



Campo de avena con amapolas (1890). Claude Monet.

Campo cerca de Giverny, con un cultivo asociado de avena con amapolas rojas, que es una forma de añadir diversidad al sistema productivo y lograr un manejo sostenible del suelo, ya que mejora el aprovechamiento de los recursos, además una de las especies asociadas es avena, que normalmente se utiliza en la rotación de cultivos para cortar los ciclos de los patógenos que causan las enfermedades.



Capítulo 12

Manejo de enfermedades en agricultura agroecológica

Paz Millas O.¹

Andrés France I.²

Para realizar un manejo de enfermedades eficaz es importante conocer las razones por las cuales las plantas se enferman, las formas de manejo preventivo para evitar dichas enfermedades y su control en el caso de que ya estén presentes.

Triángulo de la enfermedad

El desarrollo de enfermedades está representada en un triángulo, donde siempre se deben presentar tres vértices para que una enfermedad se produzca, estos son: una planta susceptible, un patógeno virulento y condiciones ambientales favorables para el desarrollo de huésped y patógeno, cualquiera de los vértices del triángulo que no esté presente impide que se desarrolle la enfermedad (Figura 12.1).

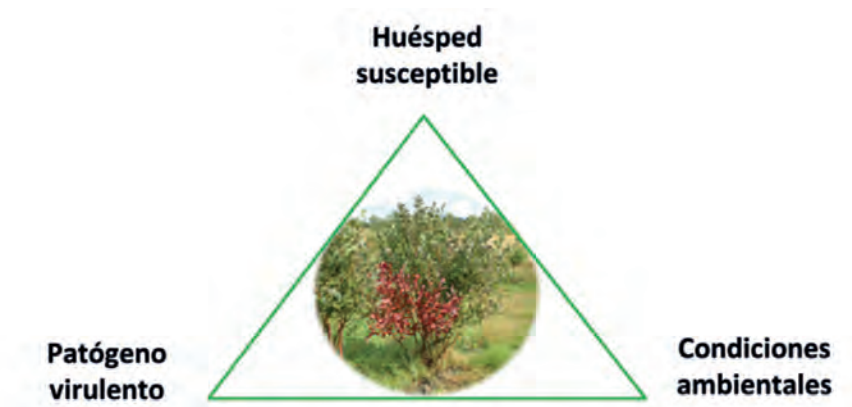


Figura 12.1 Esquema que representa la interacción que debe existir entre huésped susceptible, patógeno virulento y condiciones ambientales, para que una enfermedad vegetal se presente.

¹ Investigadora en Fitopatología. Centro tecnológico de control biológico INIA. pmillas@inia.cl.

² Investigador en Fitopatología. Centro tecnológico de control biológico INIA. afrance@inia.cl.

Planta susceptible

El primer factor, la planta susceptible, se produce cuando fallan los mecanismos de defensa que impiden que los patógenos puedan infectarlas; estos mecanismos se activan cuando la planta detecta una molécula del patógeno denominada elicitador (Dotor-Robayo y Cabezas-Gutiérrez, 2014). Esta detección es sitio específico y está dada por una combinación planta-patógeno, lo que determina que algunas especies de plantas sean susceptibles a algunos patógenos y otras especies pueden ser totalmente inmunes. Los patógenos exitosos no son detectados por la planta, ya que esta no es capaz de detectar el elicitador. En ocasiones, los patógenos a pesar de ser detectados por la planta, consiguen pasar la primera barrera de defensa e ingresar a las células vegetales, sin embargo, la planta puede continuar defendiéndose con una diversa batería de mecanismos que dependerá de la genética que tenga la planta. Esta genética que modula la susceptibilidad de la planta a un patógeno es distinta dependiendo de la especie o variedad vegetal. Por esta razón, existe el mejoramiento genético como una forma de hacer frente a las enfermedades.

Patógeno virulento

El patógeno, al igual que la planta, evoluciona para ser exitoso en el desarrollo de la enfermedad, el cual tiene varias etapas entre las que se encuentran la infección, inoculación, penetración, colonización y reproducción. Las características que permiten a un patógeno ser más eficientes son: la alta producción de propágulos (esporas o células), la facilidad de dispersión de estos propágulos, la capacidad de adaptarse bajo distintas condiciones climáticas, la capacidad de producir enzimas o toxinas, la comunicación entre células (*quorum sensing* en bacterias), la capacidad de detoxificación de las proteínas de resistencia del huésped, la velocidad de multiplicación dentro de la planta, entre otras. Es importante tener conocimiento de algunas de estas características para decidir cuál es el óptimo manejo por aplicar, por ejemplo, en el caso de *Phytophthora* spp. que causa pudrición del cuello en múltiples especies, la forma de dispersión es por el agua, por lo que es extremadamente importante evitar anegamientos. Conocer las especies o familias de huéspedes alternantes es importante para establecer una rotación de cultivos adecuada, definir las especies a incluir en un corredor biológico, o bien, eliminar malezas huéspedes del patógeno.

Condiciones medioambientales

El tercer vértice del triángulo es clave, aunque no siempre se le da la importancia que realmente tiene. Las condiciones ambientales son tan importantes como los otros dos vértices del triángulo, y pueden modificarse, en algún grado, con manejos como: elección de zona de plantación, programa de riego, época de siembra, uso de cubiertas, plantación en camellones, etc.

Las condiciones más importantes para el desarrollo de las enfermedades son, sin duda, la humedad y la temperatura. Sin embargo, condiciones de pH y textura del suelo, luminosidad y radiación solar también influyen en el desarrollo de las enfermedades.

Los patógenos requieren de ciertas temperaturas mínimas para crecer o activarse, en general se encuentran en torno a los 10 °C. Sin embargo, algunos patógenos como *Botrytis cinerea* son capaces de crecer incluso a 0 °C. Por otra parte, la temperatura máxima para la mayoría de los hongos no sobrepasa los 30 °C, con algunas excepciones como el oidio (*Erysiphe* spp., *Leveillula taurica*, *Podosphaera* spp., *Sphaerotheca* spp.) que crece hasta los 35 °C o *Macrophomina phaseolina* que se favorece con temperaturas entre 30 – 35 °C (Millas y France, 2020).

Por su parte, la humedad es fundamental para la activación de bacterias, hongos y nematodos. Es necesaria para la formación, liberación y germinación de esporas. Además, el agua del riego, la lluvia y viento facilitan la dispersión de muchos patógenos. Por esta razón, la ocurrencia de muchas enfermedades está relacionada con la distribución de lluvias en el año, enfermedades como tizón tardío (*Phytophthora infestans*) en papa (*Solanum tuberosum*), sarna del manzano (*Venturia inaequalis*), mildiú de la vid (*Plasmopora viticola*) son más severas en climas lluviosos o con alta humedad relativa. Las condiciones climáticas no solo determinan la severidad, sino también la ocurrencia y número de ciclos en algunas enfermedades.

Dada la importancia de estas condiciones, es que se han desarrollado sistemas de pronóstico de enfermedades con base en temperatura y humedad u otras condiciones climáticas, este es el caso del modelo predictivo para la sarna del manzano, desarrollado según las tablas de Mills (MacHardy y Gadoury, 1989) y la alerta de tizón temprano en papa (<https://tizon.inia.cl/>).

En busca de reestablecer el equilibrio

Sanidad de la planta

A diferencia de los ambientes naturales, en los sistemas agrícolas los microorganismos fitopatógenos tienen abundancia de huéspedes como fuente alimenticia, producto del monocultivo. Junto a lo anterior, en el manejo convencional, el exceso de fertilización y uso de pesticidas van eliminando los biocontroladores naturales, lo que conlleva a que las poblaciones de patógenos crezcan sin control y se generen las enfermedades.

La sanidad de la planta debe partir desde el inicio, por lo que es muy importante establecer los cultivos con semillas o plántulas libres de patógenos. Posteriormente se deben considerar

manejos culturales y productos de control preventivo amigables con el medioambiente para evitar que se produzcan las enfermedades o para que estas sean menos severas. El control curativo es la última opción a utilizar.

Sanidad del suelo

El suelo que está en contacto con la planta es parte del medioambiente de esta, por lo que la sanidad del suelo se refleja directamente en la salud de las plantas. El suelo, como se señala con más detalle en el capítulo 5, se considera un ente vivo, que tiene una dinámica que está dada principalmente por el contenido de materia orgánica (MO), la biomasa microbiana y la actividad enzimática asociada a ella. Los microorganismos que se alimentan de la materia orgánica del suelo (MOS) son los descomponedores, que participan en la mineralización de compuestos orgánicos y dejan disponibles nutrientes para las plantas a través del tiempo y espacio. Por ello al aplicar materia orgánica se incrementa la biomasa microbiana del suelo (Céspedes y Millas, 2015). Aunque las incorporaciones de MO tienen un importante efecto en la disponibilidad de nutrientes y la estructura de los suelos, también se reconoce una importante relación entre el contenido de MO y la sanidad de los suelos.

Existen suelos en que la incidencia o la severidad de ciertas enfermedades es más baja que en suelos del entorno, se les conoce como suelos supresivos; el mecanismo de la supresión tiene una fuerte base microbiana, la que se pierde cuando son esterilizados o fumigados. Algunos estudios indican que la característica de supresividad de los suelos estaría asociada a una alta actividad microbiana total, a la disponibilidad de fuentes de carbono capaces de sostener altas poblaciones de microorganismos y a la competencia de estos microorganismos por estas fuentes carbonadas (Rotenberg *et al.*, 2007; Darby *et al.*, 2006).

Se han definido dos tipos de supresión: general y específica. La supresión general está relacionada con la comunidad microbiana total y no con una única especie de microorganismo, como responsable de la supresión; esto explica por qué en algunos estudios un antagonista microbiano colectado desde un suelo supresivo falla en inducir supresión en el nuevo sustrato, de la misma forma como el observado en el sustrato original. La competencia por nutrientes entre el patógeno y el resto de la biomasa microbiana se sugiere como el principal mecanismo responsable de la supresión general. Al contrario, se denomina supresión específica cuando solo un microorganismo o un grupo de ellos es responsable de controlar una enfermedad. La supresión específica corresponde a lo conocido como control biológico de enfermedades. Los mecanismos envueltos en la supresión específica son principalmente hiperparasitismo y/o antibiosis. Por ejemplo, el hiperparásito *Trichoderma* spp. es el taxón más importante aislado desde medios o sustratos supresivos que controla a *Rhizoctonia solani*, un hongo que vive en el suelo y que causa enfermedades

como: pudrición de raíz y corona en frutilla (*Fragaria x ananassa* Duch.), sarna negra en papa, caída de plántulas en hortalizas, lesiones radicales necróticas o pudrición de raíces en muchos cultivos, tales como trigo (*Triticum aestivum*), tomate (*Solanum lycopersicum*), remolacha (*Beta vulgaris* var. *saccharifera*), achicoria (*Cichorium intybus*) y poroto (*Phaseolus vulgaris*). Por su parte, la antibiosis es un mecanismo usado por bacterias del género *Bacillus* y actinobacterias del género *Streptomyces* y *Amycolaptosis*. Actinobacterias aisladas de papas nativas de Chiloé mostraron antibiosis frente *Ralstonia solanacearum*, *Pectobacterium carotovorum* y *Pectobacterium atrosepticum* causantes de la marchitez bacteriana, pudrición negra y pie negro de la papa (Padilla-Gálvez *et al.*, 2017).

Herramientas para el control de enfermedades con criterios agroecológicos

Resistencia varietal

El mejoramiento vegetal enfocado en la resistencia de enfermedades permite seleccionar características asociadas a genes que dan resistencia o tolerancia a una determinada enfermedad. Esta resistencia puede estar determinada por la presencia y acción de muchos genes o conferida básicamente por la presencia de un solo gen (Burbano-Figueroa, 2020). La resistencia vegetal es la forma de menor costo para el/la agricultor/a y mayor efectividad en el control de enfermedades. Una variedad resistente permite que el/la agricultor/a se despreocupe de una enfermedad, evitando incurrir en gastos adicionales para su control. A pesar de su gran efectividad, este sistema de control no está generalizado en todas las especies y enfermedades, debido al alto costo inicial que significa establecer un programa de mejoramiento vegetal. A nivel mundial, estos programas de mejoramiento buscan principalmente rendimiento y calidad, ya que son los factores que consideran los/as agricultores/as convencionales para elegir una determinada variedad, asumiendo que los eventuales problemas de enfermedades se pueden seguir manejando con el uso de pesticidas. Además, las variedades de alta producción tienden a ser más susceptibles a enfermedades, ya que van acompañadas de un paquete de fertilización mayor a lo normal para poder suplir esos altos rendimientos, lo que aumenta la susceptibilidad a los patógenos. Sin embargo, existen grandes excepciones con especies de consumo masivo y enfermedades devastadoras, como por ejemplo las royas de cereales, donde los programas de mejoramiento genético incorporan al mismo tiempo genes de resistencia a enfermedades. En este ámbito hay mucho por desarrollar, incorporando nuevas patologías a los programas de mejoramiento vegetal y que estos incluyan metodologías para obtener variedades con resistencia duradera, ya que los patógenos, frente a la presión de selección que ejerce una variedad resistente que se empieza masificar en una zona, logran finalmente vencer estos genes de resistencia.

Las dos formas tradicionales de mejoramiento vegetal para enfermedades son buscar resistencia monogénica o vertical contra un patógeno, o resistencia poligénica u horizontal. La primera es la más utilizada y fácil de lograr, ya que solo se moviliza uno o dos genes de interés a través de los cruzamientos, pero es la más fácil de vencer por un patógeno, solo tiene que realizar unas pocas modificaciones (mutaciones) para desarrollar nuevos genes de virulencia. La resistencia horizontal es más compleja e involucra cientos de genes a la vez, lo cual no es fácil de lograr; sin embargo, con el desarrollo de la ingeniería genética ha surgido técnicas, como el mejoramiento asistido por marcadores moleculares, que permite hacer este tipo de mejoramiento. Dado que el cambio a nivel genético es complejo se trata de un tipo de resistencia muy difícil de vencer para un patógeno (Niks *et al.*, 2015).

Control cultural

El control cultural es fundamental en el manejo de enfermedades. Estas prácticas apuntan a mejorar la sanidad del suelo, a disminuir las condiciones medioambientales favorables para el desarrollo de las enfermedades, a disminuir el inóculo de los patógenos, etc. Entre ellas se puede mencionar la aplicación de enmiendas, el acamellonado y la poda.

Enmiendas

Las enmiendas normalmente se aplican para mejorar la fertilidad del suelo en sistemas manejados con criterios agroecológicos; sin embargo, las enmiendas orgánicas estabilizadas, como el compost, además favorecen la proliferación de organismos benéficos que actúan como biocontroladores de los patógenos de plantas. Este efecto es fácilmente verificable en sistemas agrícolas que llevan largas datas de incorporación de compost, donde se observan muy pocas enfermedades presentes.

Existen muchos estudios que muestran la relación entre suelos con altos contenidos de materia orgánica de reciente incorporación, como el compost, y los suelos supresivos a ciertas enfermedades (Bonanomi *et al.*, 2007). En un estudio realizado en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), se demostró que plántulas de tomate sembradas en macetas donde el sustrato tenía al menos un 50% de compost, no sufrían *damping-off* causado por *Globisporangium ultimum* (ex. *Pythium ultimum*), a pesar de inocular las macetas con este patógeno (Millas, 2014). Otro estudio demostró que la caída de plantas de poroto (*Phaseolus vulgaris* L.) causado por *Aphanomyces euteiches* disminuyó a valores inferiores al 40% cuando se aplicó una enmienda orgánica compostada (Céspedes-León *et al.*, 2006).

Es importante señalar que la incorporación de residuos vegetales sin tratar puede ser contraproducente para controlar enfermedades, esto se debe a que muchos residuos vegetales conservan y permiten la reproducción de los patógenos que los afectaron anteriormente. Por esta razón, no es bueno incorporar rastrojos o residuos de poda que no hayan sido debidamente compostados. El proceso de elaboración del compost permite eliminar los patógenos presentes en los residuos vegetales, además de destruir las semillas de malezas y favorecer la multiplicación de microorganismos benéficos debido a que contempla la descomposición aeróbica a altas temperaturas (Figura 12.2). Para que un compost puede ser aplicado al suelo y contribuya a la sanidad del suelo debe cumplir con los requisitos de la Norma chilena 2880 Compost - Requisitos de calidad y clasificación (INN, 2015).

Otras enmiendas utilizadas, como alcalinizar el suelo y llevarlo a un pH cercano a 7, normalmente fortalecen el desarrollo de la planta, por lo que la hacen menos susceptibles a enfermedades, pero en algunos casos puede favorecer o disminuir el desarrollo de algunos patógenos. Por ejemplo, la sarna común de la papa causada por *Streptomyces scabies* se favorece con suelos más alcalinos y con pH menor a 5,2 no se desarrolla, por lo que la incorporación de cal agrícola favorecerá la aparición de esta enfermedad. Por otra parte, hay enfermedades que son menos severas a medida que el suelo se hace alcalino, un ejemplo de esto es la hernia de las crucíferas, causada por *Plasmodiophora brassicae* que se inhibe por completo con pH 7,8 o superiores (Agrios, 2005).

Las aplicaciones de carbón al suelo en la forma de *Biochard*, un subproducto de la pirólisis de biomasa para la generación de biocombustible, tiene efectos positivos como inductor de resistencia a enfermedades, contra patógenos como pudrición gris (*Botrytis cinerea*) o el oidio (*Leveillula taurica*) en cultivos hortícolas (Elad *et al.*, 2010).



Foto 12.1. Pila de compost alcanzando altas temperaturas durante el proceso de descomposición de los residuos.

Camellones

El uso de camellones altos es una práctica importante para mantener la planta libre de anegamientos (Foto 12.2). La acumulación de agua que se genera en zonas lluviosas o en suelos con mal drenaje favorece el desarrollo de enfermedades que afectan a las raíces y cuello de las plantas, especialmente por patógenos del género *Phytophthora*. Existen varias especies que causan pudriciones de raíz y decaimiento en muchos cultivos, entre ellas *P. cinnamomi* y *P. cactorum* que causan problemas importantes en la mayoría de los frutales, como muerte de raíces y plantas. El sistema de dispersión de este patógeno es a través de zoosporas, esporas flageladas que pueden nadar en presencia de agua, por esta razón es que no se debe permitir el contacto del agua con el cuello de la planta, lo que evita que las zoosporas lleguen hasta esa zona. El uso de camellones altos impide esta forma de infección, sin embargo, se debe complementar con plantaciones en suelos bien drenados, evitar goteros en contacto con el cuello de las plantas y riegos excesivos que produzcan anegamientos, además de cuidar que, en el caso de riegos por microaspersión en frutales, no se moje el cuello de las plantas.



Foto 12.2. Plantación sobre camellones altos en huerto de arándano en Villarrica.

Poda

La poda además de tener la finalidad de formar la estructura en las plantas, puede usarse como un control cultural para disminuir las enfermedades. El tejido enfermo presente en el cultivo o en el huerto es una fuente de inóculo secundario desde donde se dispersa el inóculo a las plantas sanas, el corte y eliminación de ramas u otros tejidos infectados se denominan podas sanitarias o de limpieza (Foto 12.3). La eliminación de madera enferma en frutales permite retrasar el avance de enfermedades, como el plateado del arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) causado por *Chondrostereum purpureum*, la cancrrosis del arándano causado por *Neofusicoccum* sp., *Botryosphaeria* en nogal (*Juglan regia*) que produce marchitez de brazos y el cáncer bacteriano en cerezo (*Prunus subg. Cerasus*) causado por *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*. En otras enfermedades, como la muerte regresiva del arándano, donde el patógeno *Phomopsis vaccinii* avanza desde los ápices de las ramas hacia abajo, las podas sanitarias permiten erradicar la enfermedad de la planta. En el caso de enfermedades, como botritis (*Botrytis* sp.), oidio (*Erysiphe* spp., *Leveillula taurica*, *Podosphaera* spp., *Sphaerotheca* spp.) y roya (*Pucciniastrum* spp., *Phragmidium* spp., *Puccinia* spp., *Uromyces* spp.), donde se producen grandes cantidades de esporas en los tejidos infectados, también se recomienda remover el tejido enfermo para disminuir la cantidad de esporas; por ejemplo, en frambuesa (*Rubus idaeus*) para disminuir ataques de roya (*Pucciniastrum americanum*) se recomienda eliminar las hojas del tercio inferior y podar a piso para manejar infecciones severas de cancrrosis de las cañas causado por *Leptosphaeria coniothyrium*. En frutilla la poda de hojas envejecidas disminuye la presión de enfermedades como *Botrytis* sp., viruela (*Ramularia tulasnei*) y Oidio (*Podosphaera macularis* f. sp. *fragariae*).



Foto 12.3. Poda sanitaria en huerto de arándano. Corte de ramas con síntomas de cancrrosis del arándano (*Neofusicoccum* spp.) para sacarlas del huerto y evitar la dispersión del patógeno.

Los restos de poda de limpieza deben ser retirados, eliminados o de preferencia compostados, para eliminar la fuente de inóculo y aprovecharlos en la elaboración de biopreparados. Es un error incorporar restos de poda sin compostar, aunque sean triturados, ya que las esporas, picnidios, peritecios y otras estructuras reproductivas presentes en la madera enferma no se eliminan al cortarla en trozos. El caso de los residuos compostados es distinto, porque las altas temperaturas que se generan durante el compostaje eliminan por completo los patógenos de los residuos vegetales. El producto al final del proceso es materia orgánica estabilizada que puede ser aplicado al suelo mejorando sus características físicas, químicas y biológicas (Céspedes y Millas, 2015).

Control biológico

El control biológico utiliza organismos vivos o sus derivados para controlar plagas y enfermedades, como hongos, bacterias o virus antagonistas, que permiten disminuir o controlar poblaciones de fitopatógenos.

Entre los microorganismos más utilizados se encuentran especies de los géneros *Trichoderma*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Paecilomyces*. En Chile, estas especies se encuentran como productos comerciales para el control de diversas enfermedades y, algunas de ellas como bioplaguicida con registro SAG (ver: <https://www.sag.gob.cl/ambitos-de-accion/plaguicidas-y-fertilizantes/78/registros>). También existen productos que no tienen registro como plaguicidas, pero que contienen microorganismos biocontroladores como *Trichoderma* o *Bacillus*, estos productos son comercializados como biostimulantes o mejoradores de suelo, dado que no cuentan con el registro SAG para plaguicidas microbianos y, en consecuencia, no cumplen la norma descrita en la Resolución 9074 exenta del año 2018 del SAG (ver: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1127023>).

Existe una variada oferta de productos de biocontrol en base a *Trichoderma* y *Bacillus*, principalmente para el control de una gran cantidad de enfermedades y con registro SAG para diversos cultivos (Cuadro 12.1.).

Las especies de *Trichoderma* actúan principalmente como micoparásitos, ya que tienen la capacidad de producir enzimas que degradan las paredes de otros hongos para luego alimentarse de ellos. Debido a que su ambiente natural más común es el suelo, las especies de *Trichoderma* tienen un buen desempeño sobre enfermedades que viven en el suelo y/o que afectan el cuello y las raíces de las plantas. Normalmente se utilizan con aplicaciones al suelo o al cuello de la planta donde pueden establecerse si las condiciones de humedad y temperatura son favorables.

Cuadro 12.1. Plaguicidas biológicos con registro SAG.

Nombre del producto	Antagonista	Enfermedad	Huésped
BINAB T	<i>Trichoderma</i> spp.	Plateado y enrollamiento clorótico.	Varios frutales mayores.
SERENADE	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Botrytis cinerea</i> , Oidio, Pudrición húmeda.	Vides, varios frutales mayores y menores, varias hortalizas.
FRUIT PLUS	<i>Cryptococcus albidus</i>	Hongos de post-cosecha (<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Penicillium expansum</i>).	Peras, manzanas.
TRICHONATIVA	<i>Trichoderma</i> spp.	<i>Botrytis cinerea</i> , Corazón mohoso, Sarna del manzano. Pudrición de raíces y cuello, entre otras.	Frutales, vid y berries.
TRICHO-D WP	<i>Trichoderma harzianum</i>	<i>Botrytis cinerea</i> .	Vides
3 TAC	<i>Trichoderma</i> spp.	Damping off, <i>Botrytis cinerea</i> . oídio, mildiú, <i>Cercospora</i> , entre otros	Almacigo hortalizas, frutales, vid
3 TAEX	<i>Trichoderma atroviride</i>	Plateado, <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Alternaria alternata</i> , entre otros	Frutales, vides, Pino
TIFI POLVO	<i>Trichoderma harzianum</i>	<i>Botrytis cinerea</i> , enfermedades de la madera (<i>Diplodia seriata</i> y <i>Neofusicoccum australe</i>)	Tomate, vid, arándanos, manzanos, carozos
TRICHODERMA PASTA	<i>Trichoderma harzianum</i>	<i>Phytophthora cactorum</i> / Sellado de heridas y cortes de poda.	Frutales y vid
TRICHODERAMA SUSPENSION	<i>Trichoderma harzianum</i>	<i>Botrytis cinerea</i> , Pudrición de cuello y raíces.	Tomate, vid, carozos, manzano, arándano.
HARZTOP	<i>Trichoderma</i> spp.	<i>Botrytis cinerea</i> , Damping-off, pudrición de raíces (<i>Phytophthora</i> spp.)	Hortalizas, frutales, vid, trigo, avena.
NACILLUS PRO	<i>Brevibacillus parabrevis</i> , <i>Bacillus</i> spp.	Oídio, sarna del manzano, alternaria, mildiú, pudrición acuosa.	Vid, manzano, tomate industrial, melón, ajo, clavel.
AMYLO-X	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	<i>Botrytis cinerea</i> ,	Tomates, cerezo, uva de mesa, arándano.
CORAZA	<i>Bionectria ochroleuca</i> , <i>Hypocrea virens</i> , <i>Bacillus licheniformis</i>	Cancro europeo, plateado, cáncer bacterial, enfermedades de la madera en vid.	Manzano, vides, carozos.
BACIFRUIT SC	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Botrytis cinerea</i> .	Arándano, kiwi
BIOMONGEN	<i>Trichoderma virens</i> , <i>Hypocrea lixii</i>	<i>Fusarium moniliforme</i>	Maíz

Continuación Cuadro 12.1.

Nombre del producto	Antagonista	Enfermedad	Huésped
MAMULL	<i>Bionecria ochroleuca</i> , <i>Trichoderma gamsii</i> , <i>Hypocrea virens</i>	Cancro europeo, plateado, enfermedades de la madera en vid	Manzano, cerezo, vid, arándano.
SERIFEL WP	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	<i>Botrytis cinerea</i> , Pudrición ácida de la vid, pudrición morena, oídio alternaria, pudrición blanca.	Vides, arándanos, carozos, tomate, lechuga.
PUELICHE WP	<i>Bacillus licheniformis</i> , <i>Hypocrea virens</i>	<i>Botrytis cinerea</i> , Tizón temprano, Tizón tardío.	Vid, berries, carozos, papa, tomate y pimentón.
PUELICHE-VTO MAX	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Bacillus licheniformis</i> , <i>Brevibacillus brevis</i>	Pudrición ácida.	Vid
OSPO	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Botrytis cinerea</i> , oídio .	Vid, arándano, frutilla.
BACIFORT	<i>Bacillus subtilis</i>	Peca bacteriana (<i>Pseudomonas syringae</i> pv. tomato).	Tomate, nogal.
TRICHOFORTE WP	<i>Trichoderma atroviride</i>	Fusariosis, Pudrición de raíces y cuello.	Tomate, nogal.
TRICHOFRUIT WP	<i>Trichoderma atroviride</i> , <i>Trichoderma harzianum</i>	<i>Botrytis cinerea</i> .	Arándano, kiwi

Fuente: SAG. Lista de plaguicidas con autorización vigente (febrero 2021).
<https://www.sag.gob.cl/ambitos-de-accion/plaguicidas-y-fertilizantes/78/registros>.

En el caso de las bacterias del género *Bacillus*, hay varias especies que han sido desarrolladas como biopesticidas comerciales para controlar enfermedades y plagas, entre las que destacan se encuentran: *B. amyloliquefaciens*, *B. licheniformis*, *B. sonorensis*, *B. sphaericus*, *B. subtilis* y *B. thurigiensis* (Bt).

Las especies de *Bacillus* tienen una habilidad única para replicarse rápidamente, lo que es ventajoso al producirlos industrialmente. Además, son muy resistentes a las condiciones ambientales adversas, tales como altas temperaturas y falta de agua, lo que les da una ventaja en la sobrevivencia después de la aplicación en comparación a otros microorganismos. Producen una amplia gama de moléculas con propiedades antibióticas, fungicidas o insecticidas, que son usadas para el control biológico. Asimismo, tienen la capacidad de solubilizar nutrientes y producir hormonas que promueven el crecimiento vegetal.

El Banco de Recursos Genéticos Microbianos de INIA conserva más de 200 aislamientos de *Trichoderma* y al menos 25 aislamientos de distintas especies de *Bacillus* (*B. amyloliquefaciens*, *B. licheniformis*, *B. pumilus*, *B. subtilis* y *Bacillus* sp.), las que han sido aislados desde distintos sustratos tales como: plantas, compost, té de compost, suelos provenientes de embalses, bosques nativos y reservas naturales. Estos aislamientos han demostrado inhibir el crecimiento de varios patógenos, entre los que se encuentran los causantes de caída de plantas (*Rhizoctonia solani* y *Globisporangium ultimum*), marchitez vascular (*Fusarium oxysporum*), canchales del arándano (*Neofusicoccum parvum*) y cáncer bacteriano (*Pseudomonas syringae* pv. *syringae*), entre otras (Foto 12.4.) (Millas y Tapia, 2020).

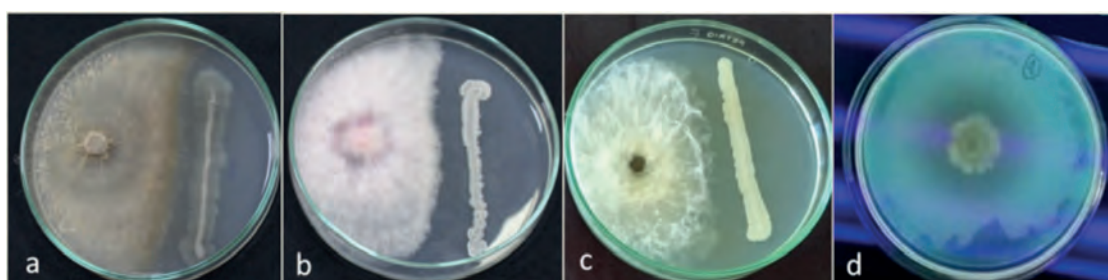


Foto 12.4. Inhibición in vitro del crecimiento de patógenos a) *Rhizoctonia solani*, b) *Fusarium oxysporum*, c) *Neofusicoccum parvum* y d) *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*. En a, b y c, *Bacillus* se observa como una línea al lado derecho de la placa y el patógeno al lado izquierdo; en d, se observa un disco al centro de la placa y el crecimiento del patógeno con coloración fluorescente en la superficie de la placa. Fuente: propia.

En la actualidad, en INIA se realizan distintas investigaciones para evaluar las capacidades de estos microorganismos en el control de plagas y enfermedades, además de conocer su capacidad de secretar distintos metabolitos, enzimas o moléculas que pueden ser un aporte a la agricultura sostenible y en condiciones ambientales adversas como el cambio climático.

Inducción de resistencia en plantas (SAR)

La resistencia sistémica adquirida (SAR) es uno de los mecanismos que usan las plantas para defenderse de los patógenos, corresponde a una cascada de reacciones bioquímicas que le permiten eliminar a posibles patógenos. Este mecanismo puede ser inducido por la presencia de productos químicos o microorganismos no patógenos (Kavroulakis *et al.*, 2007), tales como microorganismos utilizados para el control biológico como endófitos y micorrizas (Shoresh *et al.*, 2010). Las reacciones de resistencia conllevan la producción de fitoalexinas o proteínas de resistencia, que pueden eliminar microorganismos patógenos o causar la muerte programada de las células, impidiendo que el patógeno se alimente de ellas.

Los inductores de resistencia pueden actuar externamente o desde el interior de la planta, siendo esta última forma más persistente e independiente de las condiciones ambientales que rodean la planta (Barra-Bucarei *et al.*, 2019). Los microorganismos endófitos cumplen la segunda función y pueden generar una respuesta mayor y más rápida a la presencia de un patógeno, debido a la generación de metabolitos secundarios que actúan como elicitores o por poseer propiedades antimicrobianas (Gao *et al.*, 2010). Para que se desarrolle la resistencia no es necesario que el inductor de este mecanismo esté en el sitio donde se está desarrollando el patógeno, ya que las señales son sistémicas y los genes relacionados a los mecanismos de defensa se activan en toda la planta (Ownley *et al.*, 2004).

Existen dos tipos de resistencia inducida: resistencia sistémica adquirida (SAR) y resistencia sistémica inducida (ISR), las que se diferencian en la naturaleza del elicitador. En el caso del SAR la inducción se debe a la infección de un patógeno o a la presencia de compuestos químicos, generándose ácido salicílico y la acumulación de proteínas de resistencia (PR). En el caso del ISR, la inducción de resistencia se produce por microorganismos no patógenos, incluyendo los endófitos y rizobacterias, que estimulan la producción de jasmonatos y etileno (Pieterse *et al.*, 1998), entre otros, y en algunos casos con producción de proteínas de resistencias (Ryu *et al.*, 2003; Kavroulakis *et al.*, 2007). Estos mecanismos terminan en la producción de fitoalexinas y enzimas como quitinasas y glucanasas, que inhiben el desarrollo de patógenos.

Comentarios finales

En general, el control eficiente de enfermedades debe considerar la mayor cantidad de alternativas posibles, ya que no se puede depender de una sola opción. Debe ser preventivo y no ir detrás de la enfermedad, ya que el patógeno se reproducirá más rápido que los resultados que se puedan lograr con las medidas que se vayan implementando. Será el conjunto de medidas y su aplicación temprana, la que finalmente evitará los indeseables efectos que producen las enfermedades de las plantas.

Referencias

- Agrios, G .N. (2005).** Fitopatología, 2° edición. Limusa.
- Barra-Bucarei, L., France, A., and Millas, P. (2019).** Crossing frontiers: Endophytic entomopathogenic fungi for biological control of plant diseases en T. R. Hodkinson; F. M. Doohan; M.J. Saunders and B. R. Murphy; (Eds.) *Endophytes for a Growing World*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 67.
- Bonanomi, G., V. Antignani, C. Pane, and F. Scala F. (2007).** Supresion of soilborne fungal diseases with organic amendmets. *Journal of Plant Pathology*, 89(3), 311-324. <http://www.jstor.org/stable/41998409>
- Burbano-Figueroa O. (2020).** Resistencia de plantas a patógenos: una revisión sobre los conceptos de resistencia vertical y horizontal. *Revista Argentina de Microbiología*, 52, 245-255. doi:10.1016/j.ram.2020.04.006
- Céspedes-Leon, M. C., Stone, A., and Dick, R. P. (2006).** Organic soil amendmets: Impacts on snap bean common root rot (*Aphanomyces euteiches*) and soil quality. *Applied Soil Ecology*, 31(3), 199–210. doi:10.1016/j.apsoil.2005.05.008
- Céspedes, C. y Millas, P. (2015).** Relevancia de la materia orgánica del suelo en C. Ruiz (Ed). *Rastrojos de cultivos y residuos forestales Programa de transferencia de prácticas alternativas al uso del fuego en la Región del Bio-Bio* (Boletín 308 pp. 31-48). INIA-Quilamapu, Ministerio de Agricultura. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/7856>
- Darby, H. M., Stone, A. G., and Dick, R. P. (2006).** Compost and manure mediated Impacts on soilborne pathogens and soil quality. *Soil Science Society of America Journal*, 70(2), 347–358. doi:10.2136/sssaj2004.0265
- Elad, Y.; David, D.; Harel, Y.; Borenshtein, M.; Kalifa, H.; Silber, A.; Graber, E. (2010).** Induction of systemic resistance in plants by biochar, a soil-applied carbon sequestering agent. *Phytopathology* 100(9):913-21. doi:10.1094/phyto-100-9-0913
- Gao, F. K., Dai, C. C., and Liu, X. Z. (2010).** Mechanisms of fungal endophytes in plant protection against pathogens. *African Journal of Microbiology Research*, 4(13), 1346-1351. https://academicjournals.org/article/article1380280021_Gao%20et%20al.pdf

- INN. (2015).** Norma chilena Oficial NCh 2880. Of 2015. *Compost - Requisitos de calidad y clasificación.*(16p). Instituto Nacional de Normalización, (INN), Chile.
- Kavroulakis, N., Ntougias, S., Zervakis, G. I., Ehaliotis, C., Haralampidis, K., and Papadopoulou, K. K. (2007).** Role of ethylene in the protection of tomato plants against soil-borne fungal pathogens conferred by an endophytic *Fusarium solani* strain. *Journal of Experimental Botany*, 58(14), 3853-3864. doi:10.1093/jxb/erm230
- MacHardy, W. E. and Gadoury, D. M. (1989).** A revision of Mills' s criteria for predicting apple scab infection periods. *Phytopathology*, 79(3), 304-310. doi:10.1094/Phyto-79-304.
- Millas, P. (2014).** Capacity of compost with high content of particulate organic matter to suppress root rot disease of tomato plants. *2012 Annual Meeting of the American Phytopathological Society*. 9-13 agosto, 2014, Minneapolis, MN, EEUU.
- Millas P. y Tapia, E. (2020).** *Bacillus*: bacterias clave para el futuro de la sanidad vegetal en contexto de cambio climático. *Tierra Adentro*, 113, (12-16). <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/67190>
- Millas P. y France, A. (2020).** *Consideraciones y manejo de la podredumbre carbonosa del arándano*. Ficha Técnica INIA N°80. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/67049>
- Niks, R.; Qi, X. and Marce, T. (2015).** Quantitative resistance to biotrophic filamentous plant pathogens: Concepts, misconceptions, and mechanisms. *Annual Review of Phytopathology*, 53(1), 445–470. doi:10.1146/annurev-phyto-080614-115928
- Ownley, B. H., Pereira, R. M., Klingeman, W. E., Quigley, N. B., and Leckie, B. M. (2004).** *Beauveria bassiana*, a dual purpose biocontrol organism, with activity against insect pests and plant pathogens. *Emerging concepts in plant health management 2004*, 255-269.
- Padilla-Gálvez, N., Luengo, P., Silva, R., Araya, M., Mancilla, S., Luengo, V., Acuña, I.; France, A. and Urrutia, H. (2017).** Actinobacterias endófitas de papa nativa chilena (*Solanum tuberosum* subsp. *tuberosum*) capaces de colonizar la endósfera de Papa Pukará-INIA (*S. tuberosum* L.) antagonistas de *Ralstonia solanacearum*, *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* y *Pectobacterium atrosepticum*. pp. 95 in XXV Congreso de la Sociedad Chilena de Fitopatología, 2 al 5 de octubre de 2017, Termas de Chillán, Chile.
- Pieterse, C.M., van Wees, S.C., van Pelt, J.A., Knoester, M., Laan, R., Gerrits, H., Weisbeek, P.J., van Loon, L.C. (1998).** A novel signaling pathway controlling induced systemic resistance in *Arabidopsis*. *The Plant Cell*, 10(9):1571-1580. doi: 10.1105/tpc.10.9.1571.
- Dotor-Robayo, M. y Cabezas-Gutiérrez, M. (2014).** Mecanismos de resistencia sistémica en plantas. *Acta Iguazu*, 3(2), 1-19. doi:10.48075/actaiguaz.v3i2.10277.
- Ryu, C. M., Hu, C. H., Reddy, M. S., and Kloepper, J. W. (2003).** Different signaling pathways of induced resistance by rhizobacteria in *Arabidopsis thaliana* against two pathovars of *Pseudomonas syringae*. *New Phytologist*, 160(2), 413-420. doi: 10.1046/j.1469-8137.2003.00883.x

- Rotenberg, D., Wells, A. J., Chapman, E. J., Whitfield, A. E., Goodman, R. M., and Cooperband, L. R. (2007).** Soil properties associated with organic matter-mediated suppression of bean root rot in field soil amended with fresh and composted paper mill residuals. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(11), 2936–2948. doi:10.1016/j.soilbio.2007.06.011
- Shoresh, M., Harman, G. E., and Mastouri, F. (2010).** Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. *Annual review of phytopathology*, 48(1), 21–43. doi:10.1146/annurev-phyto-073009-114450