

Capítulo 8. Diagnóstico, técnicas de identificación y cuantificación, y estrategias de manejo de problemas fitosanitarios

Andrea Paola Zuluaga Cruz, Donald Riascos, Carlos Andrés Moreno-Velandia, Alejandro Villabona, Lorena Dávila, Edwin Rodríguez, Francy Liliana García-Arias, Eliana G. Revelo Gómez, Carlos A. Marcillo Paguay

Resumen

En este capítulo se describen los principales microorganismos causantes de enfermedades en plantas, tomando como ejemplo los encontrados con más frecuencia en Nariño, tales como fitoplasmas, virus, bacterias, protistas y hongos. Esto es importante para familiarizar a los agricultores y los asistentes técnicos con los síntomas causados en las plantas o frutos de las enfermedades más comunes en esta localidad. También se abordan estrategias para el manejo fitosanitario con herramientas como el diagnóstico (clásico y molecular), y se describen técnicas de identificación y cuantificación del patógeno. El

propósito es que los agricultores y asistentes técnicos tengan una herramienta de consulta a la mano y aprendan a hacer las observaciones y preguntas importantes para el diagnóstico temprano y correcto de las enfermedades que afectan los cultivos. Un diagnóstico a tiempo y acertado es fundamental para evitar pérdidas de la cosecha y de dinero en manejo. Finalmente, se describe la importancia de tener un manejo integrado de plagas y enfermedades que aborde diferentes estrategias, como uso de biocontroladores, rotación de cultivos y manejo químico, entre otras.

Introducción

En la agricultura, el estrés en las plantas debido a factores bióticos y abióticos causa altas pérdidas en los rendimientos. Dentro de los factores abióticos se encuentran las altas y bajas temperaturas, el exceso y el déficit hídricos, y la degradación de las propiedades fisicoquímicas del suelo, entre otros. A su vez, los factores de estrés biótico son provocados por insectos plaga y

fitopatógenos principalmente. Por esto, es esencial que los agricultores y asistentes técnicos realicen seguimiento continuo a los cultivos, se entrenen en la identificación de los insectos plaga que causan daños a las plantas y en el reconocimiento de los síntomas de las principales enfermedades, y conozcan las herramientas que pueden utilizar para reducir los efectos de estos factores de

estrés. En este capítulo se presentan lineamientos para hacer las preguntas correctas en un proceso de diagnóstico de enfermedades, las técnicas más utilizadas para la identificación y cuantificación de los agentes causales, e información actualizada sobre los principales métodos de control de fitopatógenos, lo cual resulta útil para

establecer estrategias de manejo eficientes. Los principales patógenos que causan enfermedades en las plantas y amenazan la producción de alimentos son bacterias, fitoplasmas, virus, hongos y protistas. Su conocimiento es necesario para identificarlos, entender su biología y encontrar la mejor manera de controlarlos.

Enfermedades causadas por bacterias

Las bacterias son microorganismos unicelulares, con un tamaño de 1 a 10 μm . Carecen de una membrana que encierre su material genético en un núcleo, tienen pared celular y presentan diferencias estructurales entre las gramnegativas y las grampositivas (Silhavy et al., 2010). Una de sus características principales es que pueden permanecer latentes por largos periodos en el suelo o en hospederos alternos como plantas arvenses, hasta que las condiciones ambientales sean favorables (Agrios, 2005). Las bacterias penetran el tejido vegetal por diferentes vías, tales como estomas, hidátodos o heridas, y se propagan de una planta a otra generalmente por la salpicadura de la lluvia o el agua de riego, y muy rara vez por acción del aire. Las bacterias a menudo causan pudriciones, ya que maceran el tejido de las plantas (figura 56).

Por otro lado, están los fitoplasmas y espiroplasmas, microorganismos que carecen de pared celular, con genomas muy pequeños rodeados por una membrana unicelular, y que generalmente se transmiten por insectos vectores. Los síntomas causados por estos patógenos se parecen mucho a los producidos por los virus (Marccone, 2010). Hasta ahora, los fitoplasmas y espiroplasmas no se han podido cultivar *in*

vitro, y para poder confirmar su presencia, se debe hacer uso de herramientas moleculares o pruebas serológicas, las cuales se describen más adelante en este capítulo. Las enfermedades causadas por fitoplasmas son poco conocidas en Colombia (Filgueira et al., 2004; Franco-Lara & Filgueira,



Figura 56. Pudrición en cabeza de coliflor causada por la bacteria *Pseudomonas* spp.
Foto: Eliana Revelo Gómez

2005; Mejía et al., 2011). El primer reporte en Colombia de los fitoplasmas *Candidatus Phytoplasma* spp., causantes de la enfermedad denominada *punta morada de papa* (PMP), data del primer semestre de 2021, en el departamento de Nariño, y sus síntomas se muestran en la figura 57.

El ICA estableció las medidas fitosanitarias para la vigilancia y control del insecto *Bactericera cockerelli* Šulc (Hemiptera:

Triozidae), vector del fitoplasma causal de esta enfermedad (ICA, 2021) (figura 58). En la actualidad, la mejor medida de control de esta enfermedad es la prevención mediante uso de semilla de papa certificada, desinfección de herramientas y monitoreo del insecto transmisor (*B. cockerelli*) con trampas amarillas en la periferia del cultivo (Castillo et al., 2018; ICA, 2021).



Figura 57. Síntomas de la enfermedad punta morada de la papa (PMP), causada por fitoplasmas *Candidatus Phytoplasma* spp. a. y b. Entorchamiento y tonalidades violáceas en foliolos apicales; c. y d. Tubérculos aéreos.

Fotos: Juan Vicente Romero



Figura 58. Estadios de *B. cockerelli*, vector del fitoplasma causal de la enfermedad punta morada en solanáceas. a. Huevo; b. Ninfas; c. Adulto; d. Oviposición en folíolos de papa.

Fotos: Juan Vicente Romero

Enfermedades causadas por virus

Los virus son partículas infecciosas, su genoma consiste en una cadena simple o doble de ADN o ARN, y generalmente están cubiertos por una cápside de proteína. Por lo general, en la naturaleza no pueden sobrevivir sin otro organismo (Agrios, 2005). Las plantas son los principales hospederos de los virus fitopatógenos, aunque también sobreviven en artrópodos (sus principales vectores), quienes los transmiten de una planta a otra cuando se alimentan de estas. Hay algunos nemátodos de la familia Longidoridae que son vectores de virus.

Otro mecanismo importante para la propagación de los virus es el contacto humano, cuando las personas manipulan directamente o con herramientas plantas

infectadas y después tocan otras que no lo están, lo que produce su transmisión mecánica (Agrios, 2005).

Generalmente, los virus invaden las plantas de manera sistémica, y esto hace que todos los órganos (hojas, flores, tallos, raíces, semillas e incluso polen) estén infectados. En la agricultura, la fuente primaria de los virus son las plantas hospederas (arvenses u otros cultivos), la propagación vegetativa (trasplantes, división y esquejes), los vectores (artrópodos principalmente y en algunos casos nemátodos y el ser humano) y las semillas infectadas (Agrios, 2005). En los cultivos de Nariño, los virus más relevantes de la papa son el PVV (siglas en inglés de *Potato Yellow Vein Virus*, el virus

del amarillamiento de las venas), el complejo de virus de mosaico rugoso en papa PVX y

PYV, y el virus del rayado fino del maíz (MRFV) (figuras 59a, 59b, 59c).



Figura 59. Virus relevantes en los cultivos de papa en Nariño. a. Virus del amarillamiento de las venas PYVV; b. Complejo de virus de mosaico rugoso PVX y PYV; c. Virus del rayado fino del maíz MRFV.

Fotos: Eliana Revelo Gómez

Enfermedades causadas por hongos

Estos organismos causan la mayoría de enfermedades en las plantas (Dean et al., 2012). La gran mayoría carece de clorofila, tiene pared celular y ADN en el núcleo, el cual está rodeado por una membrana (eucariotas). Producen estructuras filamentosas denominadas *hifas*, que en su conjunto reciben el nombre de *micelio*. La identificación de estos organismos se basa principalmente en la forma y naturaleza de las esporas de reproducción sexual y asexual, llamadas *conidios*, *esporangios* y *cuerpos fructíferos*. La estructura de las hifas y los aspectos de la morfología son utilizados para su clasificación. Las esporas asexuales (conidios y esporangios) son las principales fuentes de inóculo e infección de los cultivos. Otra estructura asexual muy importante en la epidemiología de los hongos son las *clamidosporas*, células vegetativas

de paredes celulares gruesas que sirven como estructuras de supervivencia, y que pueden permanecer por muchos años en ausencia de un hospedero (Agrios, 2005).

Los hongos ocupan una gran variedad de nichos ecológicos. Algunos son patógenos obligados, lo que significa que solo pueden sobrevivir en un hospedero vivo, como los mildes polvosos (figuras 60a, 60b). Otros se especializan en infectar uno o muy pocos hospederos como las royas (figuras 60c, 60d), y algunos son patógenos del follaje y las flores, aunque también pueden sobrevivir como saprófitos en materia orgánica, mientras que los hongos de suelo pueden vivir libremente en este, en la materia orgánica, en raíces o en otros tejidos. También están los que tienen la habilidad de infectar un amplio espectro de plantas, como *Fusarium* sp. (figuras 60e, 60f). La dispersión de

hongos se da principalmente por medio del viento, que puede transportar conidios y esporangios a largas distancias. Las esporas

también se dispersan por la lluvia, el sistema de irrigación, el suelo contaminado y las semillas o plántulas infectadas.

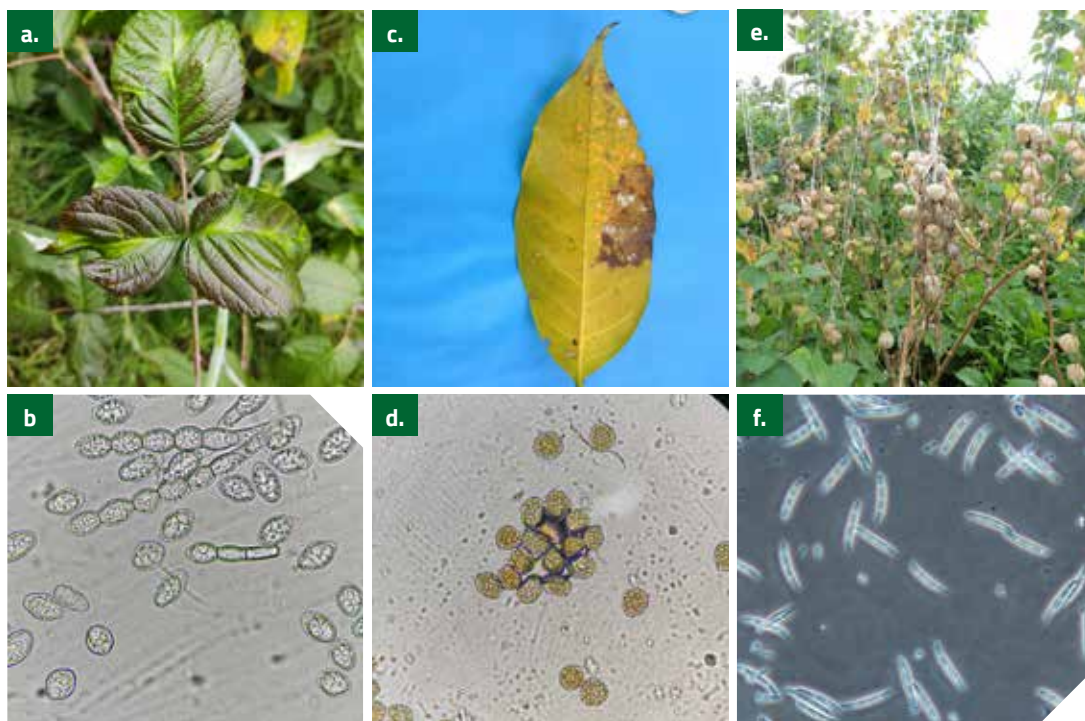


Figura 60. Hongos patógenos de plantas. a. *Sphaerotheca pannosa* (mildeo polvoso) en mora, patógeno obligado (síntomas en planta); b. Vista de esporas de *S. pannosa* bajo microscopio; c. *Hemileia vastatrix* (roya del café), el cual infecta pocos hospederos (síntomas en hoja); d. Vista de esporas de *H. vastatrix* bajo microscopio; e. *Fusarium oxysporum*, el cual puede infectar un amplio rango de hospederos (síntomas en planta de uchuva); f. Vista de esporas de *F. oxysporum* bajo microscopio.

Fotos: Eliana Revelo Gómez (a y b), Donald Riascos (c y d), Edwin Rodríguez (e y f)

Enfermedades causadas por protistas

Hay dos grupos de microorganismos fitopatógenos que se clasifican como protistas. El primero pertenece al filo Plasmodiophoromycota, el cual incluye a *Plasmodiophora brassicae*, agente causal de la hernia de las crucíferas, y a *Spongospora subterranea*, causante de la sarna polvorienta de la papa. Estos microorganismos son patógenos habitantes del suelo y producen zoosporas móviles (Agrios, 2005).

El segundo grupo pertenece al filo Oomycota, que incluye patógenos de alta importancia agronómica como los mildes vellosos (*Bremia* spp., *Peronospora* spp., *Plasmopara* spp., y *Pseudoperonospora* spp.), el damping-off (*Pythium* spp.), el tizón tardío en especies solanáceas, los patógenos responsables de otras enfermedades que afectan diferentes especies cultivadas (*Phytophthora infestans* y otras especies



Figura 61. Protistas encontrados en lotes visitados en Nariño. a. *Plasmidiophora brassicae*, causal de la hernia en crucíferas; b. *Phytophthora infestans*, causal de la gota en papa.

Fotos: Eliana Revelo Gómez

del género), y otros como *Aphanomyces* spp. y *Albugo* spp. La mayoría de estos microorganismos son habitantes naturales del suelo, aunque hay algunas excepciones como ciertas especies de *Phytophthora* y la mayoría de los mildeos vellosos, los cuales son considerados patógenos foliares, pero parte de su ciclo de vida tiene lugar en el suelo (Agrios, 2005). La mayoría de especies de oomicetos producen zoosporas con

flagelos que les permiten moverse fácilmente en el agua del suelo (Agrios, 2005). Los esporangios de estos microorganismos son dispersados por el viento en su mayor parte, pero también por agua. Los dos patógenos encontrados más a menudo en los lotes visitados en Nariño fueron *Plasmidiophora brassicae* en crucíferas, y *Phytophthora infestans* en papa (figuras 61a, 61b).

Preguntas clave para un diagnóstico correcto de enfermedades

El diagnóstico de enfermedades es el primer paso para un manejo adecuado del cultivo. Este es un proceso investigativo, que requiere una observación exhaustiva y una estrategia para solucionar los problemas fitosanitarios. Las observaciones deben ser tanto del momento del diagnóstico como de datos históricos, ya que entre más información se obtenga, mucho mejor. Por esto, los agentes de extensión agrícola y el productor deben tener un cuaderno en el que consignen los problemas que ocurrieron y en qué periodo (mes con mayor

incidencia), la cantidad de lluvia (precipitación en mm) y la temperatura promedio, entre otros datos. El proceso de diagnóstico debe ser sistemático, organizado, y en él se debe mantener una mente abierta para no sesgarse con una sola causa del problema. Es importante hacer un recorrido por todo el cultivo y observar cuidadosamente las plantas, el área de siembra y las zonas circundantes (Koike et al., 2007).

A continuación, se proponen algunas preguntas que ayudan a tener un buen diagnóstico en campo:

Preguntas relacionadas con plantas sanas: ¿Cuál es el nombre del cultivar utilizado? ¿Este cultivar en particular es resistente o susceptible a los patógenos que se encuentran en la zona? ¿Este cultivar es susceptible a factores abióticos como salinidad del suelo, acidez (pH), alta o baja humedad en el suelo, etc.? ¿Se ha hecho un análisis de las propiedades fisicoquímicas del suelo antes de la siembra? ¿Es el tipo de suelo adecuado para el cultivo?

Preguntas relacionadas con plantas enfermas: ¿Qué partes de la planta están afectadas (raíces, hojas, tallo, fruto, etc.)? ¿Cómo se distribuyen los síntomas (en ramas viejas, hojas nuevas, etc.)? ¿Cómo eran los síntomas iniciales? ¿Cómo se diferencian de los síntomas bien desarrollados? ¿Hace cuánto tiempo se presentan los síntomas en el cultivo? ¿En qué estado fenológico se ven afectadas las plantas (semilla, plántula, planta desarrollada, durante la formación de flor o fruto, planta senescente, etc.)? ¿Se pueden ver síntomas similares en otras especies de plantas,

tanto en arvenses de los alrededores como en otros cultivos, o el patógeno está restringido a una especie en particular? ¿Se pueden asociar las plantas afectadas a un determinado lote de semillas, a esquejes o semilleros provenientes de un sitio en particular? ¿Los síntomas se presentan según un patrón determinado (localizado) en el lote o se distribuyen en las plantas de manera aleatoria? ¿Cuál es la fuente de agua que se utiliza para el riego? ¿Cada cuánto riega y en cuánta cantidad? ¿Hay zonas del terreno propensas a inundarse? ¿Los síntomas se asocian a zonas del terreno que tienden a inundarse? ¿Cuál es el manejo dado al cultivo? ¿Qué productos usa para fertilizar y controlar plagas y enfermedades? ¿Qué manejos culturales lleva a cabo: podas, rotación de cultivos, otros?

Las anteriores preguntas ayudan a entender mejor el problema. Con las herramientas apropiadas, permiten llegar a un diagnóstico correcto, para dar un manejo adecuado al problema fitosanitario.

Técnicas de diagnóstico de enfermedades

El conocimiento de los diversos agentes causales permite diseñar planes de control sostenibles a mediano y largo plazo en el ámbito social, económico y ambiental, en los municipios de Nariño.

El diagnóstico macroscópico de algunas enfermedades se puede hacer directamente en campo. Para esto, es necesario conocer de antemano los síntomas de la enfermedad en cada cultivo y las situaciones que hacen susceptibles a las plantas (clima de la temporada, prácticas culturales y otros factores). Una entrevista a los agricultores, enfocada en las preguntas de diagnóstico mencionadas arriba, permite

conocer el contexto del cultivo, para que la información pueda ser contrastada con las sospechas. Ejemplos de enfermedades que pueden ser diagnosticadas por este método son la hernia de las crucíferas (figura 62a), cuyos síntomas característicos son el atrofiamiento de las plantas y la aparición de agallas en raíz (además de que la afección se presenta en crucíferas), y el virus del amarillamiento de la papa, condición en la cual las hojas de la papa presentan venas amarillas (figura 62b).

En caso de que no se pueda hacer un diagnóstico directamente en campo, se recolectan muestras vegetales de tejido sano

y con síntomas, para ser tratadas en laboratorio y realizar el diagnóstico microscópico. Para esto, se deben obtener cultivos de los microorganismos patógenos puros a partir del tejido vegetal recolectado en campo, según procedimiento descrito en la figura 63. El tejido vegetal se desinfecta superficialmente: se sumerge en alcohol al 70 % por un minuto, luego en hipoclorito de sodio al 2 % por 30 segundos y finalmente se hacen lavados con agua estéril. El tejido desinfectado se coloca en un medio nutritivo, específico para el aislamiento de bacterias, hongos o protistas.

Para caracterizar las bacterias, se lleva a cabo una descripción morfológica de las colonias (color, forma, tamaño) y otra microscópica con tinción de Gram, la cual diferencia las bacterias gramnegativas de las grampositivas mediante variaciones en la pared celular (figura 64). En el caso de hongos, se describe morfología y color del micelio a partir de lo observado en el cultivo de cajas de Petri y se hace descripción microscópica

de estructuras de reproducción como conidios o esporangios (figura 65).

Después de aislar los microorganismos en cultivo puro, se puede realizar una identificación molecular. De este cultivo puro se extrae el ADN mediante protocolos especializados para bacterias (Wilson, 2001) y hongos (Griffith & Shaw, 1998). Con el ADN de cada microorganismo se lleva a cabo una reacción en cadena de la polimerasa (PCR) con genes conservados, por lo general *16S* para bacterias (DeParasis & Roth, 1990) e *ITS* para hongos (Goodwin et al., 2001). La PCR consiste en ciclos térmicos y reactivos que producen millones de copias de los genes mencionados arriba (figura 66). Este ADN amplificado se secuencia para obtener el código genético de los genes de cada microorganismo. Las secuencias se contrastan con bases de datos como el National Center for Biotechnology Information (NCBI) (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) y esto permite clasificar la especie en la mayoría de los casos.



Figura 62. Enfermedades en las que es posible hacer un diagnóstico macroscópico, basado en los síntomas. a. Hernia de las crucíferas causada por el patógeno *Plasmodiophora brassicae*; b. Amarillamiento de las venas de la papa, causado por el virus PVV.

Fotos: Carlos Andrés Moreno Velandia (a), Eliana Revelo Gómez (b)

Procedimiento para aislar microorganismos de tejido vegetal con síntomas de enfermedad

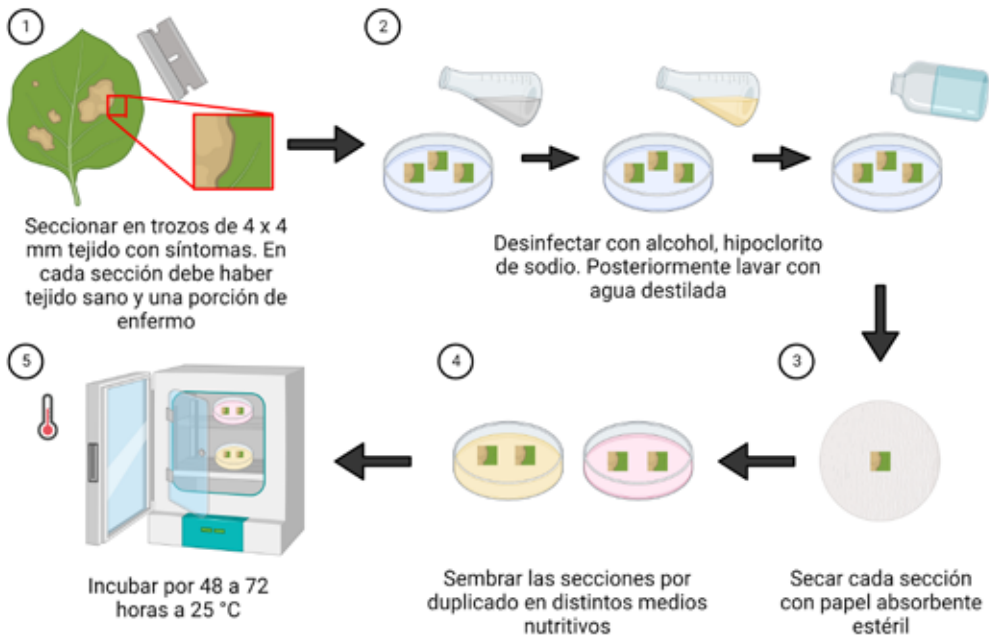


Figura 63. Procedimiento para aislar bacterias, hongos o protistas de tejido vegetal con síntomas de enfermedad.

Fuente: Elaboración propia

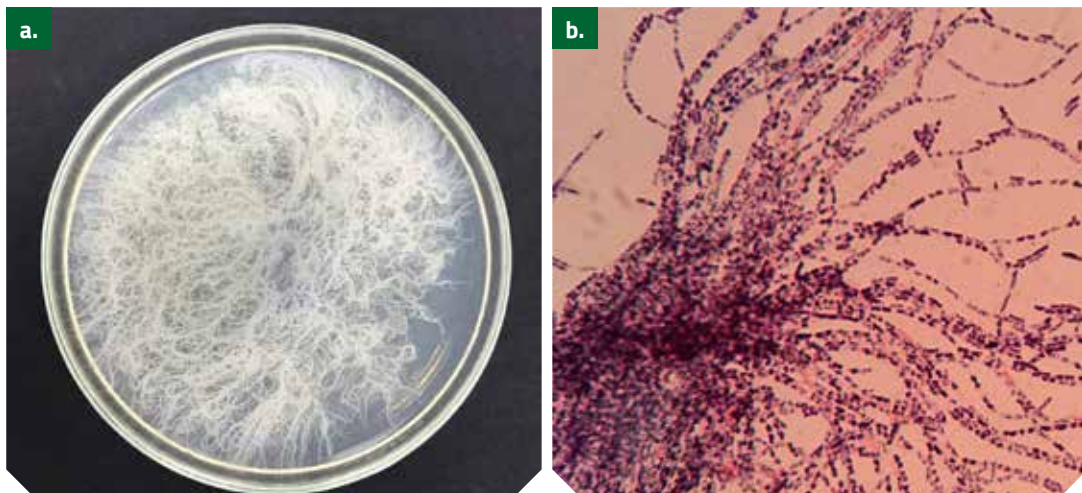


Figura 64. Identificación de la bacteria *Bacillus mycoides*. a. Aislamiento de tejido foliar de repollo; b. Microscopía luego de realizar tinción de Gram.

Fotos: Alejandro Villabona Gelvez

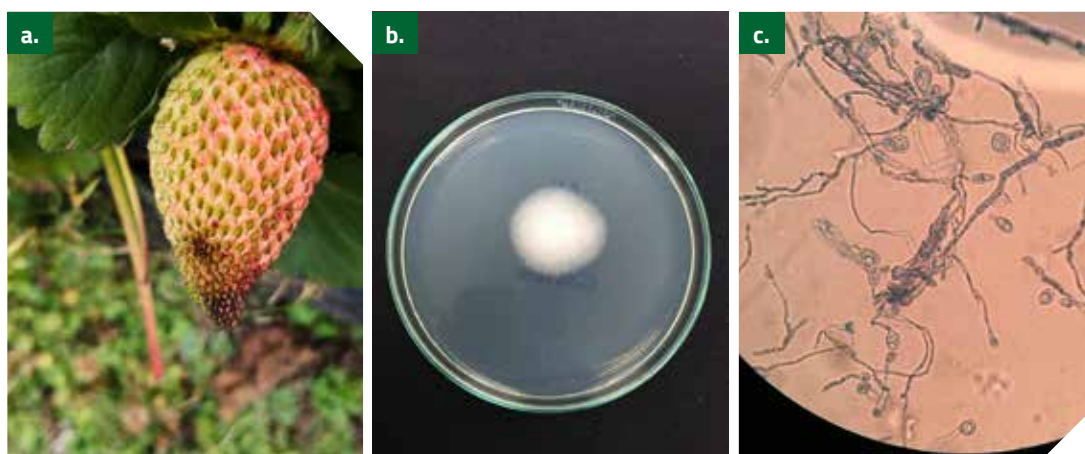


Figura 65. Identificación del hongo *Colletotrichum nymphaeae*. a. Fruto de fresa con sintomatología típica de inicios de momificación; b. Ejemplo de aislamiento de hongo en medio de cultivo papa dextrosa agar (PDA); c. Microscopía luego de realizar tinción con azul de lactofenol con evidencia de conidios.

Fotos: Carlos Andrés Moreno Velandia (a), Alejandro Villabona Gelvez (b y c)

Importancia de la complementariedad de los tipos de diagnóstico

En lo posible, se deben utilizar los tres tipos de diagnóstico para tener un dictamen más certero, ya que la información arrojada por cada método sirve como soporte y se contrasta con los datos de los otros. Cabe mencionar, sin embargo, que el flujo de trabajo a veces presenta fallas debido al crecimiento de microorganismos que no son el verdadero agente etiológico y que

puede haber contaminación en la muestra durante los tiempos de colecta y procesamiento. En otras ocasiones, el patógeno es un biótrofo obligado, es decir, no puede ser cultivado en condiciones de laboratorio. Adicionalmente, los síntomas pueden ser producto de un consorcio de microorganismos, de una combinación de estrés abiótico y biótico, o de otros factores.

Toma de decisiones para el manejo de enfermedades: muestreo y cuantificación

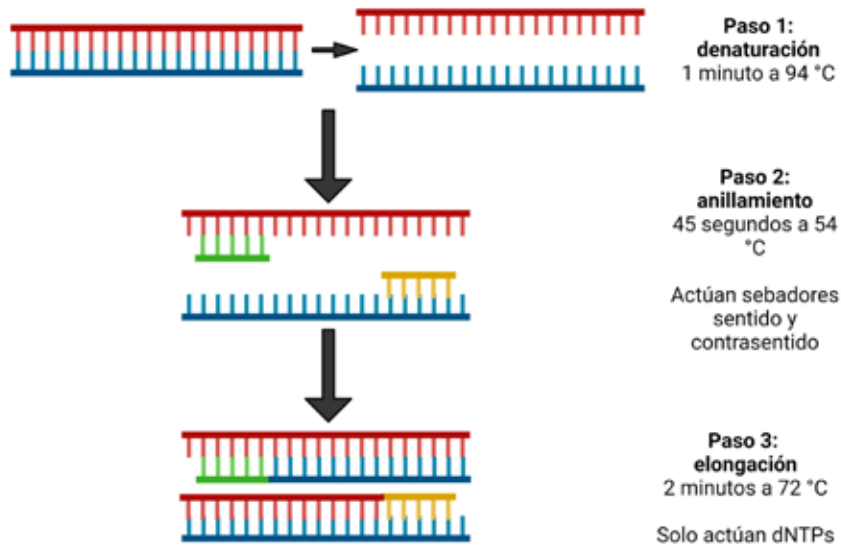
Una vez identificado el agente causal, se debe hacer un plan de manejo de la enfermedad. La toma de decisiones para este manejo debe basarse en uno o varios de los siguientes criterios:

1. **Intensidad de la enfermedad:** Las estrategias de control o manejo de patógenos

se ponen en práctica cuando la enfermedad alcanza el umbral de acción, es decir, la decisión de control se toma después de determinar la incidencia o severidad de la enfermedad (ver abajo, "Cuantificación de enfermedades de plantas") para prevenir que la población

a.

Pasos de la PCR (reacción en cadena de la polimerasa)



b.

Amplificación exponencial

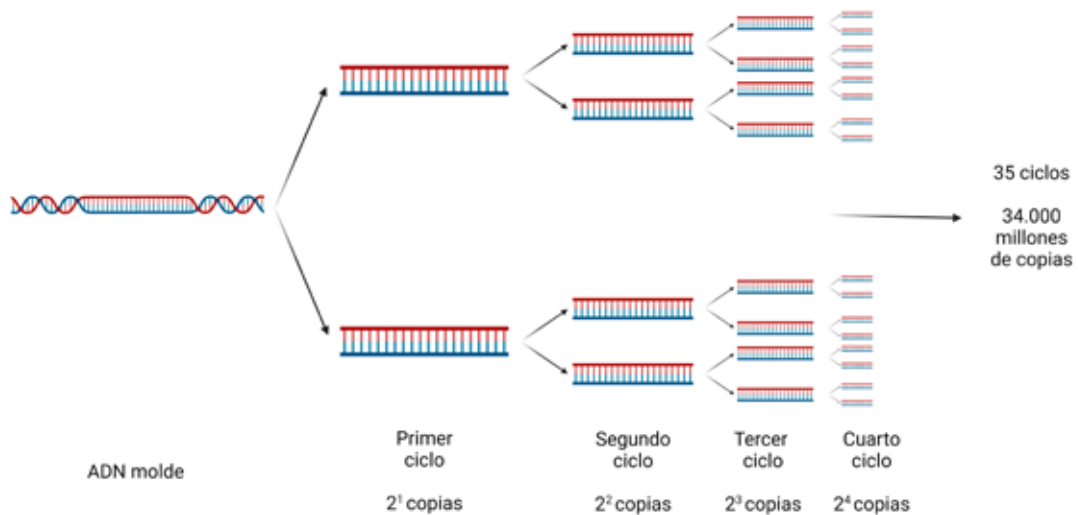


Figura 66. Pasos generales de la PCR. a. La cantidad de ciclos, el tiempo y la temperatura varían según los reactivos y el material genético objetivo que se amplifica; b. Ejemplo de por qué las regiones de ADN objetivo son amplificadas de manera exponencial en cada ciclo.

Fuente: Elaboración propia

del patógeno alcance el nivel de daño económico (momento en el cual el costo del manejo es mayor que el costo de la producción) (Gholson, 1987).

2. *Fases críticas:* En algunas especies de importancia agronómica se ha identificado una resistencia relacionada con la edad, lo que quiere decir que uno o varios estados fenológicos de la planta pueden permanecer inmunes al patógeno. Por lo tanto, las estrategias de manejo deben concentrarse en los estados susceptibles (Calonnec et al., 2018; Ficke et al., 2002).

3. *Sistemas de alerta temprana de enfermedades:* Se usan para predecir un brote de la patología en un área y tiempo específicos, con base en condiciones ambientales favorables para el desarrollo de la enfermedad. Permiten saber cuándo y dónde es más probable que la enfermedad sea un problema (Murmu et al., 2020). Implementar estos criterios en la toma de decisiones de manejo permite reducir los costos de producción ya que disminuye el número de aplicaciones de productos de síntesis química, y de control biológico y cultural.

Cuantificación de enfermedades de plantas

Esta acción es necesaria para monitorear epidemias, estimar pérdidas de producción, seleccionar materiales resistentes a una enfermedad y evaluar el efecto de los tratamientos (químico, biológico, cultural) (Bock et al., 2022; Nutter et al., 1991). Una

incorrecta cuantificación puede resultar en desperdicio de recursos económicos, incremento de la enfermedad, pérdidas en producción o en una reducida rentabilidad (Bock et al., 2022).

Tipos de muestreo para estimación de enfermedades de plantas

Un criterio para definir el tipo de muestreo que se va a implementar es el patrón de distribución de la patología. Por ejemplo, una enfermedad repartida de manera uniforme en el cultivo requiere pocas muestras para una evaluación exacta, en comparación con una enfermedad con un patrón de distribución en parches o focos (Lin et al., 1979). El tamaño de muestra es más importante que el diseño del muestreo si la patología presenta un patrón de distribución aleatorio, mientras que el diseño de muestreo es más importante en enfermedades con

patrón de distribución agregado (Lin et al., 1979). Existen cuatro tipos de muestreo:

1. *Sistemático:* Se evalúa la enfermedad con recorridos del cultivo que cubren el tamaño del lote o terreno. Las unidades de cultivo (plantas, hojas, inflorescencias, etc.) se pueden tomar de manera aleatoria, cada diez pasos y caminando en diagonal, en X , W o según un patrón de diamante (Brown & Keane, 1997). El muestreo sistemático es de rápida implementación y bajo costo en términos de logística y recursos humanos. Sin embargo, durante la estimación de

la intensidad pueden quedar sitios del lote sin evaluar, con el resultado de una posible subestimación o sobrestimación de la cantidad de la enfermedad.

2. *En clúster*: Se muestrean N unidades de n individuos. En cada unidad se evalúan todos los individuos.
3. *Multietapa*: Similar al muestreo en clúster, con la diferencia de que no todos los

individuos de la unidad de muestreo son evaluados (Madden & Hughes, 1999).

4. *Aleatorio estratificado*: La población entera del campo se divide en estratos o sectores uniformes. Una vez hecho esto, se colecta o evalúa en cada sector una muestra elegida de manera aleatoria (Delp et al., 1986).

Métodos directos para estimar enfermedades

Incidencia

Corresponde a la proporción de especímenes enfermos o al número de plantas afectado dividido por el total de plantas evaluadas. Se expresa en porcentaje y se estima con base en la presencia o ausencia de síntomas en la población de plantas evaluadas, por lo cual se considera una variable binaria (Madden & Hughes, 1999). Se evalúan plantas completas cuando hay

enfermedades sistémicas, inflorescencias en caso de carbones, y hojas cuando hay manchas foliares o royas. Si las enfermedades son de naturaleza viral, los síntomas pueden confundirse con deficiencias nutricionales. Por lo tanto, una correcta estimación viral demanda pruebas serológicas tipo ELISA o moleculares tipo PCR (Madden & Hughes, 1999).

Severidad

Es el área afectada por una enfermedad en una unidad de muestreo (superficie de la planta), expresada como porcentaje o proporción del área total (Nutter et al., 1991; Madden & Hughes, 1999). Esta variable es continua y se puede registrar con

escalas de la afección y con ilustraciones específicas que indican el área enferma en especímenes (también conocidas como *diagramas de área estándar* [SAD, por sus siglas en inglés]).

Métodos indirectos para estimación de enfermedades

Trampas de esporas

Este método asume que la producción de esporas está directamente relacionada con la cantidad de enfermedad en el cultivo, lo cual no siempre es así. La ventaja es que la evaluación se puede llevar a cabo sin

necesidad de hacer recorridos dentro de los cultivos, una práctica que puede alterar la tasa de dispersión de la enfermedad (Brown & Keane, 1997).

Sensores

Los patógenos alteran la fisiología de las plantas y causan modificaciones de tipo morfológico (síntomas) y bioquímico (cambios en actividad fotosintética y transpiración, incremento en respiración, liberación de compuestos orgánicos volátiles [COV]) que pueden ser detectadas con percepción remota (adquisición de información sin contacto físico con la planta), mediante sensores basados en imágenes digitales, fluorescencia de la clorofila, imágenes espectrales y termográficas, y detección de COV (Mahlein et al., 2018; Oerke, 2020).

Las siguientes son las ventajas del uso de sensores en la agricultura:

1. *Evaluación de enfermedades:* Contrario a los métodos directos basados en laboratorio, los cuales son invasivos, destructivos y cubren solo una muestra representativa, las aproximaciones basadas en sensores permiten potencialmente el monitoreo repetido de todas las plantas del cultivo.
2. *Control de enfermedades en sitio específico:* Sobre todo cuando las enfermedades

presentan una distribución heterogénea, lo cual reduce de manera significativa las aplicaciones de fungicidas, dado que estas se hacen solo donde existen plantas enfermas. Lo ideal es que los sensores sean capaces de detectar una desviación del estado de salud del cultivo debido a patógenos, identificar la enfermedad y cuantificar su severidad (Jurišić et al., 2021; Mahlein et al., 2018; Oerke, 2020).

Los métodos directos e indirectos para estimar la cantidad de enfermedad en plantas, con sus ventajas y desventajas, son de uso actual y constituyen una importante herramienta para la toma de decisiones de manejo. Su aplicación práctica, previa determinación de umbrales de acción y puntos críticos, permite desplegar estrategias de manejo solo en momentos necesarios, con lo cual se reducen los costos de producción relacionados con esquemas de control basados en aplicaciones de pesticidas según calendario.

Manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE)

El MIPE ha sido definido a partir de distintas perspectivas, desde las más pragmáticas, como el uso combinado de técnicas de manejo para reducir los daños causados por plagas y enfermedades, hasta otras más complejas que incluyen conceptos filosóficos y ecológicos (Van Lenteren et al., 2020). En este capítulo, se sigue una definición que aborda aspectos biológicos, ecológicos y económicos:

El MIPE es una combinación de prácticas agrícolas duraderas, justificables desde el punto de vista medioambiental, toxicológico y económico, para prevenir daños causados por plagas y enfermedades, mediante el uso de factores naturales que limitan el crecimiento de la población de plagas y el desarrollo de enfermedades, recurriendo a otras medidas, preferiblemente no químicas, en caso de ser necesario. (Van Lenteren, 1993, p. 217)

Componentes del MIPE

El MIPE requiere un conocimiento previo del patógeno o insecto plaga, del cultivo y del ecosistema en el que se ha establecido, lo cual permite definir el flujo de acciones que deben ser puestas en marcha. Los siguientes son los principios que deben tenerse en cuenta para la implementación

de un esquema MIPE: prevención y supresión; seguimiento, toma y análisis de datos; determinación de umbrales; aplicación de métodos no químicos; selección de plaguicidas; uso racional de plaguicidas; aplicación de estrategias antirresistencia, y evaluación (Barzman et al., 2015).

Control cultural

Es la alteración intencional del sistema de producción para reducir las poblaciones de patógenos o plagas y de este modo evitar daños en los cultivos. Por otro lado, las prácticas culturales se refieren al manejo que da un agricultor al ambiente, con el fin de mejorar la producción (Emmanuel et al., 2016).

El fin de las prácticas culturales y los métodos de control es que las plantas eviten el contacto con el patógeno, erradicándolo o reduciendo su abundancia. El control cultural es el método más económico. Contribuye al crecimiento de microorganismos antagonistas del patógeno: crea un ambiente menos favorable para este último y más benéfico para sus enemigos naturales (Agris, 2005). Ejemplos de labores consideradas dentro de este método de control son los siguientes: uso de semillas certificadas libres de enfermedades, selección de suelos adecuados, distancias de siembra que permitan una mejor aireación, rotación de cultivos, riego, fertilización adecuada, aplicación de enmiendas, medidas sanitarias como control de arvenses, poda, eliminación de plantas enfermas, desinfección de calzado y herramientas de uso frecuente. Estas y otras prácticas limitan las condiciones ambientales favorables para los patógenos, y afectan la disminución de inóculos y el desarrollo de enfermedades

(Agris, 2005; Céspedes León & Vargas, 2021; Correa et al., 2017).

Selección y preparación del suelo para la siembra

La elección de un área adecuada para el desarrollo de un cultivo se debe realizar con base en las características físicas y nutricionales del suelo, pensando en obtener los mejores rendimientos posibles y en proteger el cultivo y la sanidad de las plantas. La labranza reduce la compactación del suelo, redistribuye sus componentes, incrementa su drenaje y aireación y aumenta la temperatura, acelerando el secado. Estos cambios ambientales y físicos en el suelo pueden tener efecto sobre la microbiota y dar ventaja a los microorganismos antagonistas frente a los patógenos (Abawi & Widmer, 2000; Esaiyas, 2018).

Una recomendación del ICA es implementar programas de fertilización con base en análisis de suelos (Alarcón Restrepo et al., 2012), a fin de asegurar un óptimo desarrollo vegetal y limitar el crecimiento de algunos microorganismos nocivos.

Los patógenos del suelo pueden sobrevivir por largos periodos e incluso aumentar la cantidad de inóculo si se realizan siembras consecutivas de plantas hospederas, lo que aumenta la severidad de la

enfermedad y dificulta su control. Por esta razón se recomienda conocer el historial del terreno y los ciclos de cultivo, y diseñar planes de rotación de cultivos (Jaramillo N., 2001). En cuanto a las plagas, la adecuada preparación del suelo es una buena práctica de control, ya que expone los huevos, larvas y pupas de los insectos a condiciones abióticas y bióticas, lo que disminuye la población de plagas que vienen del cultivo anterior y que pueden afectar el siguiente ciclo (Jaramillo N., 2001).

Cobertura vegetal

Los cultivos de cobertura se integran a los sistemas productivos con el fin de mantener o mejorar su estabilidad, y esto produce cambios en las propiedades del suelo que favorecen la biodiversidad del ecosistema agrícola (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], s. f.).

Sin embargo, no se puede asumir que las alteraciones en las propiedades físicas, químicas y biológicas siempre serán benéficas, ya que pueden reducir o aumentar la severidad de las enfermedades en plantas según las especies y/o los cultivares usados (Stone & Darby, 2020). Una cobertura vegetal puede actuar como hospedera de patógenos del suelo o puede ser una forma efectiva de control biológico de otros patógenos de

plantas. Incorporar residuos de coberturas vegetales puede aportar materia orgánica que estimula el crecimiento de un patógeno o, como en algunos cultivos de brásicas, disminuir las poblaciones del suelo (Baldwin & Creamer, 2006). Algunos beneficios de esta práctica son la retención de nutrientes, una menor erosión por corrientes de agua, el aumento de materia orgánica en el suelo, la retención de humedad, el reciclaje de nutrientes como fósforo y potasio de modo que queden disponibles para próximos cultivos, el aumento de microorganismos benéficos como las micorrizas, la reducción en la incidencia de ciertos patógenos, la supresión de malezas, y la disminución del gasto en fertilizantes por el potencial de fijación de nitrógeno de algunas especies como las leguminosas (Daryanto, et al., 2018).

Manejo de las distancias de siembra

La diseminación de organismos patógenos como hongos, bacterias y nemátodos en un cultivo se lleva a cabo mediante agentes de dispersión como agua, viento, insectos, animales o herramientas. Mantener distancias de siembra entre cultivos, hileras y plantas es una práctica cultural importante para evadir patógenos y minimizar la aparición de enfermedades (Agrios, 2005) (tabla 18).

Tabla 18. Cantidad de semillas por gramo y distancias de siembra de hortalizas

Cultivo	Semilla/gramo	Distancia entre hileras (m)	Distancia entre plantas (m)
Acelga	60-80	0,20-0,40	0,20-0,30
Ajo	-	0,20-0,25	6-8
Apio	250-300	0,30-0,40	0,30-0,40
Arveja	3-6	1,0-1,20	0,10-0,15
Brócoli	175-275	0,5-0,80	0,35-0,4
Calabacín	4-10	1,0-1,20	0,80-1,0
Cebolla de bulbo	250-350	0,3-0,40	0,10-0,15
Cebolla de rama	240-350	0,50-0,60	0,30-0,40
Cilantro	100-200	0,25-0,30	0,20-0,30
Col	280-420	0,50-0,60	0,40-0,50
Col china	60-80	3,0-4,0	0,30-0,40
Col de Bruselas	250-350	1,0-1,20	0,50-0,60
Coliflor	250-400	0,40-0,5	0,40-0,5
Endivia o escarola	600-900	0,60-0,70	0,20-0,30
Espárrago	-	0,80-1,0	0,30-0,40
Espinaca	90-125	0,20-0,30	0,10-0,20
Haba	-	0,70-1,0	0,30-0,40
Habichuela	4-6	1,0-1,20	0,20-0,30
Lechuga Batavia	800-900	0,30-0,40	0,30-0,40
Melón	25-50	1,0-1,50	0,40-0,50
Pepino	30-40	0,90-1,50	0,20-0,50
Perejil	500-800	0,20-0,30	0,15-0,20
Pimentón	150-170	0,80-1,20	0,40-0,50
Rábano	75-140	0,15-0,20	0,30-0,40
Remolacha	65-75	0,20-0,30	0,10-0,15
Repollo	200-250	0,40-0,50	0,40-0,5
Tomate indeterminado	300-340	1,0-1,50	0,25-0,40
Zanahoria	500-850	0,15-0,20	0,05-0,10
Zapallo	5-8	2,5-4,0	2,2-5

Fuente: Elaboración propia con base en Jaramillo N. (2001)

Siembra intercalada

La práctica de sembrar dos o más especies de cultivos intercalados se usa por el beneficio económico que implica. También es una acción efectiva para reducir la incidencia de plagas y enfermedades. Algunos ejemplos son las asociaciones maní-cilantro, maíz-haba, maíz-quinua o maíz-soya, en las que se potencia la actividad de predadores como mariquitas o arañas y se reduce el desarrollo de arvenses (Emmanuel et al., 2016). También es común sembrar plantas de aromas fuertes, que actúan como repelentes de insectos, como perejil, menta, hierbabuena, ruda, ajenojo, cilantro, ajo y cebolla (Jaramillo N., 2001).

Manejo de la nutrición

Prácticas culturales para el control de enfermedades (como rotaciones, enmiendas orgánicas, encalado, labranza, preparación del suelo, riego) ejercen un efecto en las enfermedades al aumentar o reducir la disponibilidad de nutrientes minerales (Huber & Jones, 2013). El estado nutricional de las plantas afecta su desarrollo y por lo tanto su capacidad de defenderse del ataque de patógenos. Se ha demostrado que los niveles de elementos como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y calcio tienen relación con la susceptibilidad o resistencia de las plantas a algunas enfermedades (Agrios, 2005). Cada cultivo tiene requerimientos nutricionales que deben ser suplidos mediante fertilización, enmiendas y bioinsumos. Para implementar programas de fertilización, primero es necesario conocer la especie y realizar un análisis del suelo donde se va a realizar la siembra.

Rotación de cultivos

Es el principal y más fácil método de control de plagas y enfermedades. Las plagas y patógenos específicos de ciertas plantas continúan incrementándose si se mantiene su hospedero. Por lo tanto, cuando se dejan las mismas especies de plantas cercanas en el mismo suelo y por años consecutivos, los problemas en el cultivo empeoran debido a la acumulación de agentes causales (Emmanuel et al., 2016). Al cambiar regularmente la ubicación del cultivo, los ciclos de plagas y patógenos se interrumpen y por esto se recomienda la sucesión de diferentes sembrados en el suelo a lo largo del tiempo. La rotación se debe realizar con especies de diferentes familias con distintos sistemas radiculares. Además de evitar problemas fitosanitarios, esto favorece la biodiversidad del suelo, y mejora su estructura, su contenido de materia orgánica, y la disponibilidad de nutrientes (Agrios, 2005; Céspedes León et al., 2021). Algunas opciones de un sistema de rotación son frijoles a maíz dulce, hortalizas de hoja a cucurbitáceas, cucurbitáceas a crucíferas y crucíferas a maíz dulce.

Eliminación de plantas enfermas y manejo de residuos de cosecha

Se lleva a cabo con el fin de erradicar plantas hospederas de plagas y patógenos que puedan ser una fuente de inóculo dentro del cultivo, para evitar la propagación de enfermedades (Agrios, 2005). Las plantas donde se observe un foco de infección se deben recoger y eliminar, incinerándolas o enterrándolas lejos del cultivo (Alarcón Restrepo et al., 2012). Los residuos

de cultivos o cosechas anteriores sirven como lugares de hibernación de patógenos y plagas y por esto deben retirarse del terreno y destruirse (Emmanuel et al., 2016). El sistema productivo de hortalizas genera grandes cantidades de residuos, que usualmente el agricultor reincorpora al suelo sin ningún tratamiento previo, como abono para el siguiente ciclo de siembra. Esta práctica puede aumentar las poblaciones de microorganismos nocivos e incrementar las enfermedades en el nuevo cultivo. Los residuos y otros tipos de materia orgánica como hojarasca, desperdicios domésticos, estiércol, pasto, entre otros, deben transformarse mediante un proceso de descomposición controlado (compostaje) para obtener abonos orgánicos, libres de patógenos y que además puedan reducir el gasto de fertilizantes (Jaramillo N., 2001).

Control de arvenses

Las arvenses o malezas sirven como plantas alternas hospederas de patógenos y plagas, y en el caso de los insectos, estas

pueden proveer los recursos necesarios para su desarrollo y el rápido aumento de su población, lo que provoca infestaciones en los cultivos cercanos de hortalizas. En estas últimas, las arvenses hospedan tres grupos de virus: tospovirus, potyvirus y crinivirus. Estos virus se transmiten mediante insectos vectores, como sucede con el virus del bronceado del tomate, cuyo principal vector son los trips de las flores (*Frankliniella occidentalis*). Algunas especies de arvenses como el cenizo (*Chenopodium album*) sirven de hospederos tanto a virus como a vectores (Emmanuel et al., 2016). También existen arvenses benéficas que pueden dar refugio y alimento a los enemigos naturales, por lo que es importante diferenciarlas y mantener las que protejan a los antagonistas de posibles patógenos y plagas. Estas últimas por lo general son plantas con flores o productoras de néctar, las cuales favorecen las poblaciones de parasitoides y predadores de artrópodos fitófagos (Jaramillo N., 2001).

Resistencia genética

El uso de variedades resistentes es una herramienta importante para la supresión de patógenos o poblaciones de plagas, sobre todo en áreas endémicas (Emmanuel et al., 2016). Es uno de los métodos más

efectivos; con su uso se eliminan las pérdidas ocasionadas por las enfermedades y se reduce el empleo de compuestos de síntesis química y la contaminación ambiental (Agrios, 2005).

Control biológico

En la actualidad, está generalizado el conocimiento sobre los riesgos toxicológicos de los plaguicidas, de la contaminación ambiental y del desarrollo de resistencia en los insectos plaga y los fitopatógenos. Esto ha propiciado que el consumidor exija al productor alimentos inocuos, libres de residuos

de plaguicidas químicos y con un proceso productivo responsable con el medio ambiente. El uso en agricultura de cerca de 73 ingredientes activos ha sido prohibido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) y por el Parlamento Europeo, pero en Colombia solo 35 de estos

se encuentran en la lista de productos prohibidos por el ICA (Florverde Sustainable Flowers, 2022). Por esto, se ha planteado que las normas de salud, seguridad y medio ambiente deberían aplicarse con mayor rigor en Colombia, ya que el uso de plaguicidas de síntesis química en el país ha aumentado en cerca de 360 % en los últimos veinte años, y el volumen de plaguicidas utilizado representa cerca de la cuarta parte del usado en países como Brasil y Argentina, los cuales tienen un área cultivada diez veces mayor que la colombiana (Heno Salazar & Gómez Álvarez, 2020).

El uso de agentes de control biológico representa una alternativa inocua, efectiva y duradera, basada en el aprovechamiento de enemigos naturales de los patógenos y de los insectos plaga. El control biológico de insectos plaga y fitopatógenos ha sido definido como “el uso de organismos vivos para suprimir una plaga, reducir su población o su impacto” (Eilenberg et al., 2001). En el control biológico de fitopatógenos, los agentes utilizados son, sobre todo, bacterias y hongos antagonistas.

En el marco regulatorio colombiano, los bioplaguicidas microbianos son considerados un tipo de bioinsumo perteneciente a la categoría de los biocontroladores, tal como sucede con los extractos vegetales y los productos bioquímicos (incluidos los metabolitos secundarios) (Yepes Aristizábal, 2021). En esta sección se refieren exclusivamente los bioplaguicidas microbianos, específicamente aquellos utilizados para el control de fitopatógenos, debido a que esta fue una de las áreas centrales abordadas en el proyecto de agricultura campesina familiar y comunitaria (ACFC) de 2022 a 2023 (ID 1001615), ejecutado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA en zonas rurales del municipio de Pasto.

Para septiembre de 2022, se encontraban registrados ante el ICA aproximadamente 368 bioinsumos, de los cuales 66 son del tipo agente microbio para el control de fitopatógenos, que en su mayoría son la base de especies del hongo antagonista *Trichoderma* spp. (59 %) y de bacterias benéficas de *Bacillus* spp. (24 %). Otros antagonistas utilizados en los productos registrados en el país son especies de *Paecilomyces* y *Streptomyces* (figura 67). Sin embargo, no todos los bioinsumos basados en *Trichoderma* y *Bacillus* (excepto el grupo de bioinsecticidas basados en *Bacillus thuringiensis*) están registrados como agentes de control biológico, ya que algunos aparecen como inoculantes microbianos, con efecto promotor del crecimiento vegetal. Varias especies de bacterias no patógenas del género *Pseudomonas* representan una alternativa real a los fungicidas químicos (Höfte & Altier, 2010), aunque en la lista de bioinsumos registrados en el ICA no se encuentran agentes microbianos de este género. Sin embargo, en el registro se encuentran 19 bioinsumos con una o dos cepas de *P. fluorescens*, *P. putida*, *P. koreensis*, *P. vancouverensis*, *P. montinelli* y *P. aureofaciens*, en la categoría de inoculante biológico con actividad promotora de crecimiento vegetal o biofertilizante (ICA, 2022).

Es importante resaltar que la mayoría de bioinsumos microbianos para el control de fitopatógenos está registrada para el control de plagas (*Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporum*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Botrytis cinerea*, *Mycosphaerella fijiensis*, *Alternaria* spp. y *Colletotrichum* spp., principalmente) y nematodos (*Meloidogyne* spp. y *Radopholus* spp.), y tan solo cuatro aparecen para el control de bacterias fitopatógenas (*Pseudomonas syringae*, *P. fuscovaginae* y *Burkholderia glumae*).

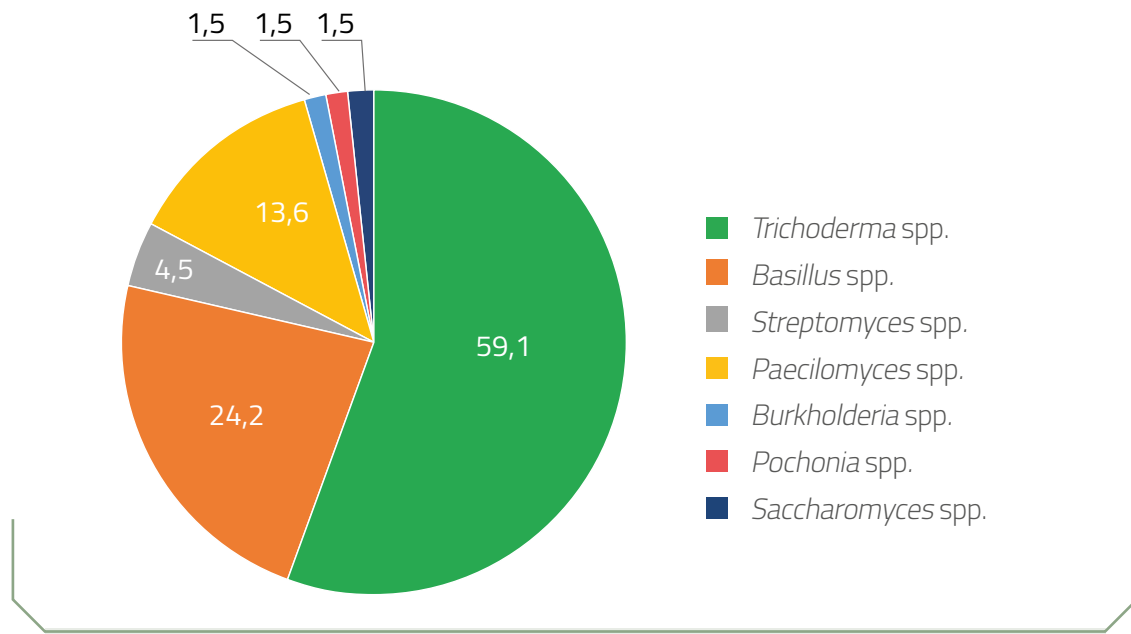


Figura 67. Situación actual de bioinsumos de tipo agente microbiano-biocontrolador registrados en Colombia (porcentaje [%] de bioproductos con los diferentes géneros de agentes de control de fitopatógenos).

Fuente: Carlos Andrés Moreno Velandia

El proceso de biocontrol es el resultado de interacciones complejas entre los microorganismos antagonistas, la planta hospedera, la microbiota nativa y los factores abióticos. En consecuencia, cada caso de biocontrol requiere procesos de investigación rigurosos, cuyos resultados soporten las recomendaciones de uso de los bioplaguicidas (Moreno-Velandia et al., 2018).

Esta sección no pretende profundizar en los modos de acción de los principales agentes de biocontrol. Una amplia información sobre el particular y sobre aspectos importantes del proceso de investigación y desarrollo de bioplaguicidas microbianos se encuentra en el libro sobre control biológico publicado por AGROSAVIA (Cotes Prado, 2018), cuya versión electrónica es de libre acceso.

Control químico

En un programa adecuado de MIPE, el uso de plaguicidas debe ser limitado y debe incluir los métodos alternativos de control que se han explicado a lo largo de este capítulo. Sin embargo, hay momentos en que los seguimientos y los umbrales de acción indican que las medidas preventivas no son efectivas y en tales casos es inevitable aplicar productos químicos. Por esto, es

importante saber cuáles son los pesticidas, su clasificación y el modo de acción para asegurar una aplicación efectiva, ecológicamente viable y ambientalmente amigable (Khan et al., 2019).

Los pesticidas usados más a menudo para el control de enfermedades son los fungicidas, los bactericidas y los nematocidas. Su empleo depende del pleno

conocimiento de la causa de la enfermedad y es por esto que resulta tan importante un adecuado diagnóstico, llevado a cabo con las herramientas que se presentaron al inicio de este capítulo, basado en sintomatología y evaluaciones en condiciones de laboratorio (Agrios, 2005). Se recomienda tener en cuenta los siguientes criterios para la aplicación de pesticidas en campo:

1. *Fases críticas:* En algunos cultivos se presenta *resistencia ontogénica*, es decir, resistencia asociada con la edad de la planta. Por tal razón, la aplicación de pesticidas se debe realizar en estados fenológicos en los cuales el cultivo sea susceptible a la enfermedad.
2. *Patrón de distribución de la enfermedad:* Si la patología presenta un patrón de distribución agregado, la aspersión del pesticida debe concentrarse en el foco o parche; por el contrario, si la distribución de la enfermedad es aleatoria o uniforme, se recomienda hacer aplicaciones a todo el cultivo.
3. *Intensidad de la enfermedad:* Para algunas enfermedades se han definido umbrales de acción (momentos en los que debe desplegarse una estrategia de manejo, tema explicado arriba), y en tales casos, los pesticidas se deben aplicar cuando la incidencia o severidad de la enfermedad alcance el umbral de acción preestablecido.
4. *Condiciones ambientales favorables:* El concepto de *triángulo de la enfermedad* indica que uno de los componentes requeridos para que ocurra una enfermedad es el ambiente. En este sentido, el empleo de pesticidas debe hacerse cuando ocurran condiciones de temperatura, humedad y precipitación óptimas para las enfermedades.

Manejo de la resistencia, uso sostenible de pesticidas

La pérdida de sensibilidad a las moléculas de síntesis química por parte de los patógenos ocurre por la supervivencia y dispersión de mutantes raros durante la exposición a tratamientos con pesticidas. Existen diferentes mecanismos de resistencia, pero lo usual es que ocurra una modificación del sitio primario de unión del pesticida dentro del patógeno debido al uso sostenido, repetitivo e inadecuado del producto. Estos mutantes tienen la capacidad de reproducirse y heredar a su progenie la característica de resistencia al ingrediente activo, lo que aumenta en periodos cortos la frecuencia de individuos resistentes dentro de las poblaciones de patógenos.

Es clave el uso sostenible de pesticidas para prolongar su efectividad y utilidad. Por esta razón, es necesario implementar estrategias para el manejo de la resistencia (Leadbetter & Gisi, 2010). La principal medida para evitar que los patógenos desarrollen resistencia es la aplicación consecutiva de ingredientes activos con diferentes modos bioquímicos de acción o su aplicación combinada. En la actualidad, el control químico de patógenos de plantas se basa en pesticidas multisitio (protectantes) y de sitio-específico (curativos), lo cual ha permitido mitigar la emergencia de individuos con baja sensibilidad a las moléculas (Sbragia, 1975).

Por último, es importante resaltar las recomendaciones de entidades como el ICA sobre adquirir plántulas de buena calidad en viveros certificados. De este modo se garantiza, por un lado, un material de siembra libre de patógenos, y por otro, un crecimiento rápido y vigoroso, que implica un menor tiempo de exposición al ataque de agentes causales de enfermedades (Alarcón Restrepo et al., 2012).

Referencias

- Abawi, G. S., & Widmer, T. L. (2000). Impact of soil health management practices on soilborne pathogens, nematodes and root diseases of vegetable crops. *Applied Soil Ecology*, *15*, 37-47. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00070-6](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00070-6)
- Agrios, G. N. (2005). *Plant pathology* (5th edition). Elsevier.
- Alarcón Restrepo, J. J., Arévalo Peñaranda, E., Díaz Jiménez, A. L., Galindo Álvarez, J. R., Rivero Cruz, M. R., Jimenez Neira, Y., & Guerrero Rojas, M. R. (2012). *Manejo fitosanitario del cultivo de hortalizas*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).
- Baldwin, K. R., & Creamer, N. G. (2006). *Cover crops for organic farms*. Center of Environmental Farmer Systems (CEFS).
- Barzman, M., Bärberi, P., Birch, A. N. E., Boonekamp, P. M., Dachbrodt-Saaydeh, S., Graf, B., Hommel, B., Jensen, J. E., Kiss, J., Kudsk, P., Lamichhane, J. R., Messéan, A., Moonen, A. C., Ratnadass, A., Ricci, P., Sarah, J. L., & Sattin, M. (2015). Eight principles of integrated pest management. *Agronomy for Sustainable Development*, *35*(4), 1199-1215. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0327-9>
- Bock, C. H., Chiang, K. S., & Del Ponte, E. M. (2022). Plant disease severity estimated visually: A century of research, best practices, and opportunities for improving methods and practices to maximize accuracy. *Tropical Plant Pathology*, *47*, 25-42. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40858-021-00439-z>
- Brown, J., & Keane, P. (1997). Assessment of disease and effects on yield. In J. F. Brown & H. J. Ogle (Eds.), *Plant pathogens and plant diseases* (pp. 315-329). Australasian Plant Pathology Society. https://www.appsnet.org/Publications/Brown_Ogle/
- Calonnec, A., Jolivet, J., Vivin, P., & Schnee, S. (2018). Pathogenicity traits correlate with the susceptible *Vitis vinifera* leaf physiology transition in the biotroph fungus *Erysiphe necator*: An adaptation to plant ontogenic resistance. *Frontiers in plant science*, *9*, 1-17. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01808>
- Castillo, C., Carrillo, S., Bustamante, J., & Assunta, B. (2018). Detection and molecular characterization of a 16Srl-F phytoplasma in potato showing purple top disease in Ecuador. *Australasian Plant Pathology*, *47*(3), 311-315. <http://dx.doi.org/10.1007/s13313-018-0557-9>
- Céspedes León, C., & Vargas, S. (Eds.). (2021). *Agroecología: fundamentos y técnicas de producción y experiencia en la región de los Ríos* (45.^a Ed.) [Documento n.º 45]. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). <https://hdl.handle.net/20.500.14001/68311>
- Correa A., A., Quiroz E., C. Sepúlveda R., P., Salas F., C., S. Moyano A., S. Elgueta P., S., & Astudillo O., C. (2017). Fortalecimiento de la inocuidad en hortalizas de hoja: estrategias de manejo fitosanitario en lechuga, acelga y espinaca [Boletín INIA 348]. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6595>
- Cotes Prado, A. M. (Ed.). (2018). *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros: aplicaciones y perspectivas: Vol. 1. Agentes de control biológico*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.investigation.7402537>
- Daryanto, S., Fu, B., Wang, L., Jacinthe, P. A., & Zhao, W. (2018). Quantitative synthesis on the ecosystem services of cover crops. *Earth-Science Reviews*, *185*, 357-373. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.06.013>
- Dean, R., Van Kan, J. A. L., Pretorius, Z. A., Hammond-Kosack, K. E., Di Pietro, A., Spanu, P. D., Rudd, J. J., Dickman, M., Kahmann, R., Ellis, J., & Foster, G. D. (2012). The top 10 fungal

- pathogens in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, 13(4), 414-430. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2011.00783.X>
- Delp, B. R., Stowell, L. J., & Marois, J. J. (1986). Evaluation of field sampling techniques for estimation of disease incidence. *Phytopathology*, 76(12), 1299-1305. <https://doi.org/10.1094/Phyto-76-1299>
- DeParasis, J., & Roth, D. A. (1990). Nucleic acid probes for identification of Phytobacteria: Identification of genus-specific 16s rRNA sequences. *Phytopathology*, 80, 618-621. <https://doi.org/10.1094/Phyto-80-618>
- Emmanuel, N., Sujatha, A., Kiran Pratro, T. S. K., Reddy, M. L. N., Srivicasalu, B., & Patro, T. S. (2016). Components of IPM. In *Textbook on integrated pest management of horticultural crops*. Daya Publishing House.
- Esaiyas, T. (2018). Diseases and its control measures. In *Horticultural plant diseases and their control* (pp. 92-120). Agri Horti Press.
- Ficke, A., Gadoury, D. M., & Seem, R. C. (2002). Ontogenic resistance and plant disease management: A case study of grape powdery mildew. *Phytopathology*, 92(6), 671-675. <https://apsjournals.apsnet.org/doi/pdf/10.1094/PHTO.2002.92.6.671>
- Filgueira, J. J., Franco-Lara, L., Salcedo, J. E., Gaitán, S. L., & Boa, E. R. (2004). Urapan (*Fraxinus udhei*) dieback, a new disease associated with a phytoplasma in Colombia. *Plant Pathology*, 53(4), 520. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2004.01030.x>
- Florverde Sustainable Flowers. (2022). *Listado de plaguicidas prohibidos para uso en agricultura*.
- Franco-Lara, L., & Filgueira, J. J. (2005). Síntomas de decaimiento del urapán (*Fraxinus* sp.) en Colombia. *Fitopatología Colombiana*, 29, 32-38.
- Gholson, L. E. (1987). Adaptation of current threshold techniques for different farm operations. *Plant Disease*, 71, 462-465. <https://doi.org/10.1094/PD-71-0462>
- Goodwin, S. B., Dunkle, L. D., & Zismann, V. L. (2001). Phylogenetic analysis of *Cercospora* and *Mycosphaerella* based on the internal transcribed spacer region of ribosomal DNA. *Phytopathology*, 91(7), 648-658. <https://doi.org/10.1094/phyto.2001.91.7.648>
- Griffith, G., & Shaw, D. (1998). Polymorphisms in *Phytophthora infestans*: Four mitochondrial haplotypes are detected after PCR amplification of ADN from pure cultures or from host lesions. *Applied and Environmental Microbiology*, 64(10), 4007-4014. <https://doi.org/10.1128/AEM.64.10.4007-4014.1998>
- Heno Salazar, A., & Gómez Álvarez, L. E. (2020). Plaguicidas prohibidos y en vigilancia en el mundo y su estado en Colombia. *Revista Semillas*, (75), 37-42. <https://semillas.org.co/es/revista/plaguicidas-prohibidos-y-en-vigilancia-en-el-mundo-y-su-estado-en-colombia>
- Höfte, M., & Altier, N. (2010). Fluorescent pseudomonads as biocontrol agents for sustainable agricultural systems. *Research in Microbiology*, 161, 464-471. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2010.04.007>
- Huber, D. M., & Jones, J. B. (2013). The role of magnesium in plant disease. *Plant and Soil*, 368(1-2), 73-85. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1476-0>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2021). *Ante la presencia de fitoplasmas de la punta morada de la papa, el ica alerta a productores de Nariño*. <https://www.ica.gov.co/noticias/ica-alerta-productores-papa-narino>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2022). *Bioinsumos registrados a 30 de septiembre de 2022*.
- Jaramillo N., J. E. (2001). *Hortalizas: plagas y enfermedades*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica); Sociedad Colombiana de Entomología (Socolen).

- Jurišić, M., Plaščak, I., Željko, B., Radočaj, D., & Zimmer, D. (2021). Sensors and their application in precision agriculture. *Tehnički Glasnik*, 15(4), 529-533. <https://doi.org/10.31803/tg-20201015132216>
- Khan, S. M., Ali, S., Nawaz, A., Hussain Bukhari, S. A., Ejaz, S., & Ahmad, S. (2019). Integrated pest and disease management for better agronomic crop production. In *Agronomic Crops: Vol. 2. Management practices* (pp. 385-428). http://dx.doi.org/10.1007/978-981-32-9783-8_19
- Koike, S. T., Gladders P., & Paulus, A. O. (2007). *Vegetable diseases: A color handbook*. Manson Publishing.
- Leadbeater, A., & Gisi, U. (2010). The challenges of chemical control of plant diseases. In U. Gisi, I. Chet & M. L. Gullino (Eds.), *Plant pathology in the 21st century 1: Vol. 1. Recent developments in management of plant diseases* (pp. 3-17). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8804-9_1
- Lin, C. S., Poushinsky, G., & Mauer, M. (1979). An examination of five sampling methods under random and clustered disease distributions using simulation. *Canadian Journal of Plant Science*, 59, 121-130. <https://doi.org/10.4141/cjps79-017>
- Madden, L. V., & Hughes, G. (1999). Sampling for plant disease incidence. *Phytopathology*, 89, 1088-1103. <https://doi.org/10.1094/PHTO.1999.89.11.1088>
- Mahlein, A. K., Kuska, M. T., Behmann, J., Polder, G., & Walter, A. (2018). Hyperspectral sensors and imaging technologies in phytopathology: State of the art. *Annual Review of Phytopathology*, 56, 535-558. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080417-050100>
- Marcone, C. (2010). Movement of phytoplasmas and the development and movement of disease in the plant. In P. G. Weintraub & P. Jones (Eds.), *Phytoplasmas: Genomes, plant hosts and vectors* (pp. 114-131). CAB International. <https://doi.org/10.1079/9781845935306.0114>
- Mejía, J., Contaldo, N., Paltrinieri, S., Pardo, J., Ríos, C., Álvarez, E., & Bertaccini, A. (2011). Molecular detection and identification of group 16srv and 16srxi phytoplasmas associated with potatoes in Colombia. *Bulletin of Insectology*, 64(Supplement), S97-S98. https://www.researchgate.net/publication/268407281_Molecular_detection_and_identification_of_group_16SrV_and_16SrXII_phytoplasmas_associated_with_potatoes_in_Colombia
- Moreno-Velandia, C. A., Cotes, A. M., Beltrán-Acosta, C., Bettiol, W., & Elad, Y. (2018). Control biológico de fitopatógenos del suelo. En A. M. Cotes Prado (Ed.), *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros: Vol I. Agentes de control biológico* (pp. 628-691). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.investigation.7402537>
- Murmu, R., John, V., & Kumar, A. (2020). Plant disease forecasting system. In H. Kumar Singh (Ed.), *Current research and innovations in plant pathology* (Vol. 10, pp. 71-84). AkiNik Publications. <http://dx.doi.org/10.22271/ed.book.794>
- Nutter, F. W., Teng, P. S., & Shokes, F. M. (1991) Disease assessment terms and concepts. *Plant Disease*, 75, 1187-1188.
- Oerke, E. C. (2020). Remote sensing of diseases. *Annual Review of Phytopathology*, 58, 225-252. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-010820-012832>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (s. f.). *Cobertura vegetal del suelo*. <https://www.fao.org/conservation-agriculture/in-practice/soil-organic-cover/es/>
- Sbragia, R. J. (1975). Chemical control of plant diseases: An exciting future. *Annual Reviews Phytopathology*, 13, 257-269. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.13.090175.001353>
- Silhavy, T. J., Kahne, D., & Walker, S. (2010) The bacterial cell envelope. *Cold Spring Harbor Perspectives Biology*, 2(5), Article a000414. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a000414>

- Stone, A., & Darby, H. (2020). Suppression of soilborne diseases in field agricultural systems: Organic matter management, cover cropping, and other cultural practices. L. Magdoff & R. R. Weil (Eds.), *Soil organic matter in sustainable agriculture*. <https://doi.org/10.1201/9780203496374-9>
- Van Lenteren, J. C. (1993). Integrated pest management: The inescapable future. In J. C. Zadoks (Ed.), *Modern crop protection: Developments and perspectives* (pp. 217-225). Wageningen Pers.
- Van Lenteren, J. C., Nicot, P. C., Van Lenteren, J. C., & Nicot, P. C. (2020). Integrated pest management methods and considerations concerning implementation in greenhouses. In J. C. Van Lenteren & P. C. Nicot (Eds.), *Plant pathology in the 21st century: Vol. 9. Integrated pest and disease management in greenhouse crops* (pp. 177-193). https://doi.org/10.1007/978-3-030-22304-5_6
- Wilson, K. (2001). Preparation of genomic DNA from bacteria. *Current Protocols in Molecular Biology*, 56(1), 241-245. <https://doi.org/10.1002/0471142727.mb0204s56>
- Yepes Aristizábal, Y. T. (2021). *Bioinsumos y control biológico para la agricultura sostenible en Colombia* [Trabajo de grado, Universidad de Antioquia]. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/24554/5/YepesYudi_2021_BioinsumosControlBiologico.pdf