

Manual ilustrado de hongos presentes en semillas de cultivos semestrales: arroz, maíz, soya y sorgo



Manuel Alfonso Patiño Moscoso
Karen Viviana Osorio Guerrero
Deisy Lorena Flórez Gómez
Luisa Fernanda Sarmiento Moreno
David Napoleón Vargas Ramírez
Magda Jenny Medina Mérida

AGROSAVIA
EDITORIAL

Colección Prácticas Agropecuarias

Manual ilustrado de hongos presentes en semillas de cultivos semestrales: arroz, maíz, soya y sorgo

Manuel Alfonso Patiño Moscoso
Karen Viviana Osorio Guerrero
Deisy Lorena Flórez Gómez
Luisa Fernanda Sarmiento Moreno
David Napoleón Vargas Ramírez
Magda Jenny Medina Mérida

Mosquera, Colombia, 2023

AGROSAVIA
EDITORIAL

Colección Prácticas Agropecuarias

Manual ilustrado de hongos presentes en semillas de cultivos semestrales: arroz, maíz, soya y sorgo. / Manuel Alfonso Patiño Moscoso [y otros cinco] – Mosquera, (Colombia): AGROSAVIA, 2024.

144 páginas (Colección Prácticas Agropecuarias)

Incluye referencias bibliográficas, ilustraciones y gráficos.

ISBN: 978-958-740-702-0

ISBN e-Book: 978-958-740-703-7

1. Calidad de las semillas 2. Hongos patógenos 3. Arroz 4. *Oryza sativa* 5. Maíz 6. *Zea mays* 7. Soja. 8. *Glycine max* 9. Sorgo 10. *Sorghum* 11. Calidad de los cultivos.

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura -Agrovoc

Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
– AGROSAVIA

Centro de Investigación Tibaitatá. Kilómetro 14 vía Bogotá-Mosquera, Cundinamarca. Código postal: 250047, Colombia.

Esta publicación es el resultado del trabajo realizado por La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, en el marco del proyecto “Conservación y producción de semilla y material vegetal de calidad para las Ofertas Tecnológicas corporativas de AGROSAVIA con el fin de activar procesos de escalamiento y vinculación comercial”. La financiación del proceso editorial se llevó a cabo gracias a los recursos públicos del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Colección Prácticas Agropecuarias

Tipología: Manual

Fecha de recepción: 17 de febrero de 2023

Fecha de evaluación: 28 de febrero de 2023

Fecha de aceptación: 25 de septiembre de 2023

Primera edición: 2023

editorial@agrosavia.co

Edición: Jorge Enrique Beltrán Vargas

Corrección de estilo: Juan Solano

Diagramación: Javier Alberto Barbosa

Ilustraciones: Iván Mauricio Patiño

Impresión: DGP Editores SAS

Citación sugerida: Patiño Moscoso, M. A., Osorio Guerrero, K. V., Flórez Gómez, D. L., Sarmiento Moreno, L. F., Vargas Ramírez, D. N. & Medina Mérida, M. J. (2023). *Manual ilustrado de hongos presentes en semillas de cultivos semestrales: arroz, maíz, soya y sorgo*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7407037>.

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones ni de la información recogida en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, declarando en este último supuesto que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación. Igualmente, expresan que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros, relativa a los derechos de autor u otros derechos que se vulneren como resultado de su contribución.

Línea de atención al cliente: 018000121515

atencionalcliente@agrosavia.co

www.agrosavia.co



<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

Contenido

Lista de figuras	5
Lista de siglas y abreviaturas	10
Agradecimientos	11
Presentación	13
Introducción	15

Capítulo I

Metodologías y técnicas empleadas para la detección de hongos en semillas	19
Muestreo de semillas	20
Aspectos generales de las técnicas para la detección de hongos contaminantes en semillas	20
Metodologías existentes para la detección de hongos en semillas	23
Técnicas para la caracterización de hongos presentes en semillas	27

Capítulo II

Puntos críticos de aparición de hongos contaminantes en semillas	47
Presiembra y siembra	48
Etapa vegetativa	48
Etapa reproductiva	49
Cosecha	50
Poscosecha	52

Capítulo III

Ilustraciones de estructuras para la identificación de los hongos	61
---	----

Capítulo IV

Hongos contaminantes identificados en semillas de arroz, maíz, sorgo y soya	67
<i>Aspergillus flavus</i> Link (1809)	69
<i>Aspergillus niger</i> Van Tieghem (1867)	72
<i>Curvularia lunata</i> (Wakker) Boedijn (1933)	75
<i>Curvularia penniseti</i> (Mitra) Boedijn (1933)	77
<i>Diaporthe</i> sp. Nitschke (1870)	80
<i>Diaporthe longicolla</i> Thomas W. Hobbs (1985)	82
<i>Diaporthe melonis</i> Beraha & M. J. O'Brien (1979)	85
<i>Fusarium culmorum</i> (Wm. G. Sm.) Sacc. (1892)	87
<i>Fusarium equiseti</i> (Corda) Sacc. (1886)	90
<i>Fusarium oxysporum</i> Schltdl. (1824)	92
<i>Fusarium proliferatum</i> (Matsush.) Nirenberg ex Gerlach & Nirenberg (1976)	95
<i>Fusarium verticillioides</i> (Sacc.) Nirenberg (1976)	98
<i>Lasiodiplodia pseudotheobromae</i>	100
<i>Lasiodiplodia theobromae</i>	103
<i>Penicillium polonicum</i> K. M. Zalessky	105
<i>Penicillium</i> sp. Link (1809)	107
<i>Talaromyces pinophilus</i> Thom, C. (1910)	110
<i>Phoma sorghina</i> (Sacc.) Boerema, Dorenb. & Kesteren (1973)	113
<i>Rhizoctonia solani</i> J. G. Kühn (1858)	115
Consideraciones finales	118
Glosario	119
Referencias	121
Autoría	139

Lista de figuras

Figura 1	Pasos secuenciales para detectar la presencia de hongos en semillas	21
Figura 2.	Montaje de pruebas de calidad sanitaria de semilla en papel absorbente dentro de cámara de flujo laminar	23
Figura 3	Lectura de pruebas de calidad sanitaria de semilla en papel absorbente	24
Figura 4	Lectura de prueba de calidad sanitaria de semilla en medio de cultivo solidificado con agar	25
Figura 5	Colonias puras de hongos contaminantes comunes en semillas	26
Figura 6	Pasos para la visualización macroscópica y microscópica de hongos contaminantes en semillas	28
Figura 7	Gel de electroforesis donde se visualizan fragmentos de ADN amplificados de las muestras a. hasta la l. C (-) corresponde al control negativo y C (+) al control positivo	30
Figura 8	Escala visual y descripción de síntomas para evaluar la severidad de la enfermedad de marchitamiento vascular causada por <i>Fusarium oxysporum</i> 4 semanas después de la inoculación	43
Figura 9	Curvas del progreso de la incidencia y severidad de la enfermedad y área bajo la curva del progreso de la enfermedad	44
Figura 10	Lote de producción de semilla de maíz con mazorcas agobiadas	51
Figura 11	Etapas clave del proceso de producción de semilla de sorgo en los valles interandinos colombianos para monitorear hongos contaminantes de semilla	55
Figura 12	Etapas clave del proceso de producción de semilla de arroz en los valles interandinos colombianos para monitorear hongos contaminantes de semilla	56
Figura 13	Etapas clave del proceso de producción de semilla de maíz en los valles interandinos colombianos para monitorear hongos contaminantes de semilla	57

Figura 14	Etapas clave del proceso de producción de semilla de soya en los valles interandinos colombianos para monitorear hongos contaminantes de semilla	58
Figura 15	Estructuras reproductivas: conidióforos	62
Figura 16	Estructuras reproductivas: ascocarpos	63
Figura 17	Estructuras reproductivas: conidias	63
Figura 18	Estructuras vegetativas: hifas	63
Figura 19	Formas de las colonias de hongos	64
Figura 20	Bordes de colonias de hongos	65
Figura 21	Formas de elevación de la colonia de hongos	65
Figura 22	Especies vegetales y sus hongos contaminante	68
Figura 23	Colonias color verde oliváceo a verde amarillento de <i>Aspergillus flavus</i> aisladas de semillas de a. soya; b. arroz	69
Figura 24	Cabezas conidiales radiales (a), conidios hialinos (b) y de café pálido (c) de <i>Aspergillus flavus</i>	70
Figura 25	Signos y síntomas de <i>A. flavus</i> en semilla de arroz, aparición de moho verdoso amarillento creciendo sobre la semilla	71
Figura 26	Signos y síntomas de <i>A. flavus</i> en semilla de soya	71
Figura 27	Signos y síntomas de <i>A. flavus</i> en semilla de sorgo	72
Figura 28	Colonias densas, granulares y extendidas de borde filamentosos y elevación quebrada, de color negro o marrón muy oscuro de <i>Aspergillus niger</i> aisladas de semillas de a. sorgo; b. maíz	73
Figura 29	Cabezas conidiales radiales liberando conidios globosos de color café oscuro de <i>A. niger</i>	73
Figura 30	Signos de <i>A. niger</i> en semilla de sorgo	74
Figura 31	Signos y síntomas de <i>A. niger</i> en semilla de maíz germinada	74
Figura 32	Colonia de apariencia algodonosa con forma concéntrica, borde filamentosos y ligeramente elevado de <i>C. lunata</i> aislada de semillas de sorgo	75
Figura 33	Fragmoconidios lisos y septados transversalmente de <i>Curvularia lunata</i>	76
Figura 34	Daños ocasionados por <i>C. lunata</i> en la semilla de sorgo	77
Figura 35	Colonia marrón grisáceo con bordes de color marrón oscuro de <i>C. penniseti</i> aislada de semillas de arroz	78

Figura 36	Fragmoconidia cilíndrica, de color pigmentado (a) e hifas septadas (b) de <i>C. penniseti</i>	79
Figura 37	Pequeñas manchas irregulares de pigmentación marrón oscuro a negro que da la apariencia de líneas negras de <i>C. penniseti</i> en semilla de arroz	80
Figura 38	Colonia de color blanco con estromas de pigmentación negra de <i>Diaporthe</i> sp. aislada de semillas de soya	81
Figura 39	Septos de hifas de <i>Diaporthe</i> sp.	81
Figura 40	Signos y síntomas de <i>Diaporthe</i> sp. en la semilla de soya	82
Figura 41	Colonia de <i>D. longicolla</i> aislada de semillas de soya	83
Figura 42	Septos de <i>Diaporthe longicolla</i> (a) con formación de conidias multinucleadas (b)	84
Figura 43	Daños en la semilla de soya	84
Figura 44	Colonia de <i>D. melonis</i> aislada de semillas de sorgo	85
Figura 45	Conidios y picnidios de <i>D. melonis</i>	86
Figura 46	Cambio en la severidad de <i>D. melonis</i> en semilla de sorgo	87
Figura 47	Colonia de <i>F. culmorum</i> aislada de semillas de arroz	88
Figura 48	Hifas septadas (a) y clamidosporas (b) de <i>F. culmorum</i>	88
Figura 49	Micelio algodonoso de color rojo de <i>F. culmorum</i> creciendo en la cubierta de la semilla de arroz	89
Figura 50	Colonias de <i>Fusarium equiseti</i>	90
Figura 51	Macroconidios (a) y clamidosporas de <i>F. equiseti</i> (b)	91
Figura 52	Signos y síntomas de <i>F. equiseti</i> en la semilla de soya	92
Figura 53	Colonia de <i>F. oxysporum</i> aislada de semillas de arroz	93
Figura 54	Conidios (a) y clamidosporas (b) de <i>F. oxysporum</i>	93
Figura 55	Micelio algodonoso blanco de <i>F. oxysporum</i> en semilla de arroz	94
Figura 56	Colonias de <i>Fusarium proliferatum</i> aisladas	95
Figura 57	Hifas y microconidios de <i>F. proliferatum</i>	96
Figura 58	Signos y síntomas de <i>F. equiseti</i> en la semilla de soya	97
Figura 59	Signos y síntomas de <i>F. equiseti</i> en la semilla de arroz	97
Figura 60	Colonias de <i>F. verticillioides</i> aisladas de semillas de maíz	98
Figura 61	Microconidios de <i>F. verticillioides</i>	99
Figura 62	Signos y síntomas de <i>F. verticillioides</i> en semilla de maíz	100

Figura 63	Colonia de <i>L. pseudotheobromae</i> aislada de semillas de soya con formación escasa de picnidios	101
Figura 64	Estructuras microscópicas de <i>L. pseudotheobromae</i>	102
Figura 65	Afectación por <i>L. pseudotheobromae</i> en semillas de soya	102
Figura 66	Colonia de <i>L. theobromae</i> aislada de semillas de soya	103
Figura 67	Hifas septadas (a) y clamidosporas (b) de <i>L. theobromae</i>	104
Figura 68	Signos y síntomas de <i>L. theobromae</i> en semilla de soya	105
Figura 69	Colonia de <i>Penicillium polonicum</i> aislada de semillas de sorgo.	106
Figura 70	Hifas (a) y conidios (b) de <i>Penicillium polonicum</i> .	106
Figura 71	Signos y síntomas de <i>P. polonicum</i> en semilla germinada de sorgo	107
Figura 72	Colonia de textura pulverulenta de <i>Penicillium</i> sp. aislada de semillas de maíz	108
Figura 73	Conidióforos ramificados de <i>Penicillium</i> sp.	109
Figura 74	Signos y síntomas de <i>Penicillium</i> sp. en semilla de maíz	110
Figura 75	Colonia de <i>T. pinophilus</i> aislada de semillas de sorgo	111
Figura 76	Conidióforos ramificados de <i>Talaromyces pinophilus</i>	111
Figura 77	Signos y síntomas de <i>T. pinophilus</i> en semilla germinada de sorgo	112
Figura 78	Signos y síntomas de <i>T. pinophilus</i> en semilla de maíz	112
Figura 79	Colonia verde oscuro de textura aterciopelada de <i>P. sorghina</i> aislada de semillas de arroz	113
Figura 80	Clamidosporas alternaroides (a) y botrioides (b) de <i>P. sorghina</i>	114
Figura 81	Signos y síntomas de <i>P. sorghina</i> en semilla de arroz	115
Figura 82	Colonia de <i>R. solani</i> aislada de semillas de arroz	116
Figura 83	Hifas septadas jóvenes ramificadas en ángulos rectos cercanos al septo distal de <i>R. solani</i>	116
Figura 84	Lesiones marrones y pudrición en radícula de arroz por <i>R. solani</i>	117



Lista de siglas y abreviaturas

ABCPE: Área bajo la curva de progreso de la enfermedad
Acosemillas: Asociación Colombiana de Semillas y Biotecnología
ADN: Ácido desoxirribonucleico
CABI: Centre for Agricultural Bioscience International
CDC: Centers for Disease Control and Prevention
CE: Consejo Europeo
CIMMYT: Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo
EPPO: European and Mediterranean Plant Protection Organization
FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
Fenalce: Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas
FSA: Federal Seed Act
GBIF: Global Biodiversity Information Facility
ICA: Instituto Colombiano Agropecuario
INRAE: Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement
INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
IRRI: International Rice Research Institute
ISTA: International Seed Testing Association
MADS: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
NCBI: National Center for Biotechnology Information
PCR: Reacción en cadena de la polimerasa
PDA: agar papa dextrosa
PSA: agar peptona sacarosa
SAC: Sociedad de Agricultores de Colombia
SCYP: Sugarcane edes phytoplasma
Senasica: Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria
Sinavimo: Sistema Nacional Argentino de Vigilancia y Monitoreo de plagas
SRTD: Seed Regulatory and Testing Division
UE: Unión Europea
USDA: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

Agradecimientos

Los autores expresamos nuestro agradecimiento a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA y especialmente a la Dirección de Vinculación, al Departamento de Semillas y a la Coordinación de la Producción de Semillas, por su participación y financiación en el marco del proyecto “Conservación y producción de semilla y material vegetal de calidad para las ofertas tecnológicas corporativas de AGROSAVIA con el fin de activar procesos de escalamiento y vinculación comercial”.



Presentación

Este manual tiene por objeto brindar al lector una guía rápida para el reconocimiento temprano y confiable de hongos patógenos y contaminantes presentes en semillas. Así mismo, busca acercar al lector a los conceptos de calidad sanitaria, y sensibilizarlo sobre los tipos de contaminantes fúngicos y los riesgos que estos representan. Este manual describe algunas metodologías y protocolos para la determinación de la calidad sanitaria de semillas de maíz, soya, arroz y sorgo. Cuenta además con fotografías e ilustraciones que orientan la identificación de patógenos y contaminantes fúngicos en semilla.

El manual está dividido en dos secciones. La primera parte describe las técnicas de detección de hongos contaminantes en semilla, así como las metodologías y consideraciones generales para determinar la patogenicidad y el grado de virulencia de un patógeno fúngico transmitido por semilla. La segunda sección describe las características macroscópicas, microscópicas, signos y tipos de daño de algunos hongos contaminantes de semillas de maíz, soya, arroz y sorgo. La presente publicación está dirigida a productores, comunidades campesinas y étnicas, investigadores, especialistas, docentes, profesionales y estudiantes universitarios.

Alcance

La información contenida en el presente manual es el resultado de la identificación, caracterización y determinación de la prevalencia de los contaminantes fúngicos presentes en las semillas de trece variedades vegetales de cuatro especies agrícolas de interés comercial: maíz, soya, arroz de secano y sorgo producidas en el municipio de El Espinal, Tolima, Colombia.

Las metodologías empleadas corresponden a la integración de diferentes técnicas que pueden ser aplicadas de forma parcial o total según las capacidades con que se

cuenta y el objetivo que se tenga. Existen muchas técnicas con diferentes niveles de complejidad para el diagnóstico de hongos contaminantes en semillas. Las presentadas en este manual son solo algunas de ellas, las cuales han mostrado un grado de especificidad, sensibilidad, rapidez, simplicidad y rentabilidad para que puedan ser llevadas a cabo por empresas especializadas en la producción de semilla, centros de investigación, universidades, así como por productores campesinos y comunidades étnicas que deseen garantizar la disponibilidad y acceso a semillas de calidad en sus territorios. Es responsabilidad del lector aplicar estas metodologías propuestas y continuar enriqueciendo su conocimiento en torno a la calidad sanitaria.

Las especies de hongos presentadas en este manual hacen parte de la diversidad de contaminantes fúngicos de semilla para estas especies. La identificación de los aislamientos obtenidos fue llevada a cabo inicialmente mediante la visualización de estructuras macroscópicas y microscópicas diagnósticas. Algunos de los aislamientos no desarrollaron estructuras características que permitieran hacer una aproximación al menos a nivel de género. Por esta razón se emplearon posteriormente técnicas moleculares, específicamente PCR convencional y secuenciación Sanger de los productos amplificados para identificar cada uno de los aislamientos a nivel de especie. Esto se logró comparando las secuencias resultantes con la región ITS1-5.8S-ITS2 de las secuencias de la base de datos GenBank del Centro Nacional para la Información Biotecnológica (National Center for Biotechnology Information [NCBI], 2022).

Introducción

Para una producción agrícola sostenible, rentable y eficiente es imprescindible el uso de semillas de calidad. La calidad se evalúa en cuatro dimensiones: física, fisiológica, genética y sanitaria, todas ellas determinantes para el rendimiento de los cultivos junto con los factores ambientales y de manejo en campo (Gómez et al., 2021).

La calidad sanitaria se refiere a la presencia de plagas o enfermedades en la semilla, causadas por hongos, bacterias, nematodos y virus (Farrás, 2018). De estos, los hongos constituyen el grupo más grande entre los patógenos transmitidos por semillas. Muchos patógenos fúngicos las infectan durante su desarrollo y maduración, lo que disminuye tanto su rendimiento como su calidad, al limitar o inhibir la germinación y la emergencia de las plántulas (Hernández et al., 2007). Por ello, resulta crucial identificar los hongos presentes en la etapa de poscosecha de la producción de semillas de arroz, maíz, soya y sorgo. Estas especies no solo son fundamentales como fuente de alimento directo para los humanos, sino también para la alimentación de animales domésticos, desempeñando así un papel significativo en la seguridad alimentaria y nutricional.

La calidad sanitaria desempeña un papel fundamental en el comercio de semillas, ya que los países exigen productos inocuos, libres de plagas o patógenos que puedan afectar la calidad fisiológica de las semillas (es decir, la expresión de su potencial genético, crecimiento y desarrollo) y que puedan propagar problemas sanitarios en regiones libres de estos (Delgado et al., 2002). Un ejemplo destacado es la regulación del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) en Colombia. Esta entidad establece los requisitos fitosanitarios para la comercialización, importación y exportación de semillas, con el objetivo de garantizar su calidad. Antes de permitir la entrada de estas al país, el ICA exige que se realicen análisis y certificaciones fitosanitarias para asegurar que estén libres de plagas y enfermedades. Así mismo, en Estados Unidos, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) regula el comercio de semillas a través de la División Reguladora y de Pruebas de Semillas (Seed

Regulatory and Testing Division, [SRTD]), del Programa de Ciencia y Tecnología, la cual es responsable de hacer cumplir la Ley Federal de Semillas (Federal Seed Act, [FSA]) y facilitar así el comercio nacional e internacional. Para el caso de la Unión Europea (UE), la calidad fitosanitaria también es una preocupación importante. La UE cuenta con regulaciones específicas, como la Directiva 2002/55/CE, que establece las normas mínimas de calidad para las semillas de plantas cultivadas.

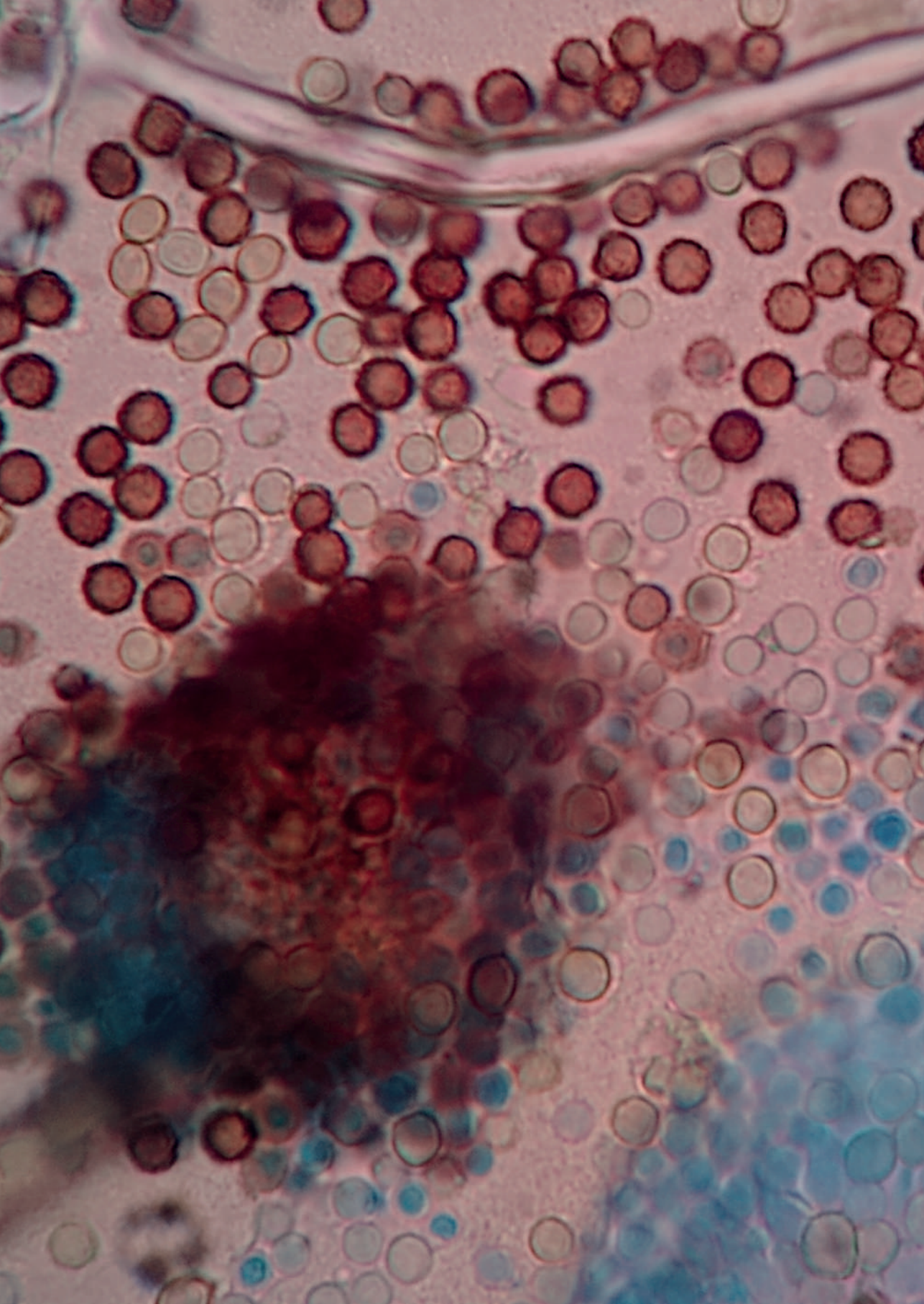
El ICA proporciona claridad en los procesos de certificación de semillas en Colombia, centrándose especialmente en el componente sanitario. Sin embargo, es preocupante que solo el 15 % de las semillas usadas en los cultivos de arroz esté certificado, a pesar de que este cultivo es fundamental para la alimentación en el país (Fenalce, 2020). En contraste, otros cultivos como el sorgo presentan una tasa más alta de uso de semilla certificada, llegando al 47 %, según la Asociación Colombiana de Semillas y Biotecnología (Acosemillas, 2023).

En este contexto, es fundamental asegurar la calidad sanitaria de las semillas mediante el monitoreo permanentemente del estado fitosanitario de los cultivos, especialmente en la etapa reproductiva desde la formación del grano. Durante este periodo, las plantas son más susceptibles a plagas o enfermedades, sobre todo a las causadas por hongos, lo que puede tener un impacto directo en el rendimiento del cultivo y la calidad de las semillas. Esta medida permite tomar acciones preventivas y oportunas.

Al hablar de hongos, es esencial comprender que estos organismos presentan una amplia variedad de estilos de vida, muchos de los cuales son benéficos para los ecosistemas. Dentro de estos estilos de vida beneficiosos se encuentran las micorrizas, que establecen simbiosis con las raíces de las plantas, mejorando así su absorción de nutrientes. Así mismo, existen hongos biocontroladores que limitan el crecimiento de patógenos, y hongos solubilizadores de fósforo que mejoran la disponibilidad de este nutriente para las plantas. Los hongos desempeñan un papel crucial en la descomposición de residuos orgánicos y minerales, degradando grandes cantidades de materia y contribuyendo al ciclage de nutrientes en los ecosistemas (Leake, 2005).

Algunos síntomas de enfermedades causadas por hongos en las plantas son necrosis de tejidos (manchas foliares), reducción del crecimiento de órganos de la planta o crecimiento anormal en algunas partes, pudrición de raíces, úlceras, ahogamiento, pudrición de tallo, antracnosis y marchitez (Bailly et al., 2019; Mancini y Romanazzi, 2014). En semillas infectadas por hongos se llega a reducir el porcentaje de emergencia, vigor, rendimiento y el tiempo de almacenamiento (Marcenaro, 2013).

Este documento presenta algunas herramientas e ilustraciones para el reconocimiento de hongos contaminantes en semilla, identificados mediante metodologías convencionales (visualización de estructuras características) y técnicas moleculares, las cuales son explicadas en el “Capítulo I”. Por tanto, brinda la posibilidad de conocer algunos de los hongos que están presentes en semillas de especies agrícolas como el maíz, la soya, el sorgo y el arroz. Su objetivo es permitir la identificación temprana de estos microorganismos, lo que contribuye a evitar pérdidas económicas. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el 25 % de los cultivos alimentarios del mundo se ven afectados por hongos productores de micotoxinas (Escola et al., 2020), por lo que es importante caracterizarlos e ilustrarlos, mediante un manual que facilite la toma de decisiones en cuanto a la producción, almacenamiento y oferta de semilla de calidad en Colombia para las especies de maíz, soya, sorgo y arroz, las cuales tienen una gran importancia económica en la agricultura.



Capítulo I

Metodologías y técnicas empleadas para la detección de hongos en semillas

El flujo de germoplasma vegetal representa un riesgo significativo de diseminación de problemas fitosanitarios. Las semillas en particular son un vehículo eficaz para la propagación de plagas y enfermedades (Gergerich et al., 2015; Mancini et al., 2016). Incluso, una baja concentración de inóculo presente en una semilla puede conducir a graves pérdidas de cultivos, especialmente si se trata de un patógeno cuarentenario (Mancini et al., 2016). Esta estrecha relación entre los hongos y las semillas facilita la supervivencia a largo plazo y la propagación generalizada de estos patógenos (Brodal y Asdal, 2021; Mancini et al., 2016).

Muchos países cuentan con el respaldo de técnicas de detección de plagas y enfermedades en semillas para la formulación, preparación y desarrollo de políticas, planes, programas, proyectos, medidas y procedimientos para limitar o prevenir que aquellas puedan afectar su estatus sanitario y fitosanitario (Bebber et al., 2014; Buja et al., 2021; Comisión Europea, 2013). Generalmente, los bajos niveles de inóculo y la distribución desigual dentro de los lotes

de semillas hace que las pruebas de detección precisas y rápidas de contaminantes fúngicos para el cumplimiento de las reglamentaciones fitosanitarias sean una tarea más compleja (Kumar et al., 2020).

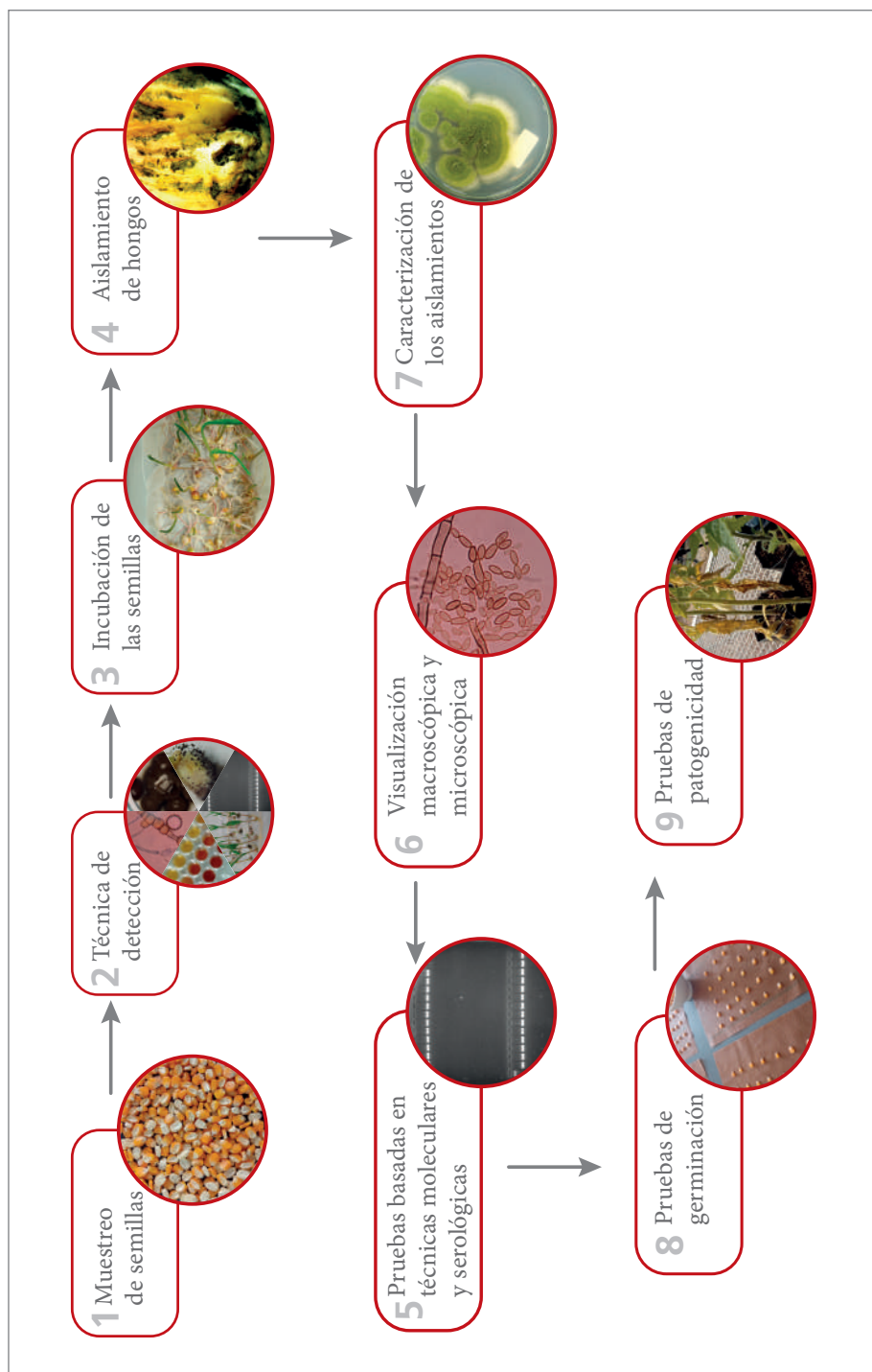
En muchos casos, para detectar la presencia de hongos en las semillas, se deben seguir varios pasos secuenciales que incluyen (figura 1): a) la toma de muestras representativas del lote de semillas; b) la elección de la técnica de detección; la cual implica c) la incubación de las semillas en medios de cultivo o sustratos específicos para favorecer el crecimiento de hongos; d) el aislamiento de los hongos; e) su caracterización (macroscópica y microscópica) e identificación, ya sea mediante f) la visualización de estructuras características o g) mediante pruebas serológicas y moleculares; h) finalmente, se deben desarrollar pruebas de germinación y patogenicidad con los aislamientos obtenidos.

Muestreo de semillas

Para verificar la calidad de las semillas de maíz, soya, arroz o sorgo, es importante seleccionar cuidadosamente la muestra de trabajo. Para ello, se sugiere seguir los lineamientos de la Asociación Internacional de Pruebas de Semillas (International Seed Testing Association [ISTA], 2018). De acuerdo con estas directrices, se recomienda tomar muestras primarias, que consisten en una porción inicial de semillas recolectadas de manera aleatoria de cada inventario. Esta tarea constituye el primer paso para obtener una muestra representativa del lote. Posteriormente, se mezclan las muestras primarias de un mismo lote para conformar una compuesta, de la cual se obtiene una muestra homogenizada para su análisis. Este proceso de selección de la muestra es esencial para garantizar que el lote sea debidamente representado y evaluado en términos de calidad.

Aspectos generales de las técnicas para la detección de hongos contaminantes en semillas

A la hora de detectar hongos en semillas, es importante elegir la técnica adecuada en función del tipo de hongo que se busca. Existen diversos métodos fundamentados en la morfología, fisiología y síntomas de los patógenos. Los métodos tradicionales implican la inspección directa de semillas secas bajo microscopio o estereoscopio, identificando esporas, estructuras de resistencia, cuerpos fructíferos o síntomas



Fotos: Manuel Alfonso Paríño M.

Figura 1. Pasos secuenciales para detectar la presencia de hongos en semillas.

Fuente: Elaboración propia

característicos del hongo. Otras más sofisticadas incluyen la aplicación de pruebas serológicas y el empleo de técnicas moleculares (Walcott, 2003). Estas técnicas varían en complejidad y alcance, desde la observación directa hasta el uso de herramientas de laboratorio más sofisticadas (Mancini et al., 2016). La elección de la técnica dependerá del objetivo de detección y de los recursos disponibles para llevar a cabo el análisis. A continuación, se presentan las técnicas más utilizadas:

1. Observación directa de semillas: consiste en examinarlas visualmente en busca de signos de contaminación por hongos, como manchas, crecimiento micelial o cambios en la textura (Mancini et al., 2016).
2. Incubación en papel húmedo (*blotter test*): consiste en colocar las semillas en papel absorbente humedecido y observar la aparición y desarrollo de hongos (Majumder et al., 2013).
3. Pruebas moleculares: mediante el uso de técnicas de biología molecular, como la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), se detecta y amplifica una sección del ADN de los hongos presentes en las semillas, lo que permite su identificación precisa mediante secuenciación del fragmento amplificado (Tsedaley, 2015).
4. Pruebas serológicas: se basan en la detección de proteínas específicas producidas por los hongos mediante la utilización de anticuerpos (Kumar et al., 2020).
5. Incubación en medios de cultivo: las semillas se siembran en medios de cultivo adecuados, donde los hongos presentes pueden crecer y ser identificados posteriormente (Marcinkowska, 2002).

En cualquier caso, una técnica de detección de contaminantes fúngicos en semillas debe cumplir seis requisitos esenciales (Mancini et al., 2016; Marcinkowska, 2002; Tsedaley, 2015):

1. tener la capacidad de distinguir un organismo objetivo en particular de otros que se encuentran en las semillas analizadas (especificidad);
2. permitir detectar organismos, incluso cuando la concentración del inóculo en las semillas es baja (sensibilidad);
3. ser rápida (velocidad) y simple, es decir, debe incluir el menor número de etapas posibles para reducir la probabilidad de ocurrencia de error (simplicidad);
4. poder ser efectuada por personal que no necesariamente sea altamente calificado;
5. ser barata (rentabilidad) y
6. ser una metodología reproducible y lo suficientemente robusta para que los resultados sean repetibles entre muestras del mismo lote de semillas, independientemente de quien la aplique.

Metodologías existentes para la detección de hongos en semillas

Incubación de las semillas

En estas pruebas la muestra de semillas se somete a unas condiciones de temperatura y humedad por un tiempo determinado con el fin de evidenciar el desarrollo de los signos característicos del hongo contaminante (Nasir, 2003). Una de las técnicas más frecuentes que emplean métodos de incubación son las pruebas en papel absorbente o *blotter test* (figura 2). Estas permiten la detección de hongos contaminantes (saprófitos y patógenos) y el desarrollo de la infección en las plántulas germinadas. Esta técnica combina las ventajas de las pruebas *in vitro* con las pruebas *in vivo*. Las semillas (muestra de trabajo) son dispuestas sobre o entre 1 y 3 capas de papel absorbente o almohadillas de celulosa humedecidos con agua estéril o una solución tampón. Una vez allí, son colocadas frecuentemente en recipientes plásticos herméticos para generar las condiciones de cámara húmeda (Mancini et al., 2016; Marcinkowska, 2002; Tsedaley, 2015), esta última se entiende como un ambiente controlado que simula las condiciones óptimas para el desarrollo de hongos en las semillas, es decir, altas temperaturas combinadas con alta humedad. Las condiciones de incubación usualmente son de temperaturas entre $25^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ y $\text{HR} \sim 90\% \pm 5\%$ por siete días. Al finalizar el proceso de incubación se determinan los porcentajes de germinación total, semillas sanas, semillas sanas germinadas y prevalencia de hongos contaminantes, diferenciados por género de hongo contaminante y semilla germinada o sin germinar (figura 3).



Foto: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 2. Montaje de pruebas de calidad sanitaria de semilla en papel absorbente dentro de cámara de flujo laminar.

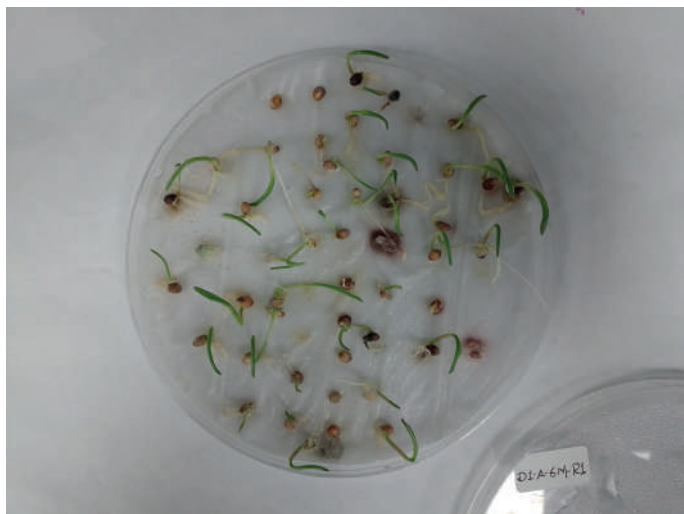


Foto: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 3. Lectura de pruebas de calidad sanitaria de semilla en papel absorbente.

Otra de las técnicas que emplea métodos de incubación es la prueba en medios de cultivo solidificados con agar, como agar papa dextrosa (PDA), o medios selectivos usualmente acidificados o con algún antibiótico de amplio espectro que inhiban el crecimiento de contaminantes bacterianos. Estos métodos proporcionan información sobre la viabilidad de un inóculo en una muestra de semilla infectada y son empleados cuando las pruebas en papel absorbente no proporcionan las condiciones adecuadas para el desarrollo de los signos del hongo contaminante en plántulas y semillas (crecimiento micelial, estructuras reproductivas, etc.) (Mancini et al., 2016; Üstün et al., 2021). Las semillas (muestra de trabajo) son dispuestas en el medio de cultivo para el crecimiento de hongos y sometidas a periodos determinados de tiempo, temperatura y luminosidad (figura 4). Generalmente, se someten a tiempos de incubación de 5 a 10 días aproximadamente, a temperaturas de 20 °C a 28 °C con el fin de promover sobre el agar el crecimiento de los hongos presentes en las semillas (Mancini et al., 2016; Marcinkowska, 2002; Üstün et al., 2021). Cuando los hongos contaminantes crecen muy lentamente en medios de cultivo artificiales o no desarrollan estructuras diagnósticas (cuerpos fructíferos, esporas, etc.), se emplean técnicas basadas en métodos de tinción, que consisten en la aplicación de colorantes específicos a las estructuras fúngicas para facilitar su visualización en el microscopio. Estas técnicas siguen siendo la base de las pruebas de calidad sanitaria en semillas, sin embargo, consumen tiempo, requieren una experiencia y un conocimiento de taxonomía especializados y a veces no son lo suficientemente sensibles para detectar niveles bajos de infección (Martín et al., 2022).

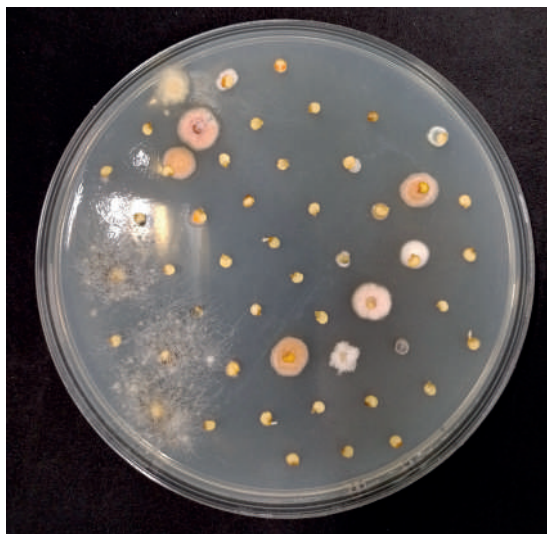
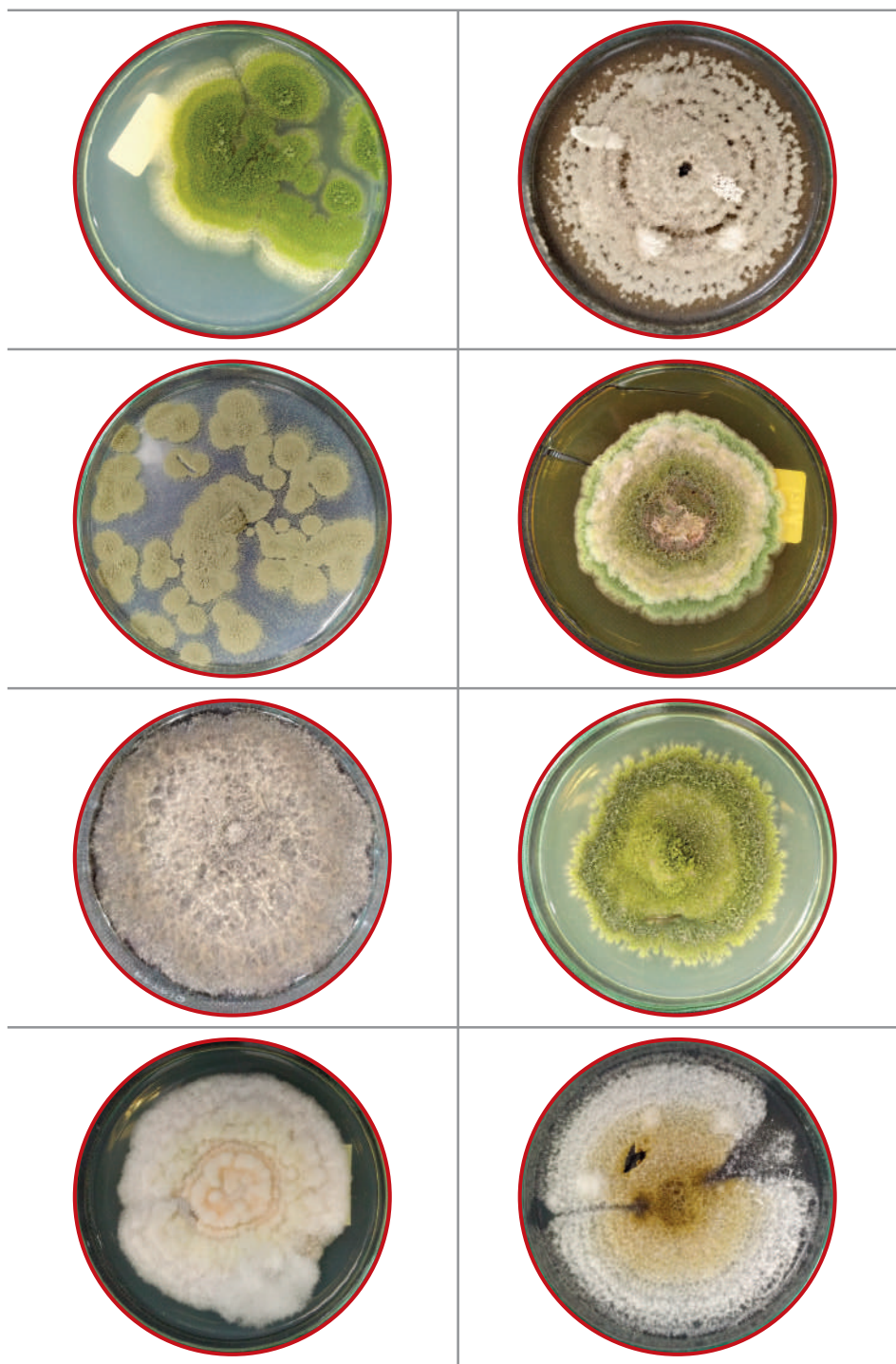


Foto: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 4. Lectura de prueba de calidad sanitaria de semilla en medio de cultivo solidificado con agar.

Aislamiento de hongos

Es el proceso posterior a la etapa de incubación de las semillas. Consiste en la separación del hongo de una muestra compleja, la siembra en un medio de cultivo y su posterior incubación bajo condiciones específicas para garantizar su purificación y poder llevar a cabo su caracterización. Para realizar el aislamiento, se requiere tomar un fragmento del micelio con un instrumento estéril como un asa, cuchilla o pinzas, dentro de una cámara de flujo laminar o bajo condiciones asépticas. Luego, se siembra en medios de cultivo no selectivos como PDA pH 4,5 (ajustado con ácido láctico), PDA + antibiótico de amplio espectro o medios específicos según el hongo de interés. Por lo general, los aislamientos se incuban en oscuridad a temperaturas de 25°C a 28°C durante un periodo de 7 días. Posteriormente, el micelio generado de los aislamientos de los tejidos se replica en el mismo medio de cultivo hasta obtener el crecimiento de una colonia pura del hongo contaminante (figura 5). Estas colonias puras obtenidas se utilizan para identificar el hongo a nivel de género y especie, preservarlas a largo plazo o ser empleadas como fuente de inóculo en pruebas de patogenicidad (Muñoz et al., 2020).



Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 5. Colonias puras de hongos contaminantes comunes en semillas.

Técnicas para la caracterización de hongos presentes en semillas

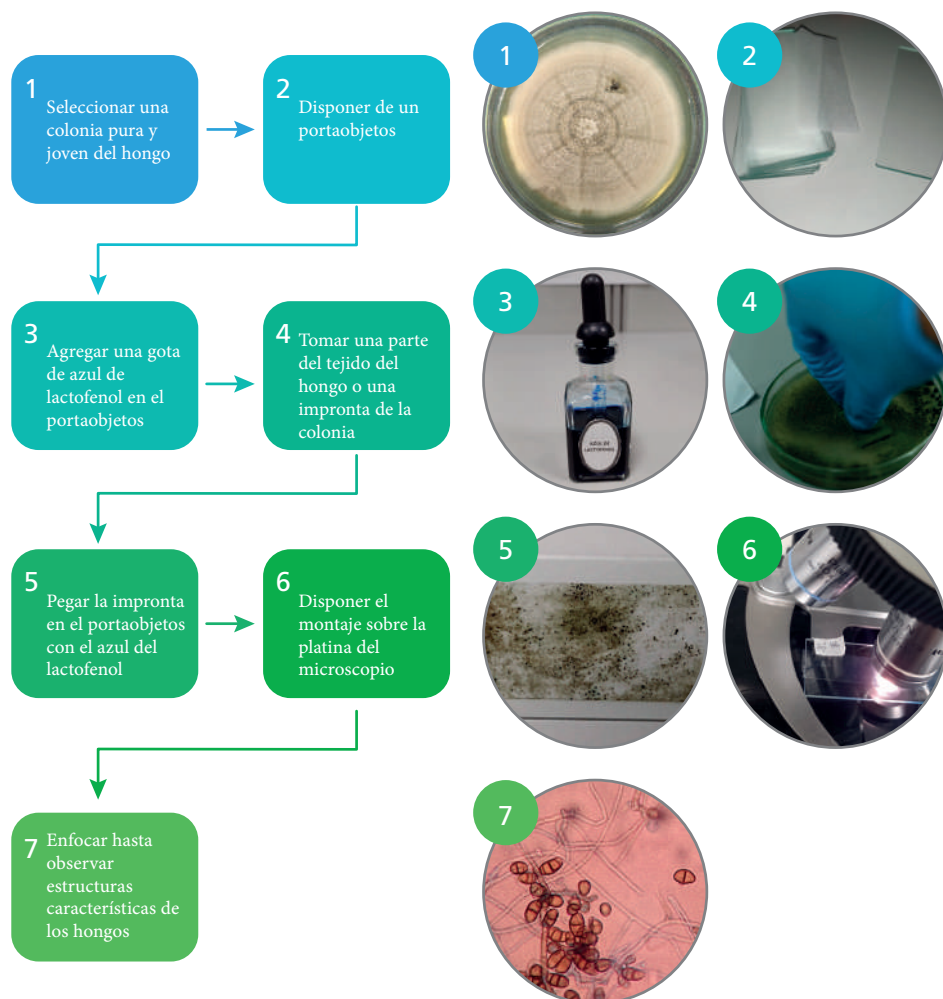
Se refiere al proceso de describir y determinar las características de un hongo, tales como su identidad, apariencia macroscópica y microscópica, su modo de reproducción, su patogenicidad, su respuesta a ciertos factores ambientales, entre otros aspectos.

En los siguientes apartados se explorarán tanto los métodos tradicionales como los moleculares utilizados para la caracterización de hongos contaminantes en las semillas. Estos enfoques van desde la observación microscópica y el cultivo en medios de agar, hasta las técnicas más avanzadas basadas en la amplificación de ácidos nucleicos. A través de esta revisión, se buscará destacar las ventajas, limitaciones y aplicaciones de cada método, proporcionando una visión completa de las herramientas disponibles para la caracterización de hongos contaminantes.

Visualización macro y microscópica

La identificación de hongos puede llevarse a cabo a partir de su caracterización microscópica y macroscópica y, con esto, llegar al reconocimiento de algunas estructuras diagnósticas. Para la visualización de estas estructuras se realizan montajes directos de los hongos creciendo sobre las semillas o de los aislamientos puros.

Los montajes permiten examinar la colonia en su totalidad, tanto a nivel macroscópico como microscópico. Al observarla macroscópicamente, se analizan aspectos como la forma, el color, la textura y la producción de pigmentos, los cuales son de gran utilidad para identificarla. En cuanto a la morfología microscópica, se puede observar la presencia de cuerpos fructíferos, estructuras de resistencia, tipos de esporas, tamaño y disposición de las hifas (Barnett y Hunter, 1972). La preparación del material para la observación microscópica se realiza en fresco, a través de improntas hechas con cinta adhesiva transparente o mediante cultivo sobre portaobjetos (figura 6).



Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 6. Pasos para la visualización macroscópica y microscópica de hongos contaminantes en semillas.

Fuente: Elaboración propia

Pruebas basadas en técnicas moleculares

Tradicionalmente, las técnicas que se han usado para detección de hongos transmitidos por semillas se basan en la incubación y métodos de crecimiento. Estas técnicas consumen mucho tiempo, requieren habilidades micológicas y algunas veces no son muy sensibles a las concentraciones bajas de inóculo. Sin embargo, para mejorar la sensibilidad y especificidad en la detección de patógenos se han desarrollado técnicas moleculares, las cuales están basadas en el análisis del ADN, como la PCR

convencional, adecuada para la detección de hongos por su rapidez, especificidad, sensibilidad y fácil interpretación (Mancini et al., 2016). El análisis de ADN ayuda a diferenciar las especies de patógenos, ya que se ha comprobado que el genoma posee zonas que brindan muy buena información para su identificación taxonómica (Ramos-Fernández et al., s. f.). Las pruebas moleculares facilitan la detección del patógeno convirtiéndolo de indetectable a detectable, al facilitar la amplificación y multiplicación de la secuencia de ADN.

A continuación, se detallan técnicas recientes como la PCR anidada, que permite la detección a bajas concentraciones de inóculo; PCR múltiple para detectar simultáneamente varios patógenos; PCR en tiempo real y PCR por captura magnética, entre otras; además, se describen otras técnicas en la tabla 1. Así mismo, algunos cebadores comunes para la identificación de patógenos de semillas se detallan en la tabla 2.

Reacción en cadena de la polimerasa (PCR) convencional

Esta técnica de biología molecular se basa en la multiplicación de un gran número de copias de un fragmento de ADN en particular (González-Garza, 2017). La amplificación de ADN mediante PCR involucra varios elementos clave. En primer lugar, se emplea una enzima termoestable conocida como ADN-polimerasa, siendo la más común la Taq polimerasa, la cual es estable a 95 °C. Durante cada ciclo de amplificación se involucran dos cebadores (Marcinkowska, 2002). Estos cebadores son oligonucleótidos que permiten la duplicación del fragmento de ADN seleccionado y deben tener ciertas características, como una longitud entre 18 a 25 nucleótidos; entre un 40 a 60 % de contenido de Citocina y Guanina (C y G) —es recomendable que la terminación del extremo de la cadena sea C o G— y las temperaturas de fusión de los cebadores usados en la misma reacción no deben superar los 5 °C (Marcinkowska, 2002).

Para que la enzima termoestable funcione adecuadamente, se requieren cationes divalentes, especialmente el Mg^{2+} . Por otro lado, se hace uso de un *buffer* de amplificación para mantener el pH óptimo durante la reacción PCR. Así mismo, se incorporan adyuvantes como el Tritón X-100 o la formamida para mejorar la especificidad de la PCR. Por último, el ADN molde actúa como patrón a partir del cual se amplifica el fragmento de interés (Bartlett y Stirling, 2003).

Se emplean cuatro pasos:

1. Desnaturalización a alta temperatura, la cual oscila entre 94 y 95 °C para separar las hebras del ADN molde.
2. Hibridación de cebadores a su secuencia complementaria en sus dos hebras de ADN, en donde se asocian los cebadores al fragmento que se requiere amplificar. En este paso la temperatura desciende a un rango entre 40 y 60 °C, lo que facilita la unión del cebador a la secuencia complementaria.
3. Extensión o síntesis de la doble cadena que hace la ADN polimerasa a partir del extremo donde se unió el cebador. La temperatura se eleva a 72 °C, la adecuada para la actividad óptima de la enzima. Los pasos 1 a 3 se repiten al menos 40 ciclos con el fin de obtener el número de copias necesarias del fragmento de interés. Se realiza un ciclo de extensión o polimerización final que oscila entre 5 y 10 minutos, con el fin de que la ADN polimerasa sintetice fragmentos de ADN simple que no fueron amplificados (González-Garza, 2017).

Los fragmentos amplificados se pueden visualizar por electroforesis en un gel de agarosa (figura 7).

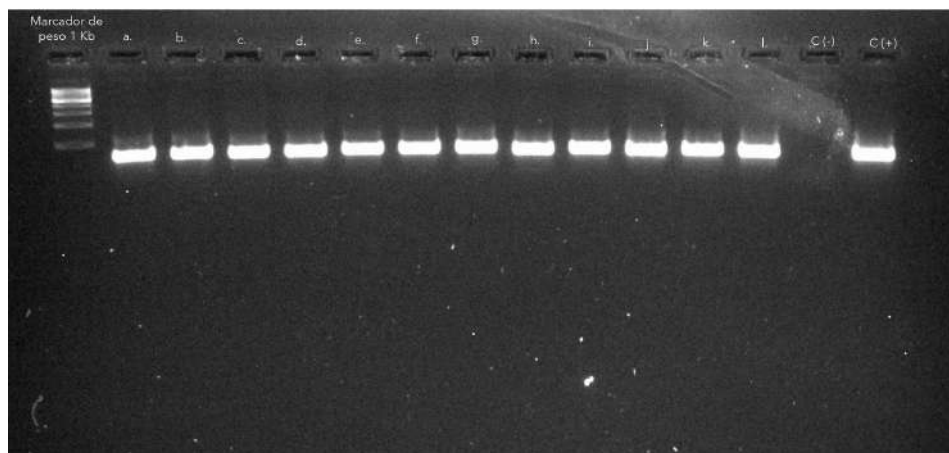


Foto: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 7. Gel de electroforesis donde se visualizan fragmentos de ADN amplificados de las muestras a. hasta la l. C(-) corresponde al control negativo y C(+) al control positivo.

Esta prueba se usa para la identificación molecular de muchos hongos en semillas, empleando los cebadores ITS1F-ITS4 (ITS1-F 5'-CTTGGTCATTTAGAGGAAGTAA-3' y ITS4 5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') para amplificar la región ITS1-5.8S-ITS2 (Henras et al, 2015).

PCR anidada

La PCR anidada o *Nested PCR* es usada para aumentar la sensibilidad de la PCR al realizar dos rondas de amplificación con distintos pares de cebadores en cada etapa. Inicialmente, se realiza una amplificación con los cebadores externos, cuyo producto se utiliza como molde para una segunda amplificación con cebadores internos, lo que incrementa la sensibilidad de la técnica. Esta técnica se usa generalmente cuando la concentración del patógeno es muy baja, además, resulta útil en la detección de fitoplasmas (González-Garza, 2017) y begomovirus en soya (Leyva et al., 2019).

Así mismo, ha sido utilizada para la detección en semilla de caña de las bacterias *Xanthomonas albilineans* y *Leifsonia xyli* subsp. *Xyli*, agentes causales de la escaldadura foliar y del raquitismo de las zocas, respectivamente; así como del fitoplasma SCYP (SUGAR CANE LEAF YELLOWS PHYTOPLASMA), causante del amarillamiento foliar. Estas tres enfermedades pueden permanecer latentes, por lo que la PCR anidada es una de las pocas técnicas utilizadas para su detección.

BIO-PCR

Es una técnica, previa a la PCR, que busca aumentar la biomasa del patógeno fúngico mediante una incubación de la semilla contaminada (Mancini et al., 2016). Este enfoque incluye un aumento previo de la biomasa del hongo contaminante en medio sólido enriquecido para, posteriormente, llevar a cabo la extracción de ADN y la PCR con sus cebadores específicos. El objetivo principal es aumentar la concentración de los patógenos y mejorar su detección.

El proceso comienza con el remojo de las semillas en una solución de 750 mL de Tween 20 al 0,01% en agua estéril, a una temperatura de 4°C durante la noche. Posteriormente, se toman submuestras del extracto de las semillas y se colocan en placas de agar peptona sacarosa (PSA) por duplicado. Estas placas se incuban a 27°C durante dos días hasta la aparición de las colonias de hongos; posteriormente, sobre esta biomasa fúngica, se realiza de forma convencional el proceso de extracción de ADN y amplificación *posteriori* por PCR (European and Mediterranean Plant Protection Organization [EPPO], 2007).

PCR en tiempo real

Es una técnica que permite monitorear de manera continua la acumulación de ADN amplificado durante el proceso de PCR. En esta metodología, el ADN amplificado se detecta y cuantifica en tiempo real a medida que la reacción avanza. Para lograrlo se utiliza una molécula fluorescente que se asocia al ADN amplificado. El incremento de la fluorescencia es proporcional al incremento de la cantidad de moléculas de ADN amplificado. Algunas de las sondas más conocidas son SYBR Green, una sonda reversible, rápida y de bajo costo, que se une a la doble cadena de ADN y aumenta su fluorescencia más de mil veces; y la sonda TaqMan, que es altamente específica y con la cual se puede realizar además PCR multiplex (Chirinos-Arias, 2015).

Esta técnica ha demostrado ser confiable para la detección de hongos y bacterias en semillas, como *Magnaporthe grisea* en arroz (Deza et al., 2015), y también para identificar *Xanthomonas* en arroz y otros hongos transmitidos por semillas (Cho et al., 2011). Una diferencia importante de esta técnica frente a la PCR convencional es que esta última arroja datos cualitativos, mientras que la PCR en tiempo real permite cuantificar los fragmentos de ADN amplificado. Esto se logra mediante un fluorómetro integrado que genera una señal fluorescente en tiempo real, proporcionando información sobre la cinética de la reacción (Mancini et al., 2019).

PCR multiplex

Es una técnica que utiliza varios cebadores en una misma reacción, y puede implementarse mediante PCR convencional, así como con PCR en tiempo real (Mancini et al., 2019). Al mezclar varios cebadores en la misma reacción, se logra amplificar simultáneamente varios patógenos, y los fragmentos amplificados se separan y visualizan por electroforesis (Hariharan y Prasannath, 2021).

El objetivo de esta técnica es obtener múltiples copias de secuencias específicas de ADN a partir de un proceso de amplificación, lo que permite obtener cantidades significativas de ADN de una sola molécula inicial (Méndez-Álvarez y Pérez-Roth, 2003). Esta técnica ha sido exitosamente aplicada en el diagnóstico de patógenos fúngicos en cultivos como maíz, al identificar especies como *Fusarium verticillioides* y *F. subglutinans*, así como en plátano para reconocer *Fusarium oxysporum*. Aunque el método es rápido y confiable (Hariharan y Prasannath, 2021), la PCR múltiple es relativamente costosa y susceptible de contaminaciones. Por lo tanto, se requiere de

personal especializado para evitar y controlar estos casos (Méndez-Álvarez y Pérez-Roth, 2003).

Tabla 1. Características de las diferentes técnicas de detección de patógenos fúngicos en semillas

Método de diagnóstico	Tiempo requerido	Sensibilidad	Especificidad	Facilidad de implementación	Ejemplo de patógenos detectados	Semillas
Examen visual	Muy alto	Baja	Baja	Requiere habilidades micológicas	<i>Phomopsis</i> spp. <i>Cercospora kikuchii</i> <i>Peronospora manshurica</i>	Soya
					<i>Cylindrocladium parasiticum</i>	Maní
					<i>Colletotrichum dematium</i>	Ají
Técnica de lavado de semilla	Muy alto	Baja	Baja	Requiere habilidades micológicas	<i>Peronospora manshurica</i>	Soya
Incubación en papel secante	Bajo	Bajo a moderado	Moderado	Requiere habilidades micológicas	<i>Alternaria dauci</i> <i>Alternaria radicina</i>	Zanahoria
					<i>Leptosphaeria maculans</i>	Brassicaceae
Incubación en agar	Bajo	Bajo a moderado	Moderado	Requiere habilidades micológicas	<i>Alternaria dauci</i> <i>Alternaria radicina</i> <i>Alternaria carotiincultae</i>	Zanahoria
					<i>Verticillium dahliae</i> <i>Fusarium</i> spp.	Cucurbitaceae
					<i>Botrytis</i> spp.	Cebolla
PCR convencional	Moderado a alto	Moderado a alto	Moderado a alto	Requiere habilidades en biología molecular, de fácil interpretación	<i>Burkholderia glumae</i>	Arroz
BIO-PCR*	Moderado	Muy alto	Alto	Requiere habilidades en biología molecular, de fácil interpretación	<i>Xanthomonas oryzae</i>	Arroz

(Continúa)

(Continuación tabla 1)

Método de diagnóstico	Tiempo requerido	Sensibilidad	Especificidad	Facilidad de implementación	Ejemplo de patógenos detectados	Semillas
PCR anidada	Moderado	Muy alto	Alto	Requiere habilidades en biología molecular, de fácil interpretación	<i>Colletotrichum lindemuthianum</i>	Fríjol
					Fitoplasma y Begomovirus	Soya
PCR en tiempo real	Alto	Muy alto	Alto	Requiere habilidades en biología molecular	<i>Xanthomonas</i> sp.	Arroz
					<i>Colletotrichum lindemuthianum</i>	Fríjol
MCH-PCR	Alto	Muy alto	Alto	Requiere habilidades en biología molecular	<i>Didymella bryoniae</i>	Cucurbitaceae
					<i>Botrytis</i> spp.	Cebolla

Fuente: Elaboración propia con base en EPPO (2007) y Mancini et al. (2016)

Tabla 2. Cebadores comunes para la identificación de patógenos de semillas

Hongo	Región de interés	Secuencia de cebadores	Tamaño
Todos los hongos	ITS	Adelante: ITS-1 5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG (o) ITS-5 5'-GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG Reverso: ITS-4 5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC	Aproximadamente 600 pares de bases de la región ITS1-5.8S-ITS2 del gen ribosomal
Todas las levaduras	D1D2	Adelante: NL-1 5'-GCATATCAATAAGCGGAGGA Reverso: NL-4 5'-TTGGTCCGTGTTTCAAGACG	Aproximadamente 620 pares de bases de la región 28S del gen ribosomal
<i>Fusarium</i>	Elongación Factor 1α	Adelante: EF-1 5'-ATGGGTAAGGARGACAAGAC Reverso: EF-2 5'-GGAGTACCAGTSATCATG	Aproximadamente 717 pares de bases de la región codificante del gen <i>EF-1α</i> .
<i>Aspergillus Penicillium</i>	β-tubulina	Adelante: Bt2a 5'-GGTAACCAAATCGGTGCTGCTTTC Reverso: Bt2b 5'-ACCCTCAGTGTAGTGACCCTTGGC	Aproximadamente 495 pares de bases de exones e intrones en el extremo 5' del gen de la β-tubulina

Fuente: Elaboración propia con base en Centers for Disease Control and Prevention [CDC] (2022)

Pruebas de germinación

Según la International Seed Testing Association [ISTA], la germinación es la emergencia y desarrollo de las plántulas en una fase en donde sus estructuras esenciales señalan si podrán desarrollarse totalmente y de forma normal bajo condiciones favorables de campo o en el proceso de siembra en su sitio definitivo. El porcentaje de germinación indica la proporción del número de semillas que han producido plántulas clasificadas como normales bajo condiciones y periodos de tiempo específicos (ISTA, 2018). Se considerarán como plántulas normales aquellas que muestran potencial para continuar su desarrollo hasta llegar a plantas, cuando crecen en suelos de calidad y bajo condiciones favorables de humedad, temperatura y luz. Dentro de este criterio se incluirán las plántulas intactas, con sus estructuras esenciales (sistema radicular, eje de brotación y cotiledón) bien desarrolladas, completas y sanas; las plántulas con defectos leves en sus estructuras esenciales, siempre que demuestren un desarrollo equilibrado y satisfactorio comparable al de las plántulas intactas de la misma prueba; y las plántulas con infección secundaria, tanto intactas como con defectos leves que han sido afectadas por hongos o bacterias de otras fuentes diferentes a la semilla original (ISTA, 2018).

Según ISTA (2018), las semillas que no germinaron al final del periodo y bajo las condiciones de evaluación se clasifican en: a) semillas duras: semillas que al final del periodo de análisis permanecen duras porque no absorbieron agua; b) semillas frescas: semillas que no han germinado en las condiciones de la prueba de germinación, pero que permanecen limpias y firmes, y tienen el potencial de desarrollarse junto con las semillas normales; c) semillas muertas: semillas ni duras ni frescas, que tampoco han producido ninguna parte de una plántula.

Las plántulas anormales serán aquellas que no muestren potencial de desarrollarse hasta una planta normal cuando crezcan en suelos de calidad y bajo condiciones favorables de humedad, temperatura y luz. Dentro de este componente se incluirán las plántulas con cualquiera de las estructuras esenciales faltantes o con daños graves e irreparables; las plántulas que presenten un desarrollo débil o cambios fisiológicos en los cuales las estructuras esenciales se deforman o están fuera de proporción y las plántulas con cualquiera de sus estructuras esenciales enfermas o descompuestas como resultado de una infección primaria, que impide el desarrollo normal (ISTA, 2018).

La determinación del tiempo que dura la prueba y el medio que se debe usar para esta (suelo, sobre papel o entre papel) dependerá de la especie que sea objeto del análisis. En semillas de arroz las pruebas se realizan sobre papel (SP), entre papel (EP) y sustrato

(s); en el caso de soya y maíz las evaluaciones se consideran validas en medio EP y s y, finalmente, para sorgo las pruebas de germinación se pueden realizar SP y EP.

Según recomendaciones de ISTA (2018) para las especies relacionadas en este manual, las pruebas de germinación en promedio deben estar bajo condiciones de temperatura de aproximadamente 25°C. Las lecturas iniciales se realizan a los 4 días para las especies maíz y sorgo, con lectura final de germinación a los 7 y 10 días respectivamente. Para las especies soya y arroz, la lectura de germinación inicial se realiza a los 5 días y finaliza a los 8 y 14 días respectivamente, tiempos en los cuales se pueden obtener lecturas correctas y aproximadas del poder germinativo de la semilla analizada. La prueba usualmente para todas las especies en mención requiere un mínimo de 400 semillas puras (100 por réplica $\times$ 4 réplicas), para evaluar el número de semillas no germinadas, plántulas normales y plántulas anormales. Los resultados para cada componente se expresarán como porcentaje.

Pruebas de patogenicidad

El hecho de que un hongo reportado como patógeno haya sido encontrado en un lote de semilla no significa que este sea un patógeno transmitido por semilla. Para asegurarse de que se trata de un patógeno transmitido por este medio es necesario llevar a cabo unas pruebas de patogenicidad (Istikorini et al., 2022; Shabana et al., 2021). El principio básico de estas pruebas consiste en inocular la semilla (en este caso) con el hongo, posteriormente se evidencia el desarrollo de la enfermedad en la planta y se cuantifica la incidencia y la severidad de la enfermedad, por último, se aísla dicho hongo del tejido enfermo o de la semilla producida (Wanjiku et al., 2020). Para esto es necesario estandarizar varios procesos con el fin de asegurar la confiabilidad y reproducibilidad de la prueba (Ramadan y Zrary, 2014).

Ajustar el protocolo de desinfección de la semilla que va a ser inoculada con el hongo

Esto implica establecer qué soluciones (etanol, hipoclorito de sodio, etc.), tiempos de desinfección y etapas secuenciales serán aplicadas a la semilla con el fin de remover todos los contaminantes microbiológicos superficiales, sin afectar negativamente su calidad fisiológica y asegurarse de que no serán los patógenos que no fueron eliminados con la desinfección los que causen la enfermedad.

Los protocolos existentes de desinfección superficial de semilla para maíz (Davoudpour et al., 2020), sorgo (Oyebanji et al., 2009), arroz (Miché y Balandreau, 2001) y soya (Escamilla et al., 2019) frecuentemente consisten en sumergir las semillas de forma secuencial en soluciones de hipoclorito de sodio, etanol en diferentes concentraciones y agua destilada estéril a diferentes temperaturas y por tiempos determinados (Kim et al., 2022). Se recomienda evaluar los protocolos en los materiales de interés y hacer los ajustes respectivos (Li, 2018; Si et al., 2022). A continuación (tabla 3), se presenta a manera de ejemplo un protocolo de desinfección de semillas con solución de hipoclorito de sodio al 5 %.

Tabla 3. Protocolo de desinfección de semillas para pruebas de patogenicidad

1. Materiales y reactivos necesarios:
• Semillas de maíz, sorgo, arroz y soya • Agua destilada estéril • Hipoclorito de sodio (solución al 5 %) • Papel de filtro estéril • Placas de Petri • Pinzas estériles • Gasa estéril • Colador
2. Preparación de la solución de hipoclorito de sodio:
• Diluir hipoclorito de sodio hasta alcanzar una concentración de 5 % en agua destilada. • Agitar suavemente para asegurar una mezcla homogénea.
3. Preparación de las semillas:
• Seleccionar semillas de calidad y libres de daños visibles. • Esterilizar las pinzas sumergiéndolas en alcohol al 70 % y flameándolas hasta que se hayan enfriado. • Tomar las semillas necesarias con las pinzas estériles y transferirlas a un papel de filtro estéril.
4. Desinfección de las semillas:
• Colocar las semillas sobre el papel de filtro o servilleta estéril. • Sumergir las semillas en la solución de hipoclorito de sodio al 5 %, asegurándose de cubrir todas las semillas de manera uniforme. • Dejar las semillas en inmersión durante 10 a 15 minutos.
5. Lavado y enjuague de las semillas:
• Retirar las semillas de la solución de hipoclorito de sodio con ayuda de un colador o una gasa y transferirlas a un recipiente limpio. • Lavar las semillas con agua destilada para eliminar el exceso de hipoclorito de sodio. • Repetir el lavado con agua destilada al menos tres veces.
6. Secado de las semillas:
• Transferir las semillas a un papel de filtro o servilleta estéril. • Dejar que las semillas se sequen al aire en condiciones estériles hasta que estén completamente secas. • Evitar la exposición a la luz solar directa durante el secado.

(Continúa)

(Continuación tabla 3)

7. Almacenamiento de las semillas:

- Transferir las semillas desinfectadas y secas a bolsas o recipientes estériles.
- Etiquetar adecuadamente las bolsas o recipientes con la información relevante, como la especie y variedad de la semilla y la fecha de desinfección.
- Almacenar las semillas en un lugar fresco, seco y oscuro hasta su uso en las pruebas de patogenicidad.

Fuente: Elaboración propia

Estandarizar el proceso de producción masiva del patógeno

La producción masiva es un paso crítico para evaluar la patogenicidad de un aislamiento. Esta consiste en producir la cantidad suficiente de estructuras infectivas para inocular el hospedero (en este caso, la semilla) y causar enfermedad. Estandarizar el proceso significa determinar el tipo de cultivo que se empleará, el medio o sustrato de multiplicación (fuentes de carbono, nutrientes, antibióticos, etc.), la concentración del inóculo inicial que se va a sembrar en el medio o sustrato, las condiciones de incubación (luz, temperatura, humedad relativa, agitación, tiempo, etc.) y el rendimiento en términos de cantidad de estructuras infectivas del patógeno (oosporas, zoosporas, clamidosporas, macroconidias, microconidias, esclerocios, micelio estéril, etc.) por cantidad de sustrato (Zhang et al., 2018). Por ejemplo, en el caso de *Fusarium verticillioides*, un hongo fitopatógeno transmitido por semilla de algunos cereales, la producción masiva se podría llevar a cabo mediante fermentación líquida en caldo estéril de PDA con extracto de raíz de maíz (4,5 g/L) bajo agitación orbital a 125 rpm durante 8 días a 25 °C, partiendo de una concentración inicial de 5×10^5 microconidias/mL, para obtener un rendimiento de 1×10^8 microconidias/mL de medio de cultivo agotado.

Definir el protocolo de inoculación de la semilla con el hongo

Constituye quizás uno de los puntos de consideración más importantes, ya que establece la forma en que se garantizará que el patógeno entre en contacto con la semilla para causar infección. Un protocolo de inoculación implica la definición de las estructuras infectivas del patógeno que serán aplicadas en las semillas y que fueron producidas de forma masiva previamente (oosporas, zoosporas, clamidosporas, macroconidias, microconidias, esclerocios, micelio estéril, etc.). Además, es necesario determinar la concentración y el volumen de inóculo que recibirá una determinada cantidad de semillas, por ejemplo, 50 mL de una suspensión del patógeno en

una concentración de 1×10^7 microconidias/mL (estimada a través de un recuento en cámara Neubauer) en 20g de semilla. Así mismo, se debe establecer la forma de inoculación del patógeno en la semilla en la concentración establecida, ya sea por inmersión de la semilla en una solución del patógeno, aspersión de la semilla con el patógeno, inoculación del sustrato (*drench*, mezcla del sustrato con el patógeno, etc.), punción, etc. (Güney y Güldür, 2018; Li, 2018; Sukanya y Jayalakshmi, 2016). Algunas veces es necesario aplicar el patógeno mediante un recubrimiento de semillas. Esta técnica, empleada frecuentemente para el aprovechamiento de microorganismos benéficos de plantas, consiste en la aplicación uniforme de sustancias exógenas en la semilla, tales como goma arábica, vermiculita, perlita, quitosán, bentonita, carbonato de calcio, talco, tierra diatomácea, arena y polvo de madera, las cuales favorecen y aseguran la supervivencia y adherencia del microorganismo a la semilla (Paravar et al., 2023). A continuación, se presenta un protocolo general de inoculación de hongos para determinar su patogenicidad en semillas de cereales.

Tabla 4. Protocolo de inoculación de hongos en semillas de cereales para determinar su patogenicidad

Objetivo: Describir los pasos para llevar a cabo la inoculación de hongos en semillas de cereales con el fin de evaluar su patogenicidad.
Materiales requeridos:
• Semillas de cereales (por ejemplo, arroz, trigo, maíz, cebada) de calidad previamente desinfectadas • Colonias puras de los hongos que se desean evaluar • Medio de cultivo adecuado para el crecimiento de los hongos • Instrumentos estériles (espátulas, atomizador, etc.) • Cubetas plásticas con tapa de 2,5 L • Cámara de crecimiento • Agua destilada estéril • Solución salina NaCl al 0,85 % • Etanol al 70 %
Procedimiento:
1. Inoculación de las semillas:
• A partir de las colonias puras y esporuladas de los hongos de interés, preparar una suspensión de esporas de los hongos en solución salina NaCl al 0,85 %. La concentración de esporas debe ser ajustada en cámara de Neubauer para obtener una concentración de inóculo determinada, usualmente de alrededor de 1×10^5 esporas/mL. • Disponer las semillas esterilizadas en las cubetas plásticas, distribuyéndolas uniformemente. • Aplicar la suspensión de esporas sobre las semillas, asegurándose de que todas las semillas estén cubiertas uniformemente. Esto se puede lograr empleando un atomizador o sumergiendo las semillas en la suspensión de esporas. • Preparar cubetas control utilizando semillas desinfectadas sin la suspensión de esporas como testigo absoluto. • Transferir las semillas y colocarlas sobre servilletas estériles húmedas en cubetas con tapa con el fin de generar condiciones de cámara húmeda.

(Continúa)

(Continuación tabla 4)

Objetivo: Describir los pasos para llevar a cabo la inoculación de hongos en semillas de cereales con el fin de evaluar su patogenicidad.
2. Incubación y observación:
• Colocar las cubetas con las semillas inoculadas y las cubetas de control en una cámara de crecimiento a la temperatura óptima para el crecimiento del hongo, generalmente entre 25 y 28 °C. • Mantener un registro de las condiciones de incubación, incluyendo la temperatura, humedad y duración del periodo de incubación. • Observar y registrar regularmente la aparición de síntomas de patogenicidad en las semillas inoculadas, como decoloración, manchas, pudrición o deformaciones. • Comparar los resultados obtenidos entre semillas inoculadas y sin inocular para determinar si los hongos inoculados son patógenos para las semillas de cereales.

Fuente: Elaboración propia

Determinar la metodología de evaluación de la incidencia y severidad de la enfermedad causada por el potencial patógeno

Una vez definido el protocolo de inoculación, será necesario determinar la metodología de evaluación de la incidencia y severidad de la enfermedad causada por el potencial patógeno transmitido por semilla. Esto dependerá del tipo de patógeno, los tipos de daño (*damping off*, podredumbre, chancro, manchas foliares, tizón, lesiones en raíz, etc.), los tejidos de la planta donde se observan los síntomas de la enfermedad, el tiempo de aparición de los síntomas, las condiciones ambientales para la expresión de la enfermedad (luz, temperatura, humedad relativa), etc. A manera de ejemplo, se presenta un formato (tabla 5) para el registro de las variables de incidencia y severidad de *damping off* en plántulas de maíz, cuya semilla fue inoculada con un aislamiento de *Fusarium oxysporum*.

Tabla 5. Ejemplo de diligenciamiento de formato para el registro de las variables de incidencia y severidad de *damping off* en plántulas de maíz

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA																		
Nombre del Proyecto:		Evaluación de métodos de inoculación de semillas de maíz con aislamientos de <i>Fusarium oxysporum</i>																
Profesional encargado:		Cecilia Chacón	Fecha inoculación:		15/02/2023		Variables											
Investigador tutor:		Daniel Puentes	Unidad experimental		Bandeja de 72 alveolos con 24 plántulas		Periodo de incubación: tiempo antes de la aparición de primeros síntomas de <i>damping off</i>											
Ubicación del experimento:		Invernadero Número 3 Nave 4					Incidencia: proporción de plantas con síntomas de <i>damping off</i>											
Diseño:		Diseño en Bloques completamente al azar					Severidad: intensidad de los síntomas											
Métodos de inoculación evaluados		Punción y <i>drench</i>			Testigos		Absoluto, punción y <i>drench</i> con agua destilada estéril											
Aislamientos de <i>Fusarium</i>		Se evaluarán los aislamientos de los códigos FOX001, FOX043, FOX077																
Aplicación de tratamientos		Semillas de maíz desinfectadas																
Formato para el registro de la incidencia y severidad del <i>damping off</i> en plántulas de maíz																		
Registro		25/02/2023																
			Incidencia		Plantas en cada grado de severidad (n.º)						Incidencia		Plantas en cada grado de severidad (n.º)					
Tratamiento		Bloque	(n.º)	0	1	2	3	4	5	Tratamiento	Bloque	(n.º)	0	1	2	3	4	5
1. Absoluto		1	0	10	0	0	0	0	0	4.	1							
2. Testigo <i>drench</i>		1	100%	0	0	5	2	2	1	5.	1							
3. Testigo punción		1	90%	1	3	2	2	1	1	6.	1							

Fuente: Elaboración propia

La evaluación de la incidencia y severidad se lleva a cabo en laboratorio bajo condiciones *in vitro*, donde la plántula crece en un medio de cultivo sólido, semisólido o líquido estéril. También, se pueden llevar a cabo bajo condiciones de invernadero, casa de malla o casa de cristal donde las semillas inoculadas son sembradas en contenedores con suelo o sustrato previamente desinfectado (Sivachandra y Banniza, 2017). De igual forma, son posibles las evaluaciones en condiciones de campo abierto. Estas últimas son menos recomendables cuando se tratan de patógenos foliares, ya que no se garantiza que el inóculo provenga de la semilla infectada. Siempre será necesario desarrollar una escala de severidad visual que permita establecer el nivel de daño generado por el patógeno (Sivachandra y Banniza, 2017). Estas escalas consisten en la representación visual de una serie de plantas o partes de plantas que exhiben los síntomas de una enfermedad en diferentes niveles de severidad. Estas representaciones suelen ser ilustraciones o fotografías (figura 8) que permiten la evaluación de la severidad de la enfermedad de manera estandarizada y precisa (Hernández y Sandoval, 2015).

Fotografía	Grado y descripción de síntomas	Fotografía	Grado y descripción de síntomas
	0. Sin síntomas		1. Clorosis en una o dos hojas (incluyendo cotiledones)
	2. Marchitamiento en 30-50 % de las hojas, clorosis moderada en primeras hojas verdaderas y leve en hojas de estrato medio		3. El 100 % de las hojas presentan marchitamiento, evidente pérdida de turgencia, clorosis moderada en estrato medio, abscisión de hojas cloróticas
	4. Clorosis severa con necrosis en hojas, defoliación moderada, marchitamiento severo, evidente retraso del crecimiento		5. Doblamiento de tallo, planta muerta

Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 8. Escala visual y descripción de síntomas para evaluar la severidad de la enfermedad de marchitamiento vascular causada por *Fusarium oxysporum* 4 semanas después de la inoculación.
Fuente: Elaboración propia

Con los datos periódicos de incidencia y severidad, se calcula el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE), según la ecuación descrita por Campbell y Madden (1990):

$$ABCPE = \sum_{i=1}^{n-1} [(X_i + X_{i+1})/2](t_{i+1} - t_i)$$

Donde n es el número de evaluaciones, X_i es la proporción de la enfermedad y es el intervalo entre dos evaluaciones consecutivas. La estimación del área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) ha sido empleada con éxito para estimar la patogenicidad de aislamientos de hongos presentes en semillas de leguminosas (Li, 2018), cereales (Perelló et al., 2017) y forestales (Soleha et al., 2022). En la figura 9, se presenta un ejemplo de las curvas de incidencia, severidad y del ABCPE.

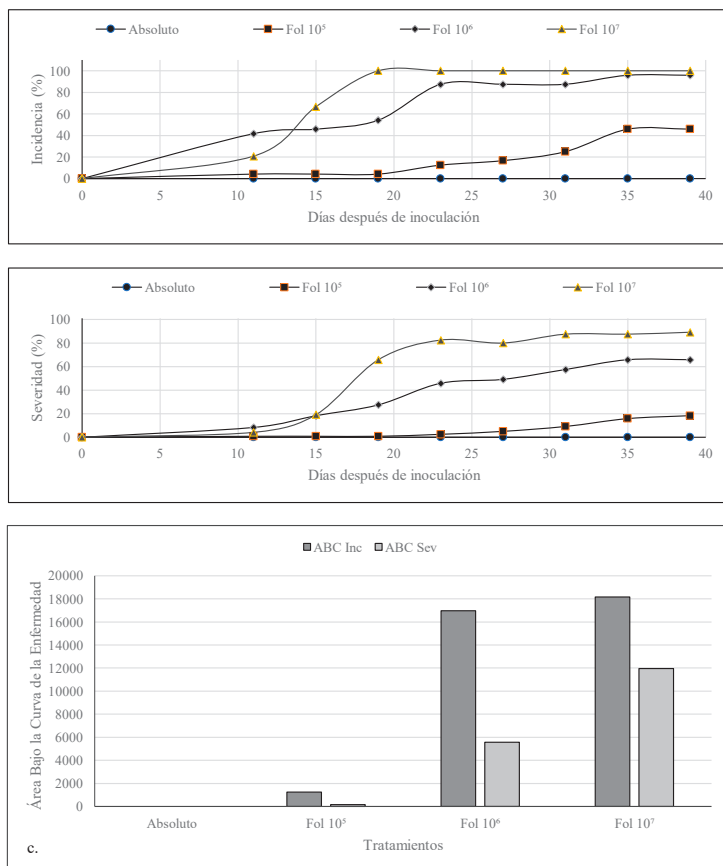
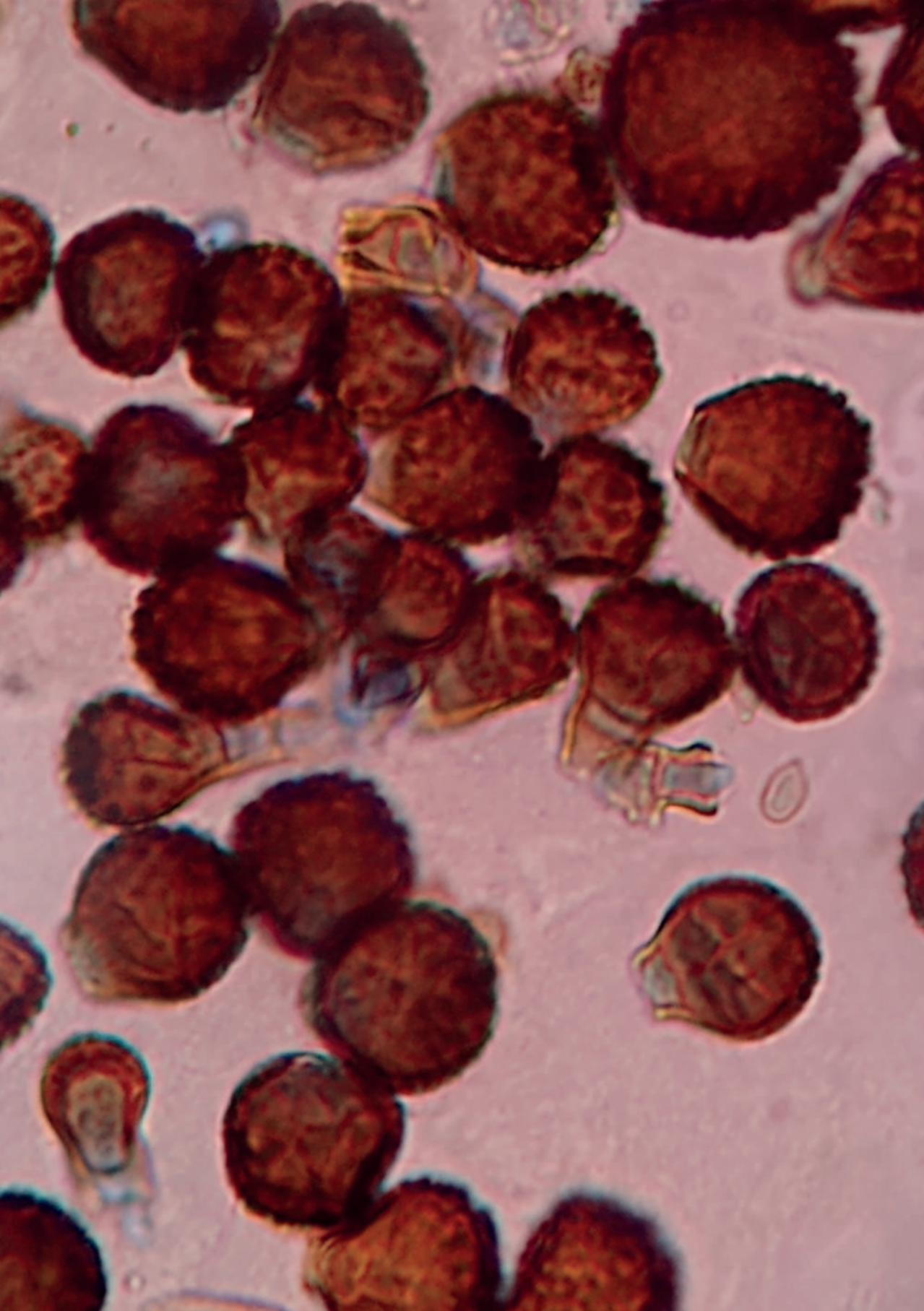


Figura 9. Curvas del progreso de la incidencia y severidad de la enfermedad y área bajo la curva del progreso de la enfermedad. a. Curva del progreso de la incidencia de la enfermedad; b. Curva del progreso de la severidad de la enfermedad; c. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad.

Fuente: Elaboración propia





Capítulo II

Puntos críticos de aparición de hongos contaminantes en semillas

A continuación, se detallan las fases de producción de semilla de calidad de las especies sorgo (figura 11), arroz (figura 12), maíz (figura 13) y soya (figura 14), en donde se considera el momento de preparación de la siembra, el establecimiento del cultivo en campo, las etapas vegetativa y reproductiva, y las fases de beneficio y almacenamiento de las semillas. De igual manera, se puntualizan los tiempos de duración de las etapas de producción en condiciones ambientales de los valles interandinos colombianos (a manera de ejemplo), y se identifican las fases en las cuales se pueden presentar los hongos contaminantes y sobre las que se sugieren realizar monitoreos, muestreos e implementar estrategias de control preventivo y en caso de contingencia.

Existen estrategias de control de los hongos contaminantes que se recomiendan para disminuir el riesgo de afectación de la calidad sanitaria de la semilla. A continuación, se explican algunas de estas medidas, considerando las fases de producción de semillas de especies de cultivos semestrales.

Presiembra y siembra

Antes de producir semilla de calidad de los cultivos semestrales (maíz, arroz de secano, soya y sorgo), es fundamental seleccionar cuidadosamente el lote. Para lograrlo, es necesario conocer su historial de uso y los registros sanitarios correspondientes, con el fin de determinar sus condiciones de sanidad (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], 2018; Fenalce et al., 2009). También, se debe recopilar información sobre los eventos climáticos que han ocurrido en la zona. Además, se recomienda llevar a cabo pruebas para evaluar el estado sanitario de la semilla que se utiliza para la siembra, de manera que se puedan detectar oportunamente posibles problemas antes de establecer el cultivo. Durante la siembra, se sugiere el uso de semillas tratadas con fungicidas para prevenir infección de patógenos y evitar sembrar bajo condiciones de exceso de humedad (Flórez et al., 2021; López-Cardona et al., 2017).

Una vez seleccionado el lote y evaluada la calidad sanitaria de las semillas, se debe proceder a la preparación del terreno. Inicialmente, se recomienda la eliminación de residuos de cosecha del cultivo anterior y la rotación de cultivos para evitar la acumulación de hongos contaminantes en el suelo. Seguidamente, se pueden emplear técnicas de labranza que promuevan la aireación y el drenaje, lo cual reduce la humedad en el suelo y disminuye la presencia de agentes patógenos (FAO, 2018).

Etapas vegetativa

La etapa vegetativa inicia con la emergencia, la cual depende de la especie, la variedad sembrada, la profundidad de siembra, el ambiente, el suelo, densidades de siembra, recursos hídricos y malezas presentes. Continúa con el desarrollo del área foliar y el sistema radicular, con lo que la planta comienza a crecer (Semillas Valle, 1995). En esta etapa es importante efectuar el manejo agronómico recomendado según el material de siembra, considerando aspectos como el control de plagas, enfermedades, malezas, la fertilización, la aplicación de riegos complementarios y drenajes según sea necesario. La implementación de estas prácticas permite obtener una mejor repuesta en el rendimiento potencial de semillas para cultivar y contribuye al aseguramiento de su calidad en sus cuatro atributos: genético, físico, fisiológico y sanitario.

Un control fitosanitario efectivo durante el desarrollo vegetativo disminuye el riesgo de transmisión de hongos patógenos a estructuras reproductivas en las fases posteriores y, con ello, una afectación directa a la semilla (Semillas Valle, 1995). En el caso de las plantas acompañantes, resulta efectivo su control oportuno, ya que pueden ser hospederos alternos de algunos patógenos fúngicos (Toledo, 2006). En relación con los requerimientos nutricionales de las plantas, es necesario garantizar un adecuado plan de fertilización enfocado en minimizar la susceptibilidad al ataque de artrópodos vectores y agentes fitopatógenos (Sánchez et al., 2015). Finalmente, la dotación hídrica repercute en la incidencia y severidad de hongos contaminantes dadas las condiciones ambientales propicias para su desarrollo, en este sentido una dotación hídrica elevada acompañada de altas temperaturas genera condiciones de alta humedad relativa dentro del cultivo lo que favorece el desarrollo de hongos (Giménez, 2017).

Etapa reproductiva

La fase reproductiva en los cultivos se destaca por tener como principal característica la formación de la semilla y su desarrollo, en esta etapa se acumulan sustancias de reserva que se traducen finalmente en mayor o menor rendimiento por área (Mantilla, 2008). Por lo tanto, el control de enfermedades en esta etapa debe ser prioritaria.

Para el control de hongos contaminantes que se pueden presentar durante la fase reproductiva de los cultivos en estudio y que se transmiten a la semilla, se recomienda el manejo apropiado del riego y buena fertilización, lo cual genera plantas más sanas que tolerarán la aparición de algunas enfermedades de importancia (FAO, s. f.). Una de las prácticas más usuales para el control de enfermedades es el descarte o eliminación de plantas con síntomas de la enfermedad, que deben ser retiradas del lote con el fin de minimizar el inóculo que podría diseminarse en época de floración y ser persistente después de esta. Si dentro de los lotes sembrados se presentan afectaciones más frecuentes o con mayor incidencia, el uso de controladores biológicos como *Bacillus* sp. y *Streptomyces* sp. han resultado ser eficaces contra diferentes tipos de hongos, al suprimir su desarrollo micelial y la germinación de los conidios, como en el caso de *Curvularia* spp. (Basha y Ulaganathan, 2002; Bressan, 2003; Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural y Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria [Senasica], 2020a).

El control químico es otra de las alternativas disponibles cuando se presentan porcentajes de incidencia y prevalencia que superen el 30%; durante su aplicación se deben tener presentes las buenas prácticas de producción y la rotación de cultivos para no inducir resistencias. Existen diferentes grupos químicos para el control de enfermedades y la preservación de la calidad de las semillas como los benzimidazoles, triazoles, estrobilurinas o mezclas de estos (Distéfano y Gadbán, 2009). En la mayoría de los casos, no se recomienda la aplicación química durante floración sino en estados vegetativos o reproductivos avanzados, puesto que se evidencian algunos retrasos en la llegada de los cultivos a madurez fisiológica. Por ejemplo, se ha comprobado que las aplicaciones en mezcla de triazoles y benzimidazoles en estado reproductivo (R5) en soya reducen significativamente la incidencia y severidad de *Cercospora* sp. y tiene un efecto positivo en la calidad de las semillas para cosecha (Distéfano y Gadbán, 2009). Sin embargo, es de suma importancia conocer el marco regulatorio vigente de los fungicidas permitidos en Colombia, Estados Unidos y Europa para cumplir con los requisitos legales orientados a la protección de la salud humana, el medioambiente y los individuos que no son blanco de los productos empleados. En Estados Unidos, la regulación de los fungicidas se rige por la Ley Federal de Insecticidas, Fungicidas y Raticidas. Por otro lado, la Unión Europea se ciñe a los reglamentos (CE) n.º 1107/2009 y (UE) n.º 283/2013, los cuales establecen los criterios y procedimientos de autorización de productos fitosanitarios en el territorio europeo, incluyendo fungicidas (Santos et al., 2018). En el caso de Colombia, la subgerencia de protección vegetal del ICA ha restringido y prohibido el uso de algunos plaguicidas en el país a través de resoluciones (ICA, 2023).

Cosecha

Existen diferentes prácticas que se deben implementar en la etapa de cosecha para disminuir el riesgo de contaminación por hongos en semilla. La cosecha puede ser manual o mecanizada y debe coincidir con época seca (Patiño et al., 2022). Antes de cosechar, las herramientas o implementos que se usen deben estar calibrados y desinfectados para evitar daño físico y contaminación de las semillas (Rice Knowledge Bank, s. f.; Romero et al., 2020). La cosecha de semillas con porcentajes de humedad muy altos puede ocasionar su deterioro y daño durante el proceso de desgrane (Flórez et al., 2021), además de favorecer la aparición de hongos. Por lo tanto, es importante realizar la cosecha tan pronto como el contenido de humedad permita un daño mínimo al grano (Rice Knowledge Bank, s. f.). La semilla está

apta para ser cosechada cuando el grano alcanza su madurez fisiológica y las plantas han acumulado la máxima cantidad de materia seca (Tapia et al., 2020). Por consiguiente, es necesario monitorear la humedad de la semilla desde campo hasta su almacenamiento.

En el cultivo de la soya, el momento de cosecha se reconoce cuando al menos el 90 % del cultivo adquiere una coloración café (Flórez et al., 2021). En cuanto al arroz, se evidencia que está listo para ser cosechado cuando entre el 92 % y el 95 % de los granos adquieren un tono amarillo pálido; además, el contenido de humedad del grano debe encontrarse dentro de un rango de 18 % a 24 %; este puede ser estimado utilizando un determinador de humedad portátil, el cual requiere una muestra de semillas del lote de producción (Romero et al., 2020). Por otro lado, en el caso del maíz, se considera la cosecha oportuna cuando al menos el 80 % de las mazorcas están agobiadas (figura 10), es decir, cuando comienzan a desprenderse del tallo y muestran una inclinación hacia el centro de gravedad, además, se espera que el grano presente una humedad menor al 20 % (Tapia et al., 2020).



Fotos: Deisy Lorena Flórez

Figura 10. Lote de producción de semilla de maíz con mazorcas agobiadas.

En esta etapa es imprescindible evitar el ataque de pájaros y roedores a las vainas, mazorcas o panojas. Se sugiere realizar una primera selección manual de las plantas, vainas, mazorcas o panojas en campo, es decir, al momento de la cosecha (Tapia et al., 2020). De acuerdo con lo anterior, se deben descartar aquellas que muestren daños por plagas o enfermedades, así como mazorcas, panojas o vainas que caigan al suelo, que presenten malformaciones, un mal llenado de granos o que sean muy pequeñas (Tapia et al., 2020).

Poscosecha

Una vez cosechada la semilla es importante prepararla para su almacenamiento con el fin disminuir el riesgo de contaminación por hongos, prolongar su vida en el lugar de almacenamiento y mantener su calidad. A continuación, se explican las actividades de poscosecha que incluyen la prelimpieza, el secado, la limpieza y el empaque de la semilla.

Prelimpieza

Consiste en eliminar las impurezas más gruesas que acompañan a los lotes de semillas, como hojas, tallos, piedras u otros elementos, mediante el uso de equipos como desbrozadoras, aspiradoras, máquinas sopladoras de aire y zarandas. Esta labor es indispensable, ya que permite manipular las semillas, eliminar materiales que podrían contaminarlas y causar daños físicos. Además, facilita su clasificación y contribuye a mantener su calidad. Esta actividad puede llevarse a cabo de forma manual, utilizando zarandas y aprovechando la ayuda del viento, o de manera mecánica mediante equipos especializados de prelimpieza para eliminar los residuos de la cosecha (Bonilla, 2014).

Secado de las semillas

Si la humedad de las semillas al momento de la cosecha es muy alta para su almacenamiento, se sugiere que, antes del desgrane o trilla de las mazorcas o panojas, estas se sometan a un proceso de secado (Tapia et al., 2020), ya sea en máquinas secadoras o extendiendo las semillas en superficies limpias.

Antes de iniciar el proceso de secado es fundamental asegurar la limpieza y la desinfección de todo el equipo correspondiente y cualquier otra superficie en contacto con las semillas. Esto ayudará a reducir la presencia de patógenos que puedan afectarlas. Además, es importante procurar que el proceso de secado se realice en un área aislada y protegida, lejos de otras fuentes de contaminación para ayudar a prevenir la contaminación cruzada con patógenos externos (Bonilla, 2014).

Este proceso se puede realizar mediante equipos, sin embargo, al momento del secado, se tiene que mantener la temperatura del aire a menos de 40°C. Si el contenido de

humedad del lote de semillas es mayor al 18 %, se aconseja no dejar que la temperatura del aire de secado pase los 35°C (Bonilla, 2014). También se hace de manera natural con el uso de la energía solar y el viento, en un lugar donde se pueda colocar una carpa limpia, remover constantemente las semillas para aumentar la superficie expuesta al sol y monitorear constantemente la humedad para no sobrepasar el tiempo de secamiento (Romero et al., 2020).

Limpieza

Una vez secada la semilla, es importante realizar un proceso de limpieza definitiva usando nuevamente zarandas, donde se eliminan por completo las impurezas que hayan quedado de la prelimpieza y del proceso de secado, como residuos muy pequeños de cosecha, semillas vanas, enfermas, partidas, tierra, entre otros (Romero et al., 2020).

Las empresas fabricantes de equipos de acondicionamiento de semillas han presentado avances tecnológicos para realizar la limpieza y la clasificación a través de separación por colores, con la incorporación de microprocesadores, cámaras ópticas de alta velocidad y precisión (Bonilla, 2014).

Empaque

El empaque tiene como finalidad mantener las cualidades fisiológicas de calidad de las semillas, es decir, su viabilidad, germinación y humedad. Por esta razón, es recomendable que semillas con contenidos de humedad cercanos al 12 % se empaquen en recipientes impermeables para que no absorban humedad del ambiente y se afecte su calidad (Bonilla, 2014). Los materiales con los cuales están hechos los recipientes para el empaque garantizan la germinación a través del tiempo y el mantenimiento de las cualidades fisiológicas. Materiales como el vidrio, lata, laminados en aluminio o plástico son impermeables y evitan que la semilla gane humedad (McCormack, 2004).

Almacenamiento

El método más eficiente y usado para la conservación de los recursos fitogenéticos es el almacenamiento de semillas; condiciones en almacenamiento de bajas temperaturas y baja humedad incrementan su longevidad (Martín et al., 2022). Por periodos

cortos, se pueden almacenar semillas bajo condiciones ambientales, siguiendo la Regla de Harrington, la cual establece que la sumatoria de temperatura y humedad no debe exceder el valor de 100. Sin embargo, lo más aconsejable es la conservación de semillas en bodegas de almacenamiento en condiciones de temperatura y humedad controladas (Bonilla, 2014).

Aspergillus y *Penicillium* son los géneros de hongos más comunes en almacenamiento de semillas. Otras especies de menor relevancia, pero que se llegan a presentar, son *Rhizopus*, *Mucor* o *Chaetomium*. Estos hongos están casi siempre presentes y son ampliamente diseminados. La mayoría de ellos se encuentran en el suelo y producen daños evidentes en las estructuras reproductivas, generan decoloración del embrión, disminución de la germinación y producción de micotoxinas que puede traducirse en una disminución potencial en el rendimiento final cercano al 50 % (Martín et al., 2022; Presello et al., 2016).

Los requerimientos para almacenamiento de semilla de soya son temperatura de 5 a 18 °C (Bonilla, 2014) y humedad relativa de 45 a 50 % (McCormack, 2004). En el maíz, las condiciones ideales de almacenamiento para evitar deterioro en la calidad fisiológica son temperaturas $\leq 18^\circ\text{C}$ y humedad relativa $\leq 60\%$ (Bayer, 2022). Para el almacenamiento de arroz, las mejores condiciones oscilan para temperatura entre 15 y 20 °C y humedad relativa entre 60 y 75 % (Braunbeck y Kolb, 2022). Para la semilla de sorgo, el ambiente ideal de almacenamiento está en el rango de 8 a 12 °C de temperatura y de 50 a 60 % de humedad relativa (Castro, s. f.).

Para el almacenamiento de semillas, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. los factores más importantes son la temperatura y la humedad de la semilla; por cada 5 °C que se reduzca la temperatura y por cada 1 % que se reduzca la humedad de la semilla, el potencial de tiempo de almacenamiento se duplica;
2. condiciones de altas temperaturas y humedad facilitan la reproducción y crecimiento de hongos e insectos de almacén;
3. la calidad de la semilla no mejora con el almacenamiento, ya que el proceso de deterioro es irreversible (Bonilla, 2014);
4. los contenedores o las instalaciones de almacenamiento se deben limpiar para eliminar la suciedad, el polvo y otros materiales extraños, restos de cultivos, paja y restos de granos;
5. se deben someter a cuarentena aquellas semillas portadoras de enfermedades e insectos, y prevenir que ingresen a los lugares de almacenamiento (Patiño et al., 2022).

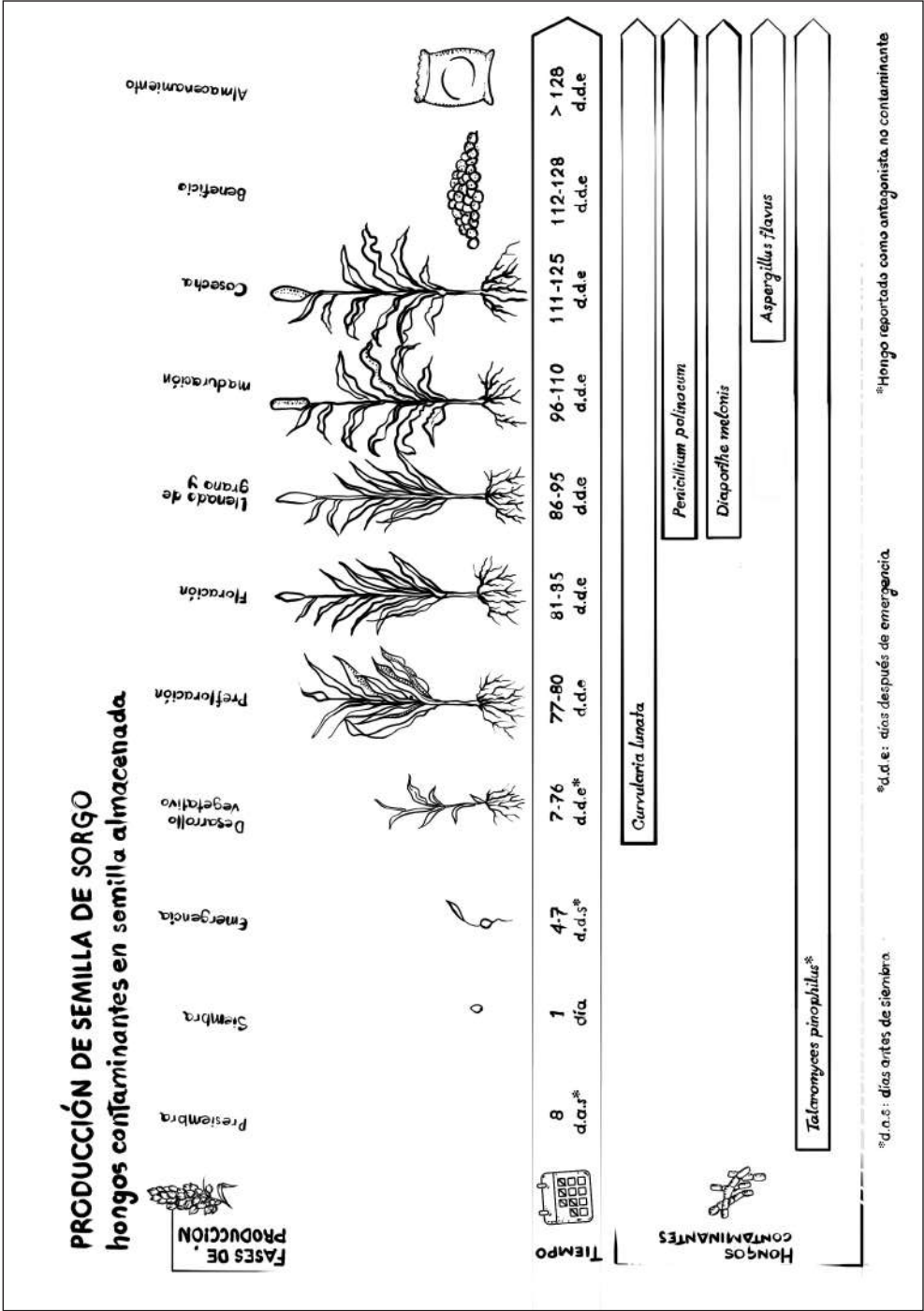


Figura 11. Etapas clave del proceso de producción de semilla de sorgo en los valles interandinos colombianos para monitorear hongos contaminantes de semilla.
Ilustraciones: Iván Mauricio Patiño. Fuente: Elaboración propia

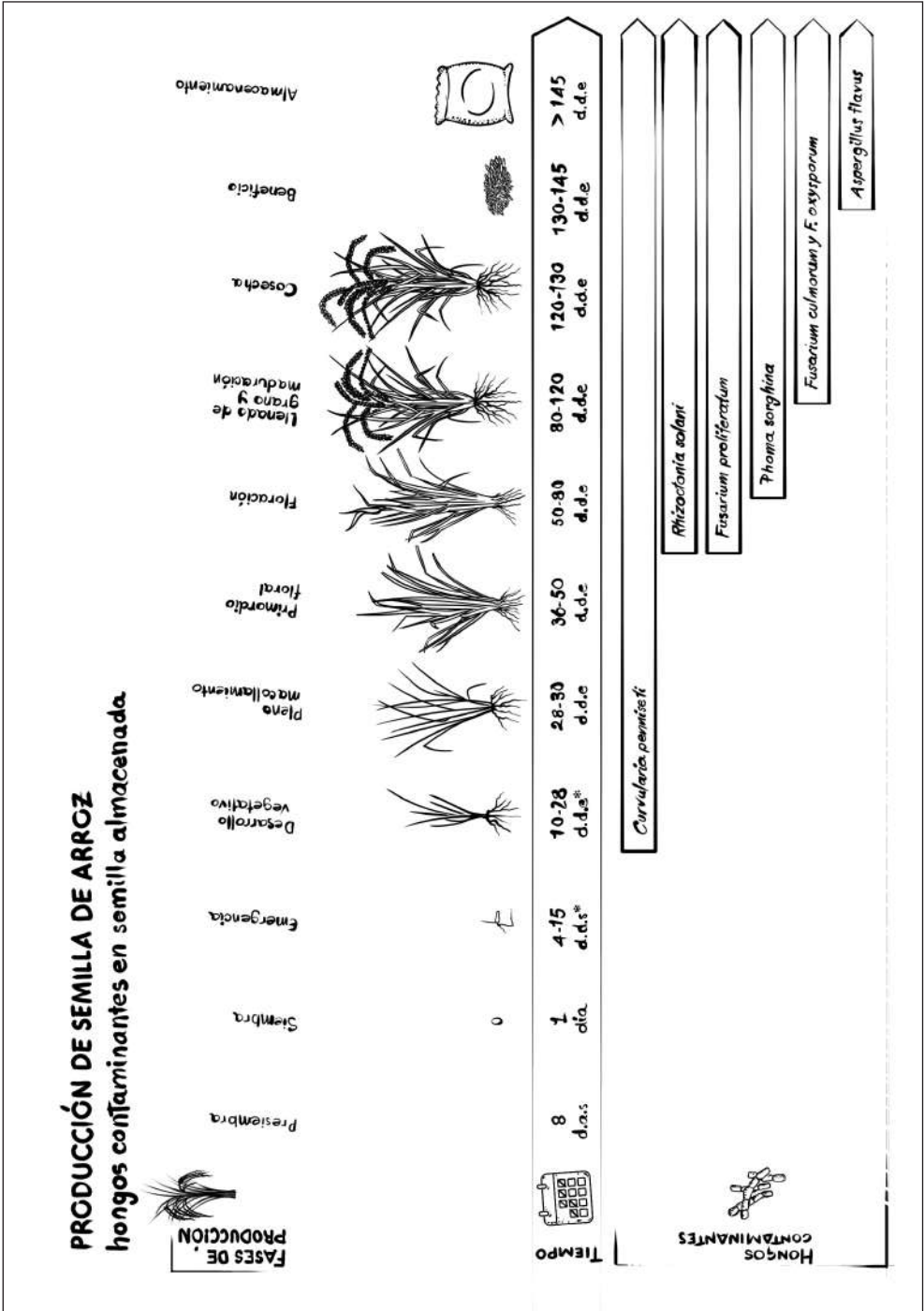


Figura 12. Etapas clave del proceso de producción de semilla de arroz en los valles interandinos colombianos para monitorear hongos contaminantes de semilla.

Ilustraciones: Iván Mauricio Patiño. Fuente: Elaboración propia

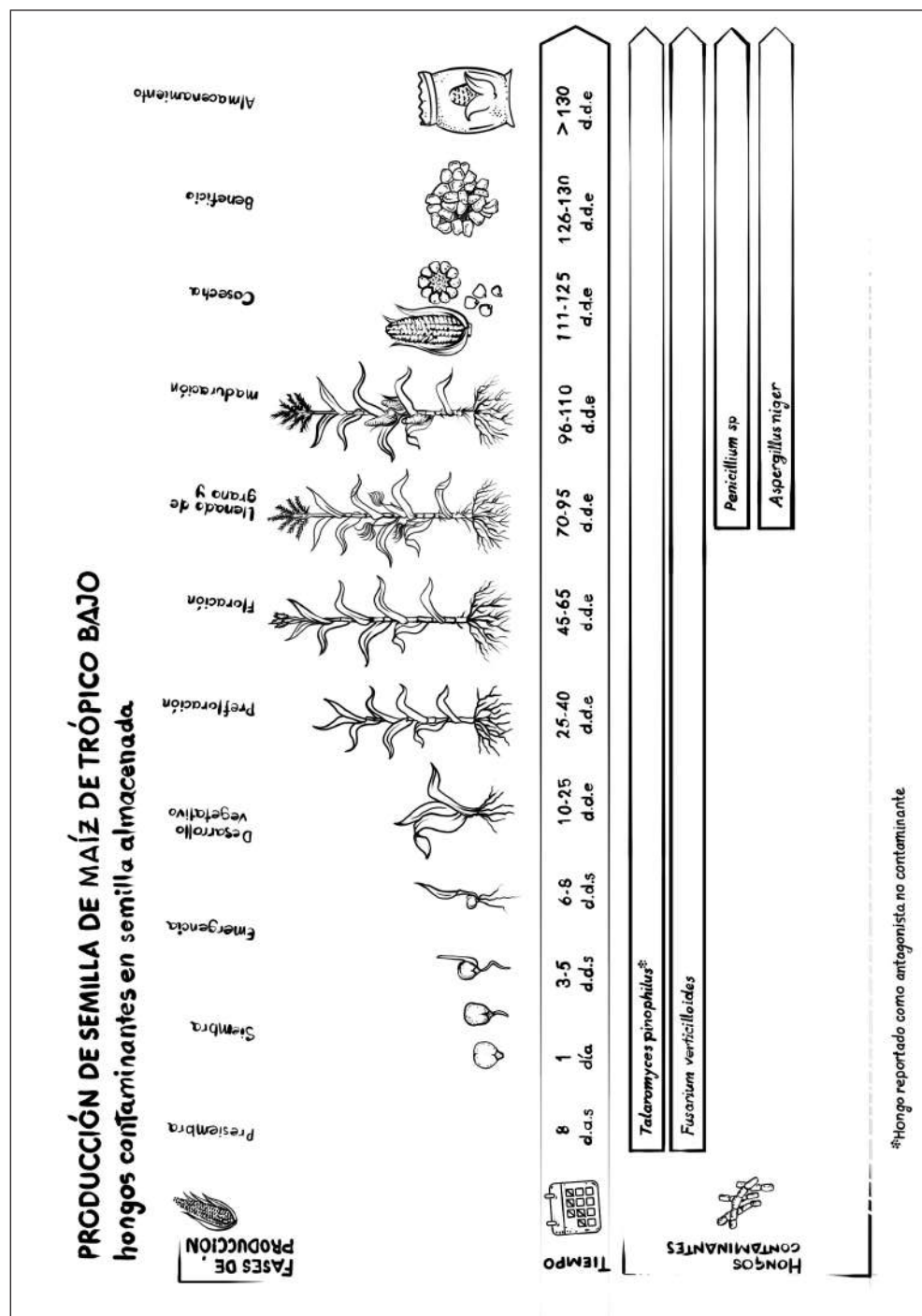


Figura 13. Etapas clave del proceso de producción de semilla de maíz en los valles interandinos colombianos para monitorear hongos contaminantes de semilla.

Ilustraciones: Iván Mauricio Patiño. Fuente: Elaboración propia

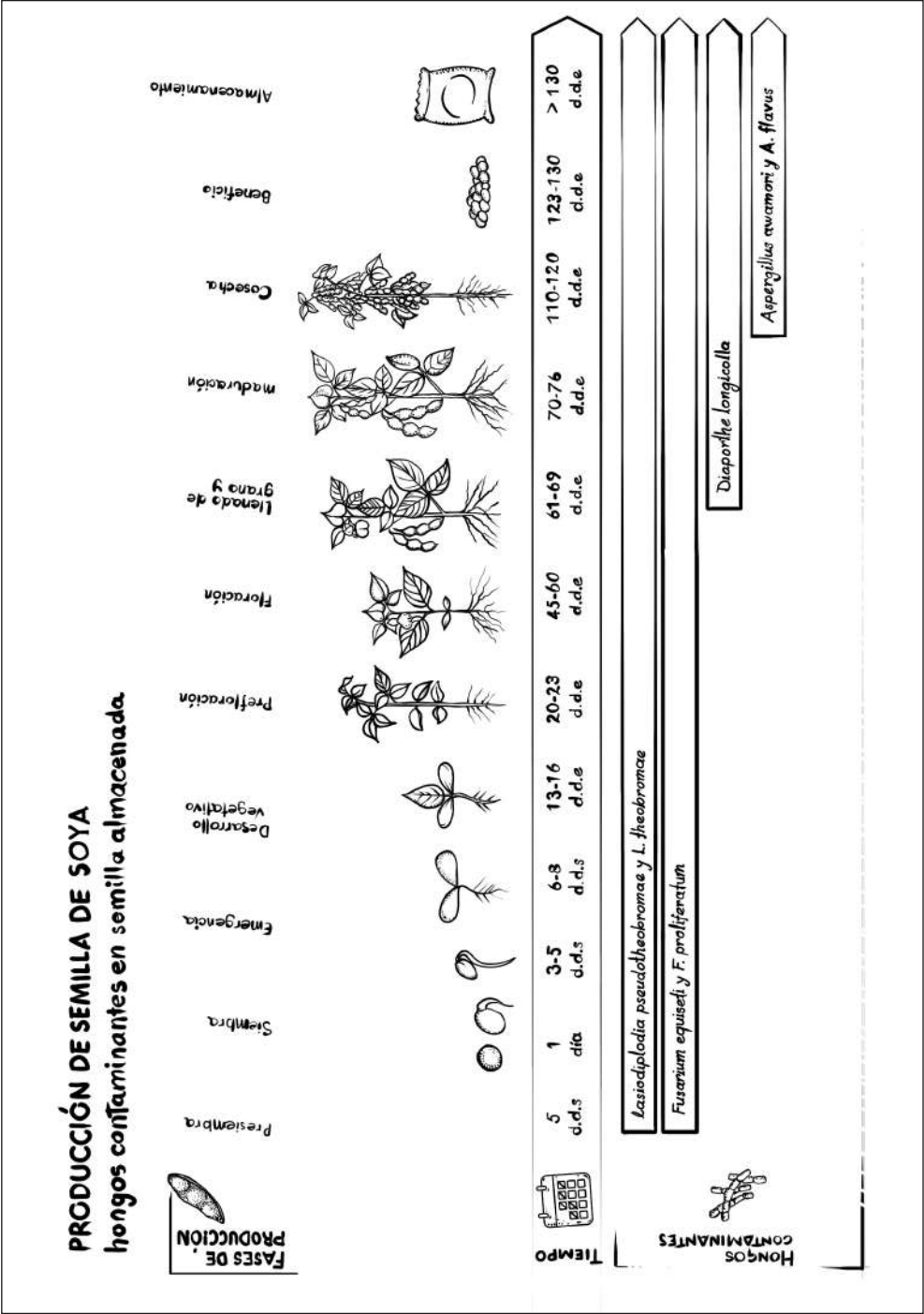


Figura 14. Etapas clave del proceso de producción de semilla de soya en los valles interandinos colombianos para monitorear hongos contaminantes de semilla.

Ilustraciones: Iván Mauricio Patiño. Fuente: Elaboración propia





Capítulo III

Ilustraciones de estructuras para la identificación de los hongos

La identificación de los hongos contaminantes en semillas es fundamental para la prevención y el control de las enfermedades fúngicas en las plantas. La primera aproximación para la identificación de estos hongos es el reconocimiento de sus estructuras microscópicas y las características macroscópicas. A nivel macroscópico, se observan las características físicas y las formas de crecimiento de las colonias fúngicas en las semillas. Estas características incluyen la forma, el tamaño, el color, la textura y la elevación de las colonias. Algunos hongos producen pigmentos y sustancias extracelulares que pueden ayudar a identificarlos. A nivel microscópico, se observan sus estructuras reproductivas y vegetativas, como las esporas, las hifas y las estructuras de reproducción sexual. Su observación bajo un microscopio permite una identificación más precisa de la especie del hongo presente.

Es importante destacar que la identificación de los hongos contaminantes en semillas puede requerir la utilización de técnicas especializadas y una formación adecuada en micología. Además, llega a ser complicada debido a la existencia de especies con estructuras similares o a la presencia de hongos que

no desarrollan estructuras diagnósticas. En este capítulo, se presentan ilustraciones detalladas de las estructuras reproductivas (figuras 15, 16 y 17) y vegetativas (figura 18) de la mayoría de los hongos filamentosos que se encuentran en semillas, así como las características macroscópicas de las colonias que forman (figuras 19, 20 y 21). Las ilustraciones de las estructuras vegetativas y reproductivas permitirán a los lectores comprender mejor la biología y la morfología de estos hongos. Además, se explorarán las características macroscópicas de las colonias, incluyendo su color, textura y forma, para proporcionar una descripción completa de estas especies.

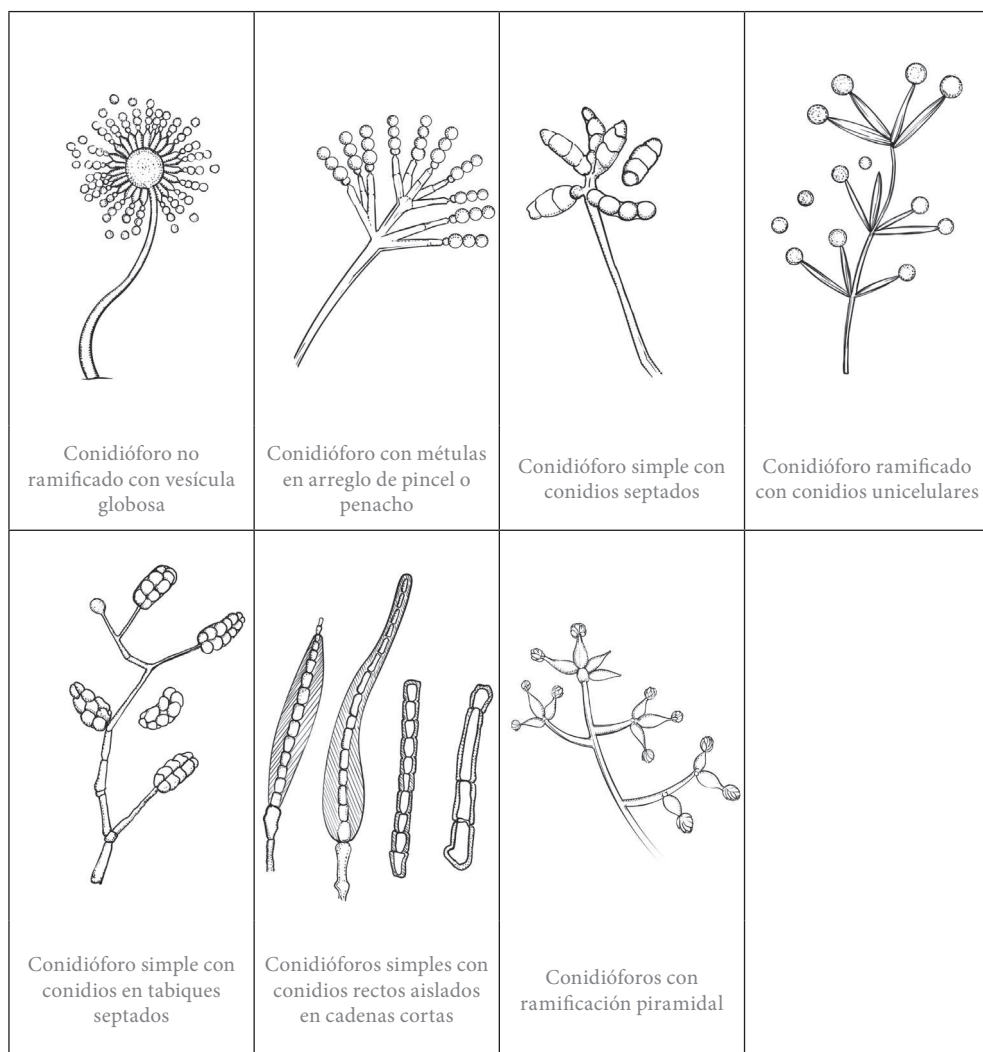


Figura 15. Estructuras reproductivas: conidióforos.

Ilustraciones: Iván Mauricio Patiño. Fuente: Elaboración propia

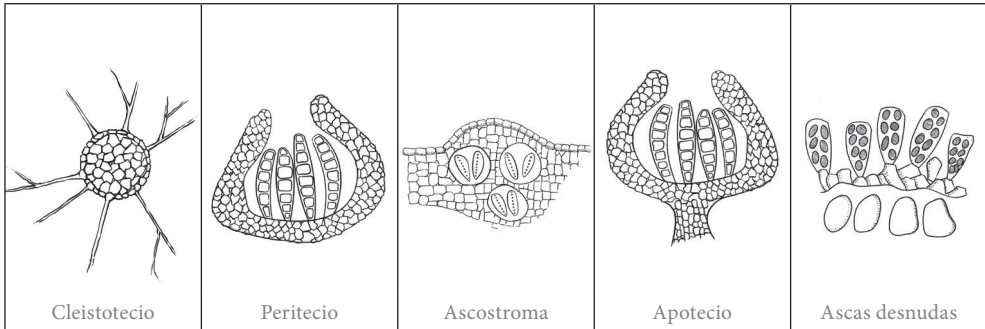


Figura 16. Estructuras reproductivas: ascocarpos.

Ilustraciones: Iván Mauricio Patiño. Fuente: Elaboración propia

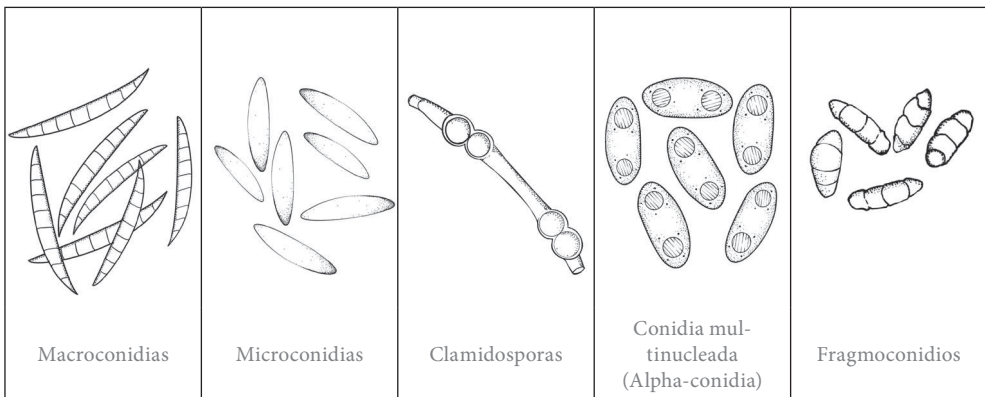


Figura 17. Estructuras reproductivas: conidias.

Ilustraciones: Iván Mauricio Patiño. Fuente: Elaboración propia

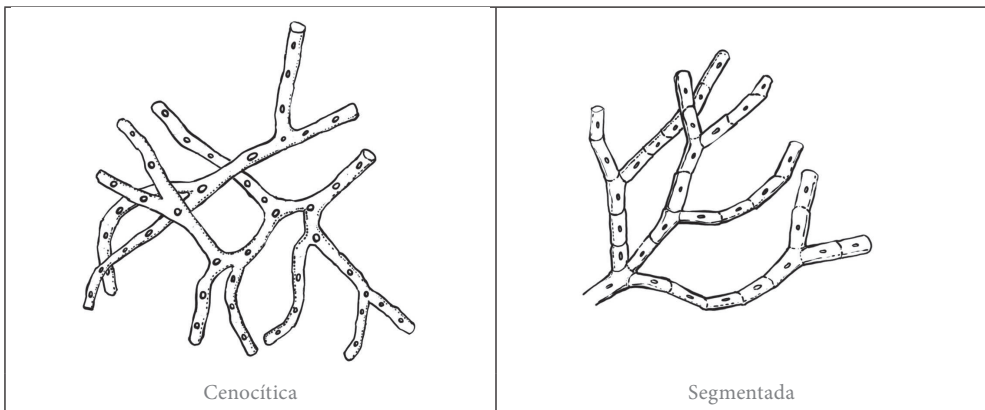


Figura 18. Estructuras vegetativas: hifas.

Ilustraciones: Iván Mauricio Patiño. Fuente: Elaboración propia

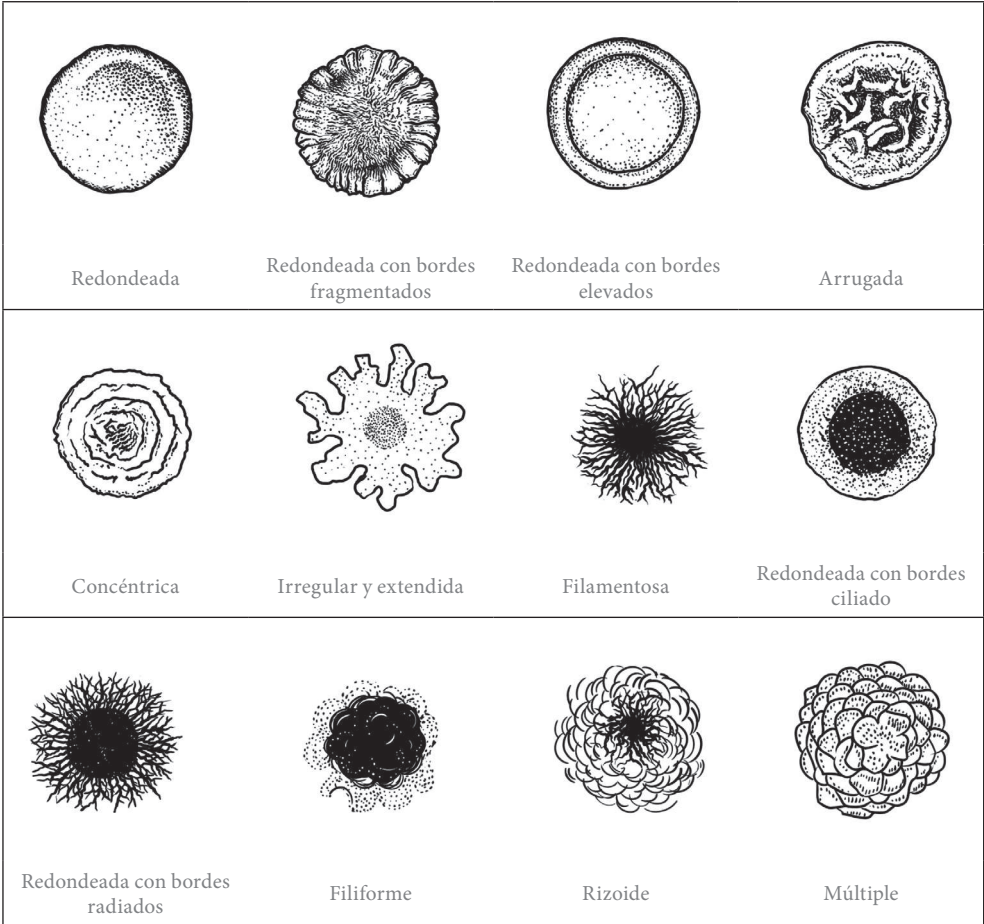


Figura 19. Formas de las colonias de hongos.
Ilustraciones: Iván Mauricio Patiño. Fuente: Elaboración propia

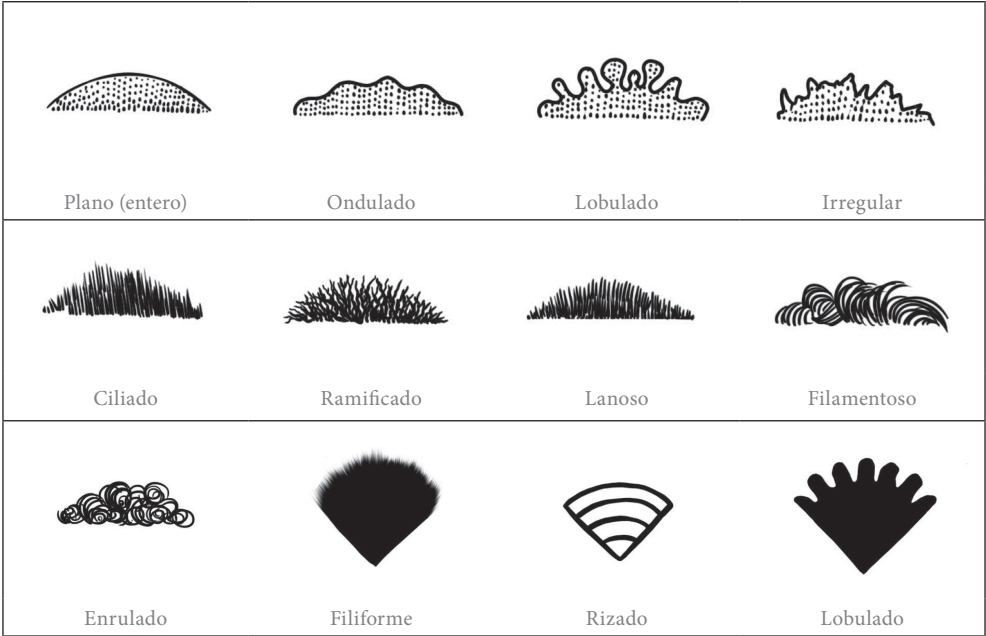


Figura 20. Bordes de colonias de hongos.
Ilustraciones: Iván Mauricio Patiño. Fuente: Elaboración propia

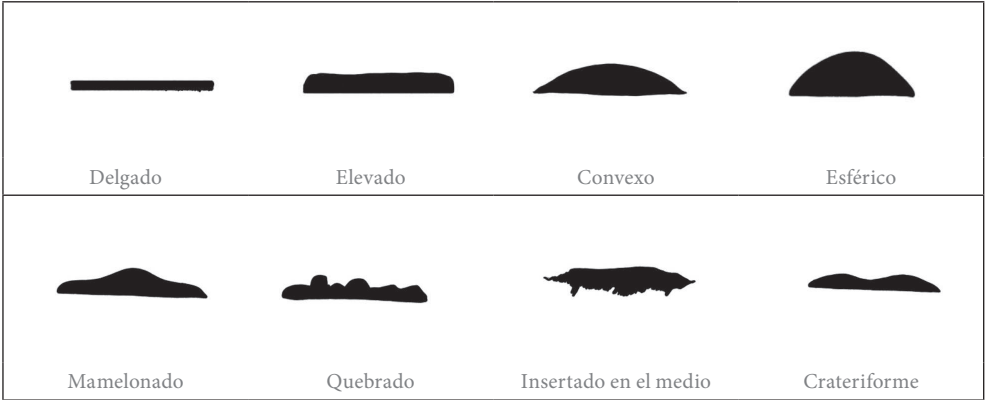


Figura 21. Formas de elevación de la colonia de hongos.
Ilustraciones: Iván Mauricio Patiño. Fuente: Elaboración propia





Capítulo IV



Hongos contaminantes identificados en semillas de arroz, maíz, sorgo y soya



En este capítulo se presenta la información para el reconocimiento de hongos contaminantes en semillas de arroz de secano, maíz, soya y sorgo, los cuales afectan su calidad sanitaria (figura 22). Se abordan aspectos de clasificación taxonómica, nombres comunes y sinonimia, además de ofrecer detalles sobre la caracterización macroscópica y microscópica, así como el tipo de hongo y las especies vegetales que se ven afectadas en su semilla. También se describen los signos y síntomas en la semilla que produce el agente fúngico. En síntesis, este capítulo brinda una visión completa de los hongos contaminantes presentes en semillas que ayudará a entender el impacto en su calidad y en la producción agrícola, lo que resulta fundamental para el control y manejo de aquellos. Aunque los hongos en esta sección han sido presentados a nivel molecular, es importante destacar que una identificación basada en características morfológicas y el uso de claves taxonómicas también permite alcanzar un nivel de especie. Sin embargo, para llevar a cabo esta tarea se requieren

habilidades especializadas y conocimientos avanzados en micología, los cuales no son el objetivo principal de este manual.

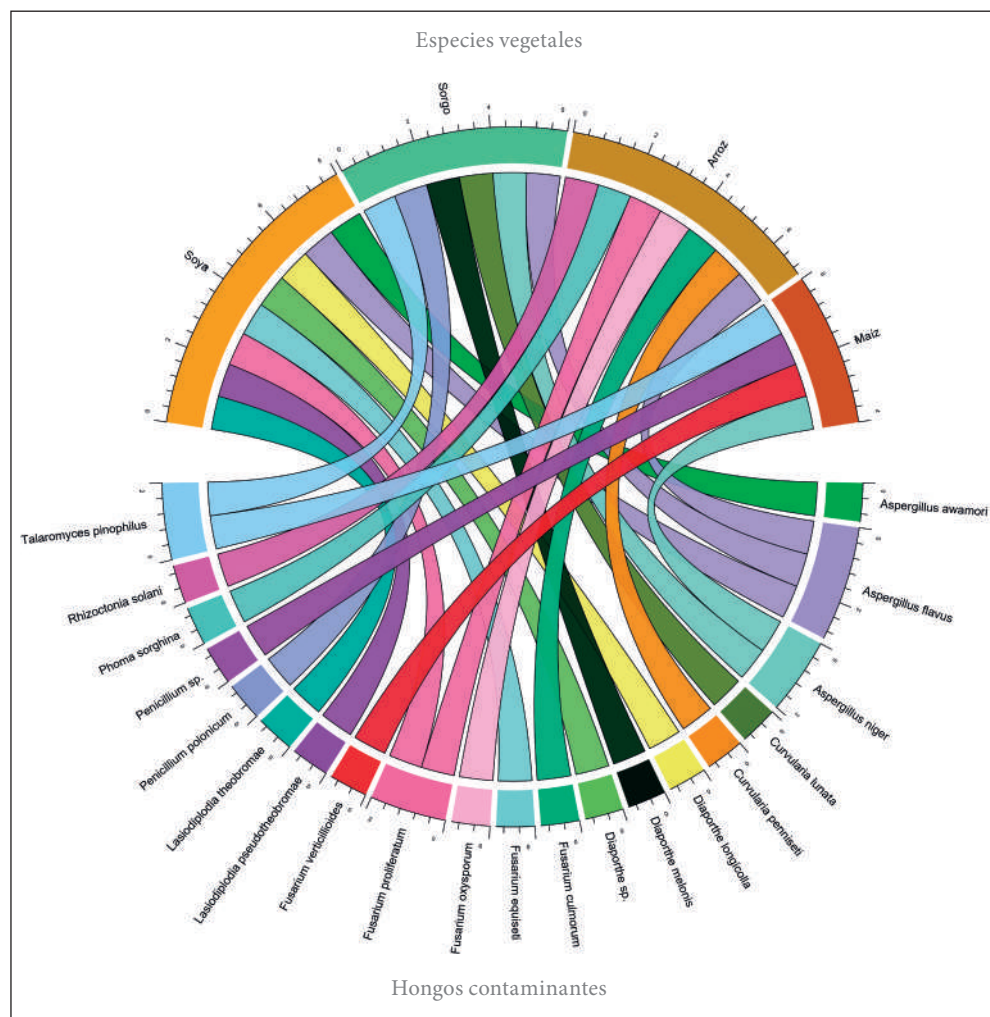


Figura 22. Especies vegetales y sus hongos contaminantes.

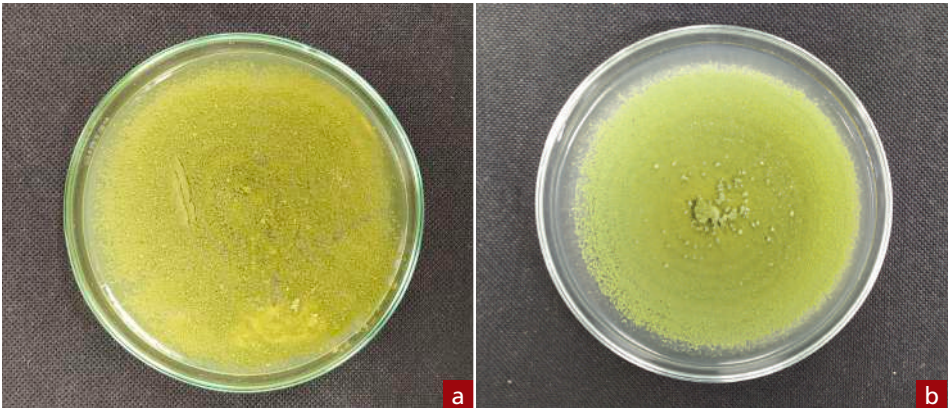
Fuente: Elaboración propia

Aspergillus flavus Link (1809)

Nombre científico del hongo	Aspergillus flavus
Clasificación taxonómica	Familia: Trichocomaceae Género: Aspergillus Especie: A. flavus Link
Sinonimia	Aspergillus flavus f. magnasporus (Sakag, & G. Yamada) Nehira Aspergillus fasciculatum Batista & H. Maia Aspergillus flavus var. wehmeri (Costantin & Lucet) Blochwitz Aspergillus humus E. V. Abbott Aspergillus luteus (Tiegh.) C. W. Dodge Aspergillus parasiticus Speare Aspergillus wehmeri Costantin & Lucet (Centre for Agricultural Bioscience International [CABI], 2022a).
Nombre común	Aspergillus
Tipo de hongo contaminante	Hongo de almacenamiento, saprófito

Características macroscópicas

A. flavus desarrolla colonias redondeadas de borde lanoso y elevación quebrada, de color verde oliváceo a verde amarillento, micelio blanco y esclerocios, cuando están presentes son de color marrón oscuro a verde oscuro (figura 23). Presenta variaciones en forma y tamaño, lo que se traduce en un rasgo de carácter fenotípico; su reverso es incoloro, marrón claro o anaranjado (Abarca, 2000).

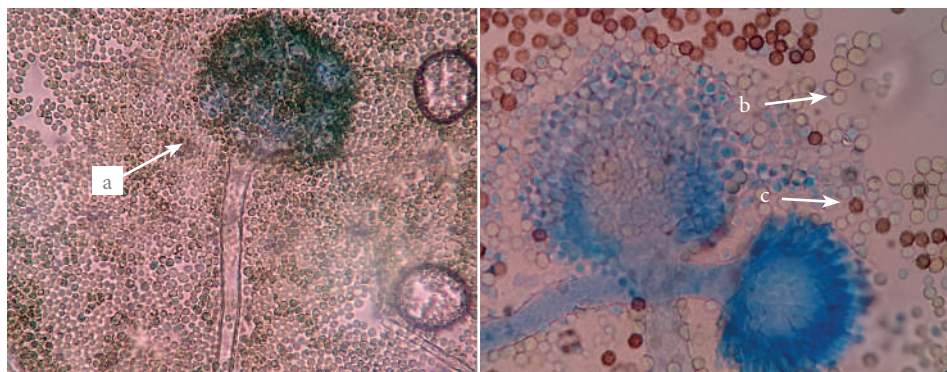


Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 23. Colonias color verde oliváceo a verde amarillento de Aspergillus flavus aisladas de semillas de a. soya; b. arroz.

Características microscópicas

A. flavus presenta cabezas conidiales uniseriadas y biseriadas, principalmente radiales o columnares; posee estipes generalmente rugosos, hialinos o de color café pálido. Además, tiene vesícula esférica; métulas que ocupan la superficie de la vesícula (figura 24); conidios globosos o elipsoidales, lisos o ligeramente rugosos. La vesícula tiene forma esférica o alargada con 1 o 2 series de fiálides (Abarca, 2000).



Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

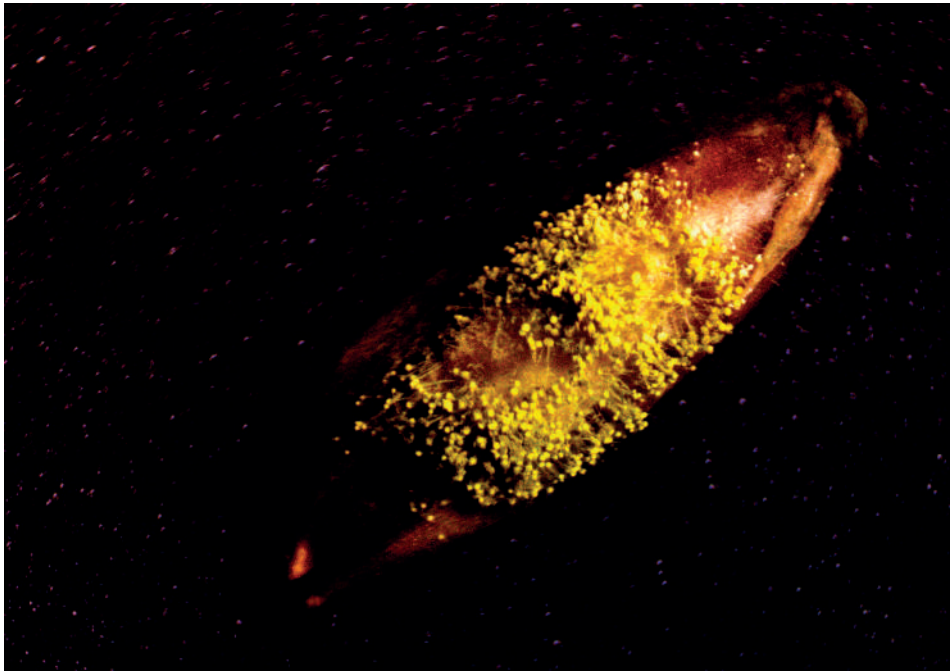
Figura 24. Cabezas conidiales radiales (a), conidios hialinos (b) y de café pálido (c) de *Aspergillus flavus*.

Especies vegetales que afecta en semillas

A. Flavus se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza, por lo que afecta numerosas especies de plantas como frutales, cítricos, avellanas, maní, hortalizas, palma de aceite, soya, algodón, tubérculos, musáceas, pimienta, maíz, sorgo, marihuana y jengibre, por nombrar algunas.

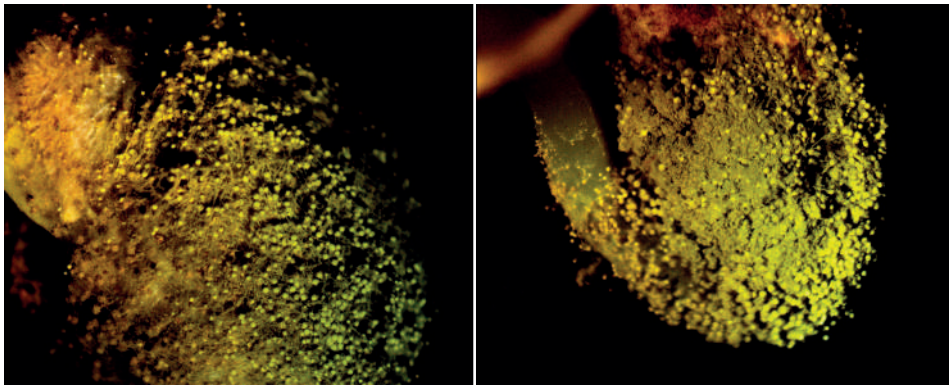
Signos y síntomas en semillas de arroz, soya y sorgo

Los principales signos y síntomas de *A. flavus* son la pérdida de color en las semillas, pudrición, aparición de un moho verdoso amarillento (figuras 25, 26 y 27), disminución del porcentaje de proteína y almidón y producción de aflatoxinas (potentes metabolitos teratogénicos y carcinogénicos), sustancias tóxicas que afectan a humanos y animales (CABI, 2022a; Palacio, 2016). En arroz es causante del manchado del grano y la semilla, invadiéndolos en fase de campo o en el almacenamiento, así como de la disminución de la germinación de la semilla (Sandoval-Martínez et al., 2022).



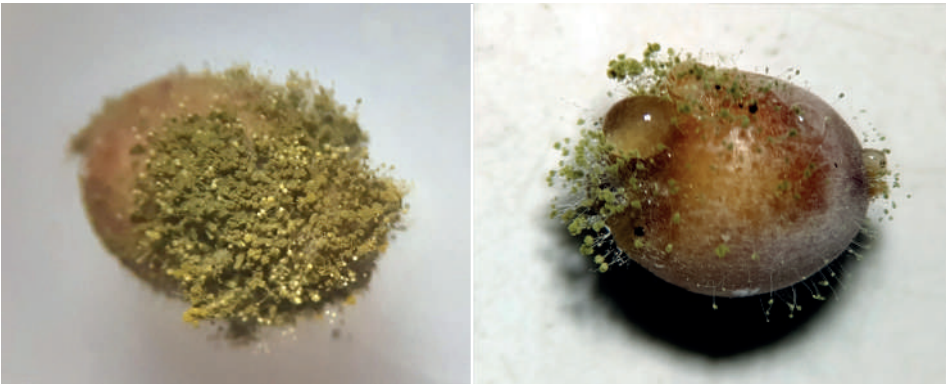
Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 25. Signos y síntomas de *A. flavus* en semilla de arroz, aparición de moho verdoso amarillento creciendo sobre la semilla.



Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 26. Signos y síntomas de *A. flavus* en semilla de soya. Aparición de moho verdoso amarillento creciendo sobre la semilla.



Fotos: William Giovanni Manzano

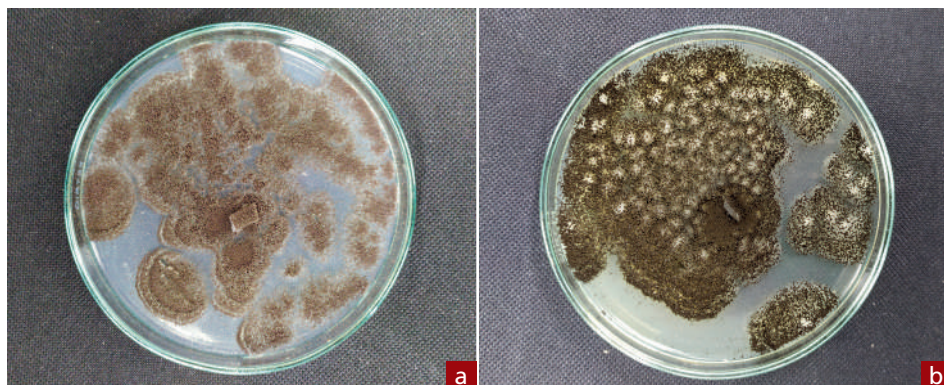
Figura 27. Signos y síntomas de *A. flavus* en semilla de sorgo. Aparición de moho verdoso amarillento creciendo sobre la semilla.

Aspergillus niger Van Tieghem (1867)

Nombre científico del hongo	<i>Aspergillus niger</i> Tiegh.
Clasificación taxonómica	Familia: Trichocomaceae Género: <i>Aspergillus</i> Especie: <i>A. niger</i> Van Tieghem
Sinonimia	<i>Aspergillus ficuum</i> (Reichardt) Thom & Currie <i>Sterigmatocystin niger</i> Tiegh (Global Biodiversity Information Facility [GBIF], 2023).
Nombre común	Moho negro
Tipo de hongo contaminante	Hongo de almacenamiento, saprófito

Características macroscópicas

A. niger desarrolla colonias densas, granulares y extendidas de borde filamentosos y elevación quebrada, de color negro o marrón muy oscuro (figura 28); posee micelio blanco o amarillo pálido (Abarca, 2000).

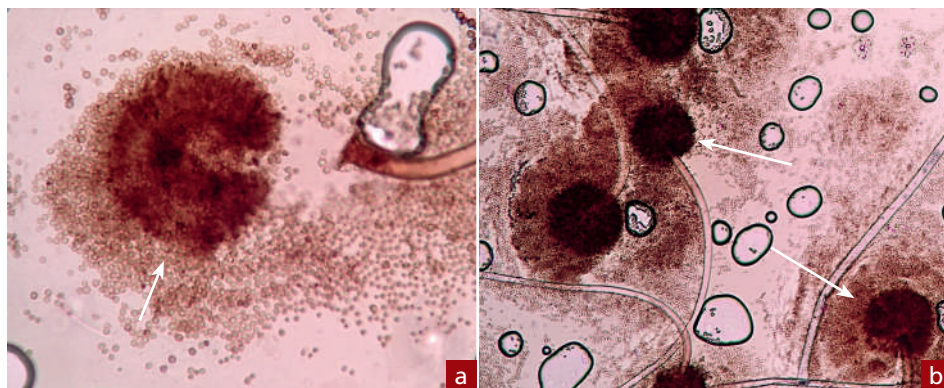


Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 28. Colonias densas, granulares y extendidas de borde filamentoso y elevación quebrada, de color negro o marrón muy oscuro de *Aspergillus niger* aisladas de semillas de a. sorgo; b. maíz.

Características microscópicas

A. niger muestra cabezas conidiales biseriadas y radiales; estipes de paredes gruesas y lisas; hialinos septado amarillentos o de color marrón claro; vesícula esférica con métulas que ocupan casi toda su superficie; conidios globosos de color café oscuro (figura 29), rugosos, irregulares y protuberancias (Abarca, 2000).



Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 29. Cabezas conidiales radiales liberando conidios globosos de color café oscuro de *A. niger*. Se aprecia la presencia de burbujas propias del montaje. a. Aumento 40x; b. Aumento 10x.

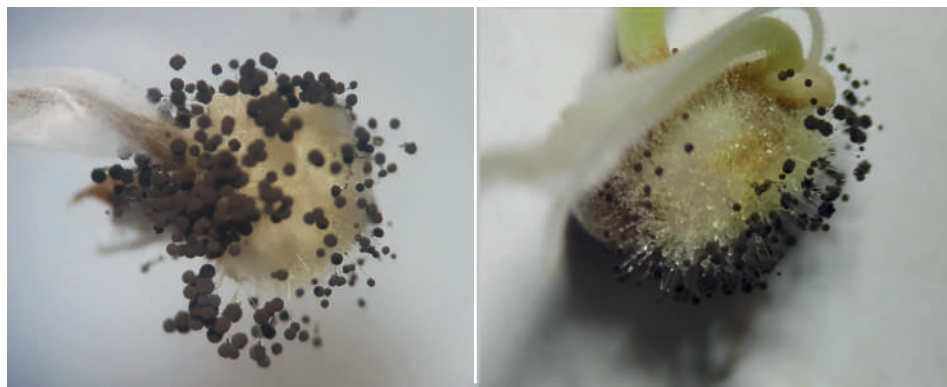
Especies vegetales que afecta en semillas

A. niger está presente en más del 85 % de los países del mundo y afecta numerosas especies de plantas como cebolla, ajo, manzana, guandul, chiles, garbanzo, café, melón, ahuyama, zanahoria, maíz, sorgo, lenteja, guayaba, musáceas, cacao y cítricos. Se evidencia

en la semilla la aparición de moho negro, decoloración, pudrición seca inicialmente y luego húmeda (GBIF, 2023; Matamoros y Rugama, 2006; Simón y Golik, 2018).

Signos y síntomas en semillas de sorgo y maíz

Al inicio de la infección con *A. niger* es posible que no se aprecien síntomas visibles del hongo. A medida que avanza la contaminación, este puede causar pudrición de la mazorca y las panojas. En la semilla de maíz y sorgo formadas, el hongo disminuye la germinación, la viabilidad y genera decoloración, apelmazamiento y arrugamientos. Cuando las semillas están completamente infectadas se evidencia pudrición completa del grano con la aparición de una cubierta de moho negro alrededor (figuras 30 y 31).



Fotos: William Giovanni Manzano

Figura 30. Signos de *A. niger* en semilla de sorgo. Aparición de moho negro y masa de conidióforos en la superficie de la semilla.

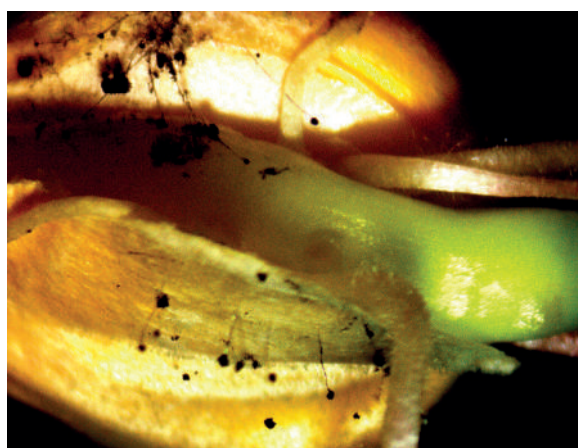


Foto: Manuel Alfonso Patiño M.

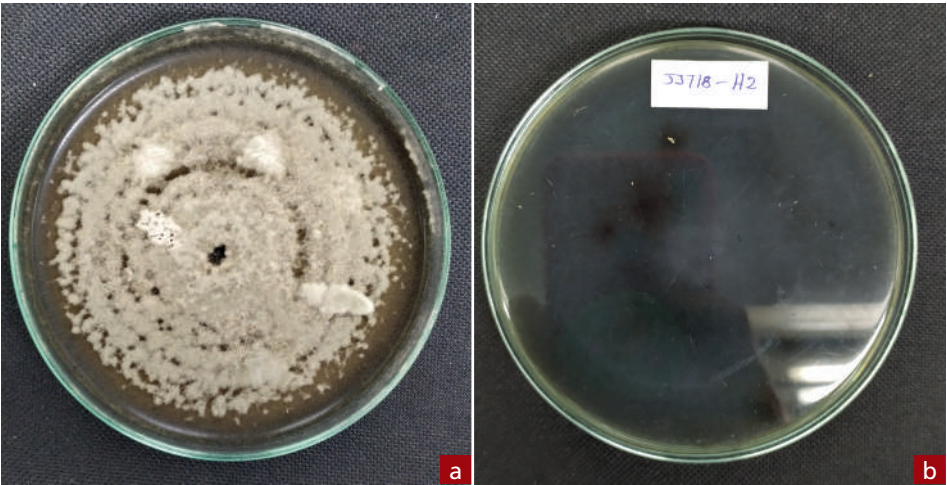
Figura 31. Signos y síntomas de *A. niger* en semilla de maíz germinada. Aparición de masas de conidióforos en la superficie de la semilla.

Curvularia lunata (Wakker) Boedijn (1933)

Nombre científico del hongo	Curvularia lunata (anamorfo) Cochliobolus lunatus (teleomorfo)
Clasificación taxonómica	Familia: Pleosporaceae Género: Curvularia Especie: C. lunata (Wakker) Boedijn (EPPO, 2002b; Schoch et al., 2020).
Sinonimia	Acrothecium lunatum Wakker Curvularia lunata (Wakker) Boedijn Pseudocochliobolus lunatus (R. R. Nelson & Haasis) Tsuda, Ueyama & Nishihara (EPPO, 2002b).
Nombre común	Mancha foliar por Curvularia
Tipo de hongo contaminante	Patógeno facultativo, es decir, que puede habitar en el hospedero sin producir daño (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural y Senasica, 2020a).

Caracterización macroscópica

Las colonias de C. lunata en el PDA presentan en el anverso una tonalidad blanca grisácea (figura 32), su reverso es de color negro, con apariencia algodonosa con forma concéntrica, borde filamentososo y ligeramente elevado.

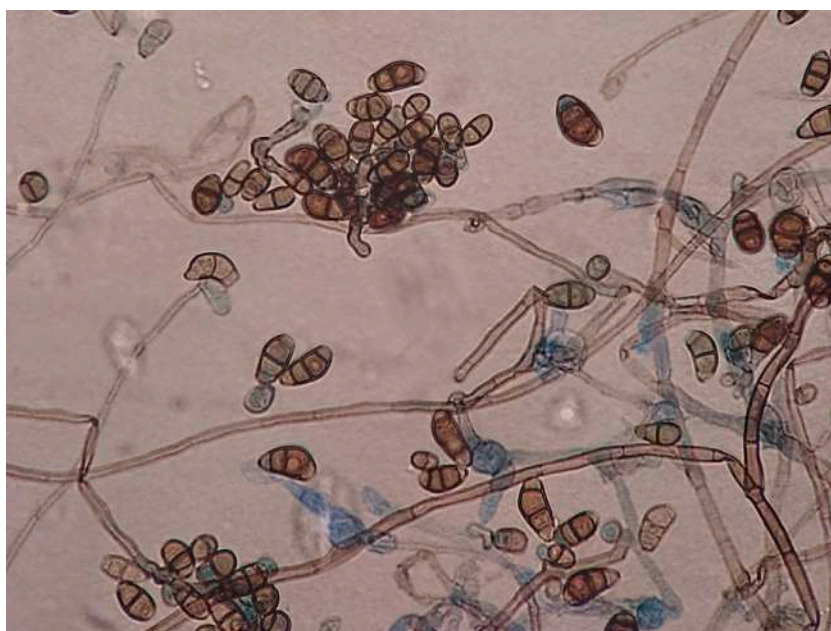


Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 32. Colonia de apariencia algodonosa con forma concéntrica, borde filamentososo y ligeramente elevado de C. lunata aislada de semillas de sorgo. a. Anverso de la colonia; b. Reverso de la colonia.

Caracterización microscópica

C. lunata se caracteriza por desarrollar hifas septadas, ramificadas subhialinas a pardas, lisas a asperuladas, las cuales presentan un tamaño que oscila de 1,5 a 5 μm de ancho aproximadamente (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural y Senasica, 2020a). Sus conidióforos son simples con conidios septados, el tamaño de los conidióforos es de 39 a 430 μm de largo, 4 a 9 μm de ancho en la base y 2,5 a 6 μm de ancho hacia el centro; presentan células conidiógenas, cuyo tamaño varía de 4 a 20 $\times$ 3 a 13 μm y están provistas de poros, además de ser terminales e intercalares, politréticas, subcilíndricas y subglobosas; sus conidios son fragmoconidios lisos o asperulados, geniculados y septados transversalmente, tienen una célula intermedia abultada de forma asimétrica, esta suele ser de color marrón a marrón oscuro (figura 33), mientras que las células terminales son subhialinas a marrón claro (Hoog et al., 2000; Manamgoda et al., 2012; Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural y Senasica, 2020a).



Foro: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 33. Fragmoconidios lisos y septados transversalmente de *Curvularia lunata*.

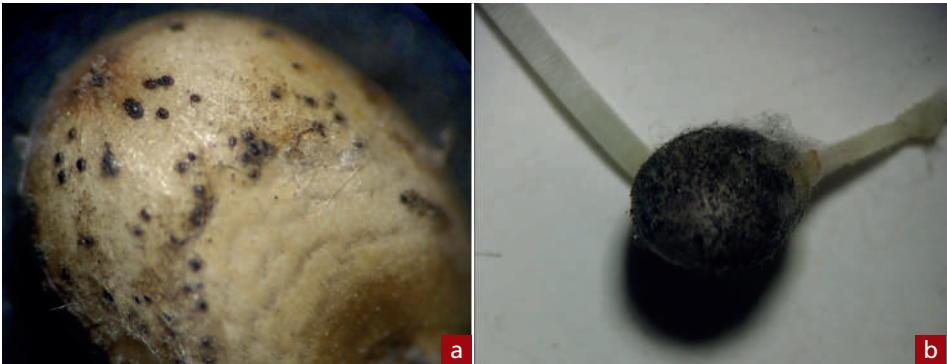
Especies vegetales que afecta en semillas

C. lunata se ha identificado como patógeno en cereales, entre los que sobresalen las semillas de sorgo, arroz, maíz y de trigo (*Triticum aestivum*). De igual manera,

su presencia se ha detectado en semillas de los cultivos de mostaza blanca (*Sinapis alba*) (Bressan, 2003; Butt et al., 2011; Girish et al., 2011; Hidayat y Ramadhani, 2019; Montes-García et al., 2010; Prom, 2004; Sistema Nacional de Vigilancia y Monitoreo de plagas [Sinavimo], s. f. a).

Signos y síntomas en la semilla de sorgo

Los daños que produce el hongo en la semilla de sorgo inician con la formación de pequeñas manchas circulares negras en la testa (figura 34), se observan a simple vista como puntos negros en la cubierta seminal. Si el desarrollo del patógeno es avanzado, las semillas presentan una coloración negra parcial o total, dependiendo de la severidad, puesto que el micelio negro de apariencia algodonosa cubre la semilla.



Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 34. Daños ocasionados por *C. lunata* en la semilla de sorgo. a. Formación de pequeñas manchas circulares negras a marrones; b. Crecimiento de moho negro de *C. lunata* en la testa de la semilla de sorgo.

Curvularia penniseti (Mitra) Boedijn (1933)

Nombre científico del hongo	<i>Curvularia penniseti</i>
Clasificación taxonómica	Familia: Pleosporaceae Género: <i>Curvularia</i> Especie: <i>C. penniseti</i> (Mitra) Boedijn (Schoch et al., 2020).
Sinonimia	<i>Acrothecium penniseti</i>
Nombre común	Curvularia
Tipo de hongo contaminante	Patógeno

Caracterización macroscópica

Las colonias de este hongo patógeno en el PDA presentan en su anverso una pigmentación de color marrón grisáceo (figura 35) con bordes de color marrón oscuro, el reverso tiene una coloración de marrón oscuro a negro. Su tipo de esporulación es uniforme, la forma de la colonia es redonda y concéntrica, el borde de la colonia es plano o entero, presenta una textura algodonosa y es ligeramente elevado.

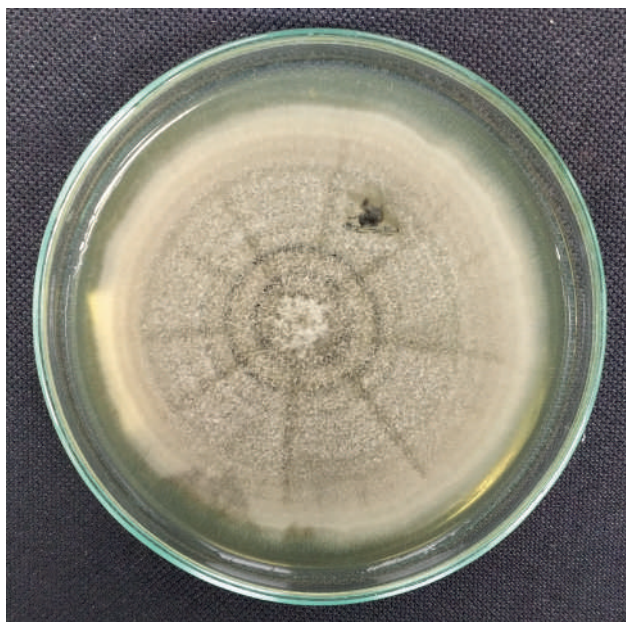


Foto: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 35. Colonia marrón grisáceo con bordes de color marrón oscuro de *C. penniseti* aislada de semillas de arroz.

Caracterización microscópica

C. penniseti presenta un conidióforo simple que produce conidios septados o fragmoconidios que tienen un tamaño que oscila de 29 a 42 μm con una celda media agrandada (Marin-Felix et al., 2020). Presenta hifas septadas, la forma de la espora es fragmospora o fragmoconidia cilíndrica y el color es pigmentado (figura 36) (Hurtado, 2020).

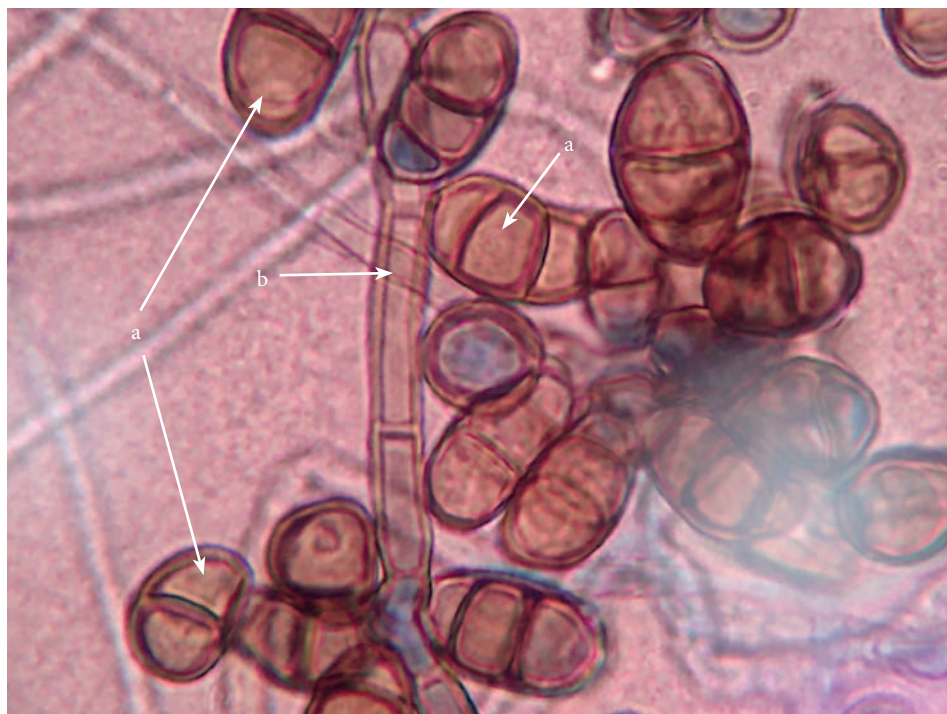


Foto: Manuel Alfonso Patiño M.

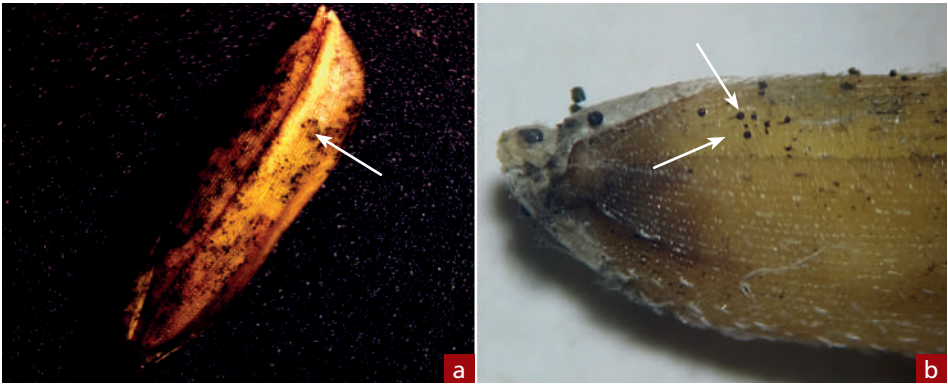
Figura 36. Fragmaconidia cilíndrica, de color pigmentado (a) e hifas septadas (b) de *C. penniseti*.

Especies vegetales que afecta en semillas

C. penniseti tiene la capacidad de infectar semillas de arroz (*Oryza sativa* L.) y semillas de millo perla (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), en donde el inóculo afecta la germinación de las semillas y la supervivencia de las plántulas (Barrios y Pérez, 2005; Singh et al., 2008).

Signos y síntomas en la semilla de arroz

Los síntomas de *C. penniseti* se identifican por la aparición de pequeñas manchas de pigmentación marrón oscuro a negro que da la apariencia de líneas negras (figura 37). La semilla presenta infección en el pericarpio, en el endospermo y en el eje embrionario; dependiendo de la severidad, se aprecia un micelio ramificado y tabicado (Singh et al., 2008).



Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 37. Pequeñas manchas irregulares de pigmentación marrón oscuro a negro que da la apariencia de líneas negras de *C. penniseti* en semilla de arroz. a. Cubrimiento en semilla completa; b. Detalle de signos del patógeno.

Diaporthe sp. Nitschke (1870)

Nombre científico del hongo	<i>Diaporthe</i> sp.
Clasificación taxonómica	Familia: Diaporthaceae Género: <i>Diaporthe</i> Especie: <i>Diaporthe</i> sp. (Schoch et al., 2020).
Sinonimia	<i>Phomopsis</i> sp.
Nombre común	Cancro del tallo o podredumbre de vainas
Tipo de hongo contaminante	Patógeno

Caracterización macroscópica

La colonia del género *Diaporthe* sp. En medio de cultivo PDA se caracteriza por presentar un micelio de color blanco cuyo aspecto es comprimido y denso, que luego se observa algodonoso (figura 38). Se aprecian estromas de pigmentación negra y esféricos distribuidos en el medio del cultivo. La forma de la colonia es filamentosa con borde ramificado y presenta una ligera elevación.

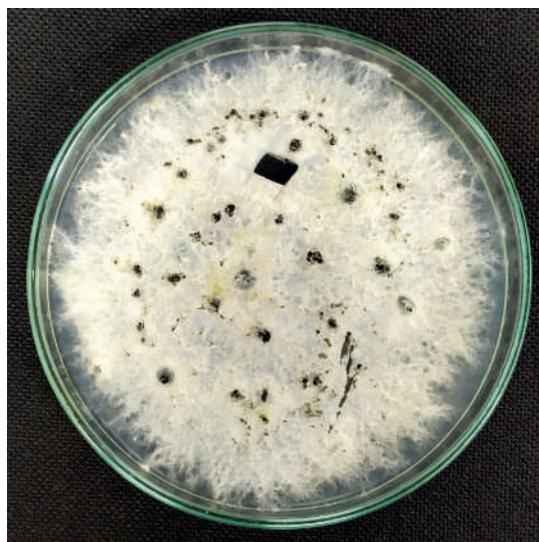


Foto: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 38. Colonia de color blanco con estromas de pigmentación negra de *Diaporthe* sp. aislada de semillas de soya.

Caracterización microscópica

El género *Diaporthe* sp. se caracteriza por presentar peritecios, además de que sus conidióforos son simples y producen distintos tipos de conidios, entre ellos se encuentran las clamidosporas, conidias y ascosporas. Las hifas que presentan son septadas (figura 39).

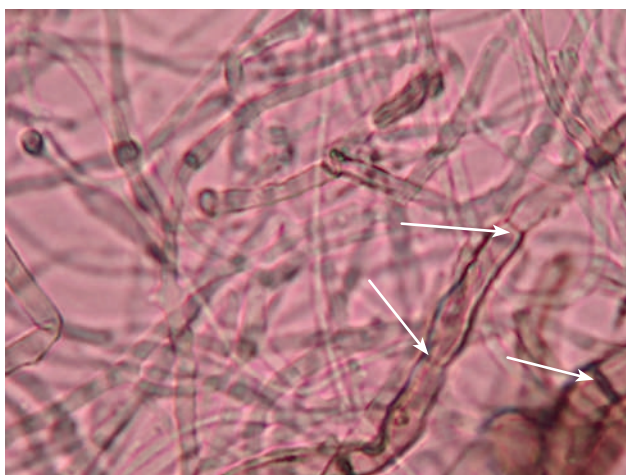


Foto: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 39. Septos de hifas de *Diaporthe* sp.

Especies vegetales que afecta en semillas

El género *Diaporthe* sp. está relacionado con semillas de soya (Batzer y Mueller, 2020; Petrović et al., 2021).

Signos y síntomas en la semilla de soya

Este género se caracteriza por producir micelio blanco algodonoso en la cubierta seminal, el cual, cuando se va desarrollando, llega a cubrir por completo la semilla. En estados avanzados se reconoce la aparición de lesiones negras y de coloración rojiza sobre la cubierta seminal de la semilla de soya (figura 40).

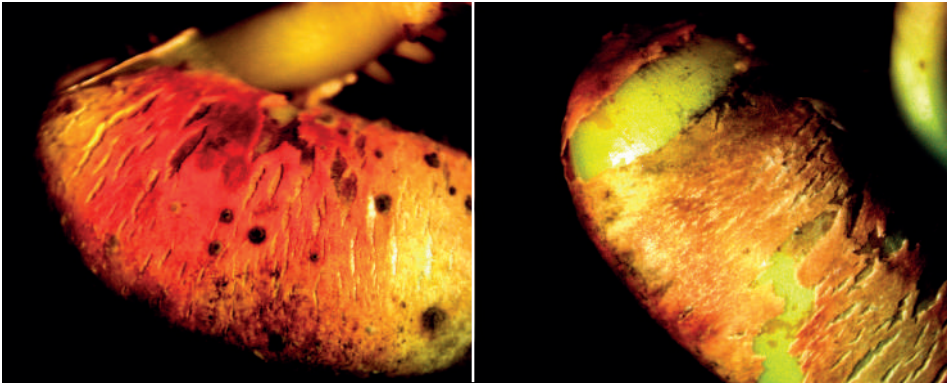


Foto: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 40. Signos y síntomas de *Diaporthe* sp. en la semilla de soya. Aparición de lesiones negras y de coloración rojiza sobre la cubierta seminal de la semilla de soya.

Diaporthe longicolla Thomas W. Hobbs (1985)

Nombre científico del hongo	<i>Diaporthe longicolla</i>
Clasificación taxonómica	Familia: Diaporthaceae Género: <i>Diaporthe</i> Especie: <i>D. longicolla</i> Hobbs (Schoch et al., 2020).
Sinonimia	<i>Phomopsis longicolla</i>
Nombre común	Tizón de tallos y vainas de soya
Tipo de hongo contaminante	Patógeno

Caracterización macroscópica

El aislamiento de *D. longicolla* desarrolla un micelio compacto de color blanco con tonos amarillo verdoso y grisáceo, los estromas son oscuros y tienden a extenderse desde el centro de la colonia hacia los márgenes (Hernández et al., 2015). Presenta una forma filamentosa con borde ciliado y ligeramente elevado (figura 41).



Foto: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 41. Colonia de *D. longicolla* aislada de semillas de soya.

Caracterización microscópica

En el reconocimiento de *D. longicolla* se observan conidióforos simples que producen conidias multinucleadas, así mismo, los ascocarpos corresponden a peritecios y sus hifas son septadas (figura 42). Los picnidios del patógeno tienen una apariencia costrosa y asimétrica, el cuello o pico tiene un tamaño superior a 400 μm de largo y se exudan solo conidios alfa (Hernández et al., 2015).

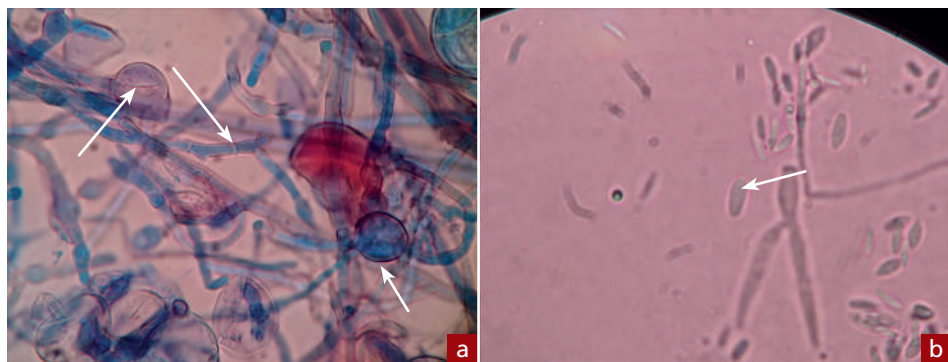


Foto: Manuel Alfonso Patiño M.

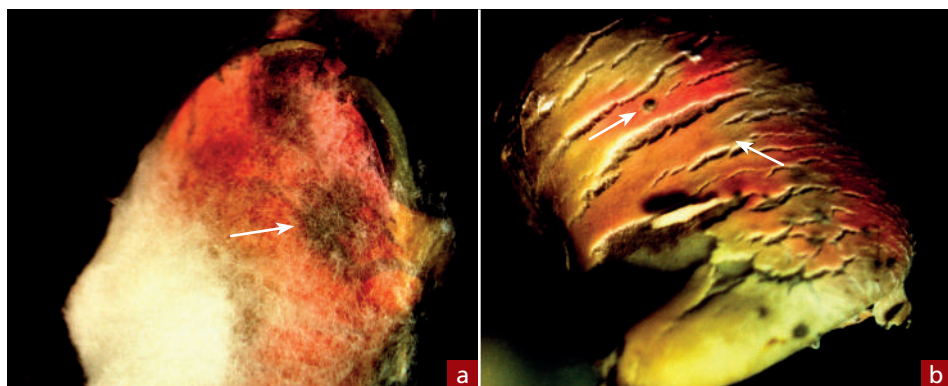
Figura 42. Septos de *Diaporthe longicolla* (a) con formación de conidias multinucleadas (b).

Especies vegetales que afecta en semillas

Esta especie está asociada principalmente con las semillas de soya (Abdelmagid et al., 2022; López-Cardona et al., 2022; Pérez-Pizá et al., 2020).

Signos y síntomas en la semilla de soya

D. longicolla es un patógeno que se asocia con la podredumbre de semillas de soya, por lo cual se afecta el número, el peso y la calidad de las semillas (Hernández et al., 2015). En la semilla inicialmente se aprecian unas lesiones negras dispersas a manera de puntos y posteriormente se desarrolla el micelio blanco algodonoso que cubre la semilla. Cuando el daño es avanzado, los tejidos seminales tienden a presentar una coloración rojiza y se van pudriendo (figura 43).



Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 43. Daños en la semilla de soya. a. Micelio algodonoso de coloración rojiza; b. Lesiones negras y pudrición en la semilla de soya por daño de *Diaporthe longicolla*.

Diaporthe melonis Beraha & M.J. O'Brien (1979)

Nombre científico del hongo	<i>Diaporthe melonis</i>
Clasificación taxonómica	Familia: Diaporthaceae Género: <i>Diaporthe</i> Especie: <i>D. melonis</i> Beraha & O'Brien (Schoch, et al. 2020).
Sinonimia	<i>Phomopsis squash</i> McKeen (1957)
Nombre común	Podredumbre negra y tallo morado
Tipo de hongo contaminante	Patógeno

Caracterización macroscópica

La colonia de *D. melonis* presenta una coloración blanca y apariencia algodonosa (figura 44). Su forma es filamentosa y rizoide, presenta un borde ramificado y una ligera elevación.

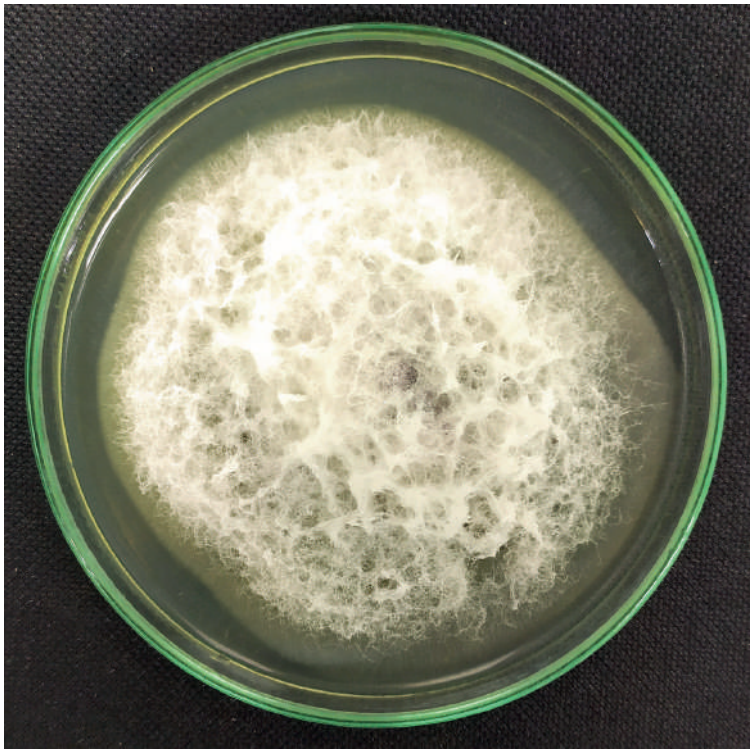
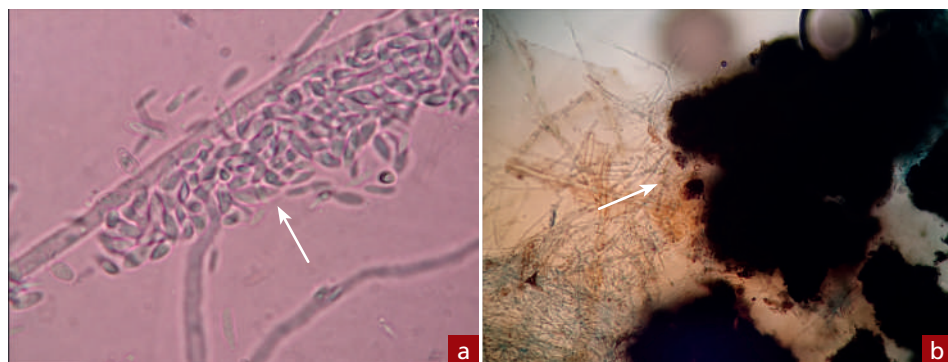


Foto: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 44. Colonia de *D. melonis* aislada de semillas de sorgo.

Caracterización microscópica

D. melonis genera numerosos picnidios que corresponden a estructuras globulares de pigmentación negra, cuyo tamaño es aproximadamente de 0,5 mm. En la parte terminal de los picnidios se hayan los conidióforos hialinos y se presentan conidios tanto alfa como beta, que reciben su nombre de acuerdo con su forma. Los conidios alfa son unicelulares (figura 45), fusiformes a elipsoidales con dimensiones de $8,3 \times 2,6 \mu\text{m}$, mientras que los conidios beta son filiformes, unicelulares y curvados con una medida promedio de $24,7 \times 1,3 \mu\text{m}$ (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement [Inrae], 2021).



Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 45. Conidios y picnidios de *D. melonis*. a. Alfa conidios; b. Picnidios de *D. melonis*.

Especies vegetales que afecta en semillas

D. melonis ha sido reportado como patógeno en cultivos de soya (*Glycine max* L.), kiwi (*Actinidia chinensis*) y melón (*Cucumis melo*) (Castro et al., 2017; Dissanayake et al., 2017; Gomes et al., 2013).

Signos y síntomas en la semilla de sorgo

D. melonis forma un micelio de color blanco, el cual cubre la semilla y tiene un aspecto algodonoso (figura 46). Cuando la severidad del hongo es mayor, el micelio se empieza a tornar de color rojizo.

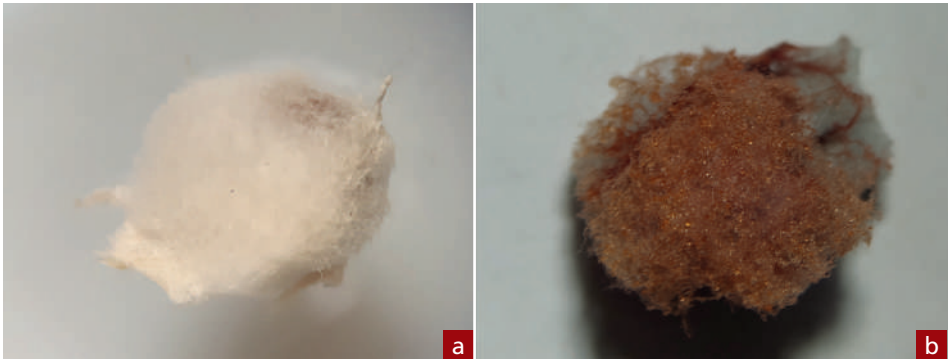


Figura 46. Cambio en la severidad de *D. melonis* en semilla de sorgo. a. Micelio blanco; b. Micelio rosado algodonoso.

***Fusarium culmorum* (Wm. G. Sm.) Sacc. (1892)**

Nombre científico del hongo	<i>Fusarium culmorum</i>
Clasificación taxonómica	Familia: Nectriaceae Género: <i>Fusarium</i> Especie: <i>F. culmorum</i> (CABI, 2022b).
Sinonimia	<i>Fusarium roseum</i> f. sp. <i>Cerealis</i> cv. <i>Culmorum</i> <i>Fusarium roseum</i> cv. <i>Culmorum</i> <i>Fusisporium culmorum</i> <i>Fusarium culmorum</i> var. <i>leteius</i> <i>Fusarium culmorum</i> var. <i>majus</i>
Nombre común	Fusariosis, podredumbre de la raíz en cereales
Tipo de hongo contaminante	Patógeno

Caracterización macroscópica

La colonia de *F. culmorum*, aislada en medio de cultivo PDA, se diferencia por presentar un micelio de color blanco concéntrico (figura 47) y bordes ondulados que, con el tiempo, puede tomar tonalidades café oscuro.

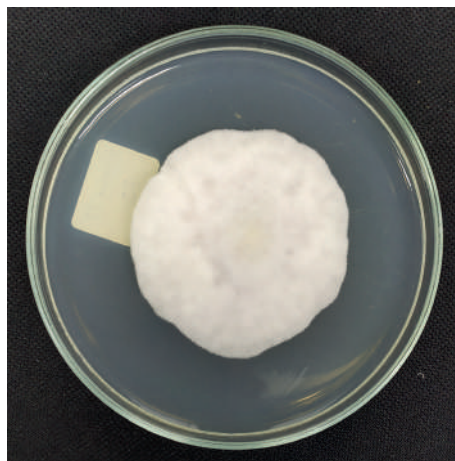


Foto: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 47. Colonia de *F. culmorum* aislada de semillas de arroz.

Caracterización microscópica

El género *F. culmorum* se caracteriza por presentar fiálides generalmente finas, simples o ramificadas con bordes ligeramente redondeados que son cortos o largos. Las clamidosporas son ovales y globosas (figura 48), formadas en cadenas o racimos, con paredes o terminales lisas o rugosas. Los macroconidios de *F. culmorum* tienen forma globosa y pueden producir microconidios agrupados en fiálides pequeñas con hifas septadas. Estas estructuras se constituyen como una fuente de inóculo importante, pues en el suelo se convierten en macroconidios que pueden permanecer por mucho tiempo y seguir infectando las raíces de las plantas (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural y Senasica, 2020b; Sempere et al., 2004).

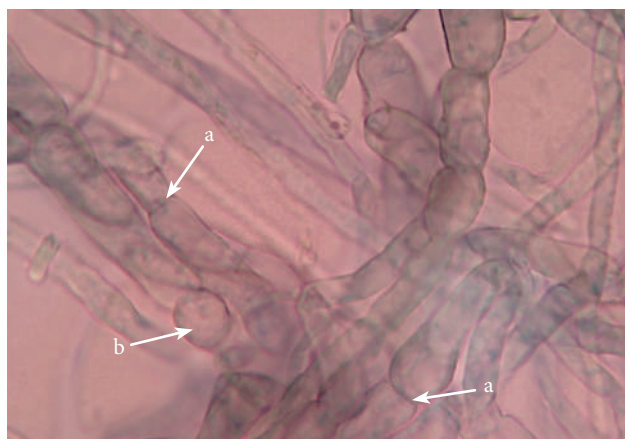


Foto: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 48. Hifas septadas (a) y clamidosporas (b) de *F. culmorum*.

Especies vegetales que afecta en semillas

F. culmorum es un patógeno con capacidad de infectar una gran variedad de plantas, entre las que se destacan cereales, gramíneas y pastos (Mauch et al., 2010). Este hongo produce una enfermedad que se conoce comúnmente como fusariosis, que al presente es una de las más importantes enfermedades fúngicas. De acuerdo con el grado de severidad, frecuencia, afectación directa sobre el rendimiento, la calidad del grano producido y la producción de micotoxinas se considera como un hongo de control prioritario (Chulze et al., 1996; Wang et al., 2021).

Signos y síntomas en la semilla de arroz

En la semilla de arroz contaminada se pueden evidenciar lesiones del hongo de color negro, agrupadas o individuales, distribuidas sobre la testa de la semilla y un micelio algodonoso de color rojo (figura 49).

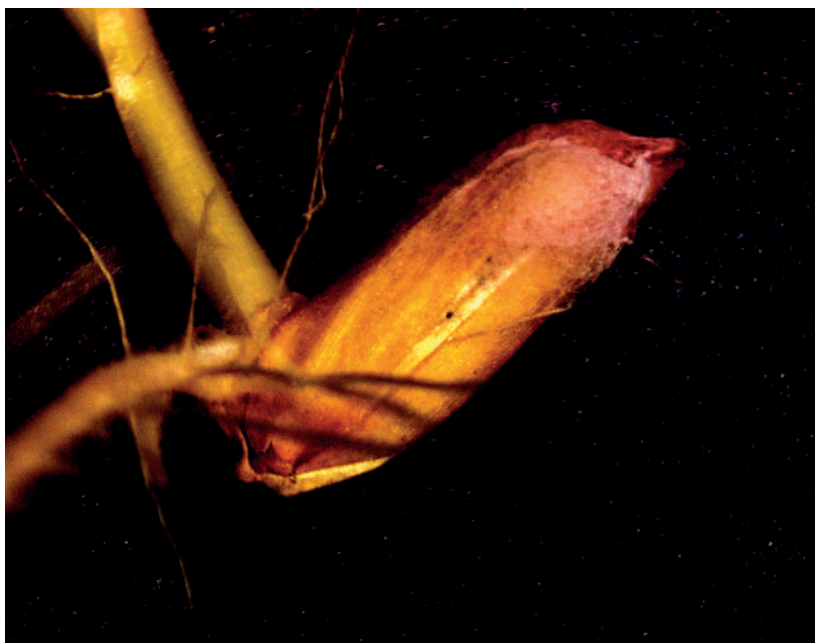


Foto: Manuel Alfonso Patiño M.

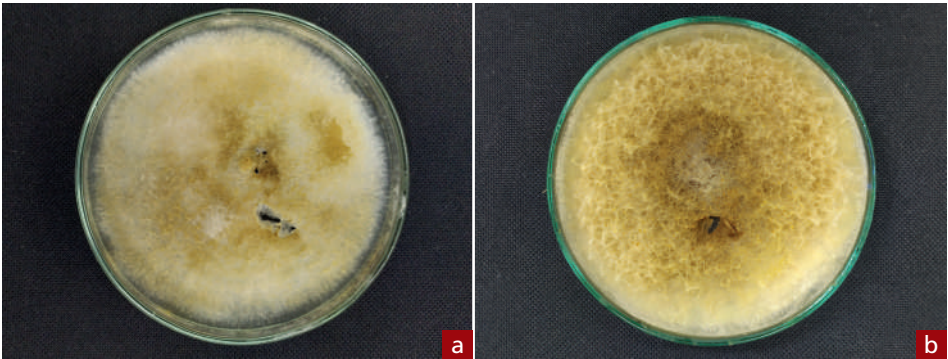
Figura 49. Micelio algodonoso de color rojo de *F. culmorum* creciendo en la cubierta de la semilla de arroz.

Fusarium equiseti (Corda) Sacc. (1886)

Nombre científico del hongo	<i>Fusarium equiseti</i>
Clasificación taxonómica	Familia: Nectriaceae Género: <i>Fusarium</i> Especie: <i>F. equiseti</i> (Corda) Sacc (EPPO, 2002a).
Sinonimia	<i>Gibberella intricans</i>
Nombre común	fusariosis de los cereales, <i>damping off</i>
Tipo de hongo contaminante	Patógeno

Caracterización macroscópica

En el medio de cultivo PDA, la colonia se observa de color blanco de textura lanosa, que cambia con el tiempo a café oscuro. El borde de la colonia es elevado en el centro y lanoso. La forma de la colonia es redonda con bordes festoneados, que se aprecia mejor en el tiempo (figura 50).

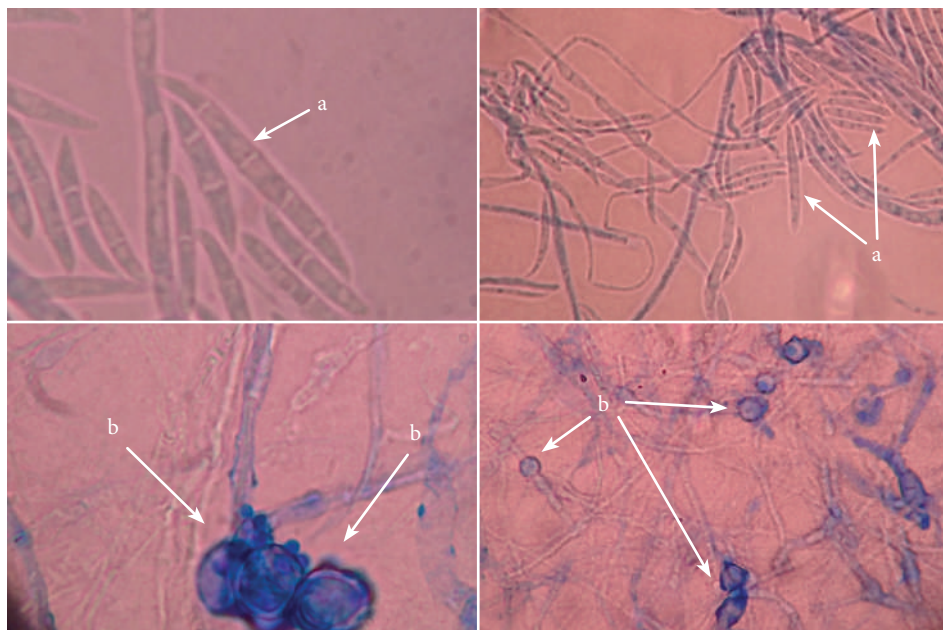


Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 50. Colonias de *Fusarium equiseti*. a. Colonia de textura algodonosa joven; b Colonia lanosa envejecida de *F. equiseti* aisladas de semillas de soya.

Caracterización microscópica

F. equiseti en la semilla de soya genera macroconidias en forma de medialuna, similares a las de otros géneros de *Fusarium*, y clamidosporas lisas o rugosas de forma aislada con hifas septadas (figura 51).



Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

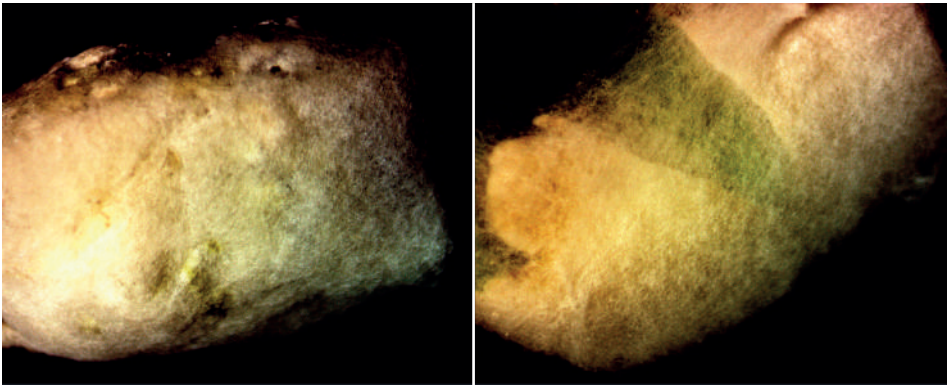
Figura 51. Macroconidios (a) y clamidosporas de *F. equiseti* (b).

Especies vegetales que afecta en semillas

F. equiseti, como otras razas de *Fusarium*, puede producir pudrición en tallos y raíces de las plantas por semillas contaminadas. Este hongo infecta principalmente cereales como arroz, maíz, soya, también zanahoria, y existe un primer registro en plantaciones de jatropha (*Jatropha curcas*). Al usarse semillas almacenadas contaminadas para siembra, durante el proceso germinativo el patógeno es el responsable de la muerte de plántulas por *damping off* y de la obtención de anomalías y variaciones en la emergencia y la germinación (Sinavimo, s. f. b; Herrera et al., 2017).

Signos y síntomas en la semilla de soya

Este hongo se localiza en el tegumento de las semillas para casi el cien por ciento de las afectadas. En la semilla de soya enferma se ve un recubrimiento algodonoso total (figura 52) del mismo color de la colonia, inhibiendo el potencial germinativo y la emergencia de aquella.



Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 52. Signos y síntomas de *F. equiseti* en la semilla de soya. Recubrimiento algodonoso total de la semilla.

***Fusarium oxysporum* Schltdl. (1824)**

Nombre científico del hongo	<i>Fusarium oxysporum</i>
Clasificación taxonómica	Familia: Nectriaceae Género: <i>Fusarium</i> Especie: <i>F. oxysporum</i> Schltdl (CABI, 2022c).
Sinonimia	<i>Fusarium oxysporum</i> var. <i>orthocerus</i> <i>Fusarium oxysporum</i> f. <i>betae</i> <i>Fusarium bulbigenum</i>
Nombre común	Fusariosis vascular Marchitez por fusarium Podredumbre fusariana
Tipo de hongo contaminante	Patógeno

Caracterización macroscópica

La colonia de *F. oxysporum* en medio de cultivo PDA se caracteriza por presentar un micelio de color blanco algodonoso de forma irregular extendida que, cuando envejece, se percibe naranja oscuro (figura 53).



Foto: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 53. Colonia de *F. oxysporum* aislada de semillas de arroz.

Caracterización microscópica

El género *F. oxysporum* se caracteriza por presentar macroconidios en forma de luna o media luna, translúcidos y septados. Los microconidios se caracterizan por tener forma oval (figura 54), elíptica o similar a la forma de un riñón sin septos y sus clamidosporas presentan monofiálides cortas y con escasas polifiálides (Rentería et al., 2020).



Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 54. Conidios (a) y clamidosporas (b) de *F. oxysporum*.

Especies vegetales que afecta en semillas

F. oxysporum es un patógeno causante de la enfermedad de marchitez en muchos cultivos y existe en varias formas patogénicas, parasitando más de 100 especies botánicas de gimnospermas y angiospermas. Su forma cosmopolita ha generado un amplio rango de hospederos y ha evolucionado para superar las defensas de muchas plantas (Bosland, 1988). Algunos cultivos de importancia económica afectados por este hongo son: hortalizas, frutales, leguminosas, cereales, plantas productoras de aceite, forrajeras, algunas coníferas y algunos árboles como el eucalipto (Arbeláez, 2000).

Signos y síntomas en la semilla de arroz

El género *Fusarium* puede causar marchitez y amarillamiento en semilleros de arroz, pudrición negra de los nudos y marchitez de la panícula de las plantas (Rivero et al., 2012). Cuando la semilla de arroz es afectada por este hongo, se pueden ver partes de la colonia del hongo agrupadas y distribuidas de forma irregular y de color blanco algodonoso (figura 55).

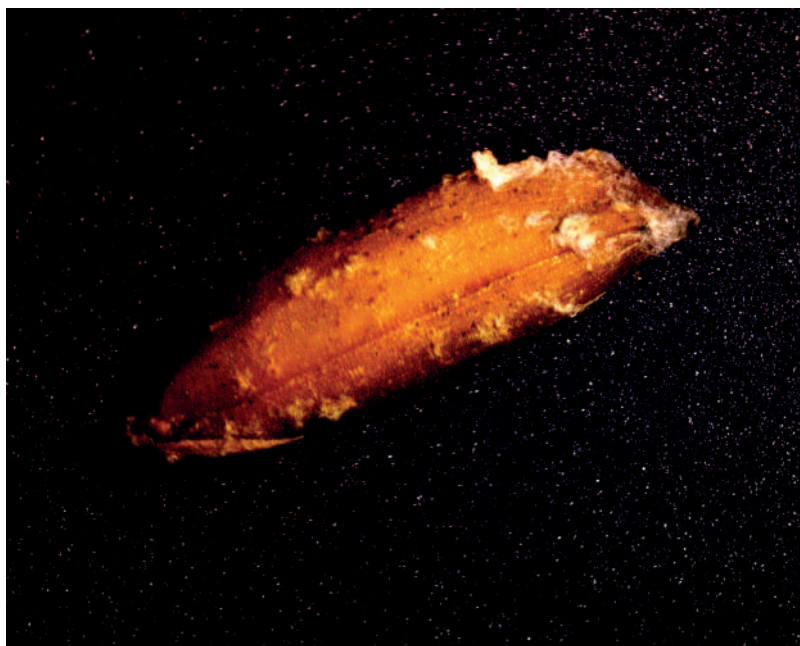


Foto: Manuel Alfonso Patiño M.

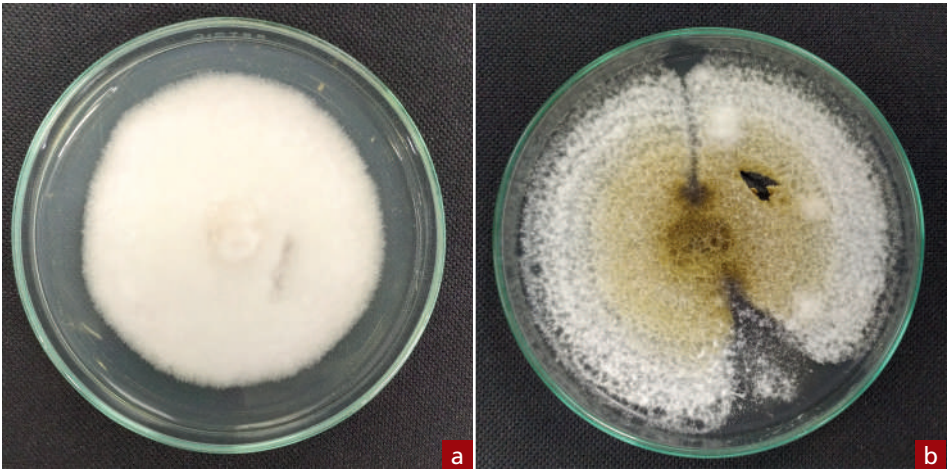
Figura 55. Micelio algodonoso blanco de *F. oxysporum* en semilla de arroz.

Fusarium proliferatum (Matsush.) Nirenberg ex Gerlach & Nirenberg (1976)

Nombre científico del hongo	<i>Fusarium proliferatum</i>
Clasificación taxonómica	Familia: Nectriaceae Género: <i>Fusarium</i> Especie: <i>F. proliferatum</i> (Matsush.) Nirenberg ex Gerlach & Nirenberg (CABI, 2021).
Sinonimia	<i>Cephalosporium proliferatum</i>
Nombre común	Podredumbre del tallo
Tipo de hongo contaminante	Patógeno

Caracterización macroscópica

La colonia de *F. proliferatum* fue caracterizada en aislamientos puros en medio PDA. Se identifica por presentar un micelio de color blanco algodónoso con leves coloraciones amarillas, que con el tiempo cambia desde el centro a café oscuro, de forma concéntrica con bordes ciliados (figura 56).

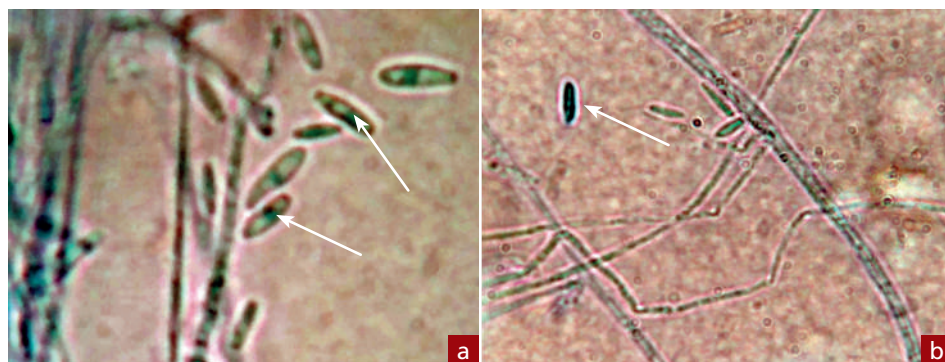


Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 56. Colonias de *Fusarium proliferatum* aisladas. a. Semillas de arroz; b. Semillas de soya. Los cambios en las coloraciones de las colonias pueden deberse a factores asociados a sus condiciones de crecimiento, como edad de la colonia y desarrollo de pigmentos por exposición a la luz.

Caracterización microscópica

La colonia del género *F. proliferatum* se caracteriza por presentar macroconidios delgados, casi rectos o ligeramente curvos, septados con monofálides cortas. Los microconidios son abundantes y tienen forma piriforme (figura 57), sin septos o con un solo septo, con hifas fragmentadas polifálides y monofálides escasas (Chinchilla et al., 2020).



Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

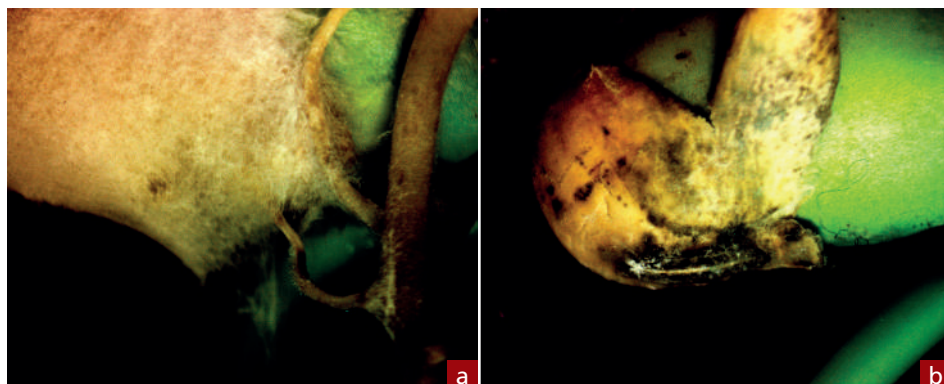
Figura 57. Hifas y microconidios de *F. proliferatum*. a. Aumento de 100×; b. Aumento de 40×.

Especies vegetales que afecta en semillas

F. proliferatum se puede albergar en las semillas constituyéndose en la principal vía de inóculo. En el desarrollo de los cultivos afecta directamente a raíces, base de los tallos y entrenudos. Este patógeno ha sido reportado principalmente en cultivos de arroz, maíz, ajo y cebolla de bulbo (Campos, 2013.; Sinavimo, s. f. c). Se ha identificado, además, que afecta agresivamente raíces en cultivos de soya (Díaz et al., 2013).

Signos y síntomas en la semilla de soya

En la semilla de soya afectada por este hongo, se identifican pigmentaciones negras en los tegumentos o cubierta seminal que se logran translocar a los cotiledones. En estados más avanzados de proliferación del hongo, se aprecia la colonia blanca lanosa que recubre gran parte de la semilla germinada (figura 58).



Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 58. Signos y síntomas de *F. equiseti* en la semilla de soya. Micelio blanco y pigmentaciones negras: a. en los tegumentos o cubierta seminal; b. cerca al micrópilo.

Signos y síntomas en la semilla de arroz

En semillas de arroz infectadas, se observa una inhibición completa de la germinación. El micelio del hongo tipo blanquesino recubre la testa de la semilla de forma irregular y las glumas se ven selladas por efecto del micelio (figura 59).

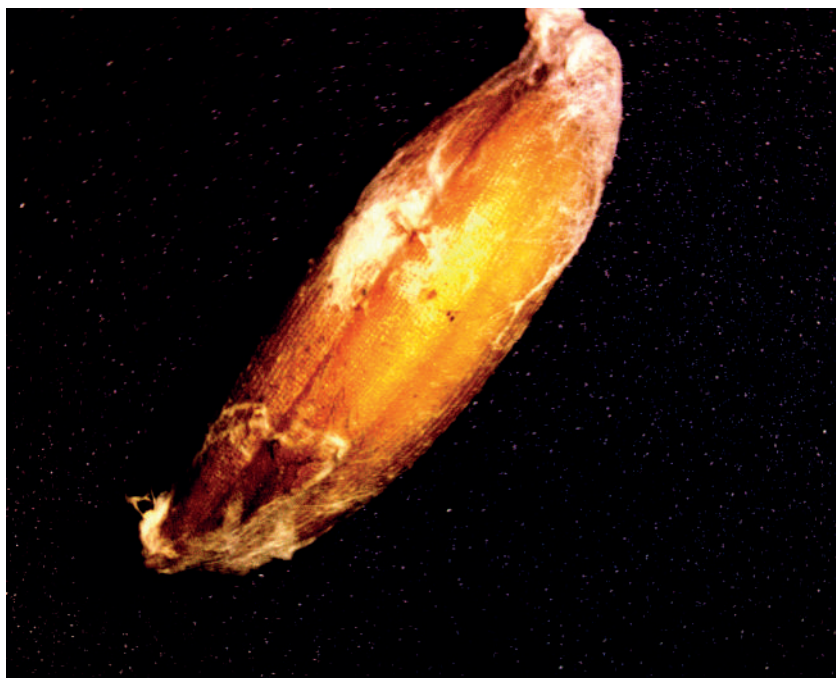


Foto: Manuel Alfonso Patiño M.

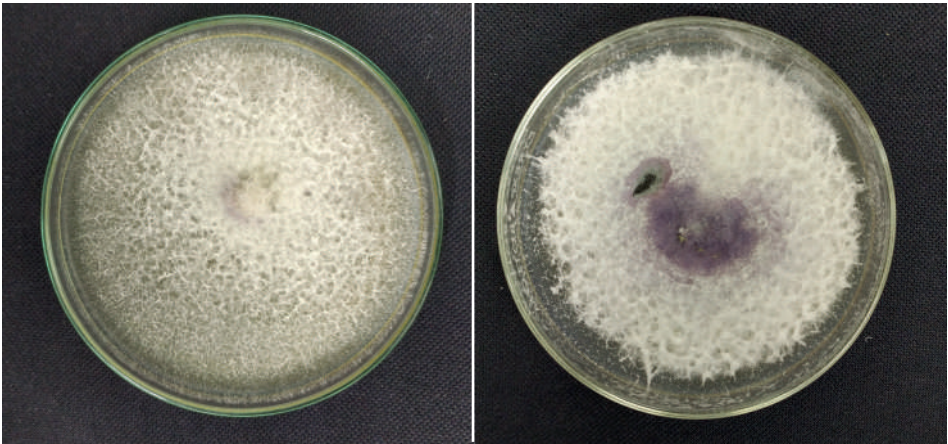
Figura 59. Signos y síntomas de *F. equiseti* en la semilla de arroz. Micelio blanquesino recubriendo la testa de la semilla de forma irregular.

Fusarium verticillioides (Sacc.) Nirenberg (1976)

Nombre científico del hongo	<i>Fusarium verticillioides</i>
Clasificación taxonómica	Familia: Nectriaceae Género: <i>Fusarium</i> Especie: <i>F. verticillioides</i> (Sacc.) Nirenberg (EPPO, 2001).
Sinonimia	<i>Gibberella moniliformis</i>
Nombre común	Podredumbre de la mazorca y la raíz del maíz
Tipo de hongo contaminante	Patógeno

Caracterización macroscópica

La colonia de *F. verticillioides* presenta una colonia con un micelio de color blanco algodonoso redondeado, con tonalidades purpuras, al envejecer, y bordes radiados (figura 60).

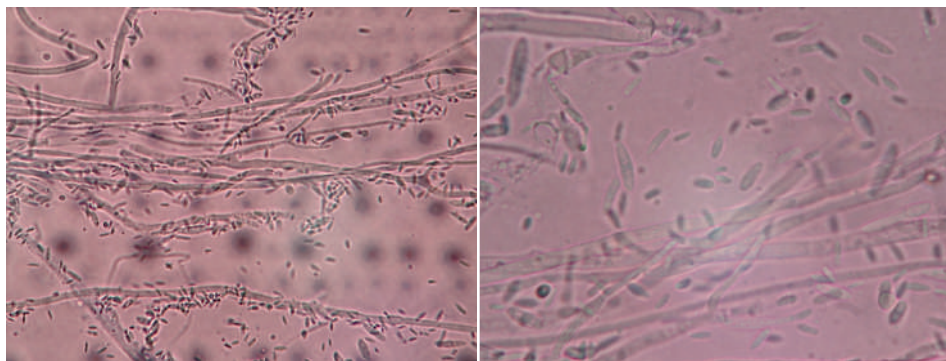


Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 60. Colonias de *F. verticillioides* aisladas de semillas de maíz. Los cambios en las coloraciones de las colonias pueden deberse a factores asociados a sus condiciones de crecimiento, como edad de la colonia y desarrollo de pigmentos por exposición a la luz.

Caracterización microscópica

En *F. verticillioides*, se ven largas cadenas de microconidias ovales (figura 61), así como elípticas tipo riñón (Acuña, 2019); con monofálides cortas o medias, que se localizan sobre la hifa de forma fragmentada, y clamidosporas dispuestas en pares o de forma individual (Macías et al., 2015).



Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 61. Microconidios de *F. verticillioides*.

Especies vegetales que afecta en semillas

F. verticillioides es un hongo cosmopolita que se puede encontrar de forma natural en todos los suelos. El hongo llega a infectar plantas y semillas sin provocar síntomas evidentes y es uno de los mayores productores de fumonisinas (compuestos tóxicos generados y acumulados en la semilla por *F. verticillioides* y *F. proliferatum*) que se conocen (Velluti, 2002). *F. verticillioides* se encuentra distribuido a nivel mundial y es aislado frecuentemente de cultivos de maíz, cuya productividad se ve afectada por este hongo.

Signos y síntomas en la semilla de maíz

F. verticillioides penetra de forma directa el pericarpio y las células de la epidermis de las raíces, tres días después de que se siembran las semillas infectadas por el patógeno. En la semilla de maíz, la infección del hongo se puede observar principalmente en la base del pedicelo. Además, se evidencian marcas blancas del micelio y marcas rosa similares a un manchado en el grano (figura 62).



Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 62. Signos y síntomas de *F. verticillioides* en semilla de maíz. a. Aparición de moho rosado en semilla; b. Manchado rosado en la semilla.

Lasiodiplodia pseudotheobromae

Nombre científico del hongo	<i>Lasiodiplodia pseudotheobromae</i>
Clasificación taxonómica	Familia: Botryosphaeriaceae Género: <i>Lasiodiplodia</i> Especie: <i>L. pseudotheobromae</i> (EPPO, 2021).
Sinonimia	no aplica
Nombre común	Pudrición del fruto
Tipo de hongo contaminante	Patógeno

Caracterización macroscópica

La colonia de *L. pseudotheobromae* presenta una colonia con un micelio de color blanco denso, que se va tornando gris con el paso del tiempo (figura 63). Produce picnidios negros sobre tejidos colonizados, más bien redondos, y que contienen una o más cavidades. La formación de conidios es estimulada por una exposición superior a las 16 horas a la luz (Picos-Muñoz et al., 2015).

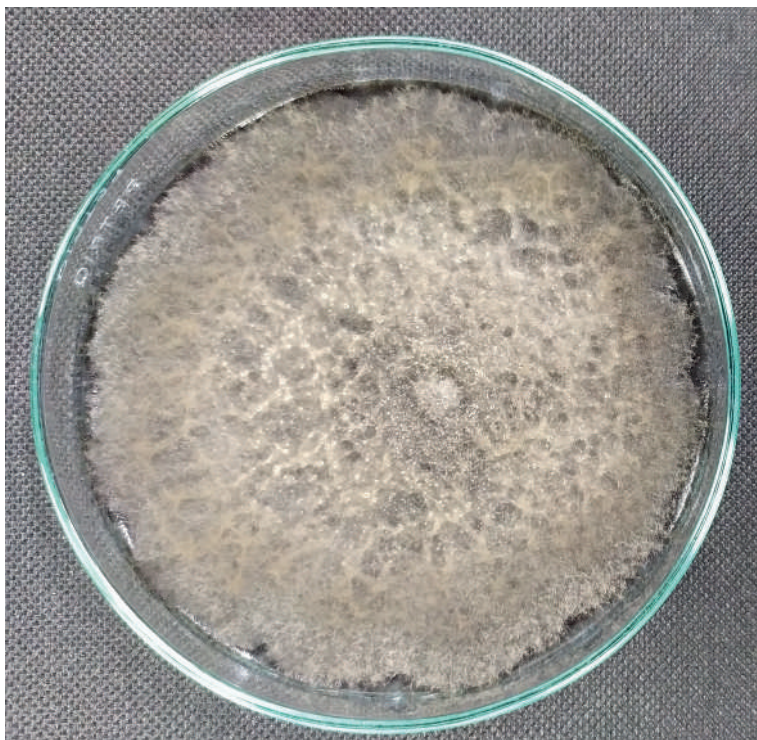
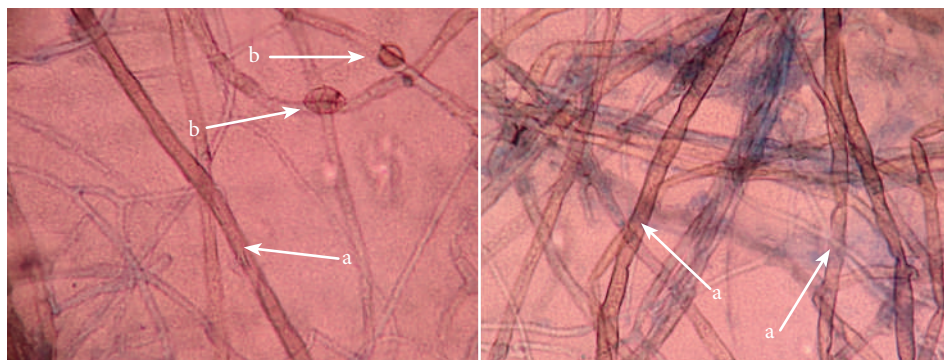


Foto: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 63. Colonia de *L. pseudotheobromae* aislada de semillas de soya con formación escasa de picnidios.

Caracterización microscópica

L. pseudotheobromae presenta conidios con el ápice y la base redondeados, más estrechos en el centro. Se ha reportado que produce un pigmento rosa oscuro (Picos-Muñoz et al., 2015). Los conidios jóvenes son ovales, hialinos y de paredes delgadas sin septos, mientras que los conidios maduros muestran un color marrón oscuro (figura 64) y de paredes gruesas con un tabique mediano y estriaciones longitudinales (Sedeño, 2021).



Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

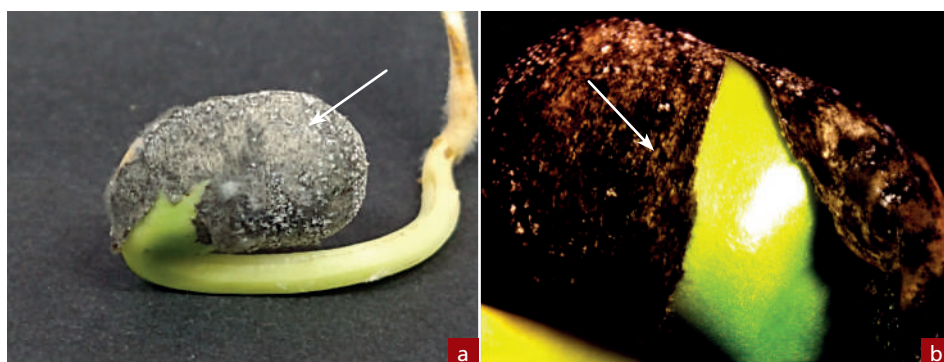
Figura 64. Estructuras microscópicas de *L. pseudotheobromae*. a. Hifas; b. Conidios.

Especies vegetales que afecta en semillas

L. pseudotheobromae es el agente causal de numerosas enfermedades de las plantas en una amplia variedad de hospedantes. Este hongo ocasiona importantes pérdidas durante el almacenamiento de los frutos. Se manifiesta causando un ennegrecimiento superficial alrededor de la base del pedicelo del mango, por ejemplo. Afecta cultivos de cacao, cítricos y café; en papaya produce pudrición del pedúnculo (Picos-Muñoz, 2017).

Signos y síntomas en la semilla de soya

En semillas de soya infectadas se observa una inhibición completa de la germinación. El micelio del hongo tipo blanquecino, pasando a café oscuro, recubre la testa de la semilla de forma irregular (figura 65).



Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

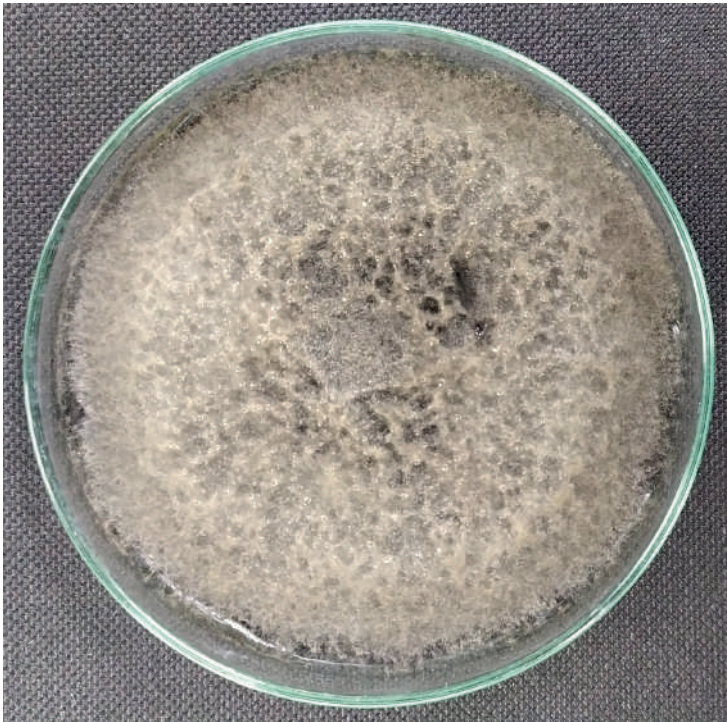
Figura 65. Afectación por *L. pseudotheobromae* en semillas de soya. a. Micelio de *L. pseudotheobromae* tipo blanquecino, pasando a café oscuro o gris, recubre la testa de la semilla de soya; b. Formación de picnidios.

Lasiodiplodia theobromae

Nombre científico del hongo	<i>Lasiodiplodia theobromae</i>
Clasificación taxonómica	Familia: Botryosphaeriaceae Género: <i>Lasiodiplodia</i> Especie: <i>L. theobromae</i> (EPPO, 2002c).
Sinonimia	<i>Botryodiplodia elasticae</i>
Nombre común	Pudrición café de la mazorca y podredumbre negra
Tipo de hongo contaminante	Patógeno

Caracterización macroscópica

La colonia de *L. theobromae* presenta una colonia con un micelio denso y de color blanco algodonoso; a los pocos días va tornándose de color gris hasta adquirir un color negro (figura 66).

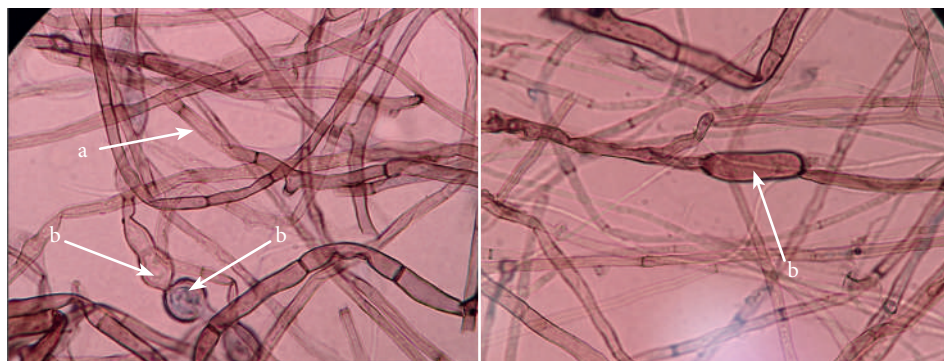


Fotos Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 66. Colonia de *L. theobromae* aislada de semillas de soya.

Caracterización microscópica

En *L. theobromae* se pueden ver conidias de forma globosa y elipsoide, de color hialino o incolores, cuando están inmaduras, y de color marrón en su madurez, con pared gruesa de color marrón oscuro a negro (figura 67), características morfológicas similares a las que describe Hernández (2021).



Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

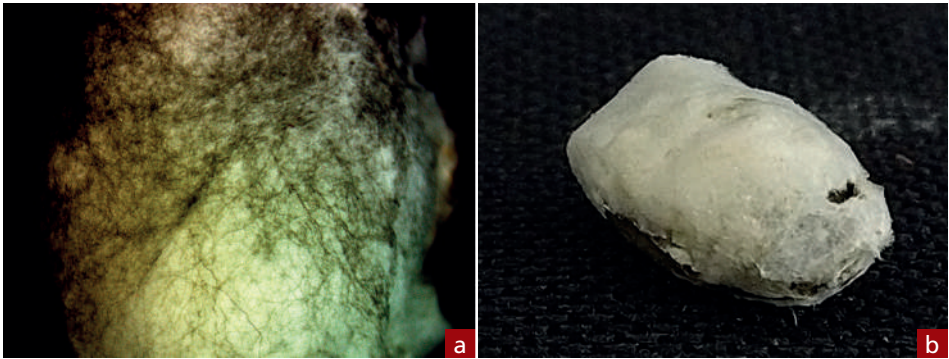
Figura 67. Hifas septadas (a) y clamidosporas (b) de *L. theobromae*.

Especies vegetales que afecta en semillas

L. theobromae es el agente causal de numerosas enfermedades de las plantas en una amplia variedad de hospedantes. Los cultivos de frutas y hortalizas son particularmente susceptibles a la infección por este hongo (Picos-Múñoz et al., 2014), también encontramos afectaciones en frutales, cacao, algodón, frijol, maní, entre otros. Este hongo se encuentra en la semilla de las variedades de soya evaluadas en el presente trabajo. Aunque no se ha reportado en semillas de soya, se ha encontrado como patógeno en semillas de aguacate (*Persea americana* Mill.), de acuerdo con León y Mattos (2016). De igual forma, Mori (2016) ha reportado su presencia en semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), en donde el inóculo afecta la germinación de las semillas y genera pudrición oscura.

Signos y síntomas en la semilla de soya

En semillas de soya infectadas se observa una inhibición completa de la germinación. El micelio del hongo tipo blanquecino recubre la testa de la semilla de forma irregular y las glumas se ven selladas por efecto del micelio (figura 68).



Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 68. Signos y síntomas de *L. theobromae* en semilla de soya. a. Micelio de tipo blanquecino y negro recubriendo la testa de la semilla de soya de forma irregular; b. Formación de picnidios.

***Penicillium polonicum* K. M. Zalesky**

Nombre científico del hongo	<i>Penicillium polonicum</i> K. M. Zalesky
Clasificación taxonómica	Familia: Trichocomaceae Género: <i>Penicillium</i> Especie: <i>P. polonicum</i> K. M. Zalesky (EPPO, 1996; GBIF, 2021).
Sinonimia	<i>Penicillium aurantiogriseum</i> var. <i>Polonicum</i>
Nombre común	Moho azul
Tipo de hongo contaminante	Hongo de almacenamiento, saprófito

Caracterización macroscópica

Las colonias de *P. polonicum* en el PDA presentan en su reverso una tonalidad crema a marrón amarillento (figura 69). Los conidios son de forma globosa y subglobosa de paredes lisas y en columnas.

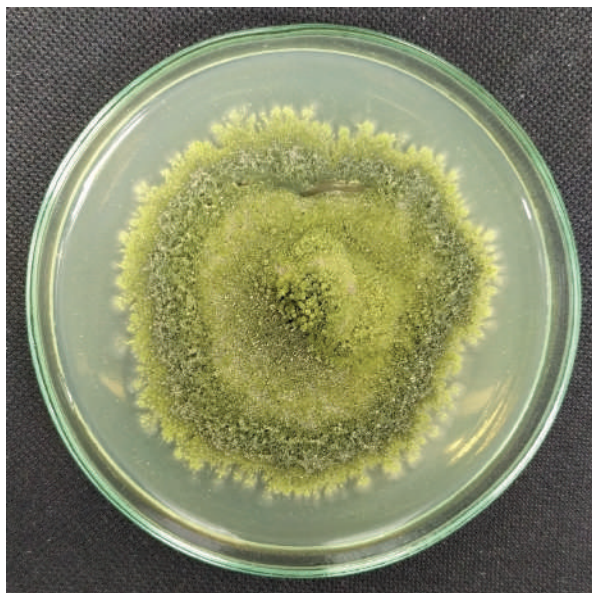


Foto: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 69. Colonia de *Penicillium polonicum* aislada de semillas de sorgo.

Caracterización microscópica

En *P. polonicum* se aprecian hifas subsuperficiales con conidióforos triverticilados en su gran mayoría, aunque presenta algunos biverticilados y tetraverticilados. Presenta conidias globosas a subglobosas con paredes lisas (figura 70). Las fialides son en forma de matraz, con métulas cilíndricas con conidios de color verde azulado (Frisvad y Samson, 2004).

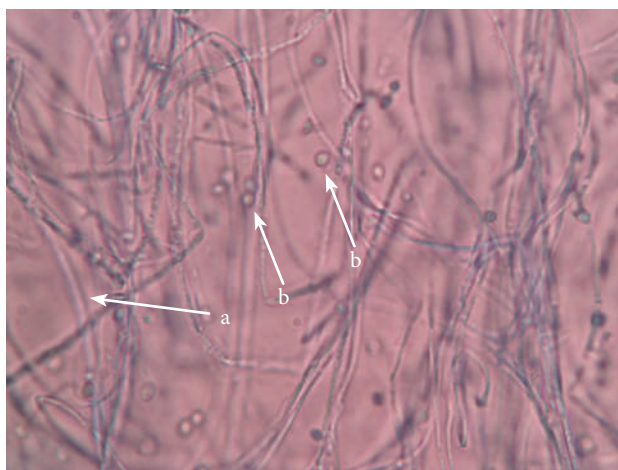


Foto: William Giovanni Manzano

Figura 70. Hifas (a) y conidios (b) de *Penicillium polonicum*.

Especies vegetales que afecta en semillas

P. polonicum afecta tubérculos de ñame y bulbos de cebolla (Duduk et al., 2014). También, está reportado en trigo, cebada, centeno, avena, arroz, maíz y maní (Frisvad y Samson, 2004).

Signos y síntomas en la semilla de sorgo

En semillas de sorgo infectadas con *P. polonicum* se observa micelio de color grisáceo que invade toda la semilla y afecta el crecimiento normal de la radícula (figura 71).



Foto: William Giovanni Manzano

Figura 71. Signos y síntomas de *P. polonicum* en semilla germinada de sorgo. Micelio de color grisáceo invadiendo toda la semilla.

Penicillium sp. Link (1809)

Nombre científico del hongo	<i>Penicillium</i> sp.
Clasificación taxonómica	Familia: Trichocomaceae Género: <i>Penicillium</i> Especie: <i>Penicillium</i> sp. (EPPO, 1998)
Sinonimia	no aplica
Nombre común	Penicillium, moho gris, moho verde
Tipo de hongo contaminante	Hongo de almacenamiento, saprófito

Caracterización macroscópica

Las colonias de *Penicillium* sp. son de crecimiento rápido, de textura filamentosa, vellosa o pulverulenta de color gris oliva (figura 72).

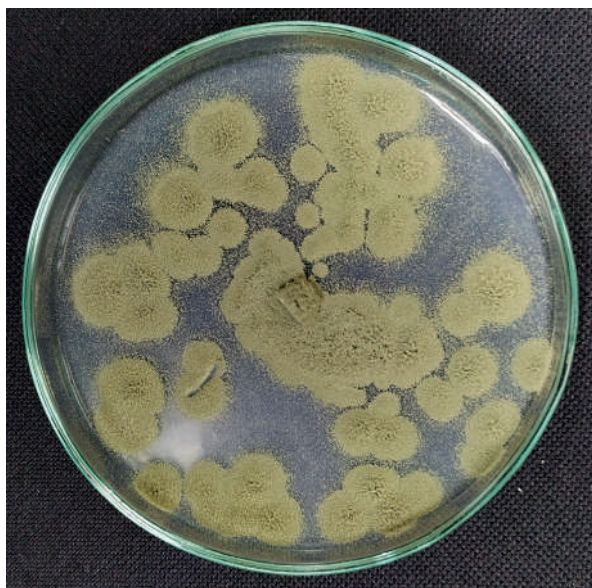
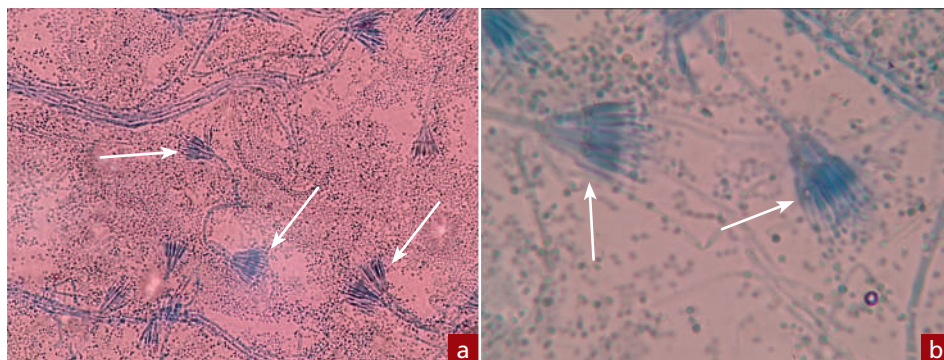


Foto: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 72. Colonia de textura pulverulenta de *Penicillium* sp. aislada de semillas de maíz.

Caracterización microscópica

Los conidios de *Penicillium* sp. presentan una estructura ramificada similar a un pincel, terminando en células conidiógenas denominadas fiálides (figura 73). Posee ramificaciones biverticiladas y triverticiladas. Las hifas alcanzan un diámetro de 2 a 3 μm . Las paredes del estípite pueden ser lisas, equinuladas o rugosas. Las paredes de las fiálides son lisas, con forma de ánfora o casi cilíndricas con la parte apical en forma de cono. Los conidios son de pared lisa y van de color verde a verde azulado (Weber, 2004). Métulas y fiálides presentan longitudes similares y los conidios son abundantes y esféricos (Bonivento y Merlano, 2008).



Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

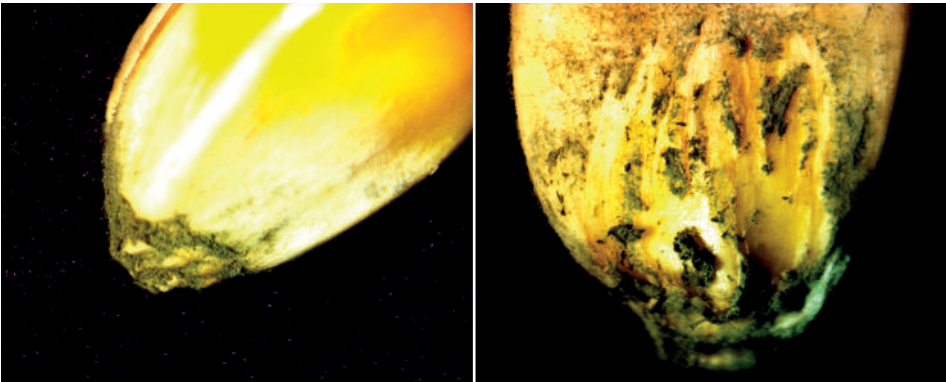
Figura 73. Conidióforos ramificados de *Penicillium* sp. a. Aumento 40×; b. Aumento de 100×.

Especies vegetales que afecta en semillas

Penicillium sp. afecta a la soya y es considerado como un hongo típico de almacenamiento (Gally, 2006). Otras plantas que pueden ser infectadas por este hongo son el eucalipto rosado (*Eucalyptus grandis*) y el pino taeda (*Pinus taeda*) (Giachino et al., 2012); también, plantas forrajeras como la mombasa o guinea (*Panicum maximum*) y el mijo perenne (*P. coloratum*) (Alonso, 1998). *Penicillium* sp. se presenta en el ají (*Capsicum* spp.) (Pérez, 2019) y en semillas de maní en fase fenológica VE (emergencia) (Alemán, 2013); en plantas medicinales como amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) (Bernal et al., 2000), en semillas de trigo (Ros et al., 2018), arroz (Marchio, 2017) y palma de aceite, entre otros (Sánchez, 1990).

Signos y síntomas en la semilla de maíz

Se observa un color amarillento y en el pericarpio rayas visibles (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo [CIMMYT], 2004). En estados avanzados, se evidencia crecimiento de moho color verde azulado en el pericarpio de la semilla (figura 74).



Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

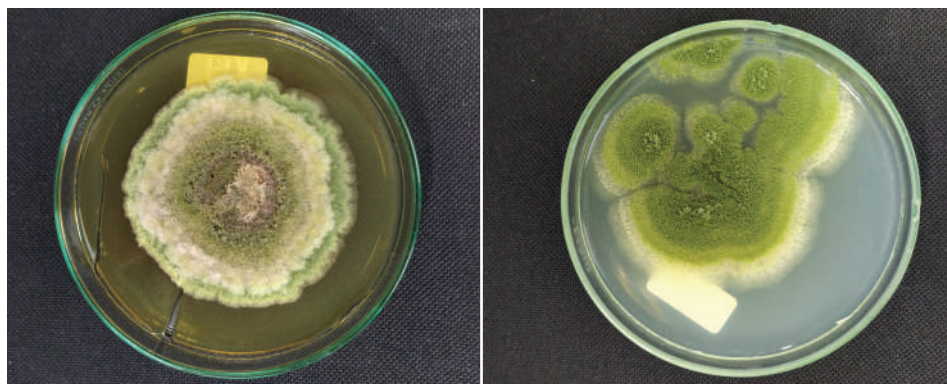
Figura 74. Signos y síntomas de *Penicillium* sp. en semilla de maíz. Moho de color verde azulado en el pericarpio de la semilla.

Talaromyces pinophilus Thom, C. (1910)

Nombre científico del hongo	<i>Talaromyces pinophilus</i>
Clasificación taxonómica	Familia: Trichocomaceae Género: Talaromyces Especie: <i>T. pinophilus</i> Thom, C. (Riviere, 2010).
Sinonimia	<i>Penicillium pinophilum</i> (GBIF, 2011).
Nombre común	No aplica
Tipo de hongo contaminante	Hongo saprófito

Caracterización macroscópica

La colonia de *T. pinophilus* en medio de cultivo PDA se caracteriza por presentar una textura flocosa (ligeramente algodonosa), radialmente surcada, micelio blanco a amarillo mostaza (figura 75), esporulación escasa a moderada, área conidial verde oliva y púrpura pálido (Peterson y Jurjević, 2019). En el PDA se observan colonias color verde, escasa conidiogénesis y micelio color blanco en los bordes. Se encuentra que del sustrato surgen hifas aéreas, como lo registra Romero et al. (2020). Este hongo es reportado como antagonista no contaminante (Romero et al., 2020), además de ser un controlador biológico prometedor contra hongos fitopatógenos (Abdel-Rahim y Abo-Elyousr, 2018).

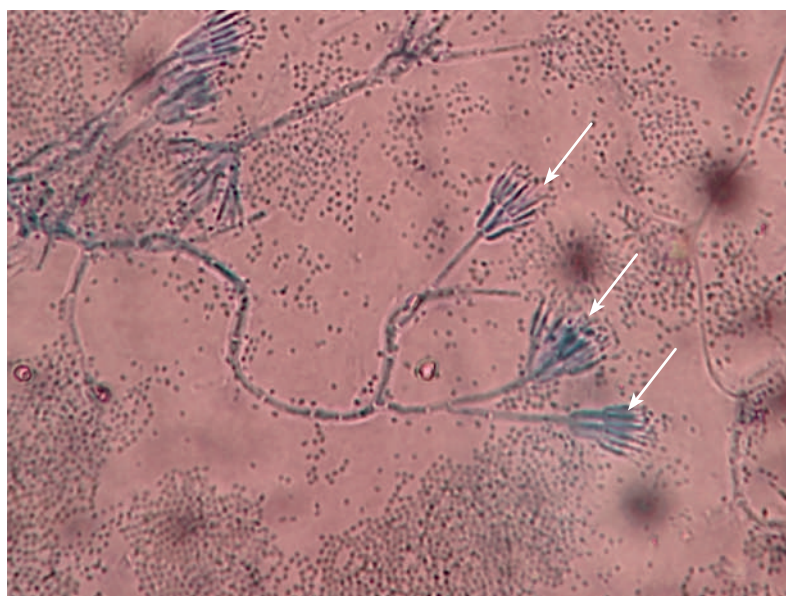


Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 75. Colonia de *T. pinophilus* aislada de semillas de sorgo. Los cambios en las coloraciones de las colonias pueden deberse a factores asociados a sus condiciones de crecimiento, como edad de la colonia y desarrollo de pigmentos por exposición a la luz.

Caracterización microscópica

T. pinophilus presenta conidióforos lisos que con el tiempo se vuelven rugosos (figura 76); cojinete terminal biverticilado, aunque algunas veces presenta monoverticilados; de 9 a 11 fiálides; conidios con paredes lisas a finamente rugosas, subglobosos, aunque, cuando la espora es grande, los conidios son ampliamente elipsoidales (Peterson y Jurjević, 2019).



Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 76. Conidióforos ramificados de *Talaromyces pinophilus*.

Especies vegetales que afecta en semillas

T. pinophilus está relacionado con semillas de sorgo, maíz (Peterson y Jurjević, 2019) y cebada (S. M. Romero et al., 2020). También, está reportado como un nuevo micro-parásito de *Botrytis* (Abdel-Rahim & Abo-Elyousr, 2018).

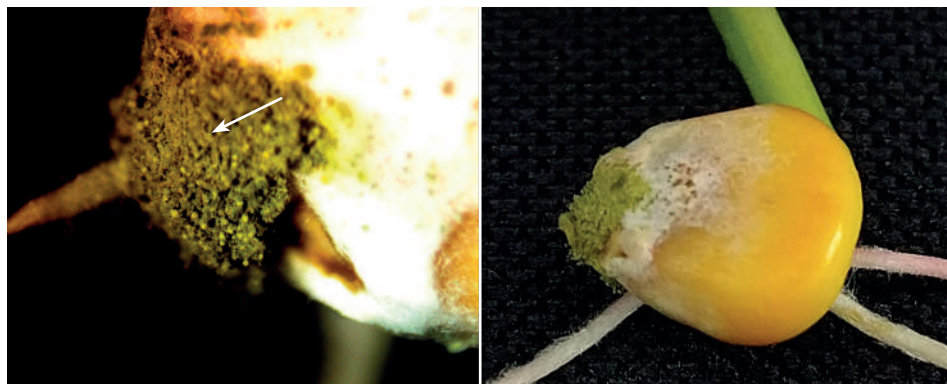
Signos y síntomas en las semillas de sorgo y maíz

En la semilla germinada, se observa micelio color oliva (figuras 77 y 78) de textura vellosa (S. M. Romero et al., 2020).



Foto: William Giovanni Manzano

Figura 77. Signos y síntomas de *T. pinophilus* en semilla germinada de sorgo. Micelio color oliva de textura vellosa recubriendo la semilla.



Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 78. Signos y síntomas de *T. pinophilus* en semilla de maíz. Micelio color verde oliva de textura polvoriento en la semilla.

Phoma sorghina (Sacc.) Boerema, Dorenb. & Kesteren (1973)

Nombre científico del hongo	Phoma sorghina
Clasificación taxonómica	Familia: Didymellaceae Género: Phoma Especie: P. sorghina (Sacc.) Boerema, Dorenb. & Kesteren
Sinonimia	Eriosphaeria sacchari Leptosphaeria sacchari Leptosphaeria spegazzinii Leptosphaeria spegazzinii var. Minor Leptosphaeria spegazzinii var. Spegazzinii Phaeosphaeria sacchari Phoma anullata Phoma glumicola Phoma sorghina Phyllosticta glumicola Phyllosticta sacchari Phyllosticta saccharicola Phyllosticta sorghina
Nombre común	Phoma, manchado del grano del arroz
Tipo de hongo contaminante	Patógeno

Caracterización macroscópica

P. sorghina muestra una colonia redondeada con bordes radiados o lanosos, color gris a verde oscuro, y elevación crateriforme de textura aterciopelada (figura 79).

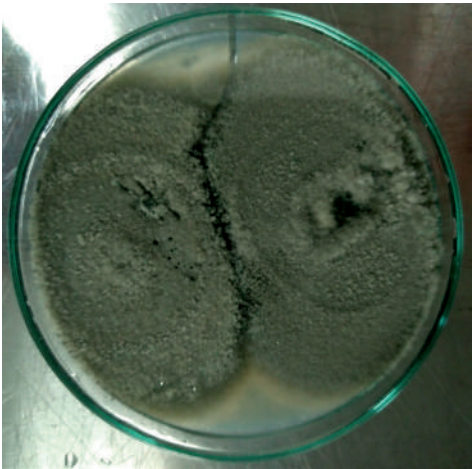
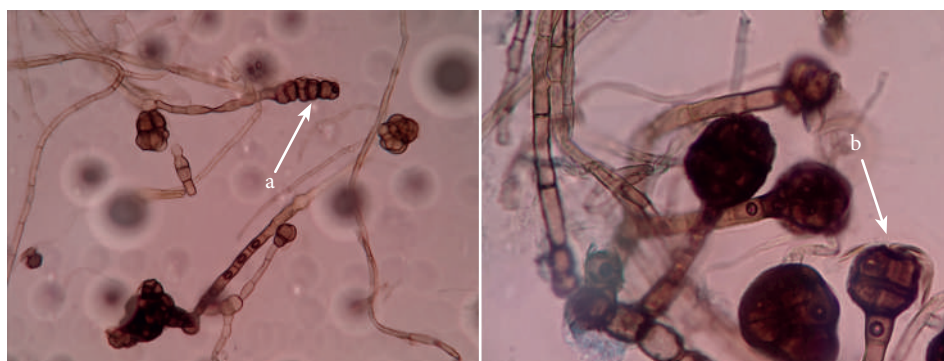


Figura 79. Colonia verde oscuro de textura aterciopelada de P. sorghina aislada de semillas de arroz.

Caracterización microscópica

P. sorghina presenta una formación de cadena de clamidosporas alternaroides y clamidosporas botrioides. Clamidosporas pseudoparenquimatosas y cadenas de clamidosporas unicelulares (figura 80).



Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

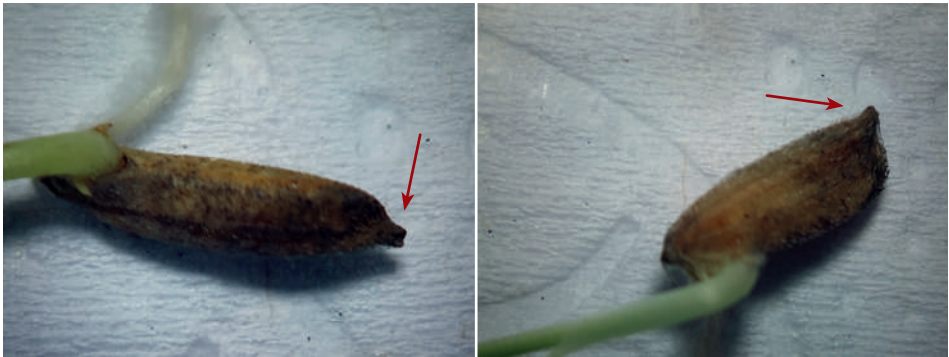
Figura 80. Clamidosporas alternaroides (a) y botrioides (b) de *P. sorghina*.

Especies vegetales que afecta en semillas

P. sorghina se reporta como patógeno en cultivos de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), trigo (*Triticum aestivum*) y sorgo (*Sorghum bicolor*), donde ocasiona mancha foliar (Perelló y Moreno, 2005). En cultivos de arroz (*Oryza sativa*) es transmitido por las semillas y el suelo, y genera lesiones acuosas y pudrición en la espiguilla (figura 81). Puede afectar otros hospederos alternos como especies de los géneros *Acacia*, *Aloe*, *Citrus* y *Eucalyptus* (Pérez y Chamorro, 2012).

Signos y síntomas en la semilla de arroz

P. sorghina genera lesiones acuosas, que luego aumentan de tamaño y forman manchas oblongas o irregulares con márgenes de color marrón oscuro o rojizo, estas se extienden desde la extremidad apical a toda la semilla (figura 81).



Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 81. Signos y síntomas de *P. sorghina* en semilla de arroz. Manchas de color marrón rojizo creciendo desde la extremidad apical y extendiéndose a toda la semilla.

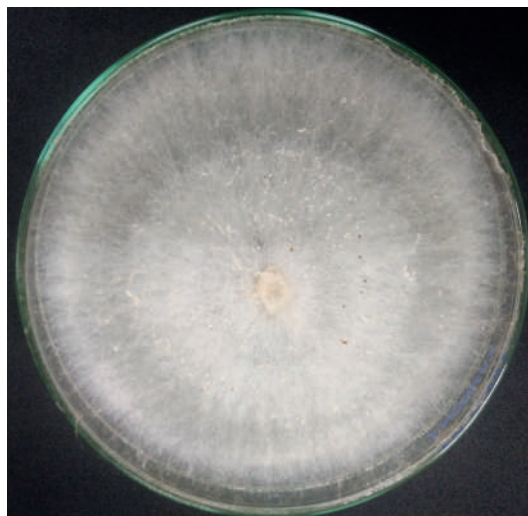
Rhizoctonia solani J. G. Kühn (1858)

Nombre científico del hongo	<i>Rhizoctonia solani</i>
Clasificación taxonómica	Familia: Ceratobasidiaceae Género: <i>Rhizoctonia</i> Especie: <i>R. solani</i> J. G. Kühn (EPPO, 2002d)
Sinonimia	<i>Botryobasidium solani</i> (Prillieux & Delacroix) Donk <i>Ceratobasidium filamentosum</i> (Patouillard) Olive <i>Ceratobasidium solani</i> (Prillieux & Delacroix) Pilát <i>Corticium areolatum</i> Stahel <i>Corticium praticola</i> Kotila <i>Corticium solani</i> (Prillieux & Delacroix), Bourdot & Galzin <i>Corticium vagum</i> Briosi & Cavara <i>Hypochnus aderholdii</i> Koloschina <i>Pellicularia filamentosum</i> (Patouillard) Rogers <i>Rhizoctonia aderholdii</i> (Ruhl) Koloschina <i>Rhizoctonia macrosclerotia</i> J. Matz <i>Rhizoctonia microsclerotia</i> J. Matz <i>Thanatephorus cucumeris</i> (A. B. Frank) Donk <i>Thanatephorus praticola</i> (Kotila) Flentje (EPPO, 2002d).
Nombre común	Añublo de la vaina, mancha de la vaina
Tipo de hongo contaminante	Patógeno

Caracterización macroscópica

Las colonias de *R. solani* son redondeadas, presentan borde lanoso y elevación delgada. Son no esporulantes, incoloras en etapa juvenil y de color café cuando maduran, con

formación de esclerocios redondos, duros, de color café a negro; muestran un diámetro aproximado de 2 mm en medio de cultivo agar papa dextrosa (PDA) (figura 82).

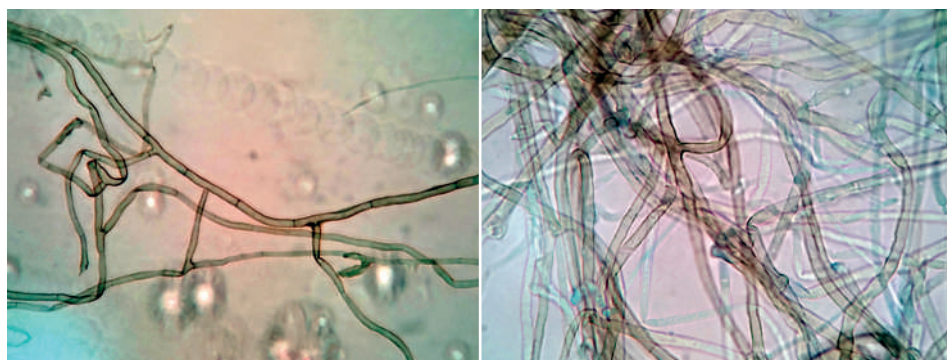


Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 82. Colonia de *R. solani* aislada de semillas de arroz.

Caracterización microscópica

R. solani se caracteriza por presentar hifas septadas jóvenes, ramificadas en ángulos rectos cercanos al septo distal, que tienen una relación grosor-longitud 5:1. Estas hifas muestran la formación de un septo de la ramificación cerca del punto de origen (figura 83).



Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 83. Hifas septadas jóvenes ramificadas en ángulos rectos cercanos al septo distal de *R. solani*.

Especies vegetales que afecta en semillas

R. solani es un patógeno ampliamente distribuido en todo el mundo. Este hongo es el causante de pérdidas económicas de gran magnitud en la mayoría de los cultivos anuales y perennes, incluyendo un gran porcentaje de cultivos hortícolas. Puede llegar a afectar un amplio rango de hospedantes pertenecientes a cerca de 32 familias y 188 géneros (Srinivasachary et al., 2011).

Signos y síntomas en la semilla de arroz

En semilla germinada, usualmente se observan lesiones irregulares de color marrón en la radícula (figura 84). Sobre las lesiones se forman los esclerocios. Usualmente, este patógeno genera estrangulamiento en la base del tallo y pudrición de las raíces (Arcos y Zúñiga, 2015).



Fotos: Manuel Alfonso Patiño M.

Figura 84. Lesiones marrones y pudrición en radícula de arroz por *R. solani*.

Consideraciones finales

Para asegurar la calidad sanitaria de la semilla, resulta fundamental determinar el grado de patogenicidad de los aislamientos con mayor prevalencia que afectan directamente su capacidad de germinación. En ese mismo sentido, se requiere llevar a cabo estudios sobre la epidemiología de las enfermedades transmitidas por semilla para obtener información valiosa que permita implementar estrategias efectivas de prevención y control.

El éxito del análisis de la calidad sanitaria está en función del conocimiento de las fases de producción de semilla de cada una de las especies trabajadas en este documento y la identificación de las etapas en las cuales puede haber presencia de los hongos contaminantes. La verificación del estado sanitario de las semillas almacenadas es una medida importante para mantener y asegurar la calidad de los lotes. Mediante las pruebas de sanidad, se pueden detectar diversos hongos contaminantes, que son transmitidos por semilla o que afectan su desempeño fisiológico en términos de germinación y vigor. La presencia de los hongos patógenos de los géneros *Fusarium*, *Diaporthe*, *Aspergillus* y *Curvularia* en la semilla almacenada puede reducir considerablemente su poder germinativo y aumentar el nivel de deterioro de las membranas celulares. Por ello, es imprescindible garantizar las condiciones idóneas de temperatura y humedad relativa para la conservación de las semillas, de modo que se evite la proliferación de los hongos y se disminuya el riesgo de transmisión de patógenos a los cultivos.

Finalmente, cabe señalar que esta guía brinda información significativa para la detección, reconocimiento y caracterización de hongos contaminantes identificados en semillas de arroz de secano, maíz, sorgo y soya, no obstante, es posible que se reporten nuevos patógenos que puedan afectar la calidad de estas semillas.

Glosario

Ascas: Célula sexual productora de esporas en los hongos.

Ascospora: Espora contenida en un asca.

Asperulados: Que presenta superficie áspera o rugosa.

Botrioide: Estructura u órgano dispuesto o agrupado en forma de racimo.

Clamidospora: Tipo de esporas de los hongos con capacidad de sobrevivir en condiciones adversas con paredes gruesas.

Colonia: Conjunto de hifas, que a nivel macroscópico se ve como una masa cremosa, algodonosa, vellosa, etc.

Conidio: Esporas asexuales externas que se forman en el extremo de un filamento o hifa.

Conidióforo: estructura pequeña y especializada en la producción asexual de miles de esporas o conidios.

Elipsoida: Que presenta una superficie curva y cerrada donde tres de sus secciones ortogonales son elípticas.

Equinulado: Estructura provista de proyecciones rígidas o punzantes en forma de espina o agujones.

Esclerocio: Masa compacta de micelio endurecido que contiene reservas alimenticias.

Esporulación: Formación y liberación de una o varias esporas.

Estroma: Estructura dura tipo leñoso que puede almacenar en su interior peritecios.

Filiforme: Con forma o apariencia de hilo.

Fragmoconidios: Conidios con septos transversales.

Fragmospora: Espora que tiene dos o más septos.

Hifa: Trozo de micelio.

Macroconidio: Esporas asexuales de gran tamaño pluricelular y polimorfa.

Métula: Estructura ramificada y corta, que surge de un conidióforo, y a partir de la cual se generan otras estructuras especializadas como conidios.

Micelio: Estructura de los hongos de apariencia similar a una raíz. Conjunto de filamentos ramificados y de textura como de hilo.

Microconidio: Esporas asexuales de tamaño reducido unicelular de diferentes formas, generalmente en forma de cadenas.

Micotoxina: Metabolitos secundarios tóxicos, de composición variada producidos por hongos.

Peritecio: Estructura que presenta forma esférica, propia de organismos pertenecientes a la división Ascomycota, y en el interior de la cual se producen las ascas.

Picnidio: Tipo de estructura asexual de reproducción presente en algunos tipos de hongos.

Politrética: Hace referencia a la morfología de las esporas que presentan más de dos células dispuestas en cadena o en fila.

Pseudoparenquimatosas: Apariencia o estructura que se asemeja al parénquima.

Saprofito: Organismo que vive sobre materia orgánica en descomposición y se alimenta de ella.

Septo: Término usado para referirse a la separación en las hifas o esporas que presenta un poro.

Subhialina: Hongo de bajo o escaso color o bajo pigmento.

Uniseriado: Dispuesto en una sola serie o fila.

Verticilado: Que esta agrupado en verticilos (en conjunto).

Verticilo: Grupo de órganos que se agrupan o nacen al mismo nivel y alrededor de un eje.

Vesícula: Estructura globular que se forma en el extremo de la métula y en la cual se desarrollan los conidios de forma interna.

Referencias

- Abarca, L. M. (2000). Taxonomía e identificación de especies implicadas en la aspergilosis nosocomial. *Revista Iberoamericana de Micología*, 17, S79-S84. <https://www.reviberoammicol.com/2000-17/S79S84.pdf>
- Abdelmagid, A., Hafez, M., Lawley, Y., Rehal, P. K., & Daayf, F. (2022). First report of pod and stem blight and seed decay caused by *Diaporthe longicolla* on soybean in Western Canada. *Plant Disease*, 106(3), 1061. <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-21-0783-PDN>
- Abdel-Rahim, I. R., & Abo-Elyousr, K. A. (2018). *Talaromyces pinophilus* strain AUN-1 as a novel mycoparasite of *Botrytis cinerea*, the pathogen of onion scape and umbel blights. *Microbiological Research*, 212-213, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.04.004>
- Acuña, O. (2019). *Determinación del rango de hospedante de especies patógenas asociadas al género Fusarium en cinco cultivos agrícolas* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín, Perú]. Repositorio UNSM. <http://hdl.handle.net/11458/3319>
- Alemán, M. (2013). *Enfermedades fúngicas en variedades de maní en la localidad de Santa Clara, en época poco lluviosa* [Tesis de pregrado, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba]. <https://1library.co/document/y6e2wk4z-enfermedades-fungicas-variedades-localidad-santa-clara-epoca-lluviosa.html>
- Alonso, O. (1998). Microflora fungosa detectada en semillas de *Panicum edes* cv. Likoni. *Pastos y Forrajes*, 21(1), 75-80. <https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=1082>
- Arbeláez, G. (2000). Algunos aspectos de los hongos del género *Fusarium* y de la especie *Fusarium oxysporum*. *Agronomía Colombiana*, 17, 11-22. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/21538>
- Arcos, J., & Zúñiga, D. (2015). Efecto de rizobacterias en el control de *Rhizoctonia solani* en el cultivo de papa. *Ecología Aplicada*, 14(2), 95-101. <https://doi.org/10.21704/rea.v14i1-2.86>
- Asociación Colombiana de Semillas y Biotecnología [Acosemillas]. (2023). *Sorgo*. <https://acosemillas.org/sorgo-2/>

- Bailly, C., Bousquet, A., Braun, V., Buitink, J., Desbois-Vimont, Durand, C., Fougereux, J. A., Gaillard, A., Gouleau, A., Grappin, P., Hily, Y., Lejard, F., Malauza, T., Marchi, M., Multeau, C., Orgeur, G., Piovan, R., Poisson, A., Profizi, C., Rajjou, L., Reboud, X., & Szambien, M. (2019). Towards seed protection using biocontrol strategies. *Groupement d'Intérêt Scientifique Biotechnologies Vertes*. <https://hal.science/hal-02931599>
- Barnett, H. L., & Hunter, B. B. (1972). *Illustrated Genera of Imperfect Fungi* (3rd ed.). Burgess Publishing Co.
- Barrios, L. M., & Pérez, O. I. (2005). Nuevos registros de hongos en semillas de *Oryza sativa* en Cuba. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 75, 64-67. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6615>
- Bartlett, J. M., & Stirling, D. (Eds.). (2003). *PCR Protocols. Methods in Molecular Biology* (2nd ed.). Humana Press.
- Basha, S., & Ulaganathan, K. (2002). Antagonism of *Bacillus* species (strain BC121) towards *Curvularia lunata*. *Current Science*, 82(12), 1457-1463. <https://www.jstor.org/stable/24106181>
- Batzer, J., & Mueller, D. (2020). Soybean fungal endophytes *Alternaria* and *Diaporthe* spp. Are differentially impacted by fungicide application. *Plant Disease*, 104(1), 52-59. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-19-1001-RE>
- Bayer AG. (2022). *Almacenamiento de semillas de maíz*. <https://www.dekalb.com.co/es-co/dkalidad/almacenamiento.html#accordion-597941-0>
- Bebber, D. P., Holmes, T., & Gurr, S. J. (2014). The global spread of crop pests and pathogens. *Global Ecology and Biogeography*, 23(12), 1398-1407. <https://doi.org/10.1111/geb.12214>
- Bernal, R., Rodríguez, J., Estrada, J., Hernández, A., & Gatica, M. (2000). Micoflora asociada a la semilla de amaranto (*Amarantus hypochondriacus* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 23(1), 109-118. <https://doi.org/10.35196/rfm.2000.1.109>
- Bonilla, N. (2014). *Buenas prácticas de acondicionamiento de semillas de granos básicos: Infraestructura y equipamiento*. Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. https://images.engormix.com/externalFiles/6_Bominlla-Bird-GuiaTecnica-semillas.pdf
- Bonivento, J., & Merlano, L. (2008). *Determinación de la micoflora de Zea mays en almacenamiento, presencia de aflatoxinas y evaluación del grado de sensibilidad de los microorganismos aislados frente a los extractos de la corteza de canela Cinnamomum zeylanicum y capullos de clavo de olor Syzygium aromaticum* [Tesis de pregrado. Universidad de Sucre, Colombia]. Repositorio Unisucre. <http://repositorio.unisucre.edu.co/handle/001/73>

- Bosland, P. W. (1988). *Fusarium oxysporum*, a pathogen of many plant species. *Advances in Plant Pathology*, 6, 281-289. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-033706-4.50023-2>
- Braunbeck, C., & Kolb, R. (2022). Almacenamiento óptimo del arroz. *Granos & Postcosecha Latinoamericana. De la Semilla al Consumo*, 150, 15-17. <https://www.yumpu.com/es/document/read/68378345/revista-granos-edicion-150>
- Bressan, W. (2003). Biological control of maize seed pathogenic fungi by use of actinomycetes. *BioControl*, 48, 233-240. <https://doi.org/10.1023/A:1022673226324>
- Brodal, G., & Asdal, Å. (2021). Longevity of plant pathogens in dry agricultural seeds during 30 years of storage. *Microorganisms*, 9(10), 2175. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9102175>
- Buja, I., Sabella, E., Monteduro, A. G., Chiriaco, M. S., De Bellis, L., Luvisi, A., & Maruccio, G. (2021). Advances in plant disease detection and monitoring: from traditional assays to in-field diagnostics. *Sensors*, 21(6), 2129. <https://doi.org/10.3390/s21062129>
- Butt, A. R., Yaseen, I., & Javaid, A. (2011). Seed-borne mycoflora of stored rice grains and its chemical control. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 21(2), 193-196. <https://www.thejaps.org.pk/docs/21-2/10-076-revised.pdf>
- Campbell, C. L., & Madden, L.V. (1990). *Introduction to Plant Disease Epidemiology*. John Wiley & Sons.
- Campos, V. (2013). *Patogenicidad de Fusarium proliferatum y la utilización de fungicidas en el tratamiento de semillas como control preventivo en la fase inicial del desarrollo del arroz (Oryza sativa)* [Tesis de pregrado, Universidad de Costa Rica]. Repositorio UCR. <https://hdl.handle.net/10669/29277>
- Castro, A., Bortoluzzi, D., Lima, J., Porto, V., Marcuz, C., Machado, C., Camargo, R., Kuhn, R., Jacques, R., Guedes, J., & Mazutti, M. A. (2017). Selection, isolation, and identification of fungi for bioherbicide production. *Brazilian Journal of Microbiology*, 48(1), 101-108. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2016.09.004>
- Castro, M. V. (s. f.). Sorgo (*Sorghum bicolor* L.). Aspectos técnicos. <http://www.platicar.go.cr/images/buscador/documents/pdf/09/00289-sorgoaspectostecnicos.pdf>
- Centers for Disease Control and Prevention [CDC]. (2022). Target genes, primer sets, and thermocycler settings for fungal DNA amplification. <https://www.cdc.gov/fungal/lab-professionals/settings-for-fungal-dna-amplification.html>
- Centre for Agricultural Bioscience International [CABI]. (2021). *Fusarium proliferatum*. <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.24684>
- Centre for Agricultural Bioscience International [CABI]. (2022a). *Aspergillus flavus* (Aspergillus ear rot). <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.7432>

- Centre for Agricultural Bioscience International [CABI]. (2022b). *Fusarium culmorum* (culm rot: cereals). *PlantwisePlus Knowledge Bank*. <https://doi.org/10.1079/pwkb.species.24637>
- Centre for Agricultural Bioscience International [CABI]. (2022c). *Fusarium oxysporum* (basal rot). *PlantwisePlus Knowledge Bank*. <https://doi.org/10.1079/pwkb.species.24677>
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo [CIMMYT]. (2004). *Enfermedades del maíz. Una guía para su identificación en el campo*. <http://hdl.handle.net/10883/715>
- Chinchilla, G., Blanco, M., & Castro, Ó. (2020). Identificación molecular morfológica de las especies de *Fusarium* spp., asociadas al cultivo de pimienta negra (*Piper nigrum*) en Sarapiquí y Guatuso en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 44(2), 9-30. <https://doi.org/10.15517/rac.v44i2.43087>
- Chirinos-Arias, M. (2015). *Guía de PCR en tiempo real*. https://www.researchgate.net/publication/283090415_Guia_de_PCR_en_tiempo_real
- Cho, M. S., Kang, M. J., Kim, C. K., Seol, Y. J., Hahn, J. H., Park, S. C., Hwang, D. J., Ahn, T. Y., Park, D. H., Lim, C. K., & Park, D. S. (2011). Sensitive and specific detection of *Xanthomonas oryzae* pv. By real-time Bio-PCR using Pathovar-Specific primers based on an *rhs* family gene. *Plant Disease*, 95(5), 589-594. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-10-0399>
- Chulze, S. N., Ramírez, M. L., Farnochi, M. C., Pascale, M., Visconti, A., & March, G. (1996). *Fusarium* and fumonisin occurrence in Argentinian corn at different ear maturity stages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(9), 2797-2801. <https://doi.org/10.1021/jf950381d>
- Comisión Europea. (2013). *Developing quarantine pest detection methods for use by national plant protection organizations (NPPO) and inspection services*. Cordis. Resultados de investigaciones de la Unión Europea. <https://cordis.europa.eu/project/id/245047>
- Davoudpour, Y., Schmidt, M., Calabrese, F., Richnow, H. H., & Musat, N. (2020). High resolution microscopy to evaluate the efficiency of surface sterilization of *Zea mays* seeds. *Plos One*, 15(11), e0242247. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242247>
- Delgado, M., Ortiz, A., Guevara, Y., & Subero, L. (2002). Evaluación sanitaria de semillas de cuatro variedades de arroz en Venezuela. *Agronomía Tropical*, 52(2), 223-234. <https://www.researchgate.net/publication/48223537>
- Deza, C., Sánchez, D., Silva, J., García, R., & Mialhe, E. (2015). Identificación molecular de bacterias asociadas a la filosfera de plantas de arroz (*Oryza sativa*)

- L.), mediante técnicas de cultivo microbiano. *Manglar. Revista de Investigación Científica*, 12(1), 25-36. <http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2015.004>
- Díaz, M., Leandro, L., & Munkvold, G. (2013). Aggressiveness of *Fusarium* species and impact of root infection on growth and yield of soybeans. *Ecology and Epidemiology*, 103(8), 822-832. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-12-0207-R>
- Dissanayake, A. J., Phillips, A. J., Hyde, K. D., Yan, J. Y., & Li, X. H. (2017). The status of species in *Diaporthe*. *Mycosphere*, 8(5): 1106-1156. <https://doi.org/10.5943/mycosphere/8/5/5>
- Distéfano, S. G., & Gadbán, L. C. (2009). Efecto de la aplicación de fungicidas foliares de distintos grupos químicos en diferentes estadios fenológicos del cultivo de soja sobre la intensidad de mancha ojo de rana (*Cercospora sojina*) y los componentes de rendimiento. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA], Estación Experimental Agropecuaria Marcos Juárez. https://aws.agroconsultasonline.com.ar/documento.html?op=d&documento_id=60
- Duduk, N., Vasic, M., & Vico, Y. (2014). First report of *Penicillium polonicum* causing blue mold on stored onion (*Allium cepa*) in Serbia. *Plant Disease*. 98(10), 1440. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-14-0550-PDN>
- Escamilla, D., Rosso, M. L., & Zhang, B. (2019). Identification of fungi associated with soybeans and effective seed disinfection treatments. *Food science & nutrition*, 7(10), 3194-3205. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1166>
- Eskola, M., Kos, G., Elliott, C. T., Hajšlová, J., Mayar, S., & Krska, R. (2020). World-wide contamination of food-crops with mycotoxins: Validity of the widely cited 'FAO estimate' of 25%. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(16), 2773-2789. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1658570>
- European and Mediterranean Plant Protection Organization [EPPO]. (1996). *Penicillium aurantiogriseum*. <https://gd.eppo.int/taxon/PENIAU>
- European and Mediterranean Plant Protection Organization [EPPO]. (1998). *Penicillium*. <https://gd.eppo.int/taxon/1PENIG>
- European and Mediterranean Plant Protection Organization [EPPO]. (2001). *Fusarium verticillioides*. <https://gd.eppo.int/taxon/FUSAVR>
- European and Mediterranean Plant Protection Organization [EPPO]. (2002a). *Fusarium equiseti*. <https://gd.eppo.int/taxon/GIBBIN>
- European and Mediterranean Plant Protection Organization [EPPO]. (2002b). *Curvularia lunata*. <https://gd.eppo.int/taxon/COCHLU>
- European and Mediterranean Plant Protection Organization [EPPO]. (2002c). *Lasioidiplodia theobromae*. <https://gd.eppo.int/taxon/PHYORH>
- European and Mediterranean Plant Protection Organization [EPPO]. (2002d). *Rhizoctonia solani*. <https://gd.eppo.int/taxon/RHIZSO>

- European and Mediterranean Plant Protection Organization [EPPO]. (2007). *Xanthomonas oryzae*. EPPO Bulletin, 37(3), 543-553. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2338.2007.01162.x>
- European and Mediterranean Plant Protection Organization [EPPO]. (2021). *Lasiodiplodia pseudotheobromae*. <https://gd.eppo.int/taxon/LSDPPS>
- Faessel, L., Nassr, N., Lebeau, T., & Walter, B. (2008). Effects of the plant defence inducer, Acibenzolar-S-Methyl, on hypocotyl rot of soybean caused by *Rhizoctonia solani* AG-4. *Journal of Phytopathology*, 156(4), 227-233. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2007.01367.x>
- Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya [Fenalce], Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA], & Sociedad de Agricultores de Colombia [SAC]. (2009). *Manejo integrado de cultivos: maíz, frijol*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/19450>
- Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya [Fenalce]. (2020). *Histórico de área, producción y rendimiento. Cereales y Leguminosas*. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojOTk3NDZhYTMTZjg5NC00OWIxLWE3NmItOTIzYjdlZmFmNmJhIiwidCI6IjU2MmQ1YjJlLTBmMzEtNDdmOC1iZTk4LTNmMjI4Nzc4MDBhOCJ9&pageName=Report-Section>
- Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya [Fenalce]. (2022). *Histórico de área, producción y rendimiento. Cereales, Leguminosas y Soya*. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojM2FiYzM5ZTAAtNjFmNi00MGQyLWFiYzYtNGI0YTJiZTcwZWQwIiwidCI6IjU2MmQ1YjJlLTBmMzEtNDdmOC1iZTk4LTNmMjI4Nzc4MDBhOCJ9>
- Flórez, D. L., Osorio, K. V., Medina, M. J., Jaramillo, S., & Ortégón, L. E. (2021). *Manual de producción de semilla de calidad de soya en los valles interandinos de Colombia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7404876>
- Frisvad, J. C., & Samson, R. A. (2004). Polyphasic taxonomy of *Penicillium* subgenus *Penicillium*. A guide to identification of food and air-borne terverticillate *Penicillia* and their mycotoxins. *Studies in Mycology*, 49, 1-174. <https://www.studiesinmycology.org/sim/Sim49/Sim49Article1.pdf>
- Gally, T. (2006). Enfermedades de las semillas de soja en Argentina. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 78, 86-90. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/7647>
- Gergerich, R. C., Welliver, R. A., Osterbauer, N. K., Kamenidou, S., Martin, R. R., Golino, D. A., Eastwell, K., Fuchs, M., Vidalakis, G., & Tzanetakis, I.

- E. (2015). Safeguarding fruit crops in the age of agricultural globalization. *Plant Disease*, 99(2), 176-187. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-14-0762-FE>
- Giachino, M. V., Gally, T., Craig, E., & Ewens, M. (2012). *Microorganismos asociados a semillas forestales* [Ponencia]. XXVI Jornadas Forestales de Entre Ríos, Concordia, Argentina.
- Giménez, L. (2017). Respuesta del maíz y la soja a diferentes disponibilidades hídricas en distintas etapas de desarrollo. *Agrociencia Uruguay*, 21(2), 77-90. <https://doi.org/10.31285/agro.21.2.10>
- Girish, G. A., Baig, M. M., Anitha, K., & Chakrabarty, S. K. (2011). *Curvularia* species detected in sorghum seeds collected from Marathwada region of Maharashtra. *Indian Journal of Plant Protection*, 39(4), 299-303. https://www.researchgate.net/publication/269819363_Curvularia_Species_Detected_in_Sorghum_Seeds_Collected_From_Marathwada_Region_of_Maharashtra
- Global Biodiversity Information Facility [GBIF]. (2011). *Talaromyces pinophilus* (Hedgc.) Samson, N. Yilmaz, Frisvad & Seifert. <https://www.gbif.org/es/species/8079970>
- Global Biodiversity Information Facility [GBIF]. (2021). *Penicillium polonicum* K. W. Zaleski. <https://www.gbif.org/species/10725026>
- Global Biodiversity Information Facility [GBIF]. (2023). *Aspergillus niger* Tiegh. <https://www.gbif.org/es/species/3465658>
- Gomes, R., Glienke, C., Videira, S., Lombard, L., & Groenewald, J. (2013). *Diaporthe*: a genus of endophytic, saprobic and plant pathogenic fungi. *Persoonia. Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, 31, 1-41. <https://doi.org/10.3767/003158513X666844>
- González-Garza, R. (2017). Evolución de técnicas de diagnóstico de virus fitopatógenos. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 35(3), 591-610. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1706-1>
- Güney, I., & Güldür, E. (2018). Inoculation techniques for assessing pathogenicity of *Rhizoctonia solani*, *Macrophomina phaseolina*, *Fusarium oxysporum* and *Fusarium solani* on pepper seedlings. *Turkish Journal of Agricultural Research*, 5(1), 1-8. <https://doi.org/10.19159/tutad.310211>
- Hariharan, G., & Prasannath, K. (2021). Recent advances in molecular diagnostics of fungal plant pathogens: a mini review. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 10(1), 1-14. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.600234>
- Henras, A. K., Plisson-Chastang, C., O'Donohue, M. F., Chakraborty, A., & Gleizes, P. E. (2015). An overview of pre-ribosomal RNA processing in eukaryotes. *Wiley Interdisciplinary Reviews*, 6(2), 225-242. <https://doi.org/10.1002/wrna.1269>

- Hernández, F. E., Pioli, R. N., Peruzzo, A. M., Formento, Á. N., & Pratta, G. R. (2015). Caracterización morfológica y molecular de una colección de aislamientos de *Phomopsis longicolla* (teleomorfo desconocido: *Diaporthales*) de la región templada y subtropical de Argentina. *Revista de Biología Tropical*, 63(3), 871-884. <https://doi.org/10.15517/rbt.v63i3.15930>
- Hernández, K. (2021). *Caracterización morfológica y patogénica de Lasiodiplodia theobromae en Vaccinium corymbosum L., Trujillo, La Libertad* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo, Perú]. Repositorio Unitru. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/17049>
- Hernández, L., & Sandoval, J. S. (2015). Escala diagramática de severidad para el complejo mancha de asfalto del maíz. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 33, 95-103. https://rmf.smf.org.mx/Vol_33_1_2015.html
- Herrera, E., Cristóbal, J., Martínez, M., Hernández, M., & López, G. (2017). Primer registro de *Fusarium solani* y *F. equiseti* en plantaciones de *Jatropha curcas* en México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 35, 150-161. <https://doi.org/10.18781/r.mex.ft.1608-1>
- Hidayat, I., & Ramadhani, I. (2019). Phylogenetic study of *Curvularia* on sorghum from Indonesia based on ITS rDNA sequence. *Jurnal Mikologi Indonesia*, 3(2), 118-124. <https://doi.org/10.46638/JMI.V3I2.64>
- Hoog, G. S. de, Guarro, J., Gené, J., & Figueras, M. J. (2000). *Atlas of Clinical Fungi* (2nd ed.). Amer Society for Microbiology.
- Hurtado, S. (2020). *Aislamiento de endófitos en gulupa (Passiflora edulis Sims f.) y su potencial para promoción de crecimiento de la planta y control del fitopatógeno Fusarium oxysporum* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio UN. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79386>
- Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement [Inrae]. (2021). Diaporthe melonis Beraha y M. J. O'Brien (1979). *Podredumbre negra y "tallo morado"*. Ephytia. <http://ephytia.inra.fr/es/C/7943/Melon-Diaporthe-melonis>.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2015). Resolución 3168. "Por medio de la cual se reglamenta y controla la producción, importación y exportación de semillas producto del mejoramiento genético para la comercialización y siembra en el país, así como el registro de las unidades de evaluación agronómica y/o unidades de investigación en fitomejoramiento y se dictan otras disposiciones". <https://www.ica.gov.co/getattachmen-t/4e8c3698-8fcb-4e42-80e7-a6c7acde9bf8/2015R3168.aspx>
- International Seed Testing Association [ISTA]. (2018). *International rules for seed testing. Introduction to the ISTA rules*. <https://doi.org/10.15258/istarules.2018.F>

- Istikorini, Y., Kusuma, D. A., Haneda, N. F., & Siregar, U. J. (2022). Pathogenicity test of sengon (*Falcataria moluccana*) seed-borne endophytic fungus. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 959. 1-5. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/959/1/012024>
- Kim, M., Shim, C., Lee, J., & Wangchuk, C. (2022). Hot water treatment as seed disinfection techniques for organic and eco-friendly environmental agricultural crop cultivation. *Agriculture*, 12(8), 1081. <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture12081081>
- Kumar, R., Gupta, A., Srivastava, S., Devi, G., Kumar, V., Kumar, S., Singh, M., & Aggarwal, R. (2020). Diagnosis and detection of seed-borne fungal phytopathogens. In R. Kumar & A. Gupta (Eds.), *Seed-Borne Diseases of Agricultural Crops: Detection, Diagnosis & Management* (pp. 107-142). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9046-4_5
- Leake, J. (2005). Plants parasitic on fungi: unearthing the fungi in myco-heterotrophs and debunking the “saprophytic” plant myth. *Mycologist*, 19(3), 113-122. [https://doi.org/10.1017/S0269-915X\(05\)00304-6](https://doi.org/10.1017/S0269-915X(05)00304-6)
- León, B., & Mattos, L. (2016). Hongos fitopatógenos asociados a semillas de palto (*Persea americana* Mill.). *Revista de Investigaciones Altoandinas.*, 18(4), 423-430. <https://doi.org/10.18271/ria.2016.216>
- Leyva, R. M., Quiñones, M. L., Acosta, K., Piñol, B., & Pérez-Álvarez, S. (2019). PCR anidado múltiple para detección de fitoplasmas y begomovirus identificados en cultivos de soya en Cuba. *Revista de Protección Vegetal*, 34(2), 1-13.
- Li, S. (2018). Development of a seedling inoculation technique for rapid evaluation of soybean for resistance to *Phomopsis longicolla* under controlled conditions. *Plant Methods*, 14(81). <https://doi.org/10.1186/s13007-018-0348-x>
- López, N., Guevara, A., López, M., & Gañán, L. (2022). Occurrence of seed decay caused by *Diaporthe longicolla* on soybean in Colombia. *Summa Phytopathol*, 48(3), 139-140. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/264271>
- López, N., Guevara, A., López, M., Pisco, C., Amaya, C., & Pulido, M. (2017). *Guía ilustrada para la identificación de enfermedades de la soya en el Departamento del Meta*. Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas [Fenalce]. <https://www.researchgate.net/publication/332031127>
- Macías, A., Cuevas, A., Fernández, M., Huitrón, J., Cortés, E., & Delgado, F. (2015). *Aislamiento e identificación de Fusarium sp. A partir de planta de melón injertada en el municipio de Colima, Colombia*. Congreso Internacional de Investigación en Tecnologías Estratégicas de Academia Journals, Colima, México.

- Majumder, D., Rajesh, T., Suting, E. G., & Debbarma, A. (2013) Detection of seed borne pathogens in wheat: recent trends. *Australian Journal of Crop Science*, 7(4), 500-507. https://www.cropj.com/majumder_7_4_2013_500_507.pdf
- Manamgoda, D., Cai, L., McKenzie, E., Crous, P., Madrid, H., Chukeatirote, E., Shivas, R., Pei, Y., & Hyde, K. (2012). A phylogenetic and taxonomic re-evaluation of the *Bipolaris*, *Cochliobolus*, *Curvularia* Complex. *Fungal Diversity*, 56, 131-144. <https://doi.org/10.1007/s13225-012-0189-2>
- Mancini, V., & Romanazzi, G. (2014). Seed treatments to control seedborne fungal pathogens of vegetable crops. *Pest Management Science*, 70(6), 860-868. <https://doi.org/10.1002/ps.3693>
- Mancini, V., Murolo, S., & Romanazzi, G. (2016). Diagnostic methods for detecting fungal pathogens on vegetable seeds. *Plant Pathology*, 65(5), 691-703. <https://doi.org/10.1111/ppa.12515>
- Mantilla, A. J. (2008). Desarrollo y germinación de las semillas. En J. Azcón-Bieto, & M. Talón (Eds.), *Fundamentos de Fisiología Vegetal* (pp. 537-558). Mc Graw Hill Education.
- Marcenaro, D. (2013). *Catálogo de hongos en semillas de frijol (Phaseolus vulgaris L.) en Nicaragua*. Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria [INTA].
- Marchio, I. (2017). Manchado del grano: incidencia y micoflora presente en diferentes genotipos de arroz, cultivados en dos regiones agroecológicas argentinas [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de La Plata, Argentina]. Repositorio UNLP. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/57021>
- Marcinkowska, J. Z. (2002). Methods of finding and identification of pathogens in seeds. *Plant Breeding and Seed Science*, 46(1), 31-48. <https://bibliotekanauki.pl/articles/2198875.pdf>
- Marin-Felix, Y., Hernández-Restrepo, M., & Crous, P. W. (2020). Multi-locus phylogeny of the genus *Curvularia* and description of ten new species. *Mycological Progress*, 19(6), 559-588. <https://doi.org/10.1007/s11557-020-01576-6>
- Martín, I., Gálvez, L., Guasch, L., & Palmero, D. (2022). Fungal pathogens and seed storage in the dry state. *Plants*, 11(22), 1-25. <https://doi.org/10.3390/plants11223167>
- Matamoros, R., & Rugama, O. (2006). *Calidad fitosanitaria y presencia de aflatoxinas en granos de sorgo [Sorghum bicolor (L.) Moench], en almacén y campo* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria, Nicaragua]. Repositorio UNA. <https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/2003>
- Mauch, A., Bello, F. dal., Coffey, A., & Arendt, E. (2010). The use of *Lactobacillus brevis* PS1 to *in vitro* inhibit the outgrowth of *Fusarium culmorum* and other common *Fusarium* species found on barley. *International*

- Journal of Food Microbiology*, 141(1-2), 116-21. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.05.002>
- McCormack, J. (2004). Seed processing and storage. Principles and practices of seed harvesting, processing, and storage: an organic seed production manual for seed growers in the Mid-Atlantic and Southern U.S. [Manual]. Carolina Farm Stewardship Association. https://www.carolinafarmstewards.org/wp-content/uploads/2012/05/SeedProcessingandStorageVer_1pt3.pdf
- Méndez-Álvarez, S., & Pérez-Roth, E. (2003). La PCR múltiple en microbiología clínica. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 22(3), 183-192. <https://www.elsevier.es/es-revista-enfermedades-infecciosas-microbiologia-clinica-28-pdf-13058027>
- Miché, L., & Balandreau, J. (2001). Effects of rice seed surface sterilization with hypochlorite on inoculated *Burkholderia vietnamiensis*. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(7), 3046-3052. <https://doi.org/10.1128/AEM.67.7.3046-3052.2001>
- Montes-García, N., Prom, L. K., Montes-Rodríguez, N., García-Gracia, M. Á., Pecina-Quintero, V., & Díaz-Franco, A. (2010). Efecto de fungicidas sistémicos en el control de la micobiota parasítica del grano de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 28(2), 156-158.
- Mori, E. (2016). *Enfermedades fungosas en semillas de Phaseolus vulgaris L., ecotipos Huasca poroto, Allpa y Pajatino en San Martín* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín, Perú]. Repositorio UNSM. <https://tesis.unsm.edu.pe/handle/11458/2143>
- Muñoz, R., Cisterna, V., & France, A. (2020). *Aislamiento de microorganismos fitopatógenos* [Boletín N.º 428]. Instituto de Investigaciones Agropecuarias [INIA]; Centro Regional De Investigación Quilamapu. [HTTPS://HDL.HANDLE.NET/20.500.14001/67165](https://hdl.handle.net/20.500.14001/67165)
- Nasir, N. (2003). Detecting seed borne fungi of soybean by different incubation methods. *Plant Pathology Journal*, 2(2), 114-118. 10.3923/ppj.2003.114.118
- National Center for Biotechnology Information [NCBI]. (2022). *Basic Local Alignment Search Tool* [BLAST]. <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (s.f). Manejo integrado de enfermedades. <https://www.fao.org/3/a1374s/a1374s05.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS]. (2018). *Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales*. <https://www.fao.org/3/i8864es/I8864ES.pdf>

- Oyebanji, O. B., Nweke, O., Odebunmi, O., Galadima, N. B., Idris, M. S., Nnodi, U. N., Afolabi, A. S., & Ogbadu, G. H. (2009). Simple, effective and economical explant-surface sterilization protocol for cowpea, rice and sorghum seeds. *African Journal of Biotechnology*, 8(20), 5395-5399. <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/65980>
- Palacio, A. del. (2016). *Caracterización de las poblaciones de Aspergillus sección flavi presentes en trigo y sorgo* [Tesis de maestría, Universidad de la República de Uruguay]. Repositorio Udelar. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/10158>
- Paravar, A., Piri, R., Balouchi, H., & Ma, Y. (2023). Microbial seed coating: An attractive tool for sustainable agriculture. *Biotechnology Reports*, 37, e00781. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2023.e00781>
- Patiño, M. A., Flórez, D. L., & Hernández, J. F. (Eds.). (2022). *Lineamientos generales para la formulación, diseño y establecimiento de Bancos Locales de Semillas (BLS)*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7405842>
- Perelló, A. E., & Moreno, M. V. (2005). First report of *Phoma sorghina* (Sacc.) Boerema Dorenbosch & van Kest on wheat edes (*Triticum aestivum* L.) in Argentina. *Mycopathologia*, 159, 75-78. <https://doi.org/10.1007/s11046-004-2517-x>
- Perelló, A. E., Martínez, I., Sanabria, A., Altamirano, R., & Sibole, J. V. (2017). Pathogenicity of isolates of *Magnaporthe* spp. From wheat and grasses infecting seedlings and mature wheat plants in Argentina. *Plant Pathology*, 66, 1149-1161. <https://doi.org/10.1111/ppa.12658>
- Pérez, A., & Chamorro, L. (2012). Bacterias endófitas: una alternativa biológica para el control de *Burkholderia glumae* en el cultivo del arroz en Colombia. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 4(1), 172-184. <https://doi.org/10.24188/recia.v4.n1.2012.306>
- Pérez, C. (2019). *Aislamiento e identificación de hongos en semillas de Capsicum sp. Y su sensibilidad in vitro a extractos vegetales* [Tesis de maestría, Tecnológico Nacional de México].
- Pérez-Pizá, M., Grijalba, P., Chamorro, J., Ferreyra, M., Zilli, C., Vallecorsa, P., Santa-Cruz, D., Yannarelli, G., Prevosto, L., & Balestrasse, K. (2020). Effects of non-thermal plasma technology on *Diaporthe longicolla* cultures and mechanisms involved. *Pest Management Science*, 77(4), 2068-2077. <https://doi.org/10.1002/ps.6234>
- Peterson, S. W., & Jurjević, Ž. (2019). The *Talaromyces pinophilus* species complex. *Fungal Biology*, 123(10), 745-762. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2019.06.007>
- Petrović, K., Skaltsas, D., Castlebury, L., Kontz, B., Allen, T., Chilvers, M., Gregory, N., Kelly, H., Koehler, A., Kleczewski, N., Mueller, D., Price, P., Smith, D., &

- Mathew, F. (2021). Diaporthe seed decay of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] is endemic in the United States, but new fungi are involved. *Plant Disease*, 105(6), 1621-1629. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-20-0604-RE>
- Picos-Muñoz, P. (2017). *Caracterización fenotípica, genotípica y secretómica de Lasiodiplodia spp. Patogénicas en frutos de papaya en México* [Tesis de doctorado, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México]. Repositorio CIAD. <http://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1006/1091>
- Picos-Muñoz, P., García-Estrada, R., León-Félix, J., Sañudo-Barajas, A., & Alende-Molar, R. (2015). *Lasiodiplodia theobromae* en cultivos agrícolas de México: taxonomía, hospedantes, diversidad y control. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 33(1), 54-74. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092015000100054
- Presello, D. A., Oviedo, M. S., Fernández, M., Iglesias, J., & Copia, P. A. (2016). Resistencia a podredumbres de espiga y acumulación de micotoxinas en maíz. *RTA*, 10(32), 29-32. [http://refhub.elsevier.com/S0261-2194\(22\)00056-4/sref51](http://refhub.elsevier.com/S0261-2194(22)00056-4/sref51)
- Prom, L. K. (2004). The effects of *Fusarium thapsinum*, *Curvularia lunata*, and their combination on sorghum germination and seed mycoflora. *Journal of New Seeds*, 6(1), 39-49. https://doi.org/10.1300/J153V06N01_03
- Ramadan, N., & Zrary, T. (2014). Isolation, identification and pathogenicity of seed borne fungi of some barley cultivars. *Journal of Zankoy Sulaimani-Part A*, 16, 55-64. <https://doi.org/10.17656/jzs.10310>
- Ramos-Fernández, A., Bandala, V., Montoya, L., & Navarro, L. (s. f.). *El ADN una herramienta de gran alcance para investigar interacciones ecológicas entre hongos y árboles a nivel de la raíz*. Instituto de Ecología [Inecol]. <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/509-el-adn-una-herramienta-de-gran-alcance-para-investigar-interacciones-ecologicas-entre-hongos-y-arboles-a-nivel-de-la-raiz>
- Reglamento (CE) n.º 1107 de 2009. “Relativo a la comercialización de productos fitosanitarios y por el que se derogan las Directivas 79/117/CEE y 91/414/CEE del Consejo”. Parlamento Europeo. *Diario Oficial de la Unión Europea*, n.º L309. <http://data.europa.eu/eli/reg/2009/1107/oj>
- Reglamento (UE) n.º 283/2013. “Que establece los requisitos sobre datos aplicables a las sustancias activas, de conformidad con el Reglamento (CE) n.º 1107/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a la comercialización de productos fitosanitarios”. *Diario Oficial de la Unión Europea*, n.º L93. <http://data.europa.eu/eli/reg/2013/283/oj>
- Rentería, M., Guerra, M., Ochoa, A., Moreno, S., Meza, A., & Guzmán, J. (2020). Description and comparison among morphotypes of *Fusarium brachygibbosum*,

- F. falciforme* and *F. oxysporum* pathogenic to watermelon in Sonora, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 37(1), 16-34. <http://dx.doi.org/10.18781/rmex.fit.1808-1>
- Rice Knowledge Bank. (s. f.). *Fungi*. International Rice Research Institute [IRRI]. <http://www.knowledgebank.irri.org/step-by-step-production/postharvest/storage/storage-pests/fungi>
- Rivero, D., Cruz, A., Rodríguez, A., Echevarría, A., & Martínez, B. (2012). Hongos asociados al manchado del grano en la variedad de arroz INCA LP-5 (*Oryza sativa* L.) en Cuba. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 32(2), 131-18. https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1315-25562012000200011&script=sci_abstract
- Riviere, S. (2010). *The European Nucleotide Archive (ENA) taxonomy*. European Nucleotide Archive (EMBL-EBI). <https://doi.org/10.15468/avkgwm>
- Romero, J. L., Morales, J. G., & Pérez, S. P. (2020). *Manual técnico para producción de semilla de arroz regional (Oryza sativa) en la subregión de La Mojana*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/35786>
- Romero, S. M., Romero, A. I., Stchigel, A. M., Andrade, E. R., Barrera, V. A., Cano, J. F., & Comerio, R. (2020). Biodiversity of heat-resistant ascomycetes from semi-arid soils in Argentina. *Mycotaxon*, 135(3), 535-558. <https://doi.org/10.5248/135.535>
- Ros, C. C. da, Rasche, J. W., Aguayo, S., González, L., & Cabral, C. C. (2018). Eficiencia de fungicidas frente a la incidencia de patógenos en semillas de trigo. *Revista Agrogeoambiental*, 10(3), 121-134. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v10n320181215>
- Sánchez, A. (1990). Enfermedades de la palma de aceite en América Latina. *Palmas*, 11(4), 5-38. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/265>
- Sánchez, A., Delgado, R., Lorbes, J., Rodríguez, V., Figueredo, L., & Gómez, C. (2015). Diagnóstico e índice para fertilización nitrogenada en etapa vegetativa del cultivo maíz (*Zea mays* L.). *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*, 33, 75-82. <http://revistas.unellez.edu.ve/index.php/ruct/article/view/248>
- Sandoval-Martínez, M., Osnaya-González, M., Soto-Rojas, L., & Nava-Díaz, C. (2022). Hongos asociados al manchado del grano del arroz: una revisión. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45(4), 509-518. <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.4.509>
- Santos, A. M., Uribe, L. A., Torres, L., Betancourt, R. A., Moreno, F., Alarcón, E. A., & Gómez, M. I. (2018). Marco regulatorio para el registro de

- bioplaguicidas. En A. M. Cotes (Ed.), *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros. Aplicaciones y perspectivas* (Vol. 2, pp. 692-715). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/34078>
- Schoch, C. L., Ciufo, S., Domrachev, M., Hotton, C., Kannan, S., Khovanskaya, R., Leipe, D., Mcveigh, R., O'Neill, K., Robbertse, B., Sharma, S., Soussov, V., Sullivan, J., Sun, L., Turner, S., & Karsch-Mizrachi, I. (2020). NCBI Taxonomy: a comprehensive update on curation, resources and tools. *Database*, 2020, baaa062. <https://doi.org/10.1093/database/baaa062>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, & Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria [Senasica]. (2020a). *Curvularia lunata* [Ficha técnica]. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/600866/Curvularia_lunata.pdf
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, & Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria [Senasica]. (2020b). *Fusarium spp.* (Hypocreales: Nectriaceae). Podredumbre de raíces [Ficha técnica]. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/633031/Fusarium_spp__ma_z__2020.pdf
- Sedeño, J. (2021). *Formación de un consorcio bacteriano para el manejo orgánico de Lasiodiplodia pseudotheobromae, agente causal de la pudrición en frutos de mango* [Tesis de maestría, Universidad Veracruzana, México]. Repositorio uv. <http://cdigital.uv.mx/handle/1944/51981>
- Semillas Valle, S. A. (1995). *Desarrollo de una planta de sorgo. Algunas consideraciones sobre su manejo y control de plagas*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/17110>
- Sempere, F., García, F., & Santamaria, M. P. (2004). Caracterización morfológica y cultural de *Fusarium culmorum* (W. G. Smith) Sacc. [Póster técnico]. 26^a Jornadas de productos fitosanitarios. *Phytoma*, 164.
- Shabana, Y. M., Rashad, Y. M., Ghoneem, K. M., Arafat, N. S., Aseel, D. G., Qi, A., Richard, B., & Fitt, B. D. (2021). Biodiversity of pathogenic and toxigenic seed-borne mycoflora of wheat in Egypt and their correlations with weather variables. *Biology*, 10(10), 1025. <https://doi.org/10.3390/biology10101025>
- Si, Y., Haxim, Y., & Wang, L. (2022). Optimum sterilization method for in vitro cultivation of dimorphic seeds of the succulent halophyte *Suaeda aralocaspica*. *Horticulturae*, 8(4), 289. <http://dx.doi.org/10.3390/horticulturae8040289>
- Simón, M. R., & Golik, S. I. (Coords.). (2018). *Cereales de verano*. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales; Editorial de la Universidad de La Plata. <https://doi.org/10.35537/10915/68613>

- Singh, A., Meena, R., & Chattopadhyaya, C. (2008). Location and transmission of *Curvularia penniseti* in pearl millet. *Journal of Mycology and Plant Pathology*, 38, 185-189.
- Sistema Nacional Argentino de Vigilancia y Monitoreo de Plagas [Sinavimo]. (s. f. a). *Curvularia lunata*. <https://www.sinavimo.gob.ar/plaga/curvularia-lunata>
- Sistema Nacional Argentino de Vigilancia y Monitoreo de Plagas [Sinavimo]. (s. f. b). *Fusarium equiseti*. <https://www.sinavimo.gob.ar/plaga/fusarium-equiseti>
- Sistema Nacional Argentino de Vigilancia y Monitoreo de Plagas [Sinavimo]. (s. f. c). *Fusarium proliferatum*. <https://www.sinavimo.gob.ar/plaga/fusarium-proliferatum>
- Sivachandra, N. T., & Banniza, S. (2017). Assessment of the effect of seed infection with *Ascochyta pisi* on pea in Western Canada. *Frontiers in Plant Science*, 8, 933. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00933>
- Soleha, S., Muslim, A., Suwandi, S., Kadir, S., & Pratana, R. (2022). The identification and pathogenicity of *Fusarium oxysporum* causing acacia seedling wilt disease. *Journal of Forestry Research*, 33, 711-719. <https://doi.org/10.1007/s11676-021-01355-3>
- Srinivasachary, S., Willocquet, L., & Savary, S. (2011). Resistance to rice sheath blight (*Rhizoctonia solani* Kühn) [(teleomorph: *Thanatephorus cucumeris* (A. B. Frank) Donk.) disease: current status and perspectives. *Euphytica*, 178, 1-22. <https://doi.org/10.1007/s10681-010-0296-7>
- Sukanya, R., & Jayalakshmi, S. K. (2016). Response of inoculation technique to seed and seedling infection by *M. phaseolina* in sorghum. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 1(4), 621-622. <http://dx.doi.org/10.22161/ijeab/1.4.1>
- Tapia, J. J., Mejía, S. L., Atencio, L. M., Sánchez, L. A., & Cañar, D. Y. (2020). *Manual técnico de producción de semilla de variedades de maíz para el Caribe húmedo colombiano*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7404517>
- Toledo, R. E. (2006). *Etapas fenológicas del cultivo de soja*. Calister <https://www.calister.com.uy/wp-content/uploads/2016/06/fenologia.pdf>
- Tsedaley, B. (2015). Review on seed health tests and detection methods of seed-borne Diseases. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 5(5), 176-184. <https://www.iiste.org/Journals/index.php/JBAH/article/view/20641>
- Üstün, R., Çat, A., Çatal, M., & Uzun, B. (2021). Identification of seedborne fungi on soybean (*Glycine max* L.) seeds grown in Mediterranean Region of Turkey. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 8(3), 367-373. <https://doi.org/10.19159/tutad.1014598>

- Velluti, A. (2002). *Ecofisiología de especies de Fusarium productoras de fumonisinas, zearalenona y deoxinivalenol en maíz: aceites esenciales como inhibidores fúngicos* [Tesis doctoral, Universitat de Lleida, España]. Repositorio UdL. <http://hdl.handle.net/10459.1/63899>
- Walcott, R. R. (2003). Detection of seedborne pathogens, *HortTechnology*, 13(1), 40-47. <https://doi.org/10.21273/horttech.13.1.0040>
- Wang, W., Zhu, Y., Abraham, N., Li, X. Z., Kimber, M., & Zhou, T. (2021). The ribosome-binding mode of trichothecene mycotoxins rationalizes their structure-Activity relationships. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(4), 1604. <https://doi.org/10.3390/ijms22041604>
- Wanjiku, E. K., Waceke, J. W., Wanjala, B. W., & Mbaka, J. N. (2020). Identification and pathogenicity of fungal pathogens associated with stem end rots of avocado fruits in Kenya. *International Journal of Microbiology*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/4063697>
- Weber, R. W. (2004). *Penicillium*. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 93(4), 61-69. [https://doi.org/10.1016/s1081-1206\(10\)61386-5](https://doi.org/10.1016/s1081-1206(10)61386-5)
- Zhang, M., Sun, X., Cui, L., Yin, Y., Zhao, X., Pan, S., & Wang, W. (2018). The plant infection test: Spray and wound-mediated inoculation with the plant pathogen *Magnaporthe grisea*. *Journal of Visualized Experiments*, 138, e57675. <https://doi.org/10.3791/57675>



Autoría

Manuel Alfonso Patiño Moscoso

mpatino@agrosavia.co

<https://orcid.org/0000-0001-6147-032X>

Ingeniero agrónomo con capacidades para la formulación, evaluación y desarrollo de proyectos productivos sostenibles, con conocimientos aplicados en producción y transferencia de semillas, manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE), manejo integrado del riego y la fertilización (MIRFE), diagnóstico de enfermedades en cultivos hortícolas y frutales. Desarrolla su experiencia en ejecución y seguimiento de proyectos de investigación y transferencia de tecnología.

Karen Viviana Osorio Guerrero

kosorio@agrosavia.co

<https://orcid.org/0000-0002-9252-9993>

Magíster en Ciencias Agrarias con énfasis en Fitomejoramiento de la Universidad Nacional de Colombia e ingeniera Agroforestal de la Universidad de Nariño. Cuenta con experiencia en producción, mantenimiento y multiplicación de semillas, principalmente en cultivos transitorios; diseño, establecimiento, evaluación y análisis de ensayos de campo. Es investigadora máster del Departamento de Semillas de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, donde contribuye con su trabajo a la producción de las ofertas tecnológicas (OT) corporativas en semilla y material vegetal, para conservar los atributos de calidad.

Deisy Lorena Flórez Gómez

dlflorez@agrosavia.co

<https://orcid.org/0000-0003-3676-7564>

Ingeniera agrónoma de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA) con Maestría Profesional en tecnología de Semillas de la Universidad de Guadalajara. Con experiencia en investigación agrícola y amplios conocimientos en producción de semillas de calidad, mejoramiento genético, diseño experimental y análisis estadístico.

Luisa Fernanda Sarmiento Moreno

lsarmiento@agrosavia.co

<https://orcid.org/0000-0002-1083-0898>

Magíster en Agronegocio e ingeniera agrónoma. Cuenta con experiencia profesional en gestión, formulación, estructuración, evaluación y seguimiento de proyectos de investigación, y en producción y análisis técnico para la formulación de política agropecuaria. También tiene experiencia en gestión, coordinación, implementación, seguimiento a convenios y proyectos agropecuarios. En los últimos 6 años se ha desempeñado en el diseño e implementación de proyectos de fortalecimiento de sistemas locales de semillas, mediante el Plan Nacional Semilla, en proyectos con comunidades indígenas y la producción, y recuperación de semillas de las ofertas tecnológicas de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA. Actualmente, está asociada al Departamento de Semillas de AGROSAVIA, a través del cargo de coordinadora de Producción de Semilla.

David Napoleón Vargas Ramírez

dnvargas@agrosavia.co

<https://orcid.org/0000-0001-7645-6256>

Ingeniero agrónomo, se desempeña como profesional de apoyo a la investigación en el Centro de Investigación Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA. Cuenta con experiencia superior a 15 años en asistencia técnica, planeación, diseño de sistemas agrícolas, agroindustriales y coordinación de proyectos productivos.

Magda Jenny Medina Mérida

mmedina@agrosavia.co

<https://orcid.org/0000-0003-0537-344X>

Ingeniera industrial de la Universidad Nacional de Colombia, candidata al título de Maestría en Gestión de la Innovación en la Universidad de Buenos Aires, Argentina. Se desempeña como profesional de apoyo a la investigación en el Departamento de Semillas de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, liderando en proyectos de trazabilidad en la producción de semilla.

AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria

Este manual ilustrado explora parte del universo de los hongos que impactan las semillas de cultivos semestrales. Con un enfoque centrado en la calidad sanitaria de las semillas, el libro se adentra en el reconocimiento de los hongos contaminantes, destacando su influencia durante la etapa de poscosecha en la producción de semillas de arroz, maíz, soya y sorgo. Una lectura esencial para agricultores y profesionales del sector que buscan comprender y manejar eficazmente las infecciones fúngicas en las semillas de cultivos semestrales.



BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

CORREO: bac@corpoica.org.co

TELÉFONO: (57 1) 422 73 00 EXT. 1257 o 1274

SKYPE: [biblioteca.agropecuaria](https://www.skype.com/join/biblioteca.agropecuaria)



www.agrosavia.co

Distribución gratuita
Prohibida su venta