

APUNTES SOBRE FUNGICIDAS.

Ing. Agr. Vivienne Gepp, MSc. e Ing. Agr. Pedro Mondino

FUNGICIDAS DE CONTACTO.

Son los más antiguos, incluyen los principios activos más usados a nivel mundial.
Mínima penetración al vegetal. En general son de amplio espectro.
Los de modo de acción conocido son de múltiples sitios de acción.

INORGÁNICOS :

Azufrados.

Azufré - primer fungicida. *Polisulfuro de calcio*

Sulfuro de H inhibe respiración, afecta proteínas y forma quelatos con metales pesados en la célula fúngica.

Mayor efectividad contra oidios, también royas y algunas manchas foliares como *Venturia inaequalis*.
Acaricida.

Corto efecto residual.

Fitotoxicidad: en manzana, pera, cucurbitáceas. Síntomas generalmente más severos con Polisulfuro de calcio, a temperatura >30°C para S y >26°C para polisulfuro. Quemado se produce mientras el caldo no se seque ⇒ atomización a bajo volumen disminuye el quemado.

No usar cerca de aplicación de aceites (para algunos casos hay que dejar 30 días). S es incompatible con aceites. Polisulfuro incompatible con la mayoría de los productos.

Intervalo de entrada restringida de 24 horas.

Tiempo de espera 0 día.

Autorizados en Agricultura Orgánica.

Cúpricos.

Muchos principios activos: *oxicloruro de cobre*, *hidróxido de cobre*, *sulfato de cobre*, *caldo bordelés*, etc. Cu^{++} se acumula en células de hongos sensibles. Forma complejos con enzimas que poseen grupos sulfhidrilo, hidroxilo, amino o carboxilo, inactivándolos.

En general se usan productos relativamente insolubles en agua para evitar fitotoxicidad e incrementar retención.

Muy amplio espectro de acción, bacterias, hongos inferiores, menos efectivo para hongos superiores de esporas coloreadas, royas e inefectivo para oidios.

Fitotóxicos en Prunus y cucurbitáceas. En otros cultivos endurece los tejidos y tiende a disminuir el crecimiento.

Se acumula Cu en el suelo si son usados en forma reiterada año tras año.

Tóxicos para lombrices.

Efecto sinérgico con Estreptomycin, con Ditiocarbamatos y con Zn. Mejora su acción mediante adición de aceite.

Mayor efectividad con pH del agua entre 6,5 y 9,0

Intervalo de entrada restringida de 48 h para hidróxido de Cu y 24 h para el resto de las formulaciones.

Autorizado en Producción Orgánica.

Estañados.

Acción biocida general de estaño.

No se recomienda por los residuos de estaño que quedan en los vegetales y el suelo.

Fentin acetato y *fentin hidróxido*. → *P. infestans*, *Alternaria* spp., *Helminthosporium* spp., *Cercospora beticola*, *Ramularia* spp., *Glomerella cingulata*, *P. grisea*. Potencialmente fitotóxicos.

Iodo.

Q – 2000 parece ser desinfectante externo y aumentar las defensas de las plantas.

ORGANICOS :

Ditiocarbamatos.

- * *Mancozeb, maneb, zineb*, (etilen-bisditiocarbamatos = EBDC);
- * *metiram* (disulfuro de polietilentiouramina + Zn)
- * *ferbam, ziram*, (dimetil-ditiocarbamatos)
- * *tiram*, (terametil tiuram)
- * *propineb*. (propilen-bisditiocarbamato)

Reaccionan de manera general con los grupos -SH, inhiben enzimas, interfieren con la producción de energía dentro de la célula.

Son de los productos más usados actualmente, especialmente el Mancozeb. De amplio espectro, efectivos para *Phytophthora infestans*, *Botrytis cinerea*, *Alternaria* spp., *Septoria* spp., etc. El mancozeb posee cierta acción preventiva contra royas.

Inefectivos contra oidios.

Considerados de baja fitotoxicidad en el uso normal, si por aplicación excesiva y cutícula muy fina, ingresan al vegetal lo dañan localmente.

Etilenbisditiocarbamatos se metabolizan a campo y especialmente con la cocción a etilen-tiourea (ETU) el cual es cancerígeno.

Una dosis puede afectar la tiroides, repetido uso puede causar bocio.

Interactúan con el alcohol consumido, aumentan los efectos tóxicos e inhibe la metabolización del alcohol.

Tóxicos para peces.

Almacenados en lugares cálidos y húmedos liberan gases inflamables.

Período de entrada restringida 24 h.

En USA hay 77 días de espera en manzano, y muchos fabricantes de comida elaborada, especialmente para bebés, no compran fruta tratada con EBDC.

Aceites.

No son muy usados para controlar hongos, aunque tienen cierta efectividad contra *Septoria* spp., *Mycosphaerella* spp., oidios y mildius.

Ftalimidas.

Captan, Folpet.

Reaccionan con grupos sulfhidrilo y otros.

Muy amplio espectro → *Phytophthora infestans*, *Botrytis cinerea*, *Alternaria* spp., *Colletotrichum* spp., *Ascochyta* spp., *Pythium* spp., *Phoma* spp., *Thielaviopsis basicola*, etc. No afecta ni oidios ni royas.

Captan es incompatible con aceites, no usar en los 15 días anteriores ni posteriores de una aplicación de aceites.

No compatible con productos alcalinos.

Captan puede causar manchado y caída de hojas de manzano si se aplica en las tres semanas después de caída de pétalos, especialmente si se combina con azufre.

Folpet es muy similar al captan, usado principalmente en vid. Ambos pueden causar manchado de granos de uva si se aplican en períodos de alta humedad relativa.

Captan se encuentra restringido y/o prohibido en varios países por posibles efectos

Clorofenilos.

Clorotalonil. Se fija a grupos sulfhidrilo y mercapto.

De contacto.

De muy amplio espectro, similar a los ditiocarbamatos.

De numerosos efectos tóxicos en mamíferos (aumento de mutaciones, toxicidad crónica, reacciones alérgicas, probablemente cancerígeno).

No usar con humectante ya que se disminuye la fungitoxicidad y aumenta la fitotoxicidad. Puede causar roñado en uva.

Incompatible con aceites o formulaciones oleosas.

Quinonas. *Diatinon* Afinidad con grupos sulfhidrilo y thiol. Usado en fruticultura en otros países.

Sulfamidas. *Diclofluanid*

Tiazinas. *Anilazina* Acción con grupos sulfhidrilo y amino.
→ *Alternaria solani*, *Botrytis cinerea*

Nitroparafinas. *Fenitropan* → grupos sulfhidrilo

Quinoxalinas. *Chinomentionat* Se fija a grupos sulfhidrilo y mercapto.
Específico para oidios, en frutales, hortalizas y ornamentales.
Termoestable, puede usarse como fumigante en invernáculo.

FUNGICIDAS PENETRANTES Y SISTEMICOS.

Dicarboximidas.

Iprodione, Procimidone, Vinclozolin, Clozolate, diclozoline.

Interfieren con la actividad y/o síntesis de ADN. Inhiben la germinación de esporas y provocan lisis de hifas. Se han reportado casos de acostumbamiento de hongos en varios países, aunque la resistencia es relativa y la población puede volver a ser sensible luego de unos meses sin contacto con este grupo de fungicidas.

Escasa capacidad de moverse en el vegetal, se comportan más como productos de contacto con buen grado de absorción.

Son muy usados en horticultura y en fruticultura por su acción sobre especies de los géneros: *Botrytis*, *Sclerotinia*, *Alternaria*, *Septoria*, *Phoma*, *Rhizoctonia*, *Helminthosporium*, *Penicillium* *Monilia*.

No controlan Oomycetes, Zigomicetes ni Basidiomycetes.

Para evitar resistencia en *Botrytis cinerea*, FRAC recomienda: no aplicar más de dos o tres veces por ciclo de cultivo, restringir las aplicaciones a momentos cuando la presión de infección es alta, mantener períodos prolongados sin usar este grupo de productos, cuando aparece resistencia utilizar combinación de productos.

Benzimidazoles.

Benomil, carbendazim, metil tiofanato, tiabendazol, fuberidazol.

Inhiben la síntesis de la tubulina, el sitio de acción es un aminoácido de la β -tubulina. Esta sustancia existe en todas las células eucariotas, aunque Oomycetes y plantas son insensibles a los benzimidazoles, no se sabe por qué.

El cambio de un sólo aminoácido (fenilalanina → tirosina, o arginina → histidina) se traduce en resistencia. Las cepas insensibles pierden la misma habilidad competitiva como las sensibles. Existe resistencia cruzada negativa con Dietofencarb.

Facilidad de absorción por la planta: metil tiofanato > tiofanato > benomil > carbendazim > tiabendazol.

Mejoran la absorción: la acidificación y los humectantes no iónicos.

Transporte por el los vasos del xilema (acrópeto).

Amplio espectro de acción principalmente dentro de asco- y deuteromicotina. Contra los géneros: *Venturia*, *Erysiphe*, *Sphaerotheca*, *Podosphaera*, *Botrytis*, *Monilinia*, *Sclerotinia*, *Nectria*, *Fusarium*, *Verticillium*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Ascochyta*, *Phoma*, *Phomopsis*, *Thielaviopsis*, *Diplocarpon*, *Mycosphaerella*, *Botryosphaeria*, *Pyricularia*, *Gloesporium*, *Cercospora*, *Septoria*, *Ceratocystis*, y *Rhizoctonia*.

No poseen acción contra: Oomycetes (*Phytophthora*, *Peronospora*, etc.), Zigomicetes (*Rhizopus*) y la mayoría de los basidiomycetes (royas carbonas), ni contra algunas especies de Deuteromycetes (*Alternaria*, *Helminthosporium*). No poseen acción bactericida.

Para reducir los problemas de resistencia FRAC recomienda utilizar mezclas (preferido) o alternar con otros sitios de acción.

Son lombricidas y son retenidos en los primeros 2 - 5 cm del suelo. Pueden aumentar la incidencia de ácaros al matar tanto a los que son plaga como a los predadores (enemigos naturales), re-infestando rápidamente los fitófagos.

Efecto retroactivo de 24 a 36 hs. contra *Venturia inaequalis* (sarna del manzano).

Período de entrada restringida 24 hs.

Inhibidores de la biosíntesis del ergosterol (IBE).

No controlan Oomycetes, ya que éstos absorben todo el ergosterol que necesitan del medio que les rodea.

No inhiben germinación de esporas, ya que éstos utilizan sus reservas de esterol.

Alto riesgo de generar resistencia, pero del tipo poligénico. FRAC recomienda no usarlos repetidamente en la misma estación de crecimiento contra patógenos de alto riesgo en áreas de alta presión de la misma, alternar con productos de bajo riesgo, reservarlos para momentos críticos del cultivo, usar las dosis recomendadas, no usar funguicidas como sustituto de otros tipos de control.

Actúan sobre: Ascomycetes, Basidiomycetes y Deuteromycetes. En general poseen fuerte acción contra oidios y royas, y según los casos contra hongos causantes de algunas manchas foliares de los géneros: *Venturia*, *Alternaria*, *Penicillium*, *Monilia*, *Cercospora*, etc.

No tienen acción contra Oomycetes ni Zigomycetes (*Rhizopus*).

Efecto retroactivo contra *Venturia inaequalis*: 72 a 96 hs; acción preventiva débil: 3 a 4 días.

Posible efecto sobre el crecimiento vegetativo y o forma de los frutos. No recomendados en montes muy altos o de copa densa.

Es un grupo muy numeroso de desarrollo reciente, que se divide en dos según el paso metabólico afectado.

Subgrupo de los inhibidores de la demetilación-C14 (DMI)

Es el más numeroso, comprende varios grupos químicos:

- * Triazoles: *triadimenol*, *propiconazol*, *ciproconazol*, *difenoconazole*, *tebuconazol*, *flusilazol*, *miclobutanil*, *hexaconazol*, *bitertanol*, *penconazol*, *epoxiconazol*, *fuconazol*, etc.
- * Imidazoles: *imazalil*, *procloraz*, *triflumizol*.
- * Pirimidinas: *fenarimol*, *nuarimol*.
- * Piperazinas: *triforine*

Subgrupo de inhibidores de $\Delta^{8,7}$ isomerasa y Δ^{14} reductasa.

Incluye los principios activos más viejos.

Fenpropimorf, *fenpropidin*, *tridemorf*, *dodemorf*, *aldimorf*, *piperalin*, *spiroxamine*.

Importancia \neq de los dos sitios de acción según el principio activo.

Dosis relativamente alta, comparada con el otro grupo.

Strobilurinas.

Es uno de los grupos más recientes de funguicidas registrados en el país, actualmente en desarrollo. Las strobilurinas son compuestos relacionados a un metabolito secundario del hongo *Strobilurus tenacellus*. Actúan inhibiendo la respiración en un punto determinado (complejo del citocromo bc1), siendo por su sitio de acción clasificados como inhibidores QoI (=Quinone Outside Inhibitors). Comparten este sitio de acción con algunos otros principios activos de diferente grupo químico de reciente desarrollo para el control de Oomycetes (ej. *Fenamidone*, *Famoxadone*), por lo cual se espera que presentan resistencia cruzada con ellos.

Kresoxim-metil, *azoxystrobin*, *trifloxystrobin*, *picoxystrobin*, *pyraclostrobin*.

Además de éstos, actúan en el mismo sitio de acción (QoI) famoxadone y fenamidone, dos funguicidas nuevos efectivos contra oomycetes. Todos estos presentan resistencia cruzada.

Las strobilurinas afectan germinación de esporas de *Venturia inaequalis*, oidios, *Septoria* spp., *Pyrenophora teres*, *P. grisea*, *R. solani*, *C. beticola*, *Alternaria* spp., *Phytophthora infestans*. También presentan acción erradicante de oidios.

Pueden tener cierto movimiento sistémico y redistribución por: lentaabsorción desde capa cerosa de cutícula, movimiento en fase de vapor y readsorción en ceras cuticulares. Alta resistencia al lavado.

Guanidinas.

Afectan de manera inespecífica la integridad de la membrana celular.

Dodine

Se usa en frutales (sarna del manzano).

De contacto y con acción translaminar.

Buena residualidad, efecto retroactivo y antiesporulante.

Aunque posee múltiples sitios de acción, se ha reportado resistencia en *Venturia inaequalis* luego del uso intenso durante varios años.

Puede causar roñado.

Tiempo de entrada restringida: 48 hs.

Guazatina

Se usa en poscosecha.

Anilinopirimidinas.

Mepanipyrim, pyrimethanil, cyprodanil. Para frutales y cereales.

Básicamente desarrollado para el control de *Botrytis*.

Fenilpirroles.

Fludioxonil, fenpiclonil.

Existe en el mercado un producto registrado para *Botrytis cinerea* compuesto por principios activos de este grupo y del anterior: *Cyprodanil + fludioxonil*.

Antibióticos que inhiben la síntesis de proteínas.

Inhiben la elongación de la cadena proteica, actuando en ≠ lugares.

Blasticidin S de *Streptomyces griseochromogenes*, → *P. grisea* moderadamente sistémico.

Kasugamicina de *Streptomyces kasugensis* → *P. grisea*, sistémico, puede ser tóxico a plantas y animales.

Inhibidores de la biosíntesis de glicerofosfolípidos.

Estos son esenciales para el funcionamiento de membranas celulares.

* Subgrupo de inhibidores de la síntesis de fosfatidilcolina: *edinfenfos, iprobenfos* → *Pyricularia grisea* y otros patógenos en arroz

* Subgrupo de inhibidores de la síntesis de fosfatidilinositol: *validamicina A* → *Rhizoctonia solani*, y en arroz.

Fenilcarbamatos. *Dietofencarb.* Se utiliza en otros países para *Botrytis cinerea*.

Son efectivos contra hongos con resistencia a benzimidazoles. Parecen tener el mismo sitio de acción que este grupo pero hay resistencia cruzada negativa, o sea, las cepas insensibles a benzimidazoles son más sensibles a éste grupo.

Benzamidas. Se supone interferencia con microtúbulos.

Compuestos experimentales: *ICIA0001* (→ Oomycetes) y *XRD563* (→ enfermedades de cereales).

Otros inhibidores de la síntesis de ADN. *Himexazol.* → *Pythium, Fusarium, Corticium sasakii, Aphanomyces.*

Hidroxi pirimidinas. Inhiben la síntesis de ARN. *Etirimol, dimetirimol, bupirimato.*

Específicos de oidios. Inhiben elongación de tubo germinativo y formación de apresorio.

Fenoxiquinolinas. Inhiben la síntesis de ARN. Un producto experimental, *LY214352* actúa contra muchos ascomicetes: *A. solani, P. italicum, C. beticola, S. nodorum, Aspergillus nidulans, Magnaporthe grisea.*

Inhibidores de la biosíntesis de la quitina. Quitina es componente de Ascomycetes, Deuteromycetes y Basidiomycetes, paredes de hongos inferiores contienen celulosa. Polioxinas aislados de *Streptomyces cacaoi* var. *asoensis* provocan hinchazón y explosión de puntas de hifas y de tubos germinativos. Selectividad parece deberse a asimilación diferencial. → *Rhizoctonia solani, C. miyabeanus, Alternaria kikuchiana.*

Inhibidores de biosíntesis de melaninas. Melanina en pared de apresorios es necesaria para la penetración de Ascomycetes y Deuteromycetes pigmentados. → *Pyricularia grisea, Colletotrichum lagenarium, S. lindemuthianum.*

Triciclazol, piroquilon, KTU 3616.

Fungicidas que inhiben la respiración afectando la fosforilación oxidativa.

Derivados de nitrofenol:

- * *Dinocap, binapacril, nitrotaI-isopropil.* → oidios
- * *Drazoxolon.* → damping-off, *Fusarium, Pythium*, oidios.
- * *Fluazinam.* → *Botrytis, Alternaria, Colletotrichum, Phytophthora, Venturia.*

Inhibidores de la respiración en el complejo II. Inhibidores del complejo succinato dehidrogenasa.

Específicos de Basidiomycetes, entre ellos *Rhizoctonia (Corticium), Puccinia, Tilletia* y *Ustilago*.

- * Carboximidazoles: *Carboxin* y *oxicarboxin* son sistémicos. → *Helminthosporium, Rhizoctonia, Ustilago, Sphaerotheca reillians* y *Tilletia caries*.
- * *Fenfuram, metfuroxam, mepronil.*
- * Thiazocarboxanilidas: *Thifluzamide* - experimental.

Oxazolidinediona: Inhibe la respiración en el complejo III.

Famoxodone → *P. viticola, P. infestans, A. solani*, y en cereales: *Puccinia, Septoria, P. teres*.

Organofosforados. *Pyrazofos, ditalimfos, triamifos.* → Oidios.

Hidrocarburos aromáticos y compuestos relacionados. *Hexaclorobenceno, quintoceno, tecnaceno, cloroneb, etridiazole, bifenilo, 2-fenilfenol* → patógenos de suelo y de semilla de varios cultivos.

Otros.

Quinoxifen. → oidios en cereales

FUNGICIDAS ESPECÍFICOS PARA OOMYCETES.

Fenilamidas.

Específicos para Oomycetes, no se sabe por qué.

Inhiben formación de ARNr, por lo tanto controlan cuando empieza a crecer el micelio. Tienen poco efecto sobre liberación de zoosporas, su movimiento, enquistado y germinación, penetración y formación de haustorios, recién controlan bien el desarrollo del hongo luego de la formación de haustorio primario. Tienen alto riesgo de generar resistencia.

Incluyen:

- * acilalaninas: *metalaxil, benalaxil*
- * butirólactonas: *metilfuram, ciprofuram*
- * una de las oxazolidonas: *oxadixil*

Además de su acción curativa, las acilalaninas poseen un buen efecto residual, por lo cual se utilizan para proteger desde dentro de la planta contra nuevas infecciones.

Sistemia acrópeta.

Fosetil.

Modo de acción: se transforma en H_3PO_3 , de acción directa y a través del aumento de las defensas del vegetal.

Fosetil aluminio.

Espectro de acción: *Phytophthora* spp. "de suelo", *Pythium, Bremia lactucae, Plasmopara viticola*.

No controla *Phytophthora infestans, Peronospora* sp., *Sclerospora* sp.

Sistemia ascendente y descendente.

Cymoxanil.

Cimoxanil. → *Phytophthora infestans, Bremia lactucae, Pythium* sp., *Plasmopara viticola*

Muy buen efecto curativo. Afecta crecimiento del micelio más que formación y germinación de zoosporas.

Protiocarb y propamocarb.

Propamocarb clorhidrato. → géneros *Phytophthora, Peronospora, Bremia, Pythium, Pseudoperonospora* y *Aphanomyces*.

Dimetomorf

Efectivo contra Oomycetes excepto *Pythium*.

EVOLUCION EN CUANTO A MODOS DE ACCIÓN.**PROTEINAS ANTI-FUNGICAS.**

Varias compañías están estudiando proteínas con propiedades antifúngicas, se han identificado algunas tan efectivos como los IBE contra algunos hongos importantes.

COMPUESTOS CON ACCIÓN SOBRE INTERACCIÓN PLANTA-PATOGENO.

Se pretende desarrollar productos que actúen en alguno de los siguientes 3 mecanismos de defensa de la planta :

1. Barreras físicas y químicas.

- * Auxinas como ANA reducen severidad de marchitamiento por *Fusarium* en tomate.
- * La citoquinina quinetina tiene efecto contra *Alternaria* spp. y oidios
- * Etileno

2. Hipersensibilidad.

Diclorociclopropanos → *Pyricularia grisea* en arroz

3. Resistencia sistémica adquirida (SAR).

Actualmente se están tratando de estudiar y desarrollar sustancias que activen los mecanismos de defensa de la planta. Estos productos podrían tener efecto más o menos notorio sobre hongos, bacterias y virus, o sea contra todos los microorganismos que infectan la planta.

Se ha reportado que tienen un efecto de este tipo :

- * fosetil aluminio contra *Phytophthora fragariae* y *Bremia lactucae*
- * metalaxil, lo que explicaría un leve efecto contra hongos superiores, como *Alternaria solani* y *Fusarium* spp. en papa.

Acido salicílico se acumula naturalmente al inducirse las reacciones de resistencia.

Benxotiadizole (CGA245704) → suprime *Alternaria* spp., controla aceptablemente oomycetes y *Colletotrichum* spp.

Algunos otros productos pueden tener un efecto de aumentar las defensas:

- * trifluralina
- * estreptomina

BIBLIOGRAFÍA.

HEWITT, H.G. 1998. Fungicides in Crop Protection. CAB INTERNATIONAL, Wallingford. 221 p.

LATORRE, B. ed. 1989. Fungicidas y nematicidas, avances y aplicabilidad. Colección en Agricultura. Publicación de la Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile. 216 p.

LYR, H. 1987. Modern Selective Fungicides; properties, applications and mechanisms of action. Longman, Harlow.

MODERNEL, R. Guía Uruguay para la protección y fertilización vegetal. SATA.