de latencia y eclipse. La fase aguda de la enfermedad ha ocasionado las mayores pérdidas, las cuales a nivel mundial se han calculado que son de 15-20%, sin embargo, en variedades susceptibles tales pérdidas se estiman de 90-100% debido a la muerte de las plantas (Ricaud y Ryan, 1989).

En México, se detectó la presencia de *X. albilineans* en 1992, y en 1994, fue responsable de la eliminación y sustitución de 800 hectáreas de la variedad Mex 64-1487 en el estado de Veracruz. La mayor incidencia de escaldadura de la hoja se presentó en las variedades Mex 68-P23 (50.60%), Mex 69-290 (23.52%) y Mex 64-1487 (18.75%), en las cuales el rendimiento se redujo en 13.27, 12.01 y 14.56 t/ha, respectivamente. Los grados Brix también fueron afectados significativamente en las variedades mencionadas anteriormente (Huerta et al., 2003). A sí mismo, la enfermedad fue responsable de la eliminación de más de 100 cepas de otros clones utilizados dentro del programa de mejoramiento genético de la Estación Nacional de Hibridación de nuestro país localizada en Tapachula, Chiapas (Flores, 1997).

3.2.2 Gomosis (*Xanthomonas vasicola* pv. *vasculorum*)

La gomosis fue descrita como una enfermedad de origen bacteriano por Cobb (1893) en Australia. Históricamente, *X. vasicola* pv. *vasculorum* ha causado serias pérdidas en las áreas donde fue detectada a partir de 1930, afectando a los cultivos de las cañas nobles (*Saccharum officinarum*), las cuales son altamente susceptibles a este patógeno. La sustancia gomosa característica de la enfermedad al estar presente en los tejidos vasculares y mezclarse con el jugo de la caña (lo que retarda la cristalización) afecta el proceso de elaboración del azúcar en fábrica (Barret, 1930). El tonelaje de producción de caña decrece notablemente y las plantas afectadas pierden aproximadamente 25% de sacarosa, así como también una reducción en la pureza de su jugo de hasta 6% con aumento de la glucosa, comparativamente con la caña sana (Faris, 1927; Earle, 1928).

La importancia económica de la gomosis ha disminuido a partir de que las cañas nobles (*S. officinarum*) fueron reemplazadas por híbridos interespecíficos en 1930 (Ricaud y Autrey, 1989). Esto permitió la erradicación del patógeno en algunos países como Australia, Fiji y Brasil. En las Islas Mascareñas, hubo reportes de pérdidas en híbridos, específicamente en variedades susceptibles a la infección sistémica (Ricaud, 1969). Durante la epidemia de 1980-1981, los rendimientos de azúcar de tallos infectados sistémicamente de la variedad M377/56 bajaron en un 19.5% (Ricaud y Autrey, 1989); además se reportó una disminución en el rendimiento de azúcar de hasta un 45% en la variedad antes mencionada después de la inoculación en ensayos de campo (Autrey et al., 1986).

Actualmente no hay información reciente sobre los daños que ocasiona esta enfermedad al cultivo de la caña de azúcar. Específicamente para México no existe información histórica ni reciente sobre la patología de esta enfermedad bacteriana.

3.2.3 Raquitismo de las socas (*Leifsonia xily* subsp. *xily*)

A nivel mundial se estima que las pérdidas asociadas con esta enfermedad son del 5-10%. Los daños causados por el raquitismo posiblemente son mayores que los ocasionados por cualquier otra enfermedad en caña de azúcar. Al igual que con la escaldadura de la hoja, las dimensiones de las pérdidas están influenciadas por la incidencia de la enfermedad, el tipo de variedad, condiciones climáticas, grado de infección, así como presencia de otras enfermedades. La disminución del tonelaje es generalmente el resultado de la reducción del peso del tallo (Gillaspie y Teakle, 1989).

Las pérdidas expresadas en toneladas por hectárea de variedades de caña de azúcar susceptibles al raquitismo de las socas varían de un 17-35% en clones de Estados Unidos. Por otra parte, en Australia, el clon Q 28, presentó pérdidas de un 37% en el ciclo plantilla y un 67% en soca 1; estudios posteriores, con mayor número de clones demostraron que las pérdidas varían de 10-15% en plantaciones de ciclo plantilla y de un 20-25% en plantaciones de socas (Davis et al., 1984).

3.3 VIRUS (SCMV Y SCYLV)

Los virus de plantas son patógenos de amplia distribución e importancia económica. Todas las especies vegetales cultivadas son afectadas por al menos un virus. Éstos patógenos son responsables de pérdidas económicas a gran escala, pues el daño que ocasionan a los suministros de alimentos constituye un efecto negativo indirecto para el hombre.

Los virus no pueden penetrar la cutícula ni la celulosa de la pared celular de las plantas, constituyéndose así una barrera a la infección. Sin embargo, son capaces de superar este obstáculo mediante la transmisión por semilla o propagación vegetativa o por algunos métodos que involucran la penetración a través de heridas en la superficie de las plantas, tales como inoculación mecánica y transmisión por insectos.

Histórica y potencialmente, los virus ocasionan las enfermedades más importantes en caña de azúcar a nivel mundial, causando grandes epidemias y pérdidas de enormes proporciones. En variedades susceptibles infectadas con ScMV las pérdidas en rendimiento son de 11-50% (Singh et al., 2003; Singh et al., 2005). De igual manera en variedades afectadas por ScYLV se registran pérdidas en rendimiento de 40-50% (Vega

et al., 1997), mientras que en plantas asintomáticas con este mismo virus las mermas son de 10-30% (Lehrer y Komor, 2009; Lehrer et al., 2010). Como consecuencia de esto, los patógenos de este tipo que afectan a la caña de azúcar deben ser considerados en los programas de mejoramiento genético del mundo, en los que la selección y eliminación de clones susceptibles seguido de pruebas de patogenicidad se han vuelto procedimientos rutinarios (Gonçalves et al., 2012).

Entre las primeras epidemias sobre el cultivo de la caña de azúcar reportadas en el mundo a comienzos del siglo XX están las causadas por el ScMV. La enfermedad fue responsable de drásticas epidemias en Argentina, Brasil, Cuba, Puerto Rico y Estados Unidos (Abbott, 1961; Yang y Mirkov, 1997). Lo anterior condujo a la introducción de híbridos interespecíficos del género *Saccharum* importados de Java, con el fin de controlar la rápida propagación de la enfermedad en las cañas nobles (*S. officinarum*) obtenidas en aquel entonces en esos países (Koike y Gillaspie, 1989).

En México, el primer reporte del ScMV fue realizado en 1929, en El Potrero, Veracruz. En 1947 más del 80% de las áreas del ingenio Independencia, de ese mismo estado, plantadas con variedades criollas presentaban la enfermedad. Actualmente, el mosaico se considera un problema fitosanitario de importancia potencial en México y se encuentra distribuido en todas las zonas cañeras del país (CONADESUCA).

El síndrome de la hoja amarilla (YLS) de la caña de azúcar, causado por ScYLV, fue observado por primera vez en Hawaii en el año de 1988 y en Brasil en 1990 (Vega et al., 1997; Schenck et al., 2001). El ScYLV se ha reportado en las áreas productoras de caña de azúcar de todo el mundo. Por esta razón es la enfermedad viral más estudiada en este cultivo desde su aparición. Este virus fue responsable de drásticas pérdidas económicas en el sureste de Brasil a comienzos de 1990 y es el principal problema fitosanitario en los programas de mejoramiento genético de ese país (Gonçalves et al., 2012).

En México, el YLS fue observado por primera vez en el año de 1996 afectando a la variedad CP 72-2086 en la comunidad de La Margarita, Oaxaca. Ese mismo año se reportó su presencia en la misma variedad en Chiapas, Colima y Veracruz. También se detectó en Sinaloa afectando a la variedad Mex 57-473 (CONADESUCA).

4 AGENTES CAUSALES

4.1 HONGOS

Reino: Fungi

Filo: Basidiomycota

Clase: Pucciniomycetes

Orden: Pucciniales

Familia: Pucciniaceae
Género: *Puccinia*
Especies: *Puccinia melanocephala* (roya café)
Puccinia kuehnii (roya naranja)

(CABI)

4.2 BACTERIAS

4.2.1 Escaldadura de la hoja

Reino: Bacteria
Filum: Proteobacteria
Clase: Gammaproteobacteria
Orden: Xanthomonadales
Familia: Xanthomonadaceae
Género: *Xanthomonas*
Especie: *Xanthomonas albilineans*

(Ashby, 1929; Dowson 1943; EPPO)

4.2.2 Gomosis

Reino: Bacteria
Filum: Proteobacteria
Clase: Gammaproteobacteria
Orden: Xanthomonadales
Familia: Xanthomonadaceae
Género: *Xanthomonas*
Especie: *Xanthomonas axonopodis* pv. *vasculorum*
Sinónimos: *Xanthomonas campestris* pv. *vasculorum*
Xanthomonas vasicola pv. *vasculorum*

(Cobb, 1893; EPPO)

4.2.3 Raquitismo de las socas

Reino: Bacteria
Clase: Actinobacteria
Orden: Actinomycetales
Familia: Microbacteriaceae
Género: *Leifsonia*
Especie: *Leifsonia xyli*
Subespecie: *xyli*

(Davis et al., 1984; EPPO).

4.3 VIRUS

4.3.1 Mosaico de la caña de azúcar

La enfermedad del mosaico de la caña de azúcar es ocasionada por un complejo de virus: ScMV, Virus del mosaico del sorgo (SrMV) y Virus del mosaico estriado de la caña de azúcar (ScSMV), estos últimos dos no están presentes en México. Existen reportes de otros Potyvirus que también causan la enfermedad del mosaico pero que no infectan de manera natural a caña de azúcar (Gonçalves et al., 2012).

Dominio: Riboviria
Reino: Orthornavirae
Filum: Pisuviricota
Clase: Stelpaviricetes
Orden: Patatavirales
Familia: Potyviridae
Género: *Potyvirus*
Especies: *Sugarcane mosaic virus* (ScMV)
Sorghum mosaic virus (SrMV)

(ICTV, 2019).

Dominio: Riboviria
Reino: Orthornavirae
Filum: Pisuviricota
Clase: Stelpaviricetes
Orden: Patatavirales
Familia: Potyviridae
Género: *Poacevirus*
Especies: *Sugarcane streak mosaic virus* (ScSMV)

(ICTV, 2019).

4.3.2 Síndrome de la hoja amarilla

El término “síndrome de la hoja amarilla” fue usado para referirse a una enfermedad causada por un fitoplasma, cuyos síntomas son similares a los de ScYLV, en ciertas partes del mundo (Moonan y Mirkov, 2002). Actualmente, este término se emplea para referirse a la forma viral de la enfermedad (Ahmad et al., 2007; Yan et al., 2009).

Reino: Virus y viroides
Categoría: Virus

Familia: Luteoviridae
Género: Polerovirus
Especie: Sugarcane yellow leaf virus (ScYLV)

(ICTV, 2019).

5 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

5.1 HONGOS

5.1.1 *Puccinia melanocephala*

En la figura 3 se observa la distribución de *P. melanocephala* en los países de África: Angola, Benín, Burundi, Camerún, Congo, Kenia, Madagascar, Malawi, Mauricio, Mozambique, Sudáfrica, Suazilandia, Tanzania, Uganda, Zambia y Zimbabue.

América: Antigua y Barbuda, Argentina, Barbados, Belice, Bolivia, Brasil, Bermudas, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, El Salvador, Estados Unidos, Guadalupe, Guatemala, Guyana, Haití, Honduras, Jamaica, Martinica, México, Nicaragua, Panamá, Perú, Puerto Rico, República Dominicana, San Cristóbal y Nieves, Trinidad y Tobago y Venezuela.

Asia: China, Filipinas, India, Indonesia, Japón, Nepal, Pakistán, Taiwán y Vietnam. En Oceanía, únicamente se reporta su presencia en Australia (Raid y Comstock, 2000; EPPO).

5.1.2 *Puccinia kuehnii*

Por otra parte, *P. kuehnii* se distribuye en los países de América: Brasil, Belice, Colombia, Costa Rica, Cuba, República Dominicana, Ecuador, El salvador, Estados Unidos, Guatemala, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua y Panamá.

Asia: Birmania, China, India, Indonesia, Japón, Malasia, Pakistán, Filipinas, Sri Lanka, Taiwán, Tailandia y Vietnam.

Oceanía: Australia, Fiji, Guam, Islas Salomón, Micronesia, Nueva Caledonia, Papúa Nueva Guinea y Samoa (Raid y Comstock, 2000; EPPO). En el 2011 fue detectado por primera vez en África afectando a los países de Camerún y Costa de Marfil (Saumtally et al., 2011) (Figura 4).

Figura 3. Distribución mundial de *P. melanocephala* (EPPO).

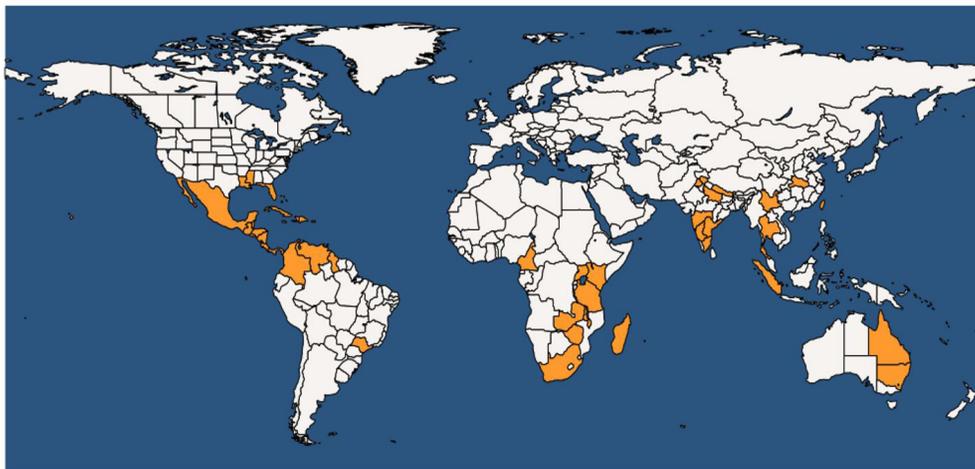
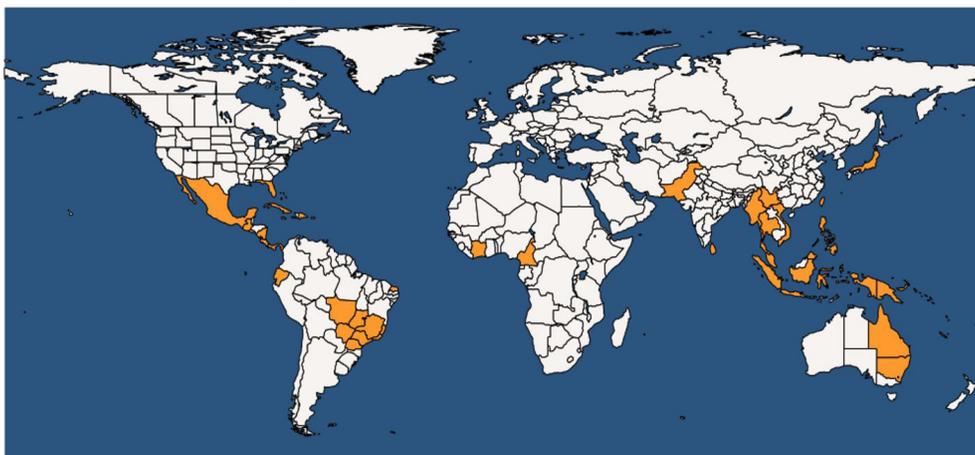


Figura 4. Distribución mundial de *P. kuehni* (EPPO).



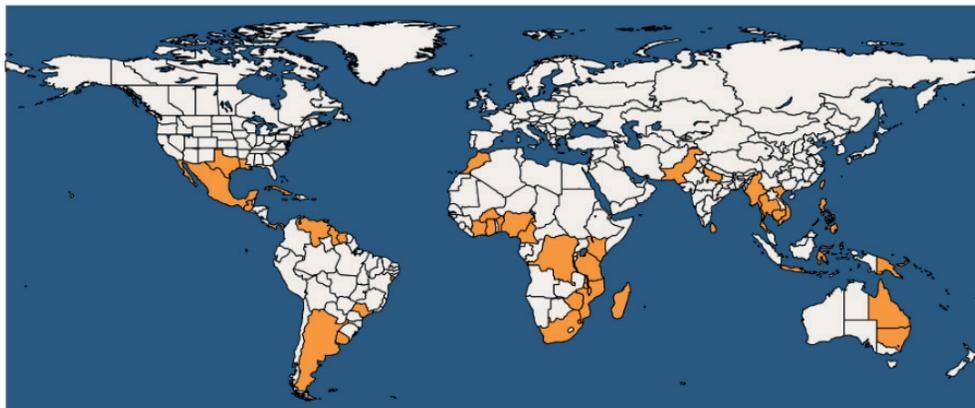
5.2 BACTERIAS

5.2.1 *Xanthomonas albilineans*

La bacteria *X. albilineans* posee una amplia distribución (Figura 5) y se encuentra presente en los siguientes países: África: Benín, Burkina Faso, Camerún, Congo, Costa de Marfil, Ghana, Kenia, Madagascar, Malawi, Mauricio, Marruecos, Mozambique, Nigeria, Reunión, Sudáfrica, Suazilandia, Tanzania y Zimbabue. En el continente americano está presente en: Argentina, Barbados, Brasil, Cuba, Estados Unidos, Granada, Guadalupe, Guatemala, Guyana, Jamaica, Martinica, México, Panamá, Puerto Rico, Santa Lucía, San Cristóbal y Nieves, San Vicente y las Granadinas, Surinam, Trinidad y Tobago, Uruguay

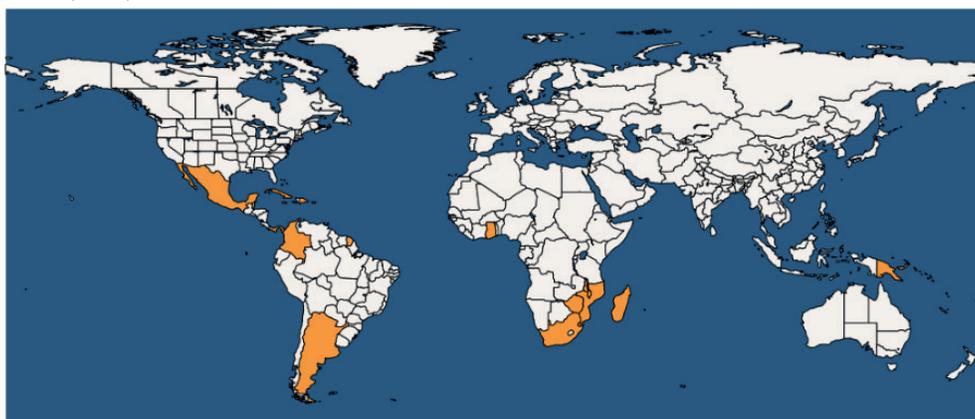
y Venezuela. Mientras que en Asia se ha localizado en Camboya, China, Filipinas, India, Indonesia, Japón, Myanmar, Pakistán, Sri Lanka, Taiwán, Tailandia y Vietnam. En Oceanía se ha reportado en Australia, Fiji y Papúa Nueva Guinea (EPPO).

Figura 5. Distribución mundial de *Xanthomonas albilineans*, agente causal de la escaldadura de la hoja en caña de azúcar (EPPO).



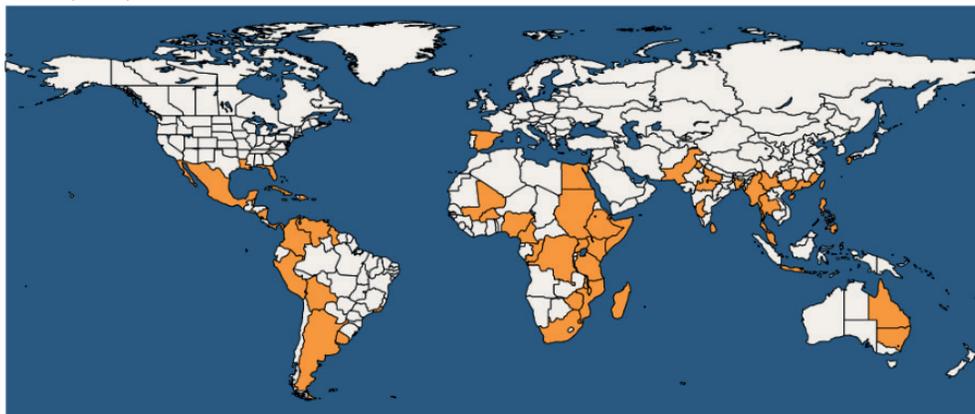
Por otra parte, *X. vasicola* pv. *vasculorum* está presente en los países de África: Ghana, Madagascar, Malawi, Mauricio, Mozambique, Reunión, Sudáfrica, Suazilandia y Zimbabwe. En el continente americano está presente en: Antigua y Barbuda, Argentina, Barbados, Belice, Brasil, Colombia, Cuba, Dominica, Guadalupe, Guyana Francesa, Jamaica, Martinica, México, Panamá, Puerto Rico, República Dominicana, Santa Lucía, San Cristóbal y Nieves, San Vicente y las Granadinas y Trinidad y Tobago. Mientras que la presencia de esta bacteria únicamente está limitada en India e Indonesia en Asia; y Portugal en Europa. Finalmente, en Oceanía se encuentra en Australia, Fiji y Papúa Nueva Guinea (Figura 6).

Figura 6. Distribución mundial de *Xanthomonas vasicola* pv. *vasculorum*, agente causal de la gomosis de la caña de azúcar (EPPO).



En la Figura 7 se muestra la distribución mundial de *L. xyli* subsp. *xyli* en los países de África: Burkina Faso, Camerún, Comoras, Congo, Costa de Marfil, Yibuti, Egipto, Etiopía, Kenia, Madagascar, Malawi, Malí, Mauricio, Mozambique, Nigeria, Reunión, Seychelles, Somalia, Sudáfrica, Sudán, Suazilandia, Tanzania, Uganda y Zimbabue. En América está presente en: Antigua y Barbuda, Argentina, Barbados, Belice, Bolivia, Brasil, Colombia, Cuba, Estados Unidos, República Dominicana, El Salvador, Guadalupe, Guyana, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Perú, Puerto Rico, San Cristóbal y Nieves, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela. Mientras que en Asia se encuentra en: Bangladés, China, Filipinas, India, Indonesia, Japón, Malasia, Myanmar, Pakistán, Sri Lanka, Taiwán y Tailandia. En el continente europeo únicamente se localiza en España. Finalmente, en Oceanía se reporta en: Australia y Fiji (EPPO).

Figura 7. Distribución mundial de *Leifsonia xyli* subsp. *xyli*, agente causal del raquitismo de las socas en caña de azúcar (EPPO).



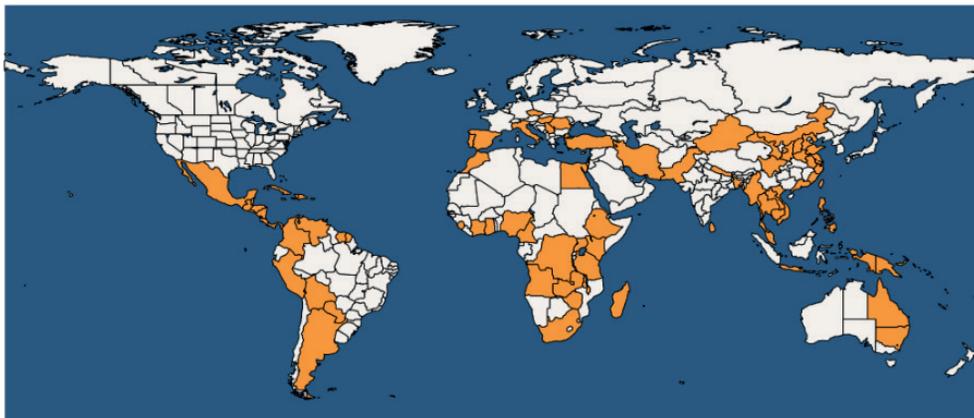
5.3 VIRUS

5.3.1 ScMV

La amplia distribución del ScMV se debe en gran medida a la enorme cantidad de especies vegetales hospederas que tiene. En la Figura 8 se observa que está presente en los países de África: Angola, Camerún, Congo, Costa de Marfil, Egipto, Etiopía, Ghana, Kenia, Madagascar, Malawi, Marruecos, Nigeria, Sierra Leona, Sudáfrica, Tanzania, Uganda, Zambia y Zimbabue. En el continente americano está presente en: Antigua y Barbuda, Argentina, Barbados, Belice, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, El Salvador, Estados Unidos, Guadalupe, Guatemala, Guayana Francesa, Haití, Honduras, Islas Vírgenes, Jamaica, Martinica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Puerto Rico, República Dominicana, San Cristóbal y Nieves, San Vicente y Las Granadinas,

Surinam, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela. Mientras que en Asia se ha localizado en: Bangladés, Camboya, China, Filipinas, India, Indonesia, Irán, Israel, Japón, Laos, Malasia, Myanmar, Nepal, Pakistán, Sri Lanka, Taiwán, Tailandia y Vietnam. Y en Europa se ha reportado en: Alemania, Bulgaria, Grecia, Hungría, Italia, Polonia, Portugal, República Checa, Rumania, Serbia, España y Turquía. En Oceanía se consigna su presencia en Australia, Fiji y Papúa Nueva Guinea (EPPO).

Figura 8. Distribución mundial del Virus del mosaico de la caña de azúcar (EPPO, 2011).



Por otra parte, el ScYLV se distribuye en los países de África: Kenia, Malawi, Marruecos, Mauricio, Mozambique, Senegal, Sudán, Sudáfrica, Uganda, Zambia y Zimbabwe. En América está presente en: Argentina, Barbados, Brasil, Colombia, Cuba, Estados Unidos, El Salvador, Guadalupe, Guatemala, Jamaica, Martinica, México, Nicaragua, Perú, República Dominicana y Venezuela. Mientras que en Asia se encuentra en: India, Irán, China, Filipinas, Malasia, Sri Lanka, Taiwán y Tailandia. Finalmente, en Oceanía se reporta en: Australia y Papúa Nueva Guinea (Lockhart y Cronjé, 2000).

6 SÍNTOMAS

6.1 HONGOS

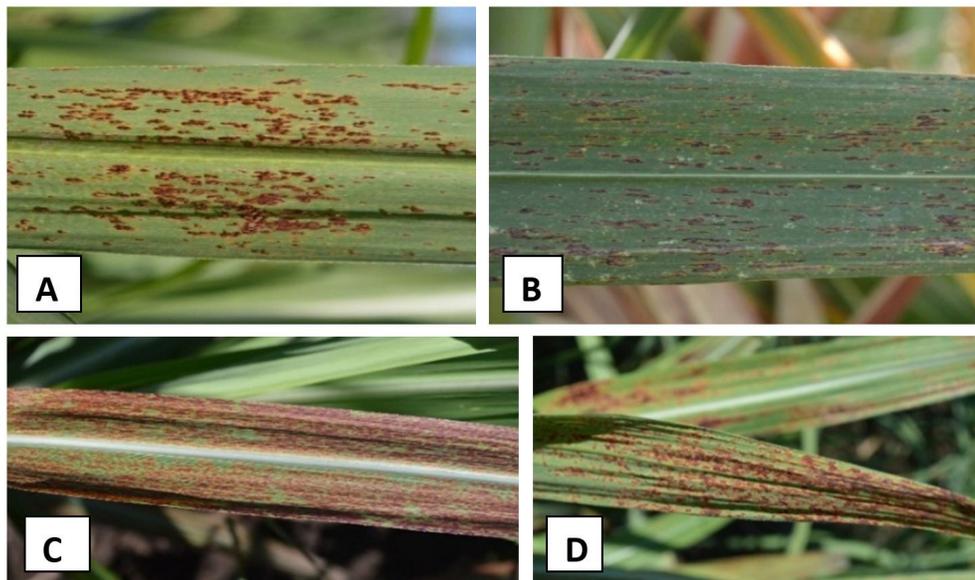
6.1.1 Royas

De acuerdo con Egan (1964), los síntomas inducidos por *P. kuehnii* son casi idénticos a los ocasionados por *P. melanocephala*. De manera general, los síntomas iniciales de ambas royas en la caña de azúcar se presentan como lesiones diminutas y elongadas que forman un halo amarillento-verdoso.

6.1.1 *Puccinia melanocephala*

En el caso de esta roya aparecen pequeñas manchas alargadas de color amarillento, las cuales son visibles en ambas superficies de las hojas (Figura 9, A y B). Las manchas aumentan en tamaño hasta 1.5 mm de diámetro y por lo general se vuelven marrones o con tonalidades naranja-marrón o rojo-marrón (Figura 9, C y D).

Figura 9. Síntomas de roya café sobre lámina foliar de caña de azúcar. A) y B) Lesiones alargadas con halos amarillos; C) Síntomas sobre el haz de la hoja; D) Síntomas sobre el envés de la hoja.



Las lesiones forman abultamientos en la epidermis (pústulas) que se distribuyen irregularmente en la hoja y suelen oscilar entre 2-10 mm de longitud, y en algunas ocasiones pueden alcanzar los 30 mm. Las pústulas abultadas se forman predominantemente en el envés de las hojas; las urediniosporas que se forman en el interior de estas pústulas, son de color naranja a naranja-marrón (Figura 10). En variedades altamente susceptibles, un considerable número de pústulas pueden aparecer en una hoja, uniéndose para formar grandes áreas irregulares y necróticas (Figura 11). Si el grado de severidad de la roya es elevado pueden incluso causar la muerte prematura de las hojas jóvenes (Figura 12).

Figura 10. Pústulas de roya café en caña de azúcar. A) y B) Pústulas sobre el envés de hojas; C) Pústulas reventadas liberando esporas.

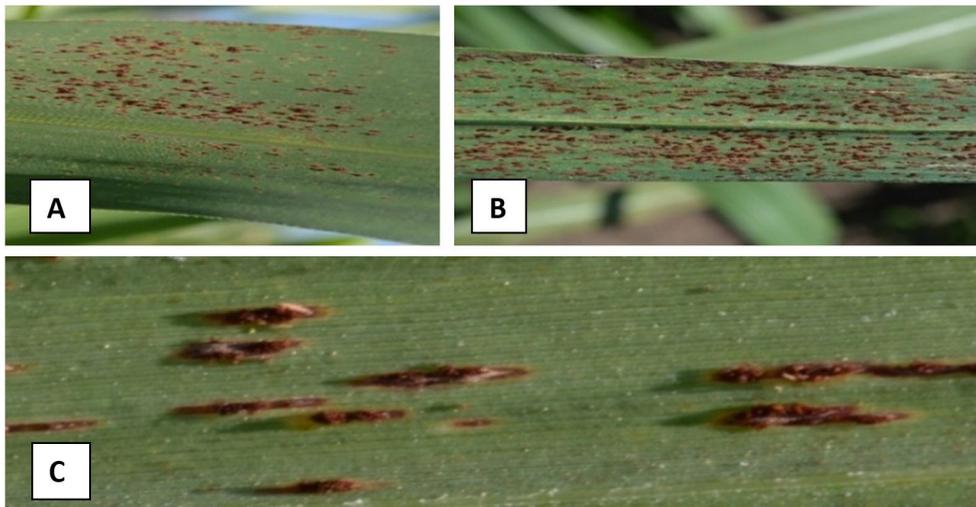


Figura 11. Lámina foliar de plantas de caña de azúcar con daño severo por roya café.

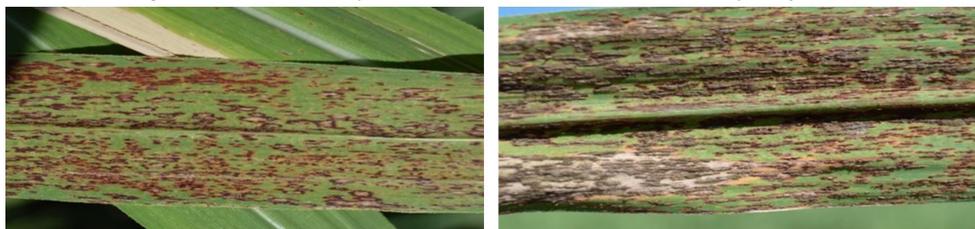


Figura 12. Muerte de hojas jóvenes de caña de azúcar ocasionada por la roya café.



Daños severos ocasionados por la roya café de la caña de azúcar han causado la reducción del número y biomasa de los tallos (Rao et al., 1999; Raid y Comstock, 2000) (Figura 13). Las plantas después de los seis meses de edad presentan una recuperación cuyo grado depende del nivel de susceptibilidad de la variedad.

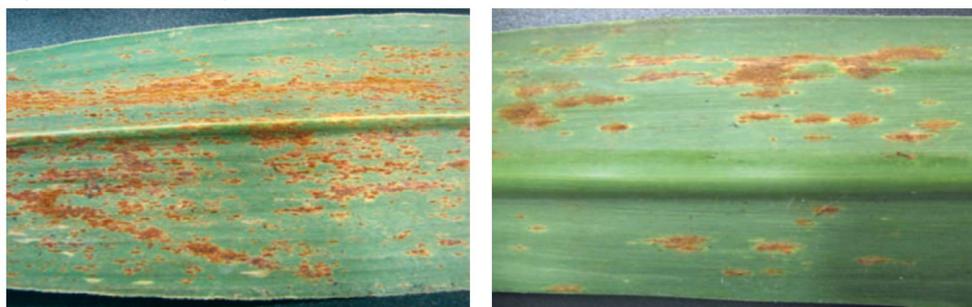
Figura 13. Daños severos ocasionados por la roya café en plantas de caña de azúcar de 4 meses de edad.



6.1.1.2 *Puccinia kuehnii*

El agente causal de la roya anaranjada ocasiona pústulas muy pequeñas, a diferencia de la roya café. Las lesiones de esta roya en particular no son marrón oscuro, sino naranja óxido (Figura 14).

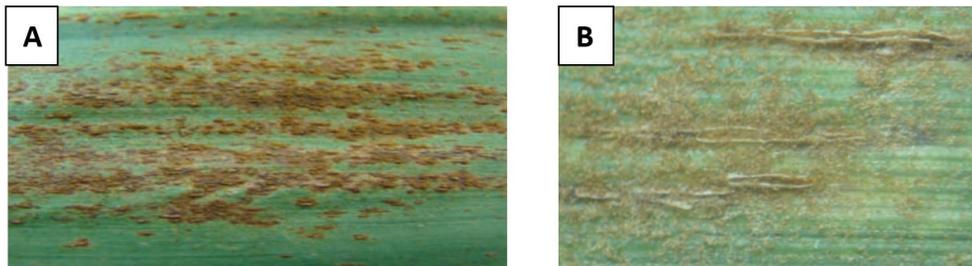
Figura 14. Síntomas de roya naranja sobre lámina foliar de caña de azúcar. Fuente: Cadavid-Ordóñez et al., (2010).



Las pústulas aparecen principalmente en la superficie abaxial de las láminas foliares (Figura 15, A), también en las vainas y en las partes florales, pero raramente en tallos, aunque predominan en la superficie foliar (Magarey, 2000; Infante et al., 2009). En algunos casos, las pústulas están rodeadas por un halo estrecho, blanquecino o amarillo y contienen masas de esporas pulverulentas anaranjadas. Las esporas pueden dispersarse de las pústulas y formar un polvo granuloso anaranjado en la superficie de

la hoja (Magarey, 2000; Infante et al., 2009) (Figura 15, B). Con el aumento de la edad de las hojas, las lesiones viejas de la roya naranja empiezan a producir esporas negras en lugar de anaranjadas, las cuales pueden tornarse de un color marrón oscuro (Cadavid-Ordóñez et al., 2010).

Figura 15. Pústulas de roya naranja. A) Pústulas sobre la parte del envés de la hoja de caña de azúcar. B) Pústulas de roya naranja liberando urediniosporas de color naranja pálido sobre lámina foliar de caña de azúcar. Fuente: Cadavid-Ordóñez et al., (2010).



6.2 BACTERIAS

6.2.1 *Xanthomonas albilineans*

6.2.1.1 Fase crónica

Se caracteriza por la presencia de algunos síntomas externos. El síntoma típico de la enfermedad es la aparición de finas rayas blancas (“white pencil line”) sobre la lámina foliar de 1 a 2 mm de ancho, las cuales siguen la dirección de las venas principales. El nombre del patógeno (*X. albilineans*) se deriva de la aparición de estas rayas, las cuales en ocasiones desarrollan una necrosis rojiza a lo largo de la hoja. Un síntoma común en plantas maduras es el desarrollo anormal de brotes laterales en los nodos del tallo principal (Figura 16). De manera interna, los tallos afectados muestran pequeños puntos con coloración rojiza, debidos a la necrosis de los haces vasculares (Figura 17). Estos puntos suelen ser más prominentes en los nodos, pero pueden estar presentes en los entrenudos (Ricaud y Ryan, 1989).

Figura 16. Presencia de brotes laterales en caña de azúcar afectadas por escaldadura de la hoja.



Figura 17. Corte transversal de tallos de caña de azúcar mostrando haces vasculares color rojo colonizados por la bacteria *X. albilineans*.



6.2.1.2 Fase aguda

La fase aguda se caracteriza por un marchitamiento repentino y la muerte de tallos maduros, por lo general, sin expresión de síntomas previos; en variedades susceptibles grandes extensiones de campo pueden verse afectadas de esta forma. En ocasiones pequeños brotes de la cepa de tallos muestran las rayas blancas características de la enfermedad, las cuales pueden ser más anchas y difusas y extenderse hasta el borde de la hoja provocando un marchitamiento y una necrosis. La enfermedad también puede presentar una clorosis parcial o total del limbo (Ricaud y Ryan, 1989). En Australia se ha presentado la fase aguda cuando se sembraron variedades altamente susceptibles en áreas donde la enfermedad era endémica (Martin y Robinson, 1961). Hasta el momento, en la región del Occidente de México no existen reportes sobre afectaciones al cultivo de caña de azúcar por escaldadura en fase aguda.

6.2.1.2 Fase de latencia

La forma latente de la enfermedad no manifiesta síntomas externos. En variedades tolerantes y cuando las condiciones ambientales son propicias para el desarrollo vegetativo (temperaturas entre 30-34°C), los tallos infectados parecen recuperarse, pero la bacteria continua presente en estado latente. Si las condiciones ambientales favorecen el desarrollo del patógeno (temperaturas entre 25-28°C) puede reaparecer la enfermedad. La fase aguda se manifiesta en socas donde la enfermedad subsiste en estado latente (Ricaud y Ryan, 1989).

6.2.1.3 Fase eclipse

Durante esta fase puede ocurrir la aparición temporal de rayas blancas en la lámina foliar, las cuales dejan de ser visibles después de la senescencia y muerte de las hojas más viejas, mientras que las hojas nuevas presentan un aspecto normal. Por lo anterior, un diagnóstico basado en síntomas puede ser erróneo debido a que una planta infectada puede estar visualmente sana (Martín et al., 2000).

6.2.2 *Xanthomonas vasicola* pv. *vasculorum*

Se distinguen dos etapas de la enfermedad de la gomosis en caña de azúcar, una etapa inicial donde se presenta un rayado en las hojas y la etapa sistémica. El síntoma externo inicial de la enfermedad es la aparición de un rayado en las hojas, de color crema a amarillo. Estas rayas se tornan luego de color amarillo parduzco y se van cubriendo de una coloración rojiza que inicia desde el borde de las hojas hacia el interior, paralelas a la nervadura central (Figura 18). Por lo general miden 3 a 6 mm de ancho y su longitud se extiende dependiendo el largo de las hojas (Dowson, 1949; Ricaud y Autrey, 1989). En las variedades susceptibles las rayas recorren todo el limbo hasta la vaina, permitiendo a la bacteria penetrar en el tallo, iniciando así la etapa sistémica de la enfermedad, la cual se caracteriza por una clorosis tanto de hojas de tallos maduros como de los brotes jóvenes después de la zafra o de brotes que emergen de estacas infectadas (Ricaud y Autrey, 1989).

Figura 18. Síntomas causados por *Xanthomonas vasicola* pv. *vasculorum*, a la derecha se observan estrias de color amarillo a amarillo-pajoso.



Los síntomas internos son decoloración de los haces vasculares, tomando un color amarillo rojizo. También se puede observar el síntoma característico de la enfermedad que es el flujo de una sustancia gomosa, la cual es de color transparente en un principio, y que se oxida con la exposición al aire tornándose amarillo y posteriormente color anaranjado. En etapas finales de la enfermedad aparecen bolsas de goma, que son cavidades dentro del tejido las cuales contienen la sustancia gomosa y por lo general se localizan cerca del cogollo ocasionando la muerte del tallo. Estas mismas bolsas de goma ocasionan la deformación de los tallos y hojas, formando lesiones en forma de corte de machete con exudación de goma (Earle, 1928; Ricaud y Autrey, 1989).

6.2.3 *Leifsonia xyli* subsp. *xyli*

De manera externa la enfermedad del raquitismo de las socas no muestra ningún síntoma específico, sino únicamente varios grados de achaparramiento y crecimiento reducido, sin embargo, estas características también se pueden deber a factores abióticos tales como deficiencias nutricionales y estrés hídrico. Las plantas infectadas son especialmente susceptibles a falta de agua. De manera interna, se distinguen dos tipos de decoloración en el tallo que pueden estar asociados con la enfermedad bacteriana, por una parte, el taponamiento de los haces vasculares (xilema) por una sustancia gomosa de coloración rojiza; y la otra por lo general de un color rosado en los nudos, por debajo de la región meristemática de los retoños viejos (4 a 8 semanas de edad) (Gillaspie y Teakle, 1989).

6.3 VIRUS

6.3.1 ScMV

El síntoma general causado por el ScMV en caña de azúcar se caracteriza principalmente por presentar decoloraciones en la lámina foliar, en la cual se observan

zonas de color verde normal alternado con áreas verde pálido o amarillentas; estas decoloraciones son resultado de los niveles de variación en la concentración de la clorofila en la hoja (Figura 19) (Grisham, 2000; Lapierre y Signoret, 2004; CONADESUCA).

Las áreas cloróticas son más evidentes en el tercio basal de hojas jóvenes en crecimiento. La intensidad de los síntomas varía con la variedad del cultivo, condiciones de crecimiento, temperatura y razas del virus (Figura 19). Las decoloraciones rojo o café-rojizo de la nervadura o la lámina foliar pueden resultar de la combinación de diferentes cepas del virus. En hojas maduras los síntomas tienden a desaparecer (Grisham, 2000; Lapierre y Signoret, 2004; CONADESUCA, 2015).

Figura 19. Síntomas severos causados por el Virus del mosaico de la caña de azúcar en lámina foliar.



6.3.2 ScYLV

El síntoma característico del ScYLV es un amarillamiento en la nervadura central de la hoja (Figura 20). Este patrón de coloración y la naturaleza de los síntomas están asociados a variables que dependen de la variedad y las condiciones ambientales (Lockhart y Cronjé, 2000).

Figura 20. Síntomas característicos del síndrome de la hoja amarilla en caña de azúcar.



Otros síntomas que se han reportado incluyen amarillamiento y necrosis desde el ápice de la hoja hasta la parte basal de la misma, expansión gradual del amarillamiento

a partir de la nervadura hacia los bordes, acortamiento de entrenudos terminales, acumulación de pigmentos de antocianina en las hojas, bloqueo en la translocación de azúcar desde las hojas hacia los tallos y acumulación de sacarosa en la nervadura de la hoja (Comstock et al., 1999; Lockhart y Cronjé, 2000).

En algunas variedades se puede observar una decoloración rojiza sobre el haz de las nervaduras, las cuales a la vez presentan amarillamiento en el envés. En general, los síntomas se acentúan hacia la madurez de la caña (Comstock et al., 1999; Lehrer y Komor, 2008).

En los casos en que el cultivo de caña de azúcar es abandonado por alguna razón, éste es invadido por una gran cantidad de maleza y la incidencia de la enfermedad causada por el ScYLV aumenta (Figura 21). Lo anterior, representa un foco de infección para la dispersión del virus por áfidos vectores.

Figura 21. Cultivo de caña de azúcar abandonado con problemas de virosis severa por el ScYLV.



7 TRANSMISIÓN Y DISPERSIÓN

7.1 HONGOS

Las urediniosporas de las royas de la caña de azúcar se propagan principalmente por factores climáticos como el viento y la precipitación. El movimiento de un lugar a otro de material vegetativo enfermo, equipo contaminado y trabajadores de campo también constituyen un medio de propagación. Una vez que ocurre la ruptura de las pústulas (uredinios) se liberan masas de esporas de color anaranjado-marrón, las cuales son

principalmente diseminadas por el viento a grandes distancias que pueden superar los 2,000 km (CABI, 2015).

7.2 BACTERIAS

La transmisión de las bacterias *X. albilineans*, *X. vasicola* pv. *vasculorum* y *L. xyli* subsp. *xyli* ocurre en gran medida por el tipo de propagación vegetativa de la caña de azúcar que es por semilla-estaca, pues el intercambio descontrolado de germoplasma entre las regiones cañeras del país se da indiscriminadamente transportando la carga patogénica a otras regiones donde no existía. También la semilla-estaca infectada permite la transmisión de la enfermedad a otros países cuando estos no tienen las precauciones necesarias en la estación cuarentenaria para el intercambio de material vegetativo.

Estas bacterias también son transmitidas por medios mecánicos, los cuales ocurren al momento de causar heridas en los tallos de las cañas de azúcar, por lo general mediante el uso de herramientas de trabajo como machetes, cuchillos y las navajas de las cosechadoras; estas herramientas infectadas al momento de causar heridas en plantas sanas son responsables de la transmisión de estos patógenos (Gillaspie y Teakle, 1989; Ricaud y Ryan, 1989).

7.3 VIRUS

La dispersión de las partículas virales del ScMV y el ScYLV ocurre de manera similar a las bacterias, en gran medida por el tipo de propagación vegetativa de la caña de azúcar que es por semilla-estaca. De manera natural, el ScMV y el ScYLV generalmente son transmitidos por áfidos de manera no persistente. Los virus son adquiridos por sus vectores al alimentarse de plantas huésped infectadas. Las principales especies de áfidos vectores de estos virus son: *Melanaphis sacchari*, *Rhopalosiphum maidis* y *Sipha flava* (Figueredo et al., 2004). El ScMV también es transmitido por inoculación mecánica, mientras que el ScYLV no. En caña de azúcar no se ha detectado la transmisión de estos virus por semilla “fuzz”.

8 MANEJO PREVENTIVO Y CONTROL

8.1 HONGOS

8.1.1 Control genético

El mejor método de control de la roya café y naranja de la caña de azúcar es el uso de variedades resistentes al patógeno. El desarrollo de variedades resistentes

ha reducido las pérdidas económicas causadas por esta enfermedad (Ryan y Egan, 1989). Sin embargo, las variedades resistentes actuales están amenazadas por el establecimiento de nuevas razas del patógeno. Por ejemplo, la variedad CP 78-1247 fue considerada como resistente o moderadamente resistente a roya café hasta 1988, luego exhibió una elevada susceptibilidad en todo el sur de Florida. Sin embargo, la resistencia no ha sido estable o duradera en determinadas variedades, presumiblemente a causa de las variantes del patógeno. Por esta razón, es muy recomendable que los productores diversifiquen sus variedades utilizadas (Raid y Comstock, 2000; Comstock et al., 2008) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Variedades de caña de azúcar sembradas en México con diferentes grados de reacción a la roya café (UNC).

Susceptibles	Tolerantes	Resistentes
B-4362, B51415, CL41-223, CL54-378, F134, H49-5, Q80, Mex60-445, Mex60-1474, Mex66-1428, Mex69-1456 y Mex70-421.	B3439, Co421, Mex58-1230, Mex64-1214, Mex69-1460, My5514 y PR1048.	Co213, Co331, Co997, CP44-101, CP29-203, CP72-1210, CP72-2086, CP74-2005, H37-1933, L60-14, Mex54-81, Mex56-18, Mex57-473, Mex59-32, Mex64-1487, Mex68-200, Mex68-P-23, Mex69-290, Q68, NCo310.

8.1.2 Control químico

Se han utilizado fungicidas como propiconazol/mancozeb, ciproconazol, triadimefon y triadimenol para el control de las royas en caña de azúcar. En Guatemala se evaluó la incidencia de la roya naranja con fungicida y sin fungicida. Las aplicaciones se hicieron con ciproconazol a intervalos de 10 días. Los resultados mostraron una buena efectividad del fungicida, sin embargo, al finalizar las aplicaciones a cinco meses de edad, la enfermedad se presentó en las parcelas tratadas, aunque con severidades menores a las de parcelas no tratadas (Ovalle et al., 2008).

8.1.3 Control biológico

Uno de los agentes de control biológico de la roya es *Sphaerellopsis filum*, el cual fue encontrado parasitando a *P. melanocephala*, y también se ha empleado *Cladosporium uredinicola*. Mientras que el hongo *Darluca filum* se ha encontrado parasitando a *P. kuehni* en cultivos de caña de azúcar infestados de roya (Soria et al., 1988; Abdel-Baky et al., 1998). Sin embargo, a la fecha no existe control biológico efectivo.

8.2 BACTERIAS

Las enfermedades bacterianas de escaldadura de la hoja, gomosis y raquitismo de las socas son controladas principalmente por la selección y cultivo de variedades resistentes o tolerantes. Por otra parte, es deseable el uso de material de siembra sano, el cual puede obtenerse mediante el tratamiento térmico de la semilla-estaca. Para lo anterior, se puede utilizar una cámara hidrotérmica automatizada (Figura 22). La temperatura recomendada para este propósito es de 50°C durante dos horas, eliminando la mayor parte de bacterias, bajando de esta forma la carga patogénica y sin causar daños a los meristemas.

También se ha utilizado el cultivo de tejidos vegetales para la obtención de semilla sana en diversos programas de mejoramiento genético de varios países donde se cultiva caña de azúcar. Se ha observado que las plantas procedentes de cultivo *in vitro* presentan en campo un crecimiento más rápido y vigoroso en comparación con las propagadas por semilla-estaca.

En México, las actividades realizadas por el Centro de Investigación y Desarrollo de la Caña de Azúcar (CIDCA) constituyen el mejoramiento genético del cultivo de caña de azúcar para aumentar los rendimientos y obtener resistencia a enfermedades y es considerado el mejor método de control (control genético).

Figura 22. Cámara hidrotérmica automatizada para la desinfección de semilla-estaca de caña de azúcar.



8.3 VIRUS

Existen cuatro rutas para controlar las enfermedades virales en plantas: evitar la infección, control del vector, inoculación de la planta con una cepa atenuada del virus y el mejoramiento genético para su resistencia.

En caña de azúcar, para el manejo y control del ScMV y el ScYLV se utilizan los métodos convencionales de eliminación de plantas enfermas, uso de semilla sana, siembra de variedades resistentes y algunas prácticas de cultivo para su prevención. Con la eliminación de plantas enfermas es posible mantener niveles bajos de incidencia, pero esto depende de la variedad, variante del virus y de la abundancia de los vectores presentes en la zona del cultivo. Además, resulta bastante complicado, costoso y poco práctico.

Las plantas de caña de azúcar pueden ser protegidas mediante inoculación con una cepa del virus (protección cruzada). Se prepara un extracto crudo de hojas infectadas con el ScMV en un buffer de fosfatos y en invernadero se llevan a cabo las inoculaciones de manera mecánica sobre las hojas. Este proceso se realiza después de que se germina la semilla verdadera o semilla “fuzz”, la cual en México es producto de diferentes cruces realizadas por el Centro de Investigación y Desarrollo de la Caña de Azúcar (CIDCA) para la generación de variedades más productivas y resistentes a enfermedades. El Campo Experimental Tecomán del INIFAP es uno de los 11 Campos Experimentales Regionales, distribuidos en las diferentes zonas cañeras del país, que tiene la tarea de evaluar las variedades generadas por el CIDCA.

Las actividades realizadas por el CIDCA en nuestro país constituyen el mejoramiento genético del cultivo de caña de azúcar para aumentar los rendimientos y obtener resistencia a enfermedades y es considerado el mejor método de control; sin embargo, requiere de una fuente de genes de especies sexualmente compatibles con *S. officinarum* y por lo general se utiliza para este propósito a *S. spontaneum*. En México, la variabilidad genética de la caña de azúcar es muy estrecha por lo que hace falta que se incorporen genes de variedades relacionadas como: *S. robustum*, *S. barberi*, *S. sinense* y *S. edule*, las cuales podrían aportar genes para generar variedades resistentes al ScMV y el ScYLV.

La resistencia a estos virus también puede obtenerse mediante biotecnología utilizando técnicas de ingeniería genética. En caña de azúcar se ha utilizado la tecnología del silenciamiento génico postranscripcional (PTGS) para la generación de plantas resistentes a la enfermedad del mosaico. Ingelbrecht et al. (1999) generaron plantas resistentes a la enfermedad del mosaico ocasionada por el SrMV utilizando la pistola de genes. De manera similar Joyce et al. (1998) también emplearon el bombardeo de

micropartículas para transformar callo embriogénico de caña de azúcar para conferirle resistencia al ScMV.

9 CONCLUSIONES

Las enfermedades en caña de azúcar ocasionadas por hongos, bacterias y virus se encuentran ampliamente distribuidas en las zonas cañeras de todo el país. Dado que en México los productores cañeros han estado sembrando las mismas variedades comerciales por más de 30 años (CP 72-2086 y Mex 69-290, principalmente), estas plantas han presentado una gran diversidad de síntomas de diferentes enfermedades tales como royas, escaldadura de la hoja, gomosis, raquitismo de la soca, mosaico, síndrome de la hoja amarilla, entre otras. Estos genotipos se siguen sembrando en la actualidad, debido a que se adaptan bien a diversas condiciones agroclimáticas. Sin embargo, los rendimientos en campo se han visto disminuidos por el deterioro genético de dichas variedades que los han hecho susceptibles a diversas enfermedades aunado al efecto negativo de las plagas. Lo anterior denota la necesidad de rejuvenecer el campo cañero mexicano con nuevas variedades más vigorosas, adaptadas a las distintas zonas agroecológicas de México y con resistencia a enfermedades para poder aumentar los rendimientos en campo. Por otra parte, hace falta realizar estudios que cuantifiquen el daño que ocasionan estas enfermedades (casadas por hongos, bacterias y virus) a la agroindustria cañera de México, para concientizar a los productores sobre la necesidad de sustituir los genotipos viejos que han utilizado por décadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbott, E. V. 1961. Mosaic. In: Martin, J. P., Abbott, E. V., Hughes, C. G. (Eds). Sugarcane Diseases of the world (1st Ed, Vol I). pp 407-425. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands.

Abdel-Baky, N. F., Arafat, S., Nehal, A. and Abdel-Ssalam, H. 1998. Three *Cladosporium* spp. as promising biological control candidates for controlling whiteflies (*Bemisia* spp.) in Egypt. Pakistan Journal of Biological Sciences 1:188-195.

Ahmad, Y. A., Girard, J. C., Fernandez, E., Pauquet, J., Lockhart, B. E. L., Letourmy, P. and Rott, P. 2007. Variation in virus populations and growth characteristics of two sugarcane cultivars infected by *Sugarcane yellow leaf virus* in different geographical locations. Plant Pathology 56:743-754.

Almazan, O., González, L. and Galvez, L. 1998. The sugar cane, its by-products and co-products. pp. 13-25. Food and Agricultural Research Council, Reduit, Mauritius.

Arcenaux, G. 1967. Cultivated sugarcane of the world and their botanical derivation. Proc. Congr. Int. Soc. Sugar Cane Technol. 12:844-854.

Autrey, L. J. C., Dhayan, S. and Sullivan, S. 1986. Effect of race three of gumming disease pathogen on growth and yield in two sugar cane varieties. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol., 19: 420-428.

Barret, B. O. 1930. Los cultivos tropicales. Cultural, S. A. Habana, Cuba. p. 137-166.

Braithwaite. 2005. Assessing the impact that pathogen variation has on the sugarcane breeding program. Final report-SRAC Project BSS258. BSES.

CABI (Centre for Agricultural Bioscience International). Invasive Species Compendium (ISC). Disponible en: <http://www.cabi.org/isc/datasheet/45818> Consultado: 4 de octubre de 2023.

Cadavid-Ordóñez, M., Ángel-Sánchez, J. C. y Victoria-Kafure, J. I. 2010. Métodos de diferenciación en campo y laboratorio de los agentes causales de la roya café (*Puccinia melanocephala*) y la roya naranja (*Puccinia kuehnii*) en caña de azúcar. Carta Trimestral. CEÑICAÑA. 32:30-36.

Cobb, N. A. 1893. Plant diseases and their remedies - Diseases of the sugar cane. Agric. Gaz. 4: 777-798.

Comstock, J. C., Miller, J. D. Tai, P. Y. P. and Follis, J. E. 1999. Incidence of and resistance to *Sugarcane yellow leaf virus* in Florida. Proceedings International Soc. Sugar Cane Technol. 23:366-372.

Comstock, J. C., Sood, S. G., Glynn, N. C., Shineii, J., McKemy, J. M. and 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 92:175.

CONADESUCA (Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar) 2017. Fitopatologías. Disponible en: <http://www.conadesuca.gob.mx> Consultado el 28 de agosto de 2023.

Daniels, J. and Roach, B. T. 1987. Taxonomy and evolution. Chapter 2. pp. 7-84. In: D. J., Heinz, (Eds). Sugarcane improvement through breeding. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands.

Davis, M. J., Gillaspie, A. G., Jr., Vidaver, A. K., and Harris, R. W. 1984. Clavibacter: A new genus containing some phytopathogenic coryneform bacteria, including *Clavibacter xyli* subsp. *xyli* sp. nov., subsp. nov. and *Clavibacter xyli* subsp. *cynodontis* subsp. nov., pathogens that cause ratoon stunting disease of sugarcane and bermudagrass stunting disease. Int. J. Syst. Bacteriol. 34: 107-117.

Dowson, W. J. 1949. Manual of bacterial plant diseases. Adam and Charles Black. Londres. p. 104-115.

Earle, F. S. 1928. Sugar cane and its culture. John Wiley and Sons, Inc. New York. p. 109-161.

Egan, B. T. 1964. Rust. In: "Sugar-cane diseases of the world". pp. 61-68. C. G. Hughes, E. V. Abbott, and C. A. Wismer (Eds.). Vol. II, Elsevier, New York.

EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization). Global Database. Disponible en: <https://gd.eppo.int/> Consultado: 29 de septiembre de 2023.

FAO (Food and Agriculture Organization). 2023. Statistic division (FAOSTAT) <http://faostat3.fao.org> Consultado: 28 de septiembre de 2023.

Faris, J. A. 1927. Algunas serias enfermedades de la caña de azúcar no conocidas como existentes en Cuba. Est. Exp. del Club Azucarero de Cuba. Central Baraguá, Provincia de Camaguey, Cuba. Bol. 4: 17-22.

Figueredo, L., Hernández, L. y Linares, B. 2004. Relación epidemiológica entre áfidos (Homoptera:Afididae) y enfermedades virales en el cultivo caña de azúcar en los valles de los ríos Turbio y Yaracuy, Venezuela. Caña de azúcar 22:5-19.

- Flores Cáceres, S. 1997. Las enfermedades de la caña de azúcar en México. Núñez (Ed). Córdoba, Veracruz, México. 285 p.
- Gillaspie, A. G. and Teakle, D. S. 1989. Ratoon stunting disease, chapter IV. In: C. Ricaud, B. T. Egan, A. G. Gillaspie, C. G. Hughes (eds). Diseases of sugarcane. Major diseases. ELSEVIER. Amsterdam, The Netherlands. pp 59-80.
- Gonçalves, M. C., Pinto, L. R., Souza, S. C. and Landell, M. G. A. 2012. Virus diseases of sugarcane. A constant challenge to sugarcane breeding in Brazil. *Funct. Plant Sci. Biotechnol.* 6:108-116.
- Grisham, M. P. 2000. Mosaic. *In: A guide to sugarcane diseases.* pp. 249–254. P. Rott, R. A. Bailey, J. C. Comstock, B. J. Croft and A. S. Saumtally (Eds). CIRAD Publications Service. Montpellier, France.
- Huerta Lara, M., Ortega Arenas, L. D., Landeros Sánchez, C., Fucikovskyy Zak, L. y Martín García, M. 2003. Respuesta de 10 variedades de caña de azúcar a la escaldadura de la hoja [Xanthomonas albilineans (ashby) dowson], en la región central costera de Veracruz. *Agrociencia.* 37: 511-519.
- ICTV (International Committee on Taxonomy of Viruses). 2019. Virology Division. Montreal, Canada. Disponible en: <http://www.ictvonline.org/virusTaxonomy.asp> Consultado: 4 de octubre de 2023.
- Infante, D., Martínez, B., González, E. y González, N. 2009. *Puccinia kuehnii* (Krüger) Butler y *Puccinia melanocephala* H. Sydow y P. Sydow en el cultivo de la caña de azúcar. *Rev. Protección Veg.* 24:22-28.
- Ingelbrecht, I. L., Irvine, J. E., and Mirkov, T. E. 1999. Posttranscriptional gene silencing in transgenic sugarcane. Dissection of homology-dependent virus resistance in a monocot that has a complex polyploidy genome. *Plant Physiology* 119:1187-1197.
- Joyce, P. A., Mcqualter, R. B., Bernard, M. J., Smith, G. R. and Drew, R. A. 1998. Engineering for resistance to SCMV in sugarcane. *Acta Hort.* 461: 385-391.
- Koike H. and Guillaspie Jr., A. G. 1989. Mosaic. *In: Disease of sugarcane. Major Disease.* pp 287-288. C. G. Ricaud (Ed). Elsevier. Amsterdam, The Netherlands.
- Lapierre, H. and Signoret, P. A. 2004. Virus disease of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *In: Viruses and virus diseases of Poaceae (Gramineae).* 857 p. H. Lapierre and P. A. Signoret (Eds). INRA. Paris, France.
- Lehrer, A. T. and Komor, E. 2009. Carbon dioxide assimilation by virus-free sugarcane plants and by plants which were infected by *Sugarcane yellow leaf virus*. *Physiol. Mol. Plant P.* 70:180-188.
- Lehrer, A. T., and Komor, E. 2008. Symptom expression of yellow leaf disease in sugarcane cultivars with different degrees of infection by *Sugarcane yellow leaf virus*. *Plant Pathology* 57:178-189.
- Lehrer, A., Yan, S. L., Fontaniella, B., El-Sayed, A. and Komor, E. 2010. Carbohydrate composition of sugarcane cultivars that are resistant or susceptible to *Sugarcane yellow leaf virus*. *J. Gen. Plant Pathol.* 76:62-68.
- Lockhart, B. E. and Cronjé, C. P. R. 2000. Yellow leaf syndrome. *In: A Guide to Sugarcane Diseases.* pp. 291-295. P. Rott, R. A. Bailey, J. C. Comstock, B. J. Croft and A. S. Saumtally (Eds). CIRAD Publications Service. Montpellier, France.
- López-Ramírez, A. 1998. La importancia de las royas (Fungi: Uredinales) en la agricultura y silvicultura en México. *Foresta Veracruzana* 1:49-52.

- Magarey, R. C. 2000. Orange rust. pp. 121-125 *In: A Guide to Sugarcane Diseases* (P. Rott, R. A. Bailey, J. C. Comstock, B. J. Croft, and A. S. Saumtally, Eds.). CIRAD Publications Service, Montpellier, France.
- Martin, J. P. and Robinson, P. E. 1961. Leaf scald. *In: J. P. Martin, E. V. Abbott and C. O. Hughes (eds). Sugar-Cane Diseases of the World. Vol. I. ELSEVIER. Amsterdam. pp. 79-107.*
- Molina, P. L. 1999. Infección de vitroplántulas de caña de azúcar (*Saccharum* sp.) por *Puccinia melanocephala* H. y P. Syd. pp. 2-3. Trabajo de diploma, Facultad de Biología, Universidad de La Habana, Cuba.
- Moonan F. and Mirkov, T. E. 2002. Analyses of the genotypic diversity among North, South, and Central American isolates of *Sugarcane yellow leaf virus*. Evidence for Colombian origins and for intraspecific spatial phylogenetic variation. *J. Virol.* 76:1339-1348.
- Osada, S. y Reyes, E. 1980. Estimación de pérdidas causadas por la roya de la caña de azúcar. Convención Nacional, Asociación de Técnicos Azucareros de México (ATAM), México.
- Ovalle, W., Orozco, H., Quemé, J., Melgar, M. y García, S. 2008. La roya anaranjada en Guatemala y estrategias para su manejo. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. Km. 92.5 Carretera a Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala.
- Purdy, L. H., and Dean, J. L. 1981. A system for recording data about the sugarcane rust/host interactions. *Sugarcane Pathol. Newsl.* 27:35-40.
- Purdy, L. H., Liu, L. J. and Dean, J. L. 1983. Sugarcane rust, a newly important disease. *Plant Dis.* 67:1292-1296.
- Raid, R. N. and Comstock, J. C. 2000. Common rust. pp. 85-89 *In: A Guide to Sugarcane Diseases* (P. Rott, R. A. Bailey, J. C. Comstock, B. J. Croft, and A. S. Saumtally, Eds.). CIRAD Publications Service. Montpellier, France.
- Rao, G. P., Bergamin, F., Magarey, Y. and Autrey, L. J. C. 1999. *Sugarcane Pathology*. Science Publishers Inc., Enfield, New Hampshire.
- Ricaud, C. 1969. Investigation on the systemic infection of gumming disease. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.* 13: 1159-1169.
- Ricaud, C. and Autrey, L. J. C. 1989. Gumming disease, chapter II. *In: C. Ricaud, B. T. Egan, A. G. Gillaspie, C. G. Hughes (eds). Diseases of sugarcane. Major diseases. ELSEVIER. Amsterdam, The Netherlands. pp 21-38.*
- Ricaud, C. and Ryan, C. C. 1989. Leaf scald, chapter III. *In: C. Ricaud, B. T. Egan, A. G. Gillaspie, C. G. Hughes (eds). Diseases of sugarcane. Major diseases. ELSEVIER. Amsterdam, The Netherlands. pp 39-58.*
- Ryan, C. C. and Egan, B. T. 1989. Rust. pp. 189-210. *In: C. Ricaud, B. T. Egan, A. G. Gillaspie and C. G. Hughes (Eds.). Diseases of sugarcane, major diseases. Elsevier Science Publisher. Amsterdam, Netherlands.*
- Saumtally, A. S., Viremouneix, T. R., Ahondokpe, B., Girard, J. C. R., Castlebury, L. A., Dixon, L., Glynn, N. C. and Comstock, C. 2011. First report of orange rust of sugarcane caused by *Puccinia kuehnii* in Ivory Coast and Cameroon. *Plant Disease* 95:357.
- Schenck, S., Lehrer, A. T. and Wu, K. K. 2001. Yellow leaf syndrome. Hawaii Agriculture Research Center, Pathology Report 68.

- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2023. Consultado: 28 de septiembre de 2023. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx>
- Singh, M., Singh, A., Upadhyaya, P. P. and Rao, G. P. 2005. Transmission studies on an Indian isolate of sugarcane mosaic potyvirus. *Sugar Tech.* 7:32-38.
- Singh, V., Sinha, O. K. and Kumar, R. 2003. Progressive decline in yield and quality of sugarcane due to sugarcane mosaic virus. *Indian Phytopathology* 56:500-502.
- Soria, E. M., Pérez, L. A y Cupull, S. R. 1988. Estudio sobre el micoparásito de la roya *Darluca filum* Cast en caña de azúcar. *Centro Agrícola.* 15:23-29.
- Tai, P. Y. P., Miller, J. D. and Legendre, B. L. 1995. Evaluation of the world collection of *Saccharum Spontaneum* L. *Proc Int. Soc. Sugar Cane Technol.* 21: 250-260.
- UNC (Unión Nacional de Cañeros). Fitopatologías. Disponible en: <http://www.caneros.org.mx>. Consultado el 5 de octubre de 2023.
- Vega, J., Scagliusi, S. M. M., and Ulian, E. C. 1997. Sugarcane Yellow Leaf Disease in Brazil: Evidence of Association with a Luteovirus. *Plant Disease* 81:21-26.
- Yan, S. L., Lehrer, A. T., Hajirezaei, M. R., Springer, A. and Komor, E. 2009. Modulation of carbohydrate metabolism and chloroplast structure in sugarcane leaves which were infected by Sugarcane yellow leaf virus (ScYLV). *Physiol. Mol. Plant P.* 73:78-87.
- Yang, Z. N. and Mirkov, T. E. 1997. Sequence and relationships of sugarcane mosaic and sorghum mosaic virus strains and development of RT-PCR-based RFLPs for strain discrimination. *Phytopathology* 87:932-939.

SOBRE O ORGANIZADOR

EDUARDO EUGENIO SPERS realizou pós-doutorado na Wageningen University (WUR), Holanda, e especialização no IGIA, França. Possui doutorado em Administração pela Universidade de São Paulo (USP). Foi Professor do Programa de Mestrado e Doutorado em Administração e do Mestrado Profissional em Comportamento do Consumidor da ESPM. Líder do tema Teoria, Epistemologia e Métodos de Pesquisa em Marketing na Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração (ANPAD). Participou de diversos projetos de consultoria e pesquisa coordenados pelo PENZA e Markestrat. É Professor Titular no Departamento de Economia, Administração e Sociologia, docente do Mestrado em Administração e Coordenador do Grupo de Extensão MarkEsalq no campus da USP/Esalq. Proferiu palestras em diversos eventos acadêmicos e profissionais, com diversos artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais, livros e capítulos de livros sobre agronegócios, com foco no marketing e no comportamento do produtor rural e do consumidor de alimentos.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acolchados 142, 143, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 157, 158, 159

Adaptability 162, 163, 167

Ajedrez 88

América 8, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 39, 65, 68, 69

Animal production 162

Animal protein 162

Antocianinas 38, 39, 40, 43

Aprehender 88, 89

Aprovechamiento 2, 26, 27, 33, 34, 92, 102, 153

B

Bacterias 7, 53, 54, 55, 59, 63, 66, 73, 79, 81, 83, 102, 174, 178, 181

Bebidas não lácteas 116

Bioacessibilidade 116, 119, 120, 125, 127, 128, 129, 133, 134

Bioactividade 116, 124, 132

C

Calibre 11, 14, 159

Caña de azúcar 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 61, 62, 64, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87

CIELab system 17, 18, 19, 20, 24

Cinza de biomassa de cana-de-açúcar 172, 173, 181

Citrus aurantifolia 11, 16, 142, 143, 144, 160

Colour 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 160

Compost 93, 94, 96, 98, 99, 106, 111, 113

Conservación del suelo 2

D

Diaforina 143

Digestibilidade 114, 115, 116, 117, 119, 127, 129, 130, 135, 136

Digestión anaeróbica 100, 101, 103, 112

E

Energía 28, 100, 101, 126

Enfermedades 12, 13, 15, 33, 35, 53, 54, 55, 56, 58, 59, 61, 81, 82, 83, 84, 85, 100, 101, 142, 155, 159

Excretas de perro 101

Exportación 3, 26, 27, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 37

F

Frutos 10, 11, 13, 14, 15, 29, 31, 32, 144, 156, 173

G

Glifosato oxidoreductasa 45

Glomus clarum 172, 173, 176, 177, 178, 179, 180

Guanábana 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 37

H

Heartwood 17, 18, 20, 22, 24

Herbicida 44, 45, 158

Hongos 3, 7, 53, 54, 55, 58, 62, 65, 69, 78, 79, 83

Huanglongbing 10, 11, 16, 142, 143, 144, 159, 160

I

Integrar 88, 89, 90

L

Leguminosas 2, 3, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 122, 125, 126, 127, 128, 129, 131, 132, 133, 134, 135, 136

M

Maíz azul 38, 39, 40, 42

Mecanismo de resistencia 44, 45

Micorriza arbuscular 172

Morphometry 162, 168, 170

P

Plantas 3, 4, 7, 8, 11, 14, 35, 44, 45, 55, 58, 59, 60, 61, 62, 71, 72, 73, 76, 79, 81, 82, 83, 95,

115, 133, 146, 150, 157, 159, 172, 173, 174, 175, 178, 179, 180, 181, 182

Polímero natural 2

Polímero sintético 2

Problemas 3, 7, 10, 44, 78, 88, 89, 95, 100, 101, 110, 111, 113, 117, 144, 155

Producción 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 37, 39, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 89, 91, 92, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 107, 108, 110, 111, 112, 113, 142, 143, 144, 145, 146, 151, 152, 153, 155, 156, 157, 159, 160, 170

Q

Quitina 2, 3, 8

R

Raspajo 93, 94, 95, 96, 98

Resíduos 93, 94, 95, 98, 99, 100, 101, 102, 113, 116, 134, 172

S

Sapwood 17, 19, 20, 22, 23, 24

Solubilização de fosfato 172

Soluciones 88, 101

Subproductos agroindustriales 93

T

Tamaño de semilla 39

V

Valor comercial 11, 14, 30

Vermicompost 93, 94, 96, 99

Virus 53, 54, 55, 61, 62, 64, 65, 68, 69, 76, 77, 78, 79, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 157, 160

Z

Zea mays 39, 43, 182