

FUNGICIDAS

MECANISMO DE ACCIÓN DE LOS FUNGICIDAS

Introducción

Conocer el modo de acción de los fungicidas es muy importante no solamente desde el punto de vista científico sino que también porque es un arma muy valiosa para los técnicos, pues les permite ampliar sus conocimientos acerca de los productos que recomiendan de acuerdo con sus características, además, les permite conocer la fungitoxicidad del producto, lugar de acción, grupo químico al cual pertenecen y evita que se recomienden alternativas que lleven a problemas de resistencia.

Generalmente se habla del modo de acción de los fungicidas de una manera general indicando si éstos son protectantes o sistémicos: si inhiben germinación de esporas, crecimiento de micelio, formación de apresorios y haustorios o, simultáneamente, varias de estas funciones. Pero muy poco se habla acerca de cómo actúan los fungicidas a nivel intracelular.

Con el presente trabajo se pretende mostrar, de manera sencilla, cómo actúan los fungicidas en la célula del hongo, indicando cuál actividad fisiológica

están interrumpiendo (acción directa), y hablaremos también de los productos que inducen la producción de defensas de la planta huésped o que interfieren con el proceso patológico.

Fungicidas

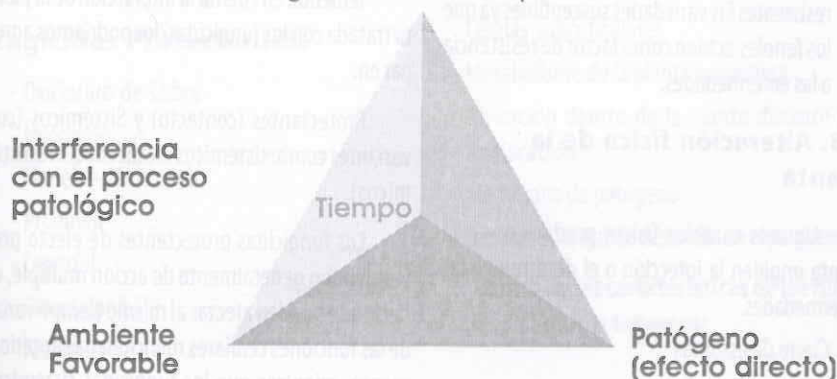
El término fungicida no solamente se refiere a un producto que tiene la capacidad de destruir hongos, sino que incluye también todos aquellos compuestos que pueden proporcionar resistencia a la planta huésped o que convierten el medio ambiente en un lugar inadecuado para el desarrollo y crecimiento del organismo infeccioso.

En este sentido, los fungicidas pueden actuar tal como se aplican o pueden modificar o ser modificados por los tejidos de la planta para ejercer su efecto.

Condiciones para que se presente una enfermedad

Para que se presente una enfermedad se necesitan cuatro factores representados en la Figura 1: una planta susceptible, un ambiente favorable, un patógeno y un período de tiempo.

Figura 1. Planta susceptible



Jairo Melgarejo García

Estudios: 1974, Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de Colombia. 1975, curso sobre arroz, FEDEARROZ. Desempeño en las Ventas, Dupont de Colombia. Finanzas (básica), DuPont de Colombia. 1982, curso Fungicidas, Universidad de Seattle. 1983, Manejo de Marketing, Dupont de Colombia.

Experiencia laboral. 1974, monitoreo de Entomología, Universidad Nacional de Colombia; 1975-77, consultor técnico para cultivos tropicales; 1978-80, representante técnico y de desarrollo, DuPont de Colombia; 1984-87, Gerente de Marketing y Desarrollo, Pacto Andino, Rhone-Poulenc Agro; 1990-91, Gerente de Marketing y Desarrollo para Suramérica, Rhone-Poulenc Agro; Gerente Marketing y Desarrollo Pacto Andino, Caribe y Centro América, Rhone-Poulenc Agro; 1994, Gerente de Desarrollo para América Latina, Rhone-Poulenc Agro (sede en Brasil).

Actualización revisión:

Fernando Abella Portilla

Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de Colombia. 1984.

Asistente Técnico en flores de exportación. Agrónomo de Investigación y Desarrollo-Bayer de Colombia. Jefe de Investigación y Desarrollo. Bayer S.A. Región Andina, Jefe de Asuntos regulatorios. Bayer S.A. Región Andina. Dirección Técnica y Registro. Cropsa Ltda. Jefe de cultivo. Bayer CropScience.

Los fungicidas actúan produciendo efectos en la planta, el medio ambiente y el patógeno.

1. INTERFERENCIA CON EL PROCESO PATOLÓGICO

Hay productos químicos que controlan las enfermedades mediante los efectos que producen en la planta afectada o en el medio ambiente, alterando los niveles de infección, pero sin afectar al patógeno de una manera directa. Estas son bases para la producción futura de nuevos productos más efectivos y con menor impacto para el hombre y el medio ambiente. Esta interferencia puede efectuarse por alteración de los niveles de carbohidratos, estímulo de producción de defensas de la planta y alteración física de la planta.

1.1. Alteración de los niveles de carbohidrato

Existe una interrelación entre los niveles de azúcar y la susceptibilidad a la infección. Algunos patógenos se presentan en condiciones de alto contenido de azúcares, por ejemplo: los causantes de royas y mideos polvosos, mientras que otros tienen mayor incidencia cuando el contenido de azúcares es bajo, como es el caso de *Helminthosporium* y *Alternaria*.

Se sabe que diversos productos pueden modificar la incidencia de los patógenos (o infecciones) al alterar los niveles de carbohidratos de las plantas, ya sea en forma directa o indirecta. Como ejemplo podemos citar el empleo de aceite mineral (*Banana Spray Oil*) para control de sigatoka. El aceite baja los niveles de azúcar en las hojas jóvenes y, por lo tanto, la incidencia de la enfermedad es mayor en las hojas nuevas.

Otros ejemplos: la *hidrazida maleica* daña el floema y reduce el transporte de azúcar aumentando su concentración en la hoja y reduciéndola en las raíces. De esta forma disminuye el ataque de *Alternaria* en el follaje.

1.2. Estímulo de las defensas en la planta

Algunos agroquímicos pueden activar ciertos mecanismos de defensa que existen en las plantas afectadas, estimulando la producción de sustancias fungitóxicas.

Ejemplos: el Fosetyl de aluminio una vez aplicado, es absorbido por la planta y se traslocar en forma ascendente y descendente controlando las enfermedades de la raíz y de los nuevos brotes que se forman después de la aplicación.

El Fosetyl de aluminio (*phosphonatos*) estimula la producción de fitoalexinas y la síntesis de glóbulos fenólicos los cuales rodean y destruyen las células del hongo fitopatógeno en forma similar a la reacción que se observa en las plantas resistentes a enfermedades.

Sin embargo, para que el Fosetyl-Al actúe, se necesita la presencia del hongo como lo han demostrado los estudios con microscopio electrónico que describiré a continuación:

Después de la inoculación, cuando el patógeno está iniciando la infección, al aplicar Fosetyl-Al, se inicia la síntesis de glóbulos fenólicos dentro de la célula. Estos glóbulos, colectados luego de un estrato osmiofílico, protegerán la célula de la planta contra la penetración del patógeno y posteriormente rodea y destruye la célula del hongo. Gracias al modo de acción de este producto que involucra un mecanismo fisiológico complejo, para posibilidad de aparición de una raza de hongos resistentes a Fosetyl-Al es muy improbable.

Otros ejemplos de estímulos de defensas son:

- El cobre y las sales de mercurio estimulan la producción de fitoalexinas en la planta, las cuales actúan como sustancias tóxicas contra los patógenos.
- El ácido naftalenacético y la streptomina empleados en tomate activan el sistema polifenol-polifenol-oxidasa, haciendo más resistentes las variedades susceptibles ya que los fenoles actúan como factor de resistencia a las enfermedades.

1.3. Alteración física de la planta

Algunos cambios físicos producidos en la planta impiden la infección o el desarrollo e las enfermedades.

- a. Cierre de estomas

Como ejemplo, podemos citar los dithiocarbamates (Propineb, Mancozeb) que evitan la penetración del hongo e impiden la esporulación al evitar la salida de los esporangioforos de *Phytophthora infestans* en papa, tomate.

- b. Alteración de la anatomía vascular

Cualquier factor que cambie el tamaño del grupo de vesículas en los haces conductores de agua, afecta la resistencia o susceptibilidad.

Muchos reguladores de crecimiento como el ácido aminotricloro-fenilacético actúan como quimio-terapéuticos y trabajan de esta manera.

- c. Formación de tilosas

Esto tiene importancia para los patógenos vasculares, los cuales se diseminan dentro de la planta al espurular y ser transportados por el xilema. El ácido indolacético en banano induce la formación de tilosas en el xilema, por lo cual las esporas del patógeno (*Fusarium oxysporum*) no migran ni invaden el hospedero. Lo mismo ocurre con la mayoría de los reguladores de crecimiento.

2. Efecto sobre los fitopatógenos

La descripción del efecto del fungicida sobre el patógeno requiere observaciones morfológicas, fisiológicas y bioquímicas, además de una investigación in vitro o in vivo con el patógeno y hospedero adecuados.

2.1 Modo de acción

Es la manera como el producto llega al sitio o como se mueve dentro de los tejidos de la planta para afectar los procesos biológicos vitales en el ciclo de vida del fitopatógeno.

Teniendo en cuenta la interacción de la planta tratada con los fungicidas, los podríamos agrupar en:

Protectantes (contacto) y Sistémicos (con variantes como: sistémicos localizados, mesostémicos).

Los fungicidas protectantes de efecto preventivo son generalmente de acción múltiple, es decir, que pueden afectar al mismo tiempo varias de las funciones celulares mencionadas anteriormente, mientras que los fungicidas sistémicos

actúan o afectan generalmente a un solo sitio de la estructura o fisiología del patógeno.

Los fungicidas protectantes, en general, afectan la germinación de las esporas y pueden ocasionar su muerte aún después de la germinación, pero después de la germinación, y antes que el tubo germinativo haya penetrado en los espacios intercelulares.

Características generales de los fungicidas protectantes: forman una barrera sobre la superficie de la planta impidiendo la germinación de esporas y son absorbidos por el patógeno en proporciones tóxicas (efecto de contacto sobre estructuras fuera de la planta).

La mayoría de los fungicidas protectantes son de acción múltiple respecto de las funciones celulares, lo cual impide el desarrollo de resistencia a estos productos, ya que es muy difícil que el patógeno pueda bloquear todos los sitios de acción del fungicida. Sin embargo, algunos de los fungicidas protectantes son de acción específica y han generado resistencia, como es el caso del Fentin acetato en *Cercospora beticola*.

Algunos de estos fungicidas: Mancozeb, Propineb, Captafol, Fentin acetato, Fentinhidroxido y azufre, se emplean en aplicaciones preventivas contra una amplia gama de enfermedades tales como: *Pyricularia*, *Cercospora*, *Helminthosporium* (hoja y manchado del grano), *Curvularia* y *Rhizoctonia* en arroz, y para controlar muchas enfermedades en papa, hortalizas, banano, ornamentales y otros cultivos. Su selectividad se basa en su baja capacidad de penetración, ya que en el momento en que llegasen a penetrar dentro del huésped serían igualmente tóxicos a la planta y al patógeno por su multiacción. Así mismo, están más expuestos al lavado por lluvias con relación a los fungicidas sistémicos.

Fungicidas Protectantes:

- Oxiclورو de Cobre
- Iprodione
- Maneb – Mancozeb
- Propineb
- Captafol
- Clorotalonil (*)
- Azufre

- Fentinacetato (*)
- Fentinhidroxido (*)
- Diclofuanid
- Captan
- Vinclozolin

(*) No se deben mezclar con aceites porque producen fitotoxicidad.

Los productos con base en azufre son fungicidas protectantes empleados básicamente para el control de mildes polvosos y algunas royas.

Para lograr buenos controles con azufre (S) se debe lograr un buen cubrimiento, con lo cual se obtiene acción protectante y acción de contacto sobre las estructuras del hongo que entren en contacto con el producto (esporas, micelio).

Los azufres trabajan mejor en condiciones secas y a temperaturas mayores de 20 grados centígrados.

El cobre entra en contacto con las esporas impidiendo su germinación o desarrollo (acción fungistática) y después de dos horas de exposición al producto se logra una acción fungicida, por la penetración del producto dentro de las células. En los hongos ustilaginales solo produce acción fungistática.

De otro lado y con el fin de determinar el movimiento y translocación de los fungicidas sistémicos, es necesario cuantificar una amplia gama de interacciones complejas que son difíciles de medir, ya que el producto necesita vencer una serie de obstáculos para llegar a su sitio de acción y en este lapso pueden ocurrir cambios que dificultan la labor investigativa.

Estos obstáculos o barreras que el producto tiene que sobrepasar son:

- Cutícula de la planta
- Células subcuticulares
- Metabolismo de la planta hospedera
- Absorción dentro de la planta durante la traslocación
- Membrana de patógeno
- Metabolismo que se desarrolla en el patógeno.

Dentro de las características de los fungicidas sistémicos tenemos:

- Alta efectividad a dosis bajas en comparación con los fungicidas protectantes.
- Son muy específicos en su forma de acción, lo cual representan un mayor riesgo a resistencia.
- Tienen efecto preventivo, curativo y en algunos casos erradicantes, dependiendo de la dosis y del tipo de fitopatógeno a controlar.
- Aunque varios son curativos, se deben aplicar de preferencia no más de tres días después de iniciada la infección primaria, a fin de obtener mejores resultados.
- Poseen alta selectividad. Penetran en la planta, se translocan y ejercen su efecto sobre los patógenos sin ocasionar daños a la planta.
- Por su acción sistémica y rápida penetración, no están tan expuestos al lavado por lluvias.

Es importante anotar que el efecto curativo de un fungicida hace referencia al control del proceso de la infección, pero en ningún momento se refiere a la recuperación de los tejidos muertos de la planta. Un síntoma de enfermedad como es un necrosamiento (tejido muerto) no se puede regenerar con la aplicación de ningún fungicida.

Como consecuencia de la acción sistémica en la planta, la acción curativa de un fungicida se traduce en su capacidad de destruir los patógenos criptogámicos durante la incubación. El hongo que procesa en el interior del tejido vegetal es detenido en su desarrollo, siempre y cuando la aplicación haya sido realizada pocos días después de la infección.

También es importante anotar que el término post-infección temprana, no significa necesariamente presencia de síntomas externos de la enfermedad.

2.2 Mecanismo de acción

Se define como: El efecto directo que hace el fungicida sobre la biología del microorganismo o en la reacción bioquímica y biofísica que provoca un cambio fisiológico o la muerte del hongo.

Aunque varios mecanismos son desconocidos o se están investigando, podemos agruparlos en cuatro tipos básicos de como los fungicidas ejercen su acción:

- Inhibición del metabolismo energético.
- Interferencia con la biosíntesis.
- Interferencia con la estructura celular.
- Actividad multisitio.

2.2.1. Inhibición del metabolismo energético

Este grupo de fungicidas está asociado a procesos como la respiración celular, es decir, la incorporación de oxígeno y la liberación de CO₂ debido a una reducción en la producción de la energía necesaria (ATP) para la realización de los procesos enzimáticos de oxidación de las sustancias nutritivas, es decir, que los fungicidas pueden afectar el ciclo de Krebs en una o varias de sus etapas, impidiendo la producción de ATP, afectando el metabolismo de la glucosa, e impidiendo la oxidación de ácidos grasos y aminoácidos. (Figura 2).

El desarrollo de nuevas moléculas ha sido bastante amplio en este grupo de fungicidas, los cuales podríamos citar los siguientes: (Tabla 1)

Figura 2. Gráfica del ciclo de Krebs

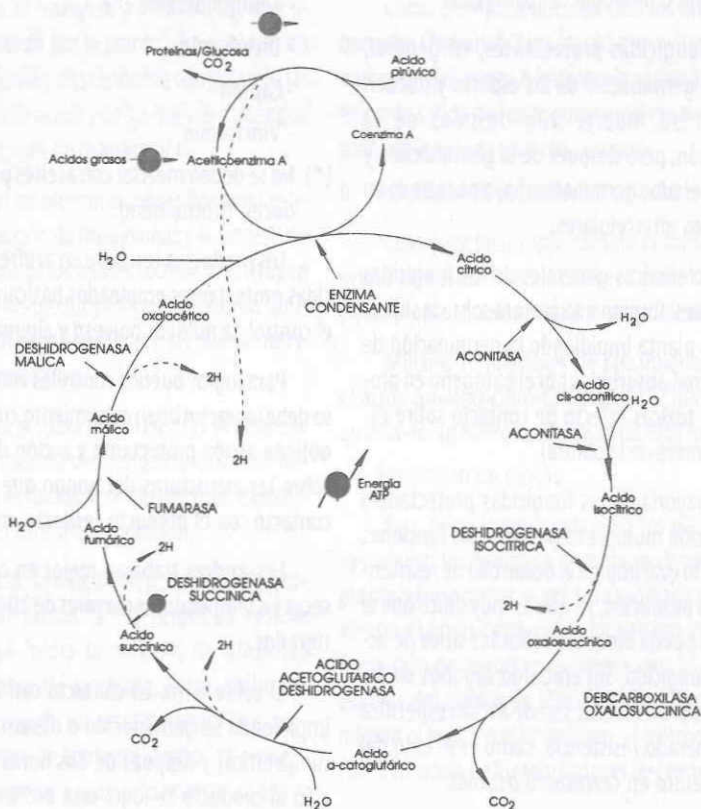


Tabla 1.

Grupo	Nombre común
Pyrimidinamines	Diffumetorim
Inhibidores de la dehidrogenasa succinato (SDHI)	Benodanil, Flutolanil, Mepronil, Carboxin, Oxycarboxin, Fluopyram, Fenturam, Isopyrazan, Boscalid.
Inhibidores fuera de la quinona (Qol)	Azoxystrobin, Pyraclostrobin, Kresoxim-methyl, Tryfloxystrobin, Famoxadone, Floxastrobin, Fenamidone.
Inhibidores dentro de la quinona (Qil)	Cyazofamid, Amisulbrom.
Desacopladores de la fosforilación oxidativa	Binacryl, Fluazinam.
Componentes órgano-estañosos	Fentin acetate, Fentin hydroxide.
Thiophene- Carboxamides	Silthiofam
Fungicidas Qxl	Ametoctradin

Vale la pena hacer referencia a los Inhibidores fuera de la quinona (Qol), cuyos productos tienen una gran difusión, teniendo en cuenta su amplio espectro de control sobre Oomicetos y hongos superiores. Hay que recalcar que estos compuestos presentan alto riesgo a resistencia y resistencia cruzada entre los miembros del mismo grupo.

Por el valor que implica su desarrollo y sus características, estos ingredientes activos se formulan en mezcla con otros compuestos con mecanismo de acción diferente.

2.2.2. Interferencia con la biosíntesis

El término biosíntesis hace referencia a todos los mecanismos que tienen que ver con la producción de nuevos materiales celulares para crecimiento y mantenimiento del organismo, tales como: compuestos de bajo peso molecular (aminoácidos, purinas, pirimidinas, vitaminas), síntesis de proteínas, inositol, Timidina, Tubulina y síntesis de ácidos nucleicos.

algunas bacterias, siendo activo solamente a pH bajo. Es un producto de toxicidad baja.

Pyrimethanil, Cyprodinil. Fungicidas con acción sistémica en las plantas y efecto sobre *Botrytis* en frutales, ornamentales y hortalizas. Pyrimethanil actúa sobre la sigatoka negra en banano y plátano, valioso dentro de los programas de rotación.

b. Síntesis de Melanina en la pared celular

En este grupo se encuentran ubicados los fungicidas; Tricyclazole, Fthalide, Pyroquilon, los cuales se emplean en el control de *Pyricularia grisea* en arroz. Estos compuestos bloquean la ruta de los polyketidos, impidiendo la melanización de las paredes apresoriales. Las paredes no melanizadas de estos patógenos carecen de la fuerza necesaria para poder penetrar la epidermis de la planta. Como resultado de la inhibición de la síntesis de melanina se presenta acumulación de metabolitos polyketidos, los cuales también interfieren con la penetración de los apresorios. La melanina está encargada básicamente de la maduración fisiológica de los órganos fungosos.

Tricyclazole. Fungicida sistémico, específico para *Pyricularia grisea*, de rápida absorción por la planta (1 hora) y de acción residual prolongada. Se absorbe por las hojas (transporte por el xilema) y también es transportado de una hoja tratada a las hojas nuevas no tratadas. Su acción sobre el hongo en la superficie de la hoja es escasa (no inhibe germinación de esporas), pero actúa sobre los apresorios y limita el crecimiento del micelio dentro de los tejidos de la planta.

Fthalide. Fungicida con efecto preventivo que dificulta la introducción de apresorios y produce una deformación de éstos. Es específico para *Pyricularia grisea* y no inhibe germinación de esporas.

Pyroquilon. Fungicida sistémico para tratamiento de semillas y para prevención de *Pyricularia grisea* en el cultivo de arroz. Es absorbido por la planta tres horas después de aplicado, traslocándose en forma acropetal e impidiendo la penetración y formación de los apresorios.

Carpopamid. Actúa especialmente en forma preventiva, inhibiendo la penetración del micelio. Bloquea procesos enzimáticos durante la

biosíntesis de la melanina en sitios diferentes a los otros inhibidores. Tiene especificidad para el control de *P.grisea* en arroz. Posee otro mecanismo alterno denominado inductor de resistencia.

c. Síntesis de ácidos nucleídos

En este grupo se encuentran las Phenyl Amides (Furalaxil, Metalaxil, Oxadixyl, Benalaxil, Ofurace, los cuales afectan la síntesis de RNA y/o DNA. Estos compuestos son efectivos contra patógenos del orden de los Peronosporales. Estudios efectuados con isótopos radioactivos han demostrado que estos productos afectan la síntesis de RNA, con efecto secundario sobre la síntesis de otras macromoléculas.

El grupo de las Phenyl Amides presentan alto riesgo de resistencia. Generalmente están en formulación con fungicidas de amplio espectro con el fin de disminuir el riesgo a resistencia.

Relacionados con este sitio de acción sobre síntesis de ácidos nucleicos, también están clasificados los grupos: Hidroxy- pirimidinas, Heteroaromaticos y los Ácidos carboxílicos.

d. Interferencia con la biosíntesis de esterol en membranas

El análisis bioquímico de la acción de estos compuestos en la célula del hongo revela que la biosíntesis de ergosteroles es rápidamente inhibida. Esta inhibición eventualmente afecta la síntesis de la membrana celular y el crecimiento del hongo.

Casi todos estos compuestos exhiben diversos grados de sistemicidad y controlan un amplio rango de enfermedades causadas por Ascomycetos, Basidiomycetos y Deuteromycetos.

Los hongos seleccionados para resistencia a un miembro de este grupo de fungicidas usualmente desarrollan resistencia a los demás. Este fenómeno de resistencia cruzada indica que todos poseen un modo de acción común.

Los esteroles son requeridos para el crecimiento y la reproducción de los organismos eucarióticos. Ellos sirven como componentes arquitectónicos (estructurales) de las membranas.

La síntesis de los esteroles es un aspecto del metabolismo general de los lípidos en la cual el Acetato (unidad química básica inicial) es con-

vertido en mevalonato. La condensación de cinco unidades de carbón o isoprenóides (formados por la pérdida de un carbono del ácido mevalónico) eventualmente conduce a la formación de escualeno.

La ciclización de escualeno el primer intermedio de esterol, lanosterol - es el primer paso en una serie de reacciones complejas que conducen a la síntesis de ergosterol, el principal esterol de los hongos superiores.

La síntesis involucra las siguientes reacciones: (i) La introducción de un grupo metil al lanosterol en el C24, acompañado por un doble enlace transportado del C24 (25) al C24 (28); (ii) Remoción de tres grupos metil sobre el núcleo del esferoide (dos en C4 y uno en C14); (iii) Doble enlace transportado del C8 (9) al C7; (iv) introducción de un doble enlace en el C5 (6) y C22, y (v) Reducción del doble enlace del C24 (28).

Muchas de las reacciones no han sido completamente dilucidadas y el orden preciso de los pasos en la vía puede variar en las diferentes especies de hongos.

El sitio de la biosíntesis de esteroles es la porción lisa del retículo endoplasmático; en parte, esto involucra el microsoma, función mixta y el sistema oxidada.

Las proteínas transportadoras de esteroles, las cuales están involucradas en todos los pasos de la síntesis de esterol, permiten la intervención del esterol y las enzimas necesarias para las muchas conversiones del esterol.

Dentro de los ingredientes activos más conocidos se pueden mencionar los siguientes: (Tabla 2).

Son de gran utilidad para un amplio espectro de enfermedades en: Arroz, trigo, cebada, hortalizas, ornamentales, banano, cítricos, uvas, maíz, soya entre otros cultivos.

Controlan; Royas, mildes polvosos, oidio, complejos foliares, causados por hongos superiores (Basidiomycetos, Deuteromycetos, Ascomycetos). Algunos compuestos son parte estructural de fungicidas para tratamiento de semillas.

Específicamente los triazoles son los más difundidos y comercializados. Este grupo quími-

Tabla 2

Grupo químico	Nombre común
Piperazines	Triforine
Pyrimidines	Fenarimol
Imidazoles	Imazalil, Prochloraz
Triazoles	Bitertanol, Cyproconazole, Difenoconazole, Epoxiconazole, Flutriafol, Hexaconazole, Myclobutanil, Propiconazole, Tebuconazole, Triadimefon.
Morpholines	Dodemorph, Tridemorph.
Spiroketal-amines	Spiroxamine
Hydroxyanilydes	Fenhexamid
Thiocarbamates	Pyributicarb

co es la base para un gran número de co-formulaciones.

e. Síntesis de lípidos y membrana

En este grupo se incluyen productos que afectan la formación de glucolípidos en las membranas, lo cual provoca cambios en la permeabilidad de la misma.

En la clasificación se pueden mencionar los siguientes compuestos, pertenecientes a este grupo de fungicidas. (Tabla 3).

Iprobenfos y Edifenfos. Tienen similitud en su forma de acción y gran relación estructural. Tienen efecto preventivo, curativo, pero se deben aplicar de preferencia máximo 2-3 días después

Tabla 3

Grupo químico	Nombre común
Phosphoro-thiolates	Iprobenfos, Pyrazophos
Dithiolanes	Isoprotiolan
Aromatic hydrocarbons	Tolclofos-methyl
1,2,4-thiadiazole	Etridiazole
Carbamates	Propamocarb, Prothiocarb

de iniciada la infección primaria, con el fin de obtener un mejor control de la enfermedad.

Controlan *Pyricularia grisea* y tienen efecto secundario sobre *Helminthosporium* y *Cercospora*.

Pyrazophos. Controla mildes polvosos en varios cultivos; sus metabolitos son tóxicos al patógeno. Posee penetración y movimiento lateral en hojas, sin ser un sistémico propiamente dicho.

Tolclofox. Fungicida para el control de patógenos del suelo, tales como; *Rhizoctonia*, *Sclerotium* y *Typhula* en papa, bulbos, algodón, maní, vegetales, cereales, ornamentales por tratamiento al suelo o a la semilla.

Propamocarb. Fungicida sistémico con gran actividad curativa; afecta el crecimiento del micelio y la producción y germinación de esporas. Es utilizado para el control de *P. infestans* y otros peronosporales. Es un fungicida útil en semilleros para el control «Dumping off» y para tratamiento de semillas de algodón, maíz, soya, sorgo y arroz. Se han desarrollado co-formulaciones con **Fluopicolide** y **Fenamidone** para aplicaciones en papa, tomate, cebolla.

2.2.3. Interferencia con la estructura celular

a. Formación de pared celular

Las paredes celulares de los hongos son estructuras muy complicadas tanto desde el punto de vista físico como químico, y están constituidas por un gran número de sustancias combinadas entre sí, tales como: celulosa, materias pécticas, grasas, proteínas y quitina. Estas sustancias están unidas según un orden preciso, por lo cual se protegen de la degradación enzimática y permiten el paso en ambos sentidos (dentro hacia afuera y viceversa) de productos de bajo peso molecular.

Para la síntesis de la pared celular se requiere la formación de Glucolípidos a partir de las membranas, así como la fijación de C-glucosamina a la quitina dentro de las paredes celulares.

A este grupo pertenece; **Validamycin.** Es un fungicida del grupo químico glucopyranosyl antibiotic, que controla el añublo de la vaina causado por el hongo *Rhizoctonia solani*. Tiene efecto preventivo evitando el desarrollo de la enfermedad y entra en contacto con el micelio del patógeno impidiendo su crecimiento. Se estima que el patógeno no puede penetrar en la planta tratada y ésta a su vez tiene tiempo para activar su sistema de defensa.

Polyoxin. Es un derivado de la pirimidina que inhibe el desarrollo de *Pyricularia grisea*. Impide la fijación de C-glucosamina a la quitina dentro de las paredes celulares. Los oomycetos carecen de quitina en sus paredes celulares y, por

lo tanto, son insensibles al producto (polioxin). Sin embargo, muchas especies de hongos que disponen de un alto contenido de quitina son insensibles al producto, ya que, tal vez, éste no alcanza a llegar al punto de acción de estos organismos. En algunos países se ha ensayado con buenos resultados para control de *Helminthosporium*.

Dimethomorph. Es un fungicida derivado del ácido cinámico, que posee actividad preventiva y curativa sobre Oomycetos, de uso común en el control de *P. infestans*, *Peronospora*, *Pseudoperonospora*, *Plasmopara* y ofrece control eficaz de mildew veloso en rosas.

Nuevos compuestos se han desarrollado pertenecientes al grupo de los Carboxylic Acid Amides, como lo son: **Mandipropamid e Iprovalicarb.** Actúan contra: *Phytophthora infestans*, *Peronospora destructor*, *Peronospora sparsa*, en cultivos de hortalizas y rosas.

b. Interferencia con la división celular (Mitosis)

En este grupo se encuentran los benzimidazoles y tiofanatos tales como: Benomyl, Carbendazim, Metil-tiofanato, Tiofanato, Tiabendazole, Fuberidazole, los cuales tienen similitud en su estructura, espectro de control y forma de acción, afectando la reproducción celular como efecto primario.

Benomil. Actúa sobre la tubulina de las células, una proteína que se encuentra en el citoplasma y es de carácter vital para la división celular (mitosis), ya que es la encargada de la síntesis de los microtubulos que forman el uso acromático en la profase y posteriormente de los microtubulos cromosómicos que intervienen en la división de los cromosomas en la zona ecuatorial en la metafase.

El Benomil, al impedir la realización de la mitosis, detiene cualquier tipo de desarrollo ya sea germinación de esporas, crecimiento de micelio, apresorios o haustorios, quedando el patógeno totalmente impedido para tomar alimento a su alrededor.

Posteriormente, el Benomil sufre una transformación y se metaboliza en dos productos: MBC (Carbendazim) Butil isocianato. El MBC se encarga de mantener el efecto antimitótico, impidiendo cualquier tipo de desarrollo del hongo y el Butil

isocianato actúa como un fuerte inhibidor de la oxidación de la glucosa y del acetato impidiendo la respiración celular, o sea en los dos metabolitos tienen actividad fungitóxicas.

Benomil y Carbendazim son fungicidas preventivos y curativos que se translocan por el apoplasto. Al igual que otros benzimidazoles, controlan una amplia gama de enfermedades en diversos cultivos, tales como ornamentales y hortalizas (*Botrytis*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Penicillium*, *Sphaerotheca*), antracnosis en café, sorgo, frijol (*Colletotrichum*), *Cercospora sp* en diversos cultivos y diversas enfermedades en árboles frutales (*Venturia*, *Monilia*, *Gloesporium*, etc.).

Otras enfermedades del arroz controladas con Benomil reportadas en otros países son: *Acrocyndrum oryzae* (pudrición de la vaina), *Entyloma oryzae* (carbón de la hoja), *Sclerotium oryzae*, *Gibberella fujikuroi* (*Fusarium moniliforme*). *Thanatephorus cucumeris* y *Nigrospora S.D.*

Los depósitos de Benomil sobre las superficies de las hojas sirven como reservorio de material fungicida activo, el cual llega a los tejidos foliares mediante una rápida penetración cuticular seguida de un efectivo movimiento sistémico apoplástico dentro de esos tejidos.

Metil-tiofanato. El metil-tiofanato se transforma en carbendazim y es en esta forma como ejerce su acción fungitóxicas, es decir, que su efecto depende completamente de la formación de Carbendazim. Por lo tanto, el Metil-tiofanato expresa su acción fungitóxicas a un paso más lento de Carbendazim y Bendomil, y requiere dosis más altas. Igualmente, el efecto fungitóxico del Tiofanato (otro fungicida) se debe a la formación de EBC (Etil-bencimidazol-carbamato) que es ligeramente menos activo que el Cardendazim y menos activo que benomil.

Thiabendazole. Su modo de acción es similar al de Carbendazim con su mismo efecto antimitótico; pero posee un mayor efecto sobre el crecimiento de los tubos germinativos de las esporas e impide el desarrollo del micelio. Sin embargo, la germinación de esporas y la oxidación de la glucosa (respiración) no son inhibidas como ocurre con Benomil. El Fuberidazol es otro producto con modo de acción similar al Tiabendazol y al Carbendazim.

Los Benzimidazoles y Thiophanates presentan alto riesgo a resistencia y se debe tener en cuenta las guías para su manejo.

Pencycuron del grupo químico de las Phenylureas, está clasificado en este grupo con efecto sobre la división celular (propuesto). Actúa sobre *Rhizoctonia solani* en forma preventiva en cultivos de arroz, papa y semilleros.

Recientemente se introdujo el nuevo compuesto **Fluopicolide** del grupo de las Benzamides. Este es un fungicida translaminar, que posee un sitio de acción diferente el cual afecta la estructura celular de Oomycetos como: *P. infestans* en tomate y papa y *Pseudoperonospora cubensis* en melón en co-formulación con **Pro-pamocarb.**

c. Interferencia en transducción de señales.

Están clasificados los siguientes grupos:

Azanzphtalenos, Phenyl Pyrroles y Dicarboxamidas.

Dentro de los Phenyl Pyrroles están los compuestos, Fludioxonil y Fenpiclonil.

Fludioxonil. Es un fungicida de amplio espectro, utilizado para tratamiento de semillas y controla patógenos Ascomycetos, Basidiomycetos y Deuteromycetos. Este ingrediente activo no sistémico, inhibe el crecimiento micelial del hongo y se utiliza también en aspersión para ornamentales y frutales.

Las Dicarboxamidas son productos relacionados con el control de *Botrytis*, como **Vindozolin e Iprodione.** Sin embargo se han reportado casos de resistencia y se deben aplicar las guías respectivas para su manejo. Iprodione controla *Helminthosporium*, *Alternaria*, *Phoma*, *Sclerotinia*, *Fusarium* y *Mycosphaerella* en flores, ornamentales, vid, fresas, frutales, hortalizas y tratamiento de poscosecha.

2.2.4. Actividad multisitio

Este grupo de compuestos tienen actividad de contacto y son muy valiosos en los esquemas de manejo integrado de fungicidas. Las características de multiacción los hacen fungicidas claves dentro de las co-formulaciones, que tienen la

connotación de, ampliar el espectro de actividad y minimizar el riesgo a resistencia.

Dentro de los más utilizados están:

Los Dithiocarbamatos y relacionados como: **Propineb, Mancozeb, Metiram**. Se formulan solos o en mezcla con productos específicos como las Phenyl- Amides, para el control de Oomycetos (*Phytophthora*, *Peronospora*, *Plasmopara*, *Pseudoperonospora*) en cultivos de, tomate, papa, rosas, cebolla, melón, lulo, mora, uva.

Mancozeb solo, es bastante utilizado en: Hortalizas, banano, arroz, ornamentales, uvas, papa.

Otro grupo perteneciente a este tipo de productos, corresponde a las Phthalamidas, donde están ubicados: **Captan, Folpet**. Utilizados en ornamentales y hortalizas en general.

Los Chloronitrilos como **Chlorothalonil** son ampliamente utilizados para el manejo preventivo de varias enfermedades en: Papa, frijol, banano. Existen co-formulaciones con Acylalanines y Mandelic acid amides.

Se ubican también las Sulfamidas como **Dichlofluanid, Tolyfluanid**, utilizadas para el control preventivo de *Botrytis*, en ornamentales, tomate, frutales. Reporte de control de: *Alternaria porri*, *Peronospora destructor*, *Plasmopara viticola*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Venturia inaequalis* en frutales y *Mycosphaerella fragariae* en fresas.

Guanidinas como **Guazatine**. Empleado en diferentes cultivos para control de diversas enfermedades como: *Septoria*, *Fusarium* y mildes polvosos en cereales, Sigatoka en banano (*Mycosphaerella fijiensis*, *M. musicola*, *Cercospora* y *Cercosporidium* en maní y diversas enfermedades en tratamiento de semillas, tales como: *Fusarium nivale*, *F. culmorum*, *F. graminearum*, *Septoria nodorum*, *Tilletia caries* y diversas especies de *Helminthosporium*. Posee también buen efecto como repelente de pájaros.

Como fungicidas multiacción se clasifican los compuestos inorgánicos como el Cobre y Azufre.

Los fungicidas con base en Cobre afectan los radicales SH, aminos y carboxílicos de los compo-

nentes celulares, inactivando las enzimas esenciales para su normal funcionamiento.

Los cobres trabajan mejor en ciertas condiciones de humedad (*Phytophthora*, *Plasmopara*) y roya del café (*Hemileia vastatrix*).

Existen diversas teorías acerca del mecanismo de acción del Azufre sobre los patógenos.

- Por producción del ácido pentatónico mediante procesos de oxidación, que tiene efecto tóxico sobre los patógenos.
- Por producción del H_2S (reducción) que es un compuesto altamente tóxico a los hongos.
- Por acción directa del S ya que se ha encontrado este elemento en el interior de células fungosas (pidium).
- Por acción del S como un elemento análogo de otro producto indispensable.

Según Sciarini y Nord (1943), *Fusarium* consume O_2 con S, formando en reacciones de fermentación, H_2S en lugar de H_2O , interfiriendo así las reacciones de ciclo de Krebs (actuando como un antimetabolito).

2.2.5. Mecanismos no conocidos

A pesar que existen fungicidas altamente efectivos para el control de las enfermedades, hay muchos productos sobre los cuales se ignora su mecanismo de acción o las observaciones que se dispone son insuficientes para ubicarlos en cualquiera de las clasificaciones mencionadas.

En esta clasificación podemos enumerar los siguientes ingredientes activos:

Cymoxanil. Es una de las moléculas de mayor uso para el control de Oomycetos. Regularmente está en co-formulación con Dithiocarbamatos, de amplio uso en cultivos de papa, tomate, cebolla, frutales y ornamentales.

Fosetyl de Aluminio. El espectro de control del producto es principalmente para los géneros (*Pythium*, *Phytophthora*, *Peronospora*, *Plasmopora*) y controla algunas bacterias como *Xanthomonas*, *Pseudomonas*, *Erwinia*.

En el cultivo de flores y hortalizas se recomienda para el control de mildes vellosos (*Pero-*

nospora sparsa, *Pseudoperonospora cubensis*, *Peronospora destructor*, *Phytophthora fragariae*, *Bremia lactucae* y en frutales (piña, cítricos y aguacates) para el control de *Phytophthora s.p.* con acción curativa gracias a su sistemía completa ascendente y descendente.

Dodine. Este es un fungicida sistémico de acción preventiva, curativa y erradicante, que ocasiona rompimiento en la membrana celular con la siguiente pérdida de los metabolitos esenciales. En el caso de las conidias, esta desorganización de las membranas celulares las hace fácilmente penetrables por Dodine, el cual actúa posteriormente afectando el ciclo de Krebs, en las mitocondrias por inhibición de diversas enzimas. Dodine se emplea para el control de enfermedades en frutas y hortalizas, tales como: *Taphrina deformans*, *Mycosphaerella fragariae*, *Peronospora destructor*, *Coccomices hiemalis*, *Fusarium*, *Fusicladium eriobotryae*.

Ethaboxam. Es un fungicida específico para el control de Oomycetes. Tiene acción preventiva, curativa con características sistémicas en las plantas tratadas. Controla *Plasmopara viticola*, en vid *P. infestans* en papa, tomate y *Bremia lactucae* en lechuga.

Flusulfamide. Utilizado en hortalizas y papa; se reporta que inhibe la germinación de esporas en reposo de *Plasmodiophora brassicae*, mediante la absorción en las paredes celulares.

Didomezine. Con actividad preventiva, curativa, inhibiendo el crecimiento y formación del micelio. Utilizado principalmente para el control de *Rhizoctonia* y *Sclerotium* en arroz y contra *Rhizoctonia* en campos de golf y maní.

Están clasificados otros compuestos como: Methasulfocarb, Cyflufenamid, Metrafenone, Flutianil.

Como prácticas de manejo y teniendo en cuenta que muchos cultivos son atacados por varios fitopatógenos y/o complejos fungosos, se recomienda efectuar mezclas de productos con mecanismo de acción diferente y rotación de fungicidas, con lo cual se logra un amplio espectro de control y se evita o demora el problema de la resistencia que lleva al uso continuado de los fungicidas específicos aplicados solos.

CropLife International posee un comité técnico de especialistas agrupados en FRAC. El propósito es proveer delineamientos para el manejo de resistencia a fungicidas, con el fin de prolongar la efectividad y limitar las pérdidas que podrían ocurrir por generación de resistencia a fungicidas.

VII. Bibliografía

ALBORNÓS. R. Grupos importantes de fungicidas usados en Colombia y su mecanismo de acción. Hoechst. Colombia (mimeografiado, sin fecha).

DAVIDSE LC, WAARD MA de, Sistemic Fungicidas, 1984, University of Wagenigen the Netherlands.

INOVE S., MAEDA K., UEMATSU T., KATO T., Comparison of tetrachlorophthalide and pentachlorobenzyl alcohol with chlobentiazone and

other Melanin inhibitors in the mechanism of rice blast control, 1984.

LEROUXP, GREDT M., FRITZ R., Similitudes et Differences entre les modes d'action de I, I mazalil, du triadimefon, du Triarimol et de la Triaforine, Phytiatie-Phytopharmacie p. 25, 317, 334; 1976.

MELGAREJO J. Modo de acción de los fungicidas (mimeografiado) 1989, Rhone-Poulenc Agrochimie, Bogotá.

PLM. 2010. Diccionario de especialidades agroquímicas. Thomson PLM, S.A. Ed 20.

RESISTANCE MANAGEMENT. Consulta junio de 2011. Disponible en páginas web. w.w.w.cropLife.com, w.w.w.frac.info/frac/about.htm.

RHONE-POULENC AGROCHIMIE, ROVRAL. Manual Técnico, 1985.

RHONE-POULENC AGROCHIMIE. Symposium International Aliette, 1987, París, Lyon – Francia.

SCHUINN F., GERSBUHLER H., Towards a more rational approach to a fungicide design, 1983, Ciba-Geigy. Switzerland.

SIEGELM., Sterol inhibiting fungicides; Effects on sterol. Biosynthesis and sites of action, (Plant disease. Vol. 65 No. 12), 1981.

SISLER H., Control of fungal diseases by compounds acting as antipenetrants, Crop protection, p. 5 (5), 306 – 313, 1986.

WOLOSHUR C., SISLER H., Tricyclazole, Pyroquilon, Tetrachlorophthalide, PCBA, 1981. Coumarin and related compounds inhibit melanization and epidermal penetration by *P. oryzae*, J. Pesticide Sci 7, 1982.



PROTECCION DE CULTIVOS

Participe de la Campaña 2011 CAMPO LIMPIO
Recoja los Envases de los Plaguicidas y Fungicidas.
Llévelos al Centro de Acopio.
para el Triple Lavado e Incineración