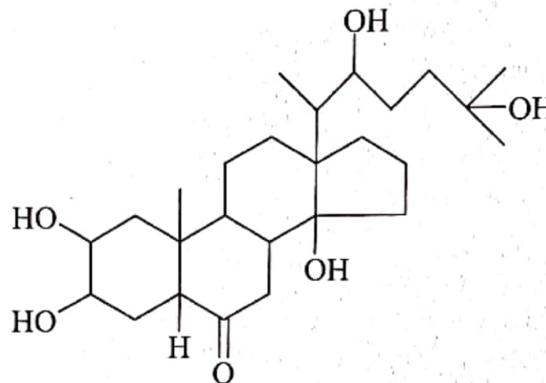


### Origen de la ecdisona

Las células neurosecretoras del cerebro secretan la hormona protoracicotrópica (HPTT) que se almacena en los cuerpos cardíacos, pasando a través de los nervios que los unen al cerebro. De los cuerpos cardíacos, la HPTT se vierte directamente a la hemolinfa y al llegar a las glándulas protorácicas estimula en ellas la producción de la hormona de la muda o ecdisona. Ésta es finalmente activada a la forma 20-hidroxiecdisona (20 OH ecdisona) (Figura 43), que es la que desencadena todo el proceso de la muda en las células epidérmicas.

Figura 43. Fórmula estructural de la ecdisona (20-hidroxiecdisona - 20E)



### Acción de la ecdisona

Todas las acciones de la ecdisona ocurren por la interacción con un complejo receptor específico, formado por la unión de dos pequeñas proteínas llamadas receptor proteico ecdisona (EcR) y proteína ultraspiráculo (USP). Ninguna puede individualmente unirse a ecdisona. Sólo puede hacerlo el heterodímero formado por las dos. Las acciones pueden resumirse como sigue:

- 1) Inicialmente aumenta rápidamente la concentración de ecdisona y la larva detiene su alimentación.
- 2) Continúa el aumento de ecdisona y se estimulan las células epidérmicas que producen y liberan enzimas quitinolíticas, las que comienzan a erosionar la superficie interna de la cutícula vieja.
- 3) Antes que la ecdisona llegue al pico máximo de concentración, la cutícula anterior parcialmente digerida se despega de la epidermis (apólisis).
- 4) Luego, la ecdisona disminuye, las células epidérmicas aumentan la síntesis de proteínas produciéndose una nueva cutícula, la digestión de la procutícula y posterior reabsorción de fluido.
- 5) Finalmente, se vuelve a las concentraciones basales de ecdisona y la nueva cutícula está completa. El insecto realiza unos movimientos especiales que le permiten emerger de los remanentes de la cutícula anterior (ecdisis).

La ecdisona actúa en la ruptura de la diapausa de larvas y pupas y en la diferenciación de tejidos en la pupa. Las variaciones en la concentración de ecdisona en hemolinfa y tejidos gobiernan el proceso de muda. Una vez que surge el adulto, las glándulas protorácicas degeneran y deja de producirse ecdisona.

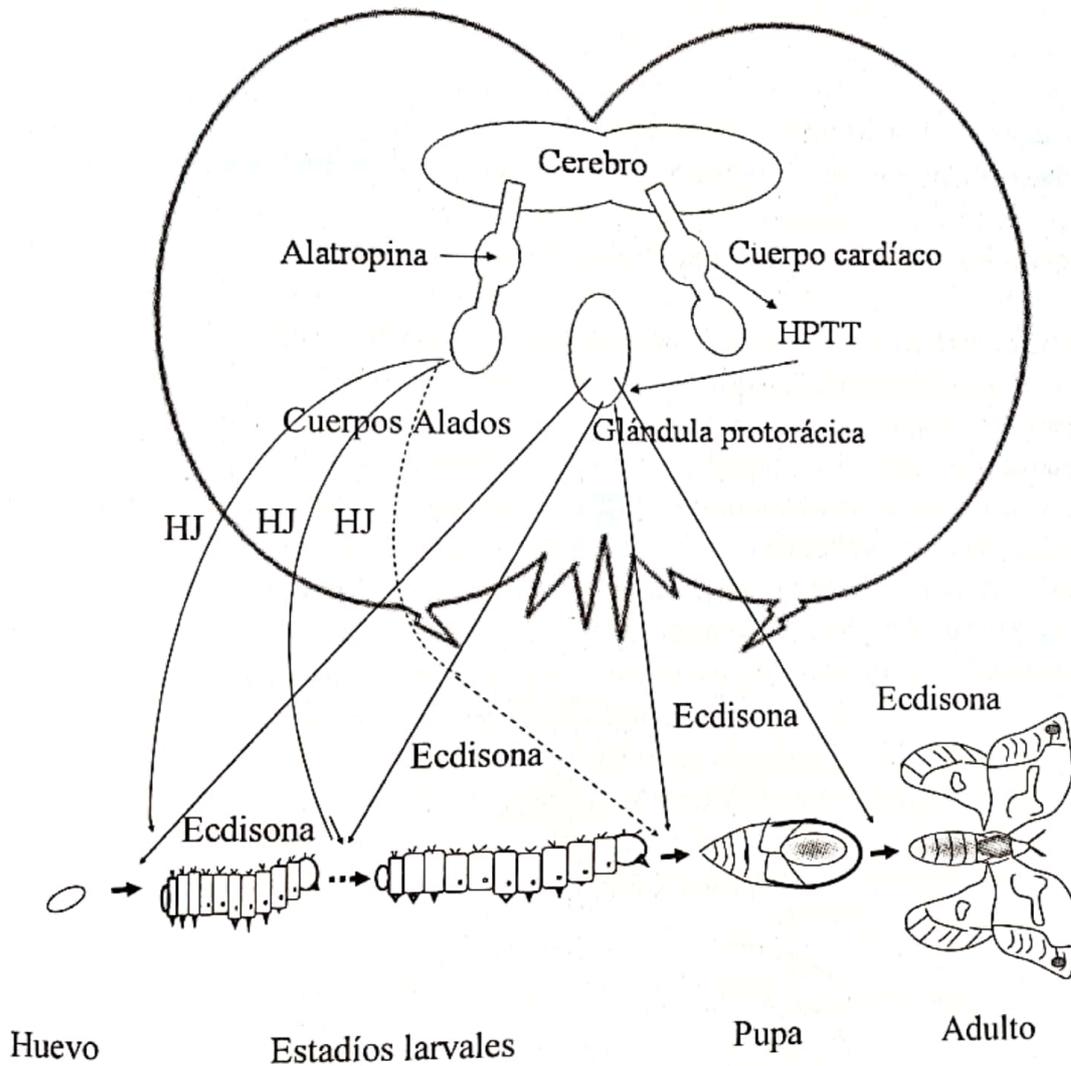
### Origen de la hormona juvenil

Los cuerpos alados (Corpora allata) son los encargados de sintetizar la hormona juvenil (HJ), que inhibe el desarrollo de la metamorfosis. Su síntesis está influida por otra hormona alator

tropina o ATT. La cantidad de HJ que se encuentra en la hemolinfa del insecto en cada fase del desarrollo está regulada por diversos factores hormonales en el cerebro o en el ganglio subesofágico.

En la Figura 44 se muestra el esquema de cómo actúan las diferentes hormonas implicadas en la metamorfosis de insectos holometábolos.

Figura 44. Acción de las hormonas en la metamorfosis de insectos holometábolos.



En holometábolos la concentración de la HJ es constante en cada muda en las fases inmaduras, disminuye mucho en el último estadio larval (---), apareciendo entonces el estado de pupa en la cual no existe HJ y luego emerge el adulto. En los insectos con metamorfosis incompleta (hemimetábolos), la concentración de HJ en la hemolinfa disminuye de forma gradual con cada muda y las características del adulto hasta que una disminución brusca de su concentración genera la aparición del adulto.

En ambos casos, la concentración de HJ vuelve a aumentar en el adulto reproductivamente activo. En los machos de algunas especies de insectos, la HJ promueve el desarrollo de glándulas sexuales accesorias. En muchas hembras de insectos induce la síntesis del saco vitelino y cuerpos alados e influye en la regulación de la diapausa y en otras funciones del insecto.

La importancia de la muda y la metamorfosis en el desarrollo de los insectos y su carácter hormonal han estimulado el desarrollo de insecticidas que interfieren en estos procesos.

### Proceso de muda

El proceso de muda está regulado por la variación en las concentraciones de las hormonas antes descritas. Naturalmente, para que una larva se mantenga sin mudar y pueda alimentarse y crecer adecuadamente, el nivel en la concentración de HJ debe ser alto. Al cambiar de estadio, el nivel de concentración de HJ es más baja. Bajo esta situación, si ocurre un aumento en el nivel de la concentración de ecdisona, se origina un cambio de estadio, lo que llamamos comúnmente muda. A mayores concentraciones de HJ, se forma un tipo de cutícula larval, mientras que a concentraciones bajas, se produce otro tipo de cutícula y pueden desencadenarse los eventos de metamorfosis.

### Composición de la cutícula

El tegumento está constituido por la cutícula, que es un material externo a la célula (Figura 45).

**Epicutícula:** es la capa externa, muy fina y no contiene quitina. Es muy resistente al agua y solventes.

**Procutícula:** está debajo de la epicutícula y es permeable al agua. Su función es de protección mecánica de los tejidos. Es gruesa y se divide en exocutícula, mesocutícula y endocutícula, cada una con sus funciones muy marcadas.

**Exocutícula:** de espesor desigual y rígida. Su dureza deriva de la presencia de compuestos fenólicos que enlazan a los otros polímeros. Abunda en los escleritos y es más delgada o está ausente en las zonas de articulación.

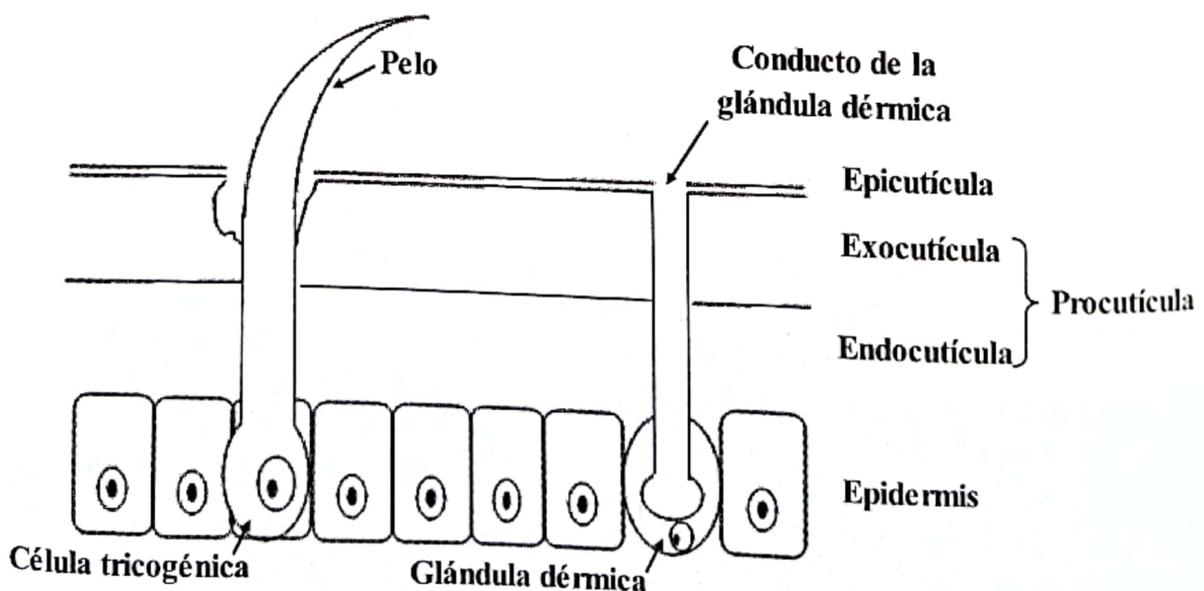
**Endocutícula:** consiste de un gran número de capas de fibras de proteína de forma laminar y de quitina, que se entrecruzan creando una sustancia elástica. Se forma en estadios larvales y en los adultos sufre un proceso de esclerotización que la endurece y oscurece.

Debajo de la cutícula se encuentran otros dos componentes del tegumento:

**Epidermis:** capa única de células secretoras

**Membrana:** capa amorfa de 0,5  $\mu$  de espesor.

Figura 45. Esquema de la cutícula



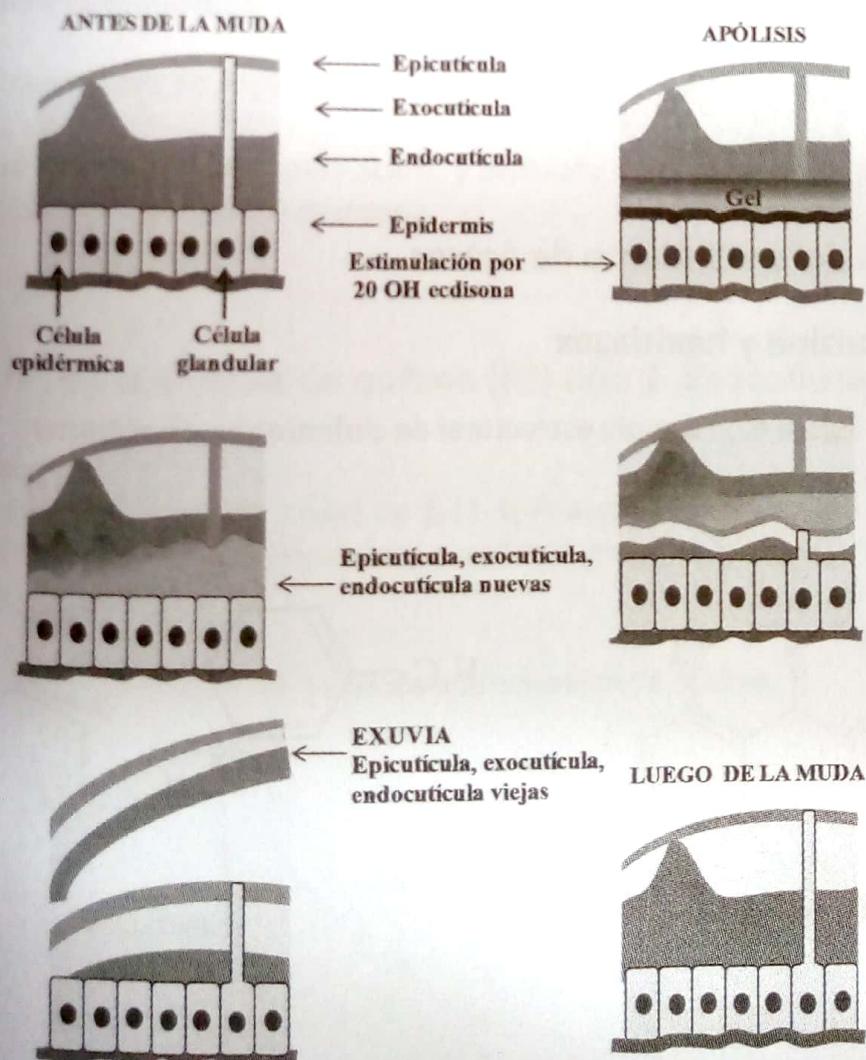
Adaptado de <http://earthlife.net/insects/anatomy.html>

### Degradación y reformación de la cutícula

En la figura 46 se observa un diagrama de la degradación y reformación de la cutícula de un insecto durante la muda. Como se ha dicho, la 20 OH ecdisona activa las células epidérmicas para iniciar la producción de la nueva cutícula. Las células epidérmicas activadas se dividen por mitosis seguida por agrandamiento de la célula. Se forma una capa nueva más extensa que la anterior. La cutícula vieja se separa de las células epidérmicas (apólisis). Como resultado queda un espacio ecdisial entre la endocutícula y las células epidérmicas que se llena de un gel que contiene enzimas transcriptas en las células epiteliales (proteasas y quitinasas inactivas). Una nueva capa epicuticular se forma protegiendo a las células epidérmicas de ser digeridas por las enzimas del gel cuando se activan y se fluidifican. Las enzimas digieren la endocutícula vieja ubicada. Un 90% de la proteína y quitina de la endocutícula vieja son reutilizadas por las células epidérmicas para formar una nueva procutícula. La digestión de la endocutícula continúa hasta que llega a la vieja exocutícula que es resistente a la acción enzimática. El fluido de la muda remanente se reabsorbe. Poco antes de la muda las glándulas dérmicas liberan una capa. Al momento en que el adulto se despoja por movimientos abdominales de su vieja cutícula, se lo llama ecdisis. A los restos de cutícula se lo llama exuvia, que esta conformada por la epi y exocutículas viejas.

La hormona bursicon participa en la esclerotización de la nueva procutícula convirtiéndola en exocutícula nueva. Una vez que se completa la esclerotización se deposita nueva endocutícula y el ciclo recomienza.

Figura 46. Diagrama del ciclo de degradación y reformación de la cutícula



## 7. Miméticos de la hormona juvenil

### 7C. Pyriproxifen

Actúa perturbando el ciclo de crecimiento del insecto, principalmente en las etapas de morfogénesis, embriogénesis y reproducción de cochinillas, moscas blancas, áfidos, trips y algunas especies de lepidópteros como *Plutella*.

#### Toxicología

Normalmente no ofrece peligro. No tóxico para abejas ni aves. Moderadamente tóxico para peces.

#### Efecto sobre enemigos naturales

En tomate es moderadamente tóxico para *Eretmocerus* y no tóxico para *Orius insidiosus*. Puede usarse en MIP

**Acción en la plaga:** contacto e ingestión

**Acción en la planta:** contacto y translaminar

#### Producto registrado en Argentina

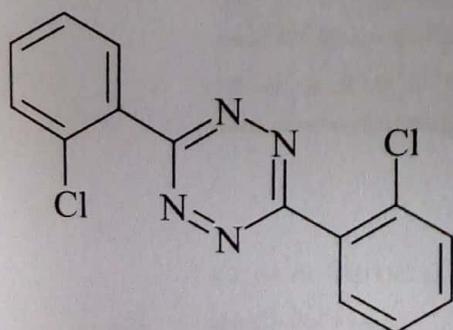
##### Insecticida

**Pyriproxifen:** en limón para cochinilla roja californiana (*Aonidiella aurantii*) y en tomate para el control del complejo mosca blanca.

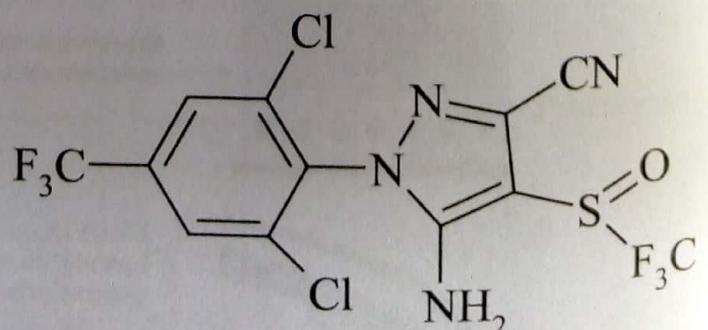
## 10. Inhibidores del crecimiento de ácaros

### 10A. Clofentezine y hexitiazox

Figura 47. Fórmula estructural de clofentezine y hexitiazox



Clofentezine



Hexitiazox

**Acción en el ácaro:** contacto e ingestión

**Acción en la planta:** contacto y translaminar

### Mecanismo de acción

El mecanismo de acción específico y sitio de acción no son bien comprendidos. Serían reguladores del crecimiento interfiriendo con el crecimiento y diferenciación celular afectando la formación del embrión y la maduración larval.

### Síntomas

Los huevos no eclosionan (siendo incluso eficaces sobre los huevos depositados por las hembras tratadas). Controlan estados inmaduros (larvas y ninfas). Los adultos no son afectados por lo que se mezclan con acaricidas adulticidas. Son de acción lenta y residuales (hasta 45 días).

### Toxicidad

Son de baja toxicidad aguda para el hombre pero clofentezine se encuentra bajo estudio porque se sospecha que puede actuar como disruptor endocrino. Son moderadamente tóxicos para peces y ligeramente tóxicos para zooplancton y otros invertebrados acuáticos. En estos organismos no parecen producir toxicidad crónica por su baja persistencia en agua. Son relativamente no tóxicos para abejas.

### Efecto sobre enemigos naturales

No afectan fauna acarológica no blanco por lo que son adecuados para MIP.

### Productos registrados en Argentina

#### Acaricidas

**Clofentezine:** en manzano y peral para ácaros y arañuela.

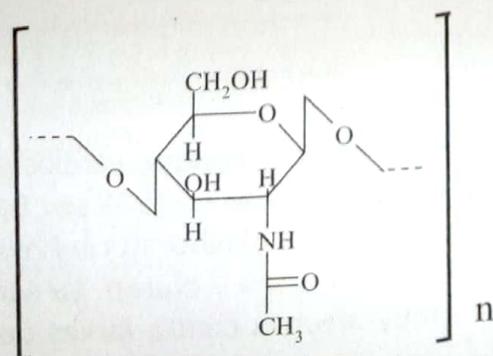
**Hexitiazox:** en cultivos hortícolas y manzano.

## 15. Inhibidores de la síntesis de quitina (IQ) tipo 0. Benzoilureas.

### Introducción

La quitina es un polisacárido lineal de  $\beta$ -(1-4)-N-acetil-D-glucosamina (Figura 48). Es un componente estructural del exoesqueleto y constituye entre el 25 y el 60 % del peso seco de las cutículas de los insectos.

Figura 48. Fórmula estructural de la quitina



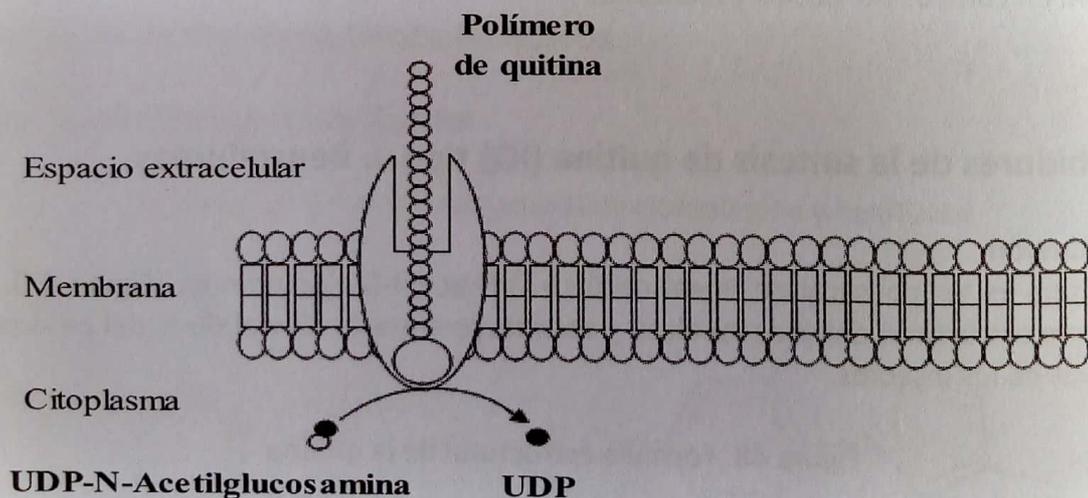
La formación de quitina y su deposición es un proceso altamente complejo, compuesto de series interconectadas de eventos bioquímicos y biofísicos, que se inician en el interior de las células y terminan con la inclusión de quitina en el exterior. Esta cascada de eventos podría describirse así:

- 1) Transformaciones de azúcares (trehalosa y glucosa) al sustrato UDP-N-acetilglucosamina
- 2) Síntesis de unidades de quitina sintasa (CS), seguidas de su traslocación.
- 3) Orientación de largas cadenas de moléculas de quitina
- 4) Translocación de los polímeros a través de la membrana plasmática
- 5) Cristalización y formación de microfibrillas por uniones de hidrógeno
- 6) Asociación con proteínas cuticulares

La quitina se sintetiza en las células de la epidermis y en tráquea y glándulas salivales. Está involucrada en la formación de la membrana peritrófica que protege del ataque de patógenos y toxinas, funcionando como una barrera entre el bolo alimenticio y el epitelio, contribuyendo a mejorar los procesos digestivos.

La unión de la N-acetilglucosamina está catalizada por la enzima quitina-sintasa, asociada con la membrana plasmática (Figura 49). La enzima es sólo activa en presencia de cationes divalentes tales como  $Mg^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  o  $Co^{2+}$  y es susceptible a inhibidores competitivos. El sitio catalítico está localizado en el citoplasma. La quitina-sintasa facilita la adición de unidades de N-acetilglucosamina (formación del polímero) a un carrier que las transporta a través de la membrana para formar parte de la cutícula del insecto. Se desconoce el control hormonal de la formación de quitina, la forma en que se realiza su inserción en la membrana plasmática y su asociación con las proteínas de la cutícula.

Figura 49. Esquema de la formación de quitina



### Benzoilureas

El prototipo del grupo es el diflubenzurón, aunque ya existe una segunda generación de compuestos. Las benzoilureas fueron introducidas en 1978 por Bayer. Triflumurón fue el primer insecticida del grupo. Fueron descubiertas por el laboratorio Philips-Duphar, que intentaba sintetizar un nuevo herbicida a partir de diclobenil y diurón. La acilurea que se originó no tenía propiedades herbicidas, pero era muy efectiva contra larvas de lepidópteros. Se usaron por

primera vez en América Central en 1985, para controlar una infestación severa y resistente de un complejo de orugas foliares (*Spodoptera* spp., *Trichoplusia* spp.) en algodónero. El retiro del ovicida clordimeform hizo que el control de estas plagas fuera difícil, debido a su alta resistencia a casi todas las clases de insecticidas, incluyendo los piretroides.

Otras benzoilureas que han aparecido desde entonces son: clorfluazurón, teflubenzurón, hexaflumurón, flufenoxurón, flucicloxurón, diflubenzurón, flurazurón, diafentiurón, bistriflurón y noviflumurón.. Lufenurón apareció en 1990, hexaflumurón en 1993 y novalurón en 2001.

Son muy poco solubles en agua (<1 ppm). Son muy selectivos y se usan en dosis bajas. Si bien poseen bastante residualidad y poseen buena resistencia al lavado por las lluvias (rainfastness).

**Acción en la plaga:** contacto e ingestión

**Acción en la planta:** contacto. Es especialmente importante realizar aplicaciones que penetren en el canopeo del cultivo si se quiere controlar los lepidópteros que se ubican mayormente en el tercio inferior y medio y en el envés de las hojas como Plusiinae en soja. Las especies que se ubican mayormente en la parte superior o que ascienden para empupar son más fáciles de controlar porque se alimentarán de la porción superior pulverizada.

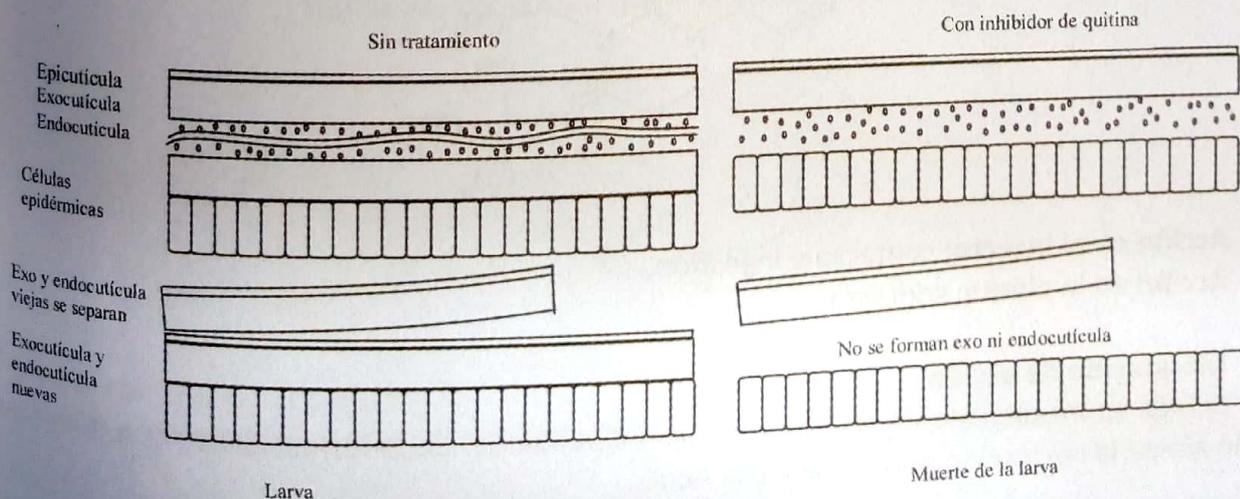
### Mecanismo de acción

Se desconoce el blanco de los inhibidores de quitina pero el mecanismo más aceptado para las benzoilureas es el bloqueo de la polimerización de la UDP-N-acetilglucosamina por inhibición de una etapa en el transporte.

### Síntomas

Los insectos más sensibles a estos compuestos son los lepidópteros, ya que crecen rápido y mudan frecuentemente. Los individuos afectados no pueden formar una cutícula normal, porque pierden la habilidad para formar quitina (Figura 50). Sin ella, la cutícula se vuelve delgada y quebradiza, y no puede sostener al insecto o soportar la muda. Se observan también apéndices y órganos sexuales deformados. Los efectos típicos en las larvas sólo ocurren al iniciarse la muda, por lo cual la acción de las benzoilureas es más lenta que la de otros insecticidas. La muerte se produce por la ruptura de cutícula malformada o la falta de alimentación. No afecta a los adultos, pero las hembras ovipositan huevos que no eclosionan (son ovicidas).

Figura 50. Esquema de la acción de inhibidores de quitina



Como ya se ha mencionado para IGR en general, las larvas de los primeros estadios son mucho más susceptibles a estos productos, por lo que se aconseja monitorear los lotes para realizar las aplicaciones en el momento oportuno.

### Toxicología

Son poco tóxicos para mamíferos. No tóxico para abejas. Poco tóxico para aves. Moderadamente tóxico para peces. Prácticamente no tóxico para aves.

**Efectos sobre los enemigos naturales** Muy selectivos para la fauna benéfica y aptos para MIP. Existen poblaciones con baja susceptibilidad.

### Productos registrados en Argentina

#### Insecticidas

Recomendados para controlar lepidópteros. Muy selectivo para insectos benéficos.

**Bistrifluron:** en soja, poroto y tomate (controla también trips y mosca blanca).

**Clorfluazurón:** en algodón, maíz, soja y tomate.

**Diflubenzurón:** en algodón, maíz y soja.

**Flufenoxurón:** en manzano y peral (controla también araña).

**Lufenurón:** en algodón, maíz, soja y tomate.

**Novaluron:** en algodón, maíz, manzano, peral, soja y tomate.

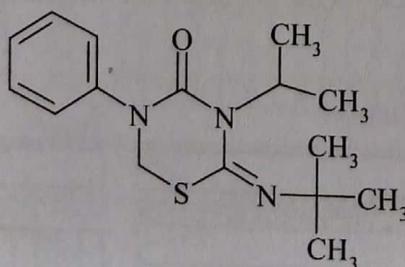
**Teflubenzurón:** en algodón, maíz, manzano y tomate.

**Triflumurón:** en algodón, maíz, soja y tomate.

## 16. Inhibidores de la síntesis de quitina tipo 1. Buprofezin

El buprofezin (Figura 51) es un regulador de crecimiento, que pertenece al grupo de los derivados de la tiadiazinona.

Figura 51. Estructura molecular del buprofezin



**Acción en el insecto:** contacto e ingestión.

**Acción en la planta:** contacto

#### Mecanismo de acción

Si bien su mecanismo de acción principal es inhibición de la formación de la quitina, también afecta la regulación hormonal y a la AChE.

### Síntomas

Son similares a los de las benzoilureas. Tiene mayor eficacia sobre el estado de ninfa, aunque no es de acción rápida pues tarda unos 7 días en controlarlas; la mayoría muere en el cambio de muda. Su efecto residual es de aproximadamente 30 días. Actúa más lentamente con temperaturas bajas.

Las larvas de los primeros estadios son mucho más susceptibles a estos productos, por lo que se aconseja monitorear los lotes para realizar las aplicaciones en el momento oportuno.

### Toxicología

Poco tóxico para mamíferos. No tóxico para abejas.

### Efectos sobre los enemigos naturales

Apto para MIP.

### Producto registrado en Argentina

#### Insecticida

**Buprofezin:** en cultivos florales, ornamentales y tomate controla cochinillas (*Planococcus* spp.) y moscas blancas.

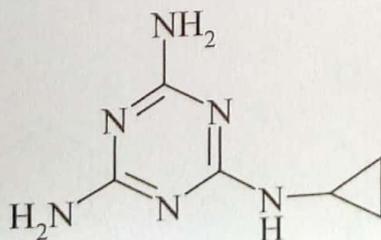
## 17. Perturbador de la muda en dípteros

### Introducción

Los dípteros son holometábolos es decir que presentan metamorfosis completa. El ciclo comprende el huevo, la larva vermiforme (con forma de gusano y sin patas), la pupa y el adulto, y se cumple en alrededor de 10 a 20 días.

La ciromazina (Figura 52) pertenece al grupo de los derivados de la triazina y es derivado ciclopropil de la melamina. Es un regulador de crecimiento que actúa como larvicida contra moscas domésticas y otras moscas chupadoras. En establecimientos ganaderos o criaderos de aves se utiliza para el tratamiento del estiércol de gallina para control de moscas. En otros países está registrado para control de plagas agrícolas.

Figura 52. Estructura química de la ciromazina



**Acción en la plaga:** contacto

**Acción en la planta:** translaminar y sistémico

### Mecanismo de acción

Su mecanismo de acción no está dilucidado. Se sospecha que más que inhibir la síntesis de quitina interfiere en su deposición en la nueva cutícula tras la muda.

### Síntomas

Las larvas tratadas no mudan al estadio siguiente por lo que la larva muere.

### Toxicología y efecto sobre enemigos naturales

Es poco tóxico para mamíferos, moderadamente tóxico para aves, tóxico para ciertos invertebrados acuáticos. Entre los artrópodos, es bastante específico para dípteros, y poco tóxico para muchos organismos benéficos.

### Productos registrados en Argentina

No existen. En otros países se utiliza en cultivos florales, ornamentales y tomate para cochinillas (*Planococcus* spp.) y moscas blancas (*Lyriomyza*). Se usa en hongos comestibles para control de especies de *Sciara*, en hortícolas y ornamentales para minadores y en tratamientos de bulbos de cebolla.

## 18. Agonistas de los receptores de ecdisona

### Introducción

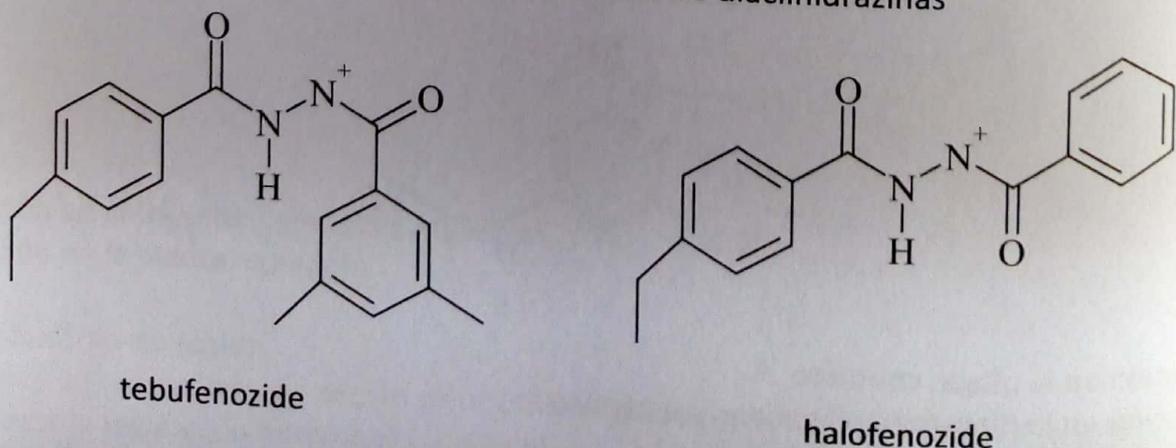
Como ya se ha comentado, el proceso de muda está regulado en parte por ecdisona (Figura 51) u hormona de la muda.

### Diacilhidrazinas

Las diacilhidrazinas o dibenzoilhidracinas (DBH) son un grupo de IGRs que también se denominan compuestos aceleradores de la muda (moulting accelerating compounds -MACs.- o CAM en castellano. Fueron descubiertas, desarrolladas y comercializadas por Rohm and Haas Company que luego fue adquirida por Dow Chemical Company. El tebufenozide fue introducido en 1995 y metoxifenocide y halofenocide en 1998.

La fórmula estructural de algunos compuestos de este grupo se muestra en la Figura 53.

Figura 53. Estructuras químicas de diacilhidrazinas



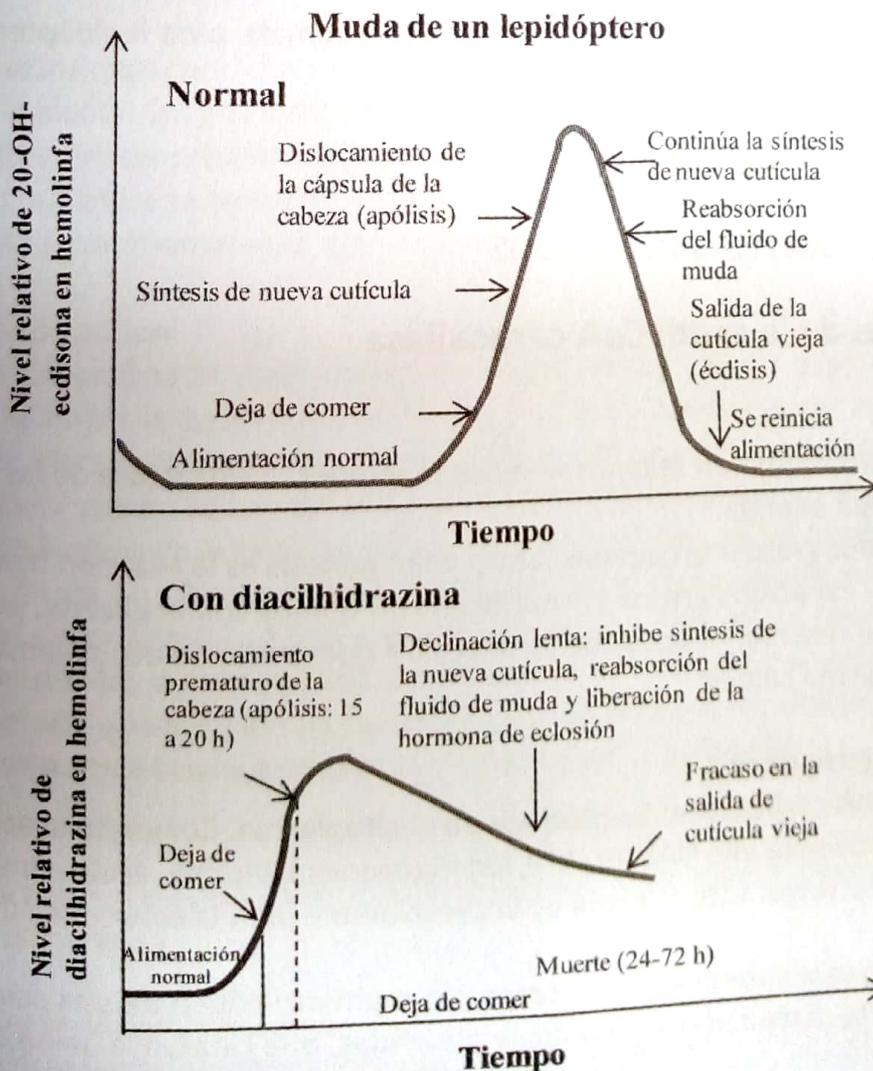
## Mecanismo de acción

Se consideran agonistas por su capacidad de acoplarse al mismo receptor que la hormona y desencadenar la transcripción de genes de formación de hormona acelerando el proceso de muda y de metamorfosis. No poseen estructura semejante o mimética de la ecdisona.

## Síntomas

Entre 3 y 14 después de la aplicación, el insecto deja de alimentarse. Esta interrupción es un efecto normal de la hormona que facilita el consumo del alimento ya ingerido para prepararse para la muda. La separación de la cutícula vieja de la epidermis y la síntesis de cutícula nueva comienzan también a las pocas horas. El insecticida activa en forma continua a los receptores de ecdisona, mientras que en forma normal (sin insecticida) la activación es en pulsos. La muda precoz inducida por el insecticida cuando las larvas (especialmente de los primeros estadíos) no están preparadas fisiológicamente resulta letal ya que se produce apólisis prematura, disrupción cuticular severa, gasto de energía para producir nuevos tejidos y líquido de la muda y partes del aparato bucal blandas, que no permiten al insecto emerger de su vieja cutícula. Algunas larvas logran empupar y en ese caso, el período de pupa se prolonga con respecto a la duración normal. Las pupas presentan una reducción de la zona abdominal o depresiones de la cutícula y no se forma el estado adulto. Los adultos tratados presentan reducción en la oviposición (efecto subletal) (Figura 54).

Figura 54. Muda normal y con diacilhidrazina de un lepidóptero



Las diferencias en sensibilidad entre especies de insectos no se deben a transporte o metabolismo diferencial del compuesto, sino a la selectividad de los receptores de ecdisona de los insectos sensibles.

En conclusión, las larvas de los primeros estadios son mucho más susceptibles a estos productos por lo que se aconseja monitorear los lotes para realizar las aplicaciones en el momento oportuno de modo de controlar huevos y larvas neonatas desde las primeras oviposiciones.

**Acción en el insecto:** huevos y larvas: ingestión y contacto; Adultos: efecto subletal

**Acción en la planta:** contacto, translaminar

### **Toxicología y efecto sobre enemigos naturales**

Una característica favorable es que poseen baja toxicidad hacia mamíferos, aves. Moderadamente tóxico para peces. Poco tóxico para abejas.

### **Efecto sobre enemigos naturales**

Recomendados en programas de MIP.

### **Productos registrados en Argentina**

#### **Insecticidas**

**Tebufenozide:** en algodón, manzano, peral y tomate para lepidópteros.

**Halofenozide:** controla lepidópteros y coleópteros (gusanos blancos) y tiene alguna acción ovicida.

**Metoxifenozide:** en algodón, frutales, soja, tabaco y tomate para lepidópteros y otros insectos.

## **ACCIÓN SOBRE SÍNTESIS DE LÍPIDOS**

### **23. Inhibidores de la acetil CoA carboxilasa**

#### **Lípidos**

Los lípidos en artrópodos son responsables de mantener la estructura de las membranas y servir como fuentes de energía.

La síntesis de ácidos grasos de cadenas largas o lipogénesis es la reacción bioquímica por la cual son sintetizados los ácidos grasos y esterificados o unidos con el glicerol, para formar triglicéridos o grasas de reserva. La lipogénesis se realiza por medio de dos sistemas enzimáticos situados en el citoplasma celular.

#### **Lipogénesis en artrópodos**

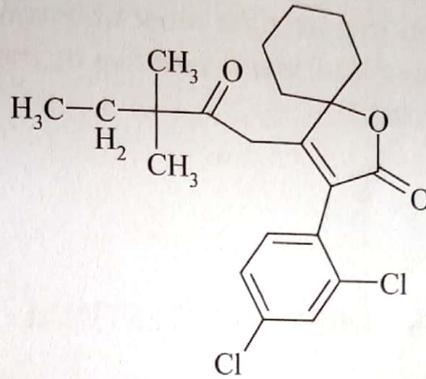
- 1) Vía de la acetil-CoA carboxilasa: Se produce en el citoplasma. Convierte la acetil-CoA a palmitato, requiriendo para ello NADPH, ATP, ión manganeso, biotina, ácido pantoteico y bicarbonato como cofactores. Este sistema es imprescindible para la conversión de Acetil-CoA a Malonil-CoA.
- 2) Vía de la ácido-graso-sintetasa: Es un complejo multienzimático de una sola cadena polipeptídica con siete actividades enzimáticas separadas, que cataliza la unión de palmitato a partir de una molécula de Acetil-CoA y siete de Malonil-CoA.

## Derivados del ácido tetrónico y tetrámico o ketoenoles cíclicos

Los inhibidores de la Acetil CoA carboxilasa están representados por una nueva clase química. (Ketoenol - ácido tetrónico fenil sustituido espirocíclico).

En 2002, Bayer CropScience introdujo spirodiclofen (Figura 55), que fue el primer producto de este grupo, acaricida y con amplio espectro de acción. Poco después se introdujo el spiro-mesifem, acaricida e insecticida y finalmente el spirotetramat.

Figura 55. Fórmula estructural spirodiclofen



El tratamiento al follaje deberá realizarse al inicio de las infestaciones, para limitar el desarrollo de nuevas generaciones de ácaros o insectos. Poseen baja presión de vapor, es decir que no se volatilizan. Baja solubilidad en agua. Alta estabilidad.

**Acción en el insecto:** contacto e ingestión

**Acción en la planta:** Spirodiclofen: de contacto; Spirotetramat: sistémico por xilema y floema alcanzando raíces. Por ser soluble en lípidos de la cutícula (poseen bajo coeficiente partición octanol / agua) se posibilita la penetración y se reduce el lavado por lluvias. Se convierte rápidamente en el metabolito spirotetramat-enol que se distribuye en todos los órganos de la planta.

### Mecanismo de acción

Inhiben en citoplasma la acetil coenzima A carboxilasa, primer paso de la biosíntesis de lípidos (LBI). Al inhibir la lipogénesis se destruye o no se puede formar la membrana celular. Interrumpen la metamorfosis. En las plagas controladas se afecta el balance hídrico y se produce desecación. Poseen acción más lenta que los productos con poder de volteo pero más rápida que los inhibidores de la síntesis de quitina. Dependiendo de las temperaturas, la muerte ocurre dentro de los 3 a 10 días después de la aplicación. La rapidez es mayor en invernáculo que en cultivos sin protección. Actúa sobre todos los estadios de las plagas. Las patas de los artrópodos controlados se tornan flácidas, se observa hinchazón del cuerpo y que las hembras adultas mueren con acumulación de huevecillos en su interior. Por efecto residual reducen la viabilidad de los huevos oviposicionados al momento de la aplicación.

### Toxicidad

Poco tóxico para mamíferos. Control de poblaciones resistentes a insecticidas convencionales. No tóxico para abejas.

### Efecto sobre enemigos naturales

Amigables para fauna benéfica e insectos polinizadores. Aptos para MIP.

### Productos registrados en Argentina

**Spirodiclofen:** en manzano, naranjo y peral para arañuela roja europea (*Panonychus ulmi*) Arañuela roja común (*Tetranychus telarius*), en peral para ácaro del agamuzado del peral (*Epitri-merus pyri*) y psílido del peral (*Cacopsyla pyricola*), en naranjo para ácaro de la lepra (*Brevipalpus* sp) y ácaro del tostado (*Phyllocoptruta oleivora*).

**Spirotetramat:** en duraznero, nectarina y ciruelo para pulgón verde del duraznero (*Myzus persicae*). Aplicar en forma temprana, después de caída de pétalos y con la aparición de los primeros pulgones, en manzano para piojo de San José (*Quadraspidiotus perniciosus*) y pulgón lanígero (*Erisoma lanigerum*). En peral para cochinilla harinosa (*Pseudococcus viburni*). En pimiento para pulgón verde (*Myzus persicae*), en tomate para mosca blanca (*Bemisia tabaci*), mosca blanca de los invernaderos (*Trialeurodes vaporariorum*) y en uva de mesa y uva de vino para cochinilla harinosa de la vid (*Planococcus ficus*).

## DISRUPTORES DEL REVESTIMIENTO INTESTINAL

### 11.A. *Bacillus thuringiensis*

#### Introducción

La bacteria *Bacillus thuringiensis* (Bt) fue descubierta a comienzos del siglo XX. Es gram-positiva y durante la esporulación produce el cuerpo cristalino de inclusión que tiene distintas formas, siendo la bipiramidal la más común. El cuerpo cristalino está compuesto por proteínas conocidas como  $\delta$ -endotoxinas. Cada proteína individual de la  $\delta$ -endotoxina se designa con el prefijo *Cry* conteniendo desde unos pocos cientos hasta más de 1000 aminoácidos y han sido introducidas por ingeniería genética en algunos cultivos.

Existen variedades de Bt con diferentes características de toxicidad a diferentes especies de insectos debido a que presentan diferentes estructuras de las proteínas unidas a los cristales.

#### Algunas variedades de *Bacillus thuringiensis*

**var. *kurstaki*:** la primera en conocerse. Se obtiene de *B. thuringiensis* Berliner, var. *kurstaki*, Serotipo H-3a3b, HD-1. Los productos basados en esta variedad controlan larvas de lepidópteros.

**var. *israelensi*:** se obtiene de *B. thuringiensis* Berliner, var. *israelensis*, Serotipo H-14. Estos productos se usan principalmente para el control de larvas de insectos acuáticos.

**var. *aizawai*:** se obtiene de *B. thuringiensis* Berliner var *Aizawai* registrado actualmente sólo para el control de larvas de lepidópteros en cultivos de algodón, hortalizas del género Brassica, hortícolas, olivo, pimiento, tomate y vid

**var. *morrisoni*:** se obtiene de *B. thuringiensis* var. *morrisoni* Serotipo 8a8b. Es un Bt de amplio espectro contra la mayoría de las especies plagas de lepidópteros.

**var. *San Diego*:** desarrollado para el control del escarabajo de la papa en todos sus hospederos, el escarabajo de las hojas del olmo y otras larvas de escarabajos en un amplio rango de ornamentales.

**var. *tenebrionis*** Desarrollado para el control del escarabajo de la papa.

**Acción en el insecto:** ingestión  
**Acción en la planta:** contacto.

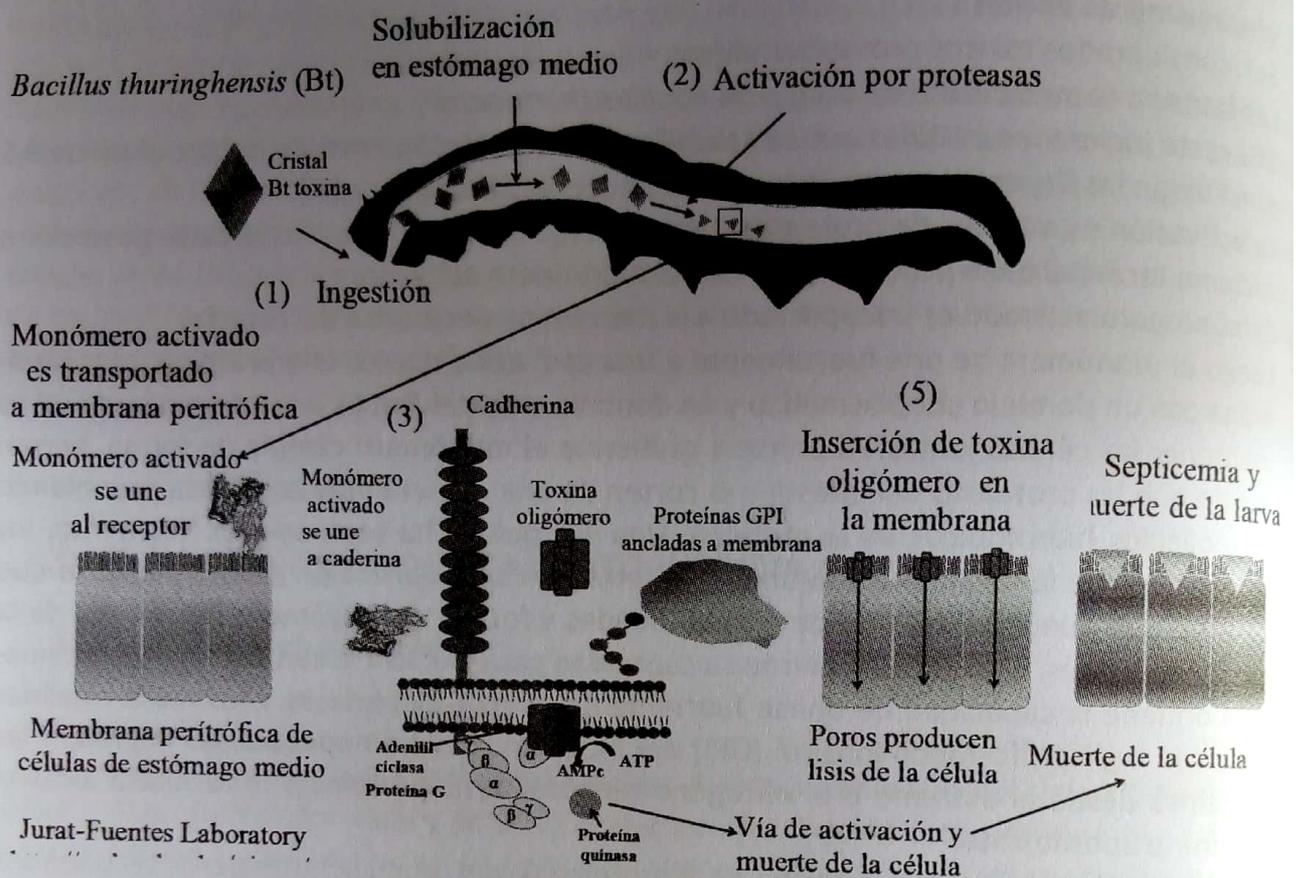
### **Mecanismo de acción**

Son considerados tóxicos protoplasmáticos

Las fases en el mecanismo de acción de *Bacillus thuringiensis*

- 1) El insecto ingiere los cristales que se solubilizan en el estómago medio, debido al pH de 9,5 y se liberan las Cry como protoxinas ya que no son activas (Figura 56).
- 2) La activación es a través de proteasas del estómago medio que cortan la parte posterior o carbono terminal de la proteína y forman el monómero activado.
- 3) El monómero activado es transportado a la membrana peritrófica del insecto.
- 4) Luego el monómero se une fuertemente a una cadherina que es una proteína transmembrana con un dominio citoplasmático y un dominio extracelular. Es una integrina y su rol es mantener las células juntas. Al unirse a cadherina el monómero cambia de forma, permitiendo que las proteasas del intestino la corten de una manera muy específica exponiendo aminoácidos hidrofóbicos de la proteína. Una vez que se ha separado un fragmento, los monómeros de la toxina pueden unirse en tetrámeros. Se genera un parche pegajoso que permite que pueda unirse con otras subunidades y formar un oligómero (tetrámero de la toxina). Después, el oligómero pierde su capacidad para unirse a la cadherina y, a continuación obtiene la capacidad de unirse fuertemente a aminopeptidasas y fosfatasa alcalinas ancladas a glicosilfosfatidil-inositol (GPI) del intestino. Las aminopeptidasas degradan las proteínas desde el extremo o el nitrógeno terminal de la proteína y la fosfatasa alcalina elimina grupos fosfato.  
La vía de activación incluye la acción de la proteína G que produce mensajeros secundarios como el AMPc que actúa sobre la proteína quinasa.
- 5) Luego de la unión a las aminopeptidasas y las fosfatasas alcalinas, el oligómero se inserta dentro de la membrana formando un poro que altera las propiedades de permeabilidad iónica, ya que se constituye en un orificio pequeño que permite el ingreso de sales y otros solutos pequeños. El agua fluye hacia las células intestinales que revientan y entonces proliferan los orificios grandes en el intestino medio. Se libera  $K^+$ , se altera el pH y se produce lisis del epitelio y parálisis de todo el estómago.
- 6) El contenido intestinal se derrama a la cavidad del cuerpo del insecto. Esto lleva a una pérdida de hemolinfa suficiente para matar al insecto por pérdida de fluidos o septicemia (las bacterias se replican activamente por lo que invaden otros tejidos del insecto).

Figura 56. Mecanismo de acción de *Bacillus thuringiensis*



El mecanismo de resistencia a campo de lepidópteros es a través de cadherinas modificadas que no reconocen a la toxina activa. La resistencia a un plaguicida Bt es menor que la observada en cultivos modificados.

### Síntomas

La alimentación se interrumpe muy poco después de que el insecto ingirió Bt aunque se requieren días para que el insecto muera. Las larvas se decoloran, reducen su tamaño, se ennegrecen o toman color marrón y mueren varios días después del tratamiento

### Toxicidad

No tóxicos para mamíferos

### Efecto sobre enemigos naturales

Recomendados para MIP.

### Productos registrados en Argentina

*Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*: en soja, alfalfa, pasturas, algodón, forestales, ornamentales y tabaco para control de lepidópteros.

# INHIBIDORES DE LA RESPIRACIÓN

## 12. Inhibidores de la ATP sintasa mitocondrial

### Introducción

La fosforilación oxidativa consiste en la formación de ATP en la mitocondria, asociada al pasaje de electrones en la cadena de transporte de electrones.

### Mitocondria y complejos generadores de energía

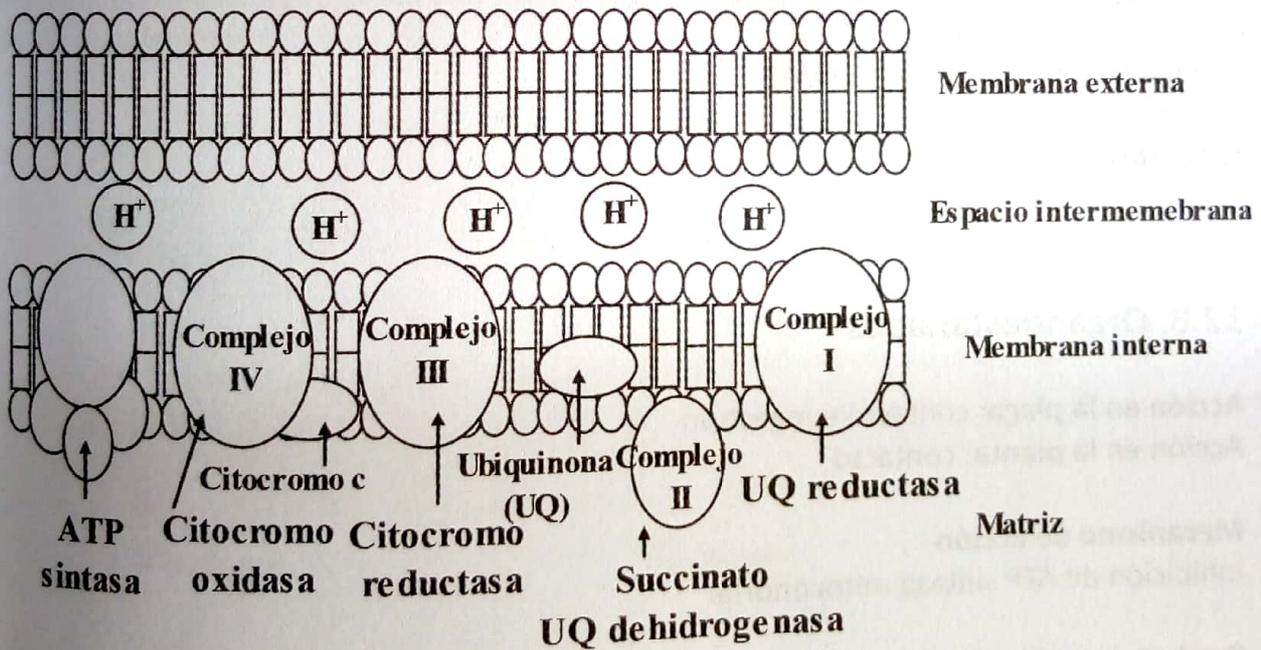
La mitocondria tiene una membrana externa y una interna (Figura 57).

**Membrana interna:** posee crestas y cuatro complejos generadores de energía: I, II, III y IV.

La energía obtenida, a través del transporte de electrones, se usa en la bomba de protones (tres complejos son bombas de protones: I, III y IV). Así se crea un gradiente de protones a través de la membrana interna que genera ATP con la intervención de la ATP sintasa. Los complejos están conectados eléctricamente por transportadores de electrones, algunos liposolubles y otros hidrosolubles.

**Matriz:** la región encerrada por la membrana interna es la matriz, donde se forma acetyl CoA a partir del piruvato y tiene lugar el ciclo de Krebs.

Figura 57. Esquema del transporte de electrones y bomba de protones en la mitocondria



### Detalle de los complejos y su función

El **complejo I** oxida el NADH tomando los electrones del ciclo de Krebs y reduce la ubiquinona (UQ) a través de UQ reductasa.

UQ también recibe electrones del **complejo II** que recoge los electrones que vienen del  $FADH_2$  y que proceden del ciclo de Krebs a través de la succinato UQ dehidrogenasa.

La UQ pasa electrones al **complejo III** (UQ citocromo c reductasa) que los transfiere al citocromo c. El citocromo de este complejo tiene dos sitios de unión, Q<sub>o</sub> (externo) y Q<sub>i</sub> (interno).

El citocromo c transfiere los electrones al **complejo IV** (citocromo c oxidasa) que utiliza los electrones y protones para reducir el oxígeno molecular a agua.

## 12.A. Diafentiuron

### Introducción

Nuevo grupo químico para el control de áfidos, moscas blancas, ácaros y algunos lepidópteros

**Acción en la plaga:** contacto e ingestión

**Acción en la planta:** translaminar

### Mecanismo de acción

Inhibición de ATP sintasa mitocondrial

### Síntomas

Parálisis, impidiendo movimiento, alimentación

Controla todos los estadios y evita el daño al cultivo ya que impide el progreso en el daño ocasionado a la planta o en la transmisión de virus al momento del contacto con el producto.

### Toxicidad

Medianamente tóxico

### Efecto sobre enemigos naturales

Es selectivo a la fauna benéfica (insectos y ácaros predadores), por lo que es adecuado para MIP.

### Producto registrado en Argentina

#### *Acaricida*

**Diafentiuron:** en algodón frutales y ornamentales.

## 12.B. Organoestañados

**Acción en la plaga:** contacto e ingestión

**Acción en la planta:** contacto

### Mecanismo de acción

Inhibición de ATP sintasa mitocondrial

### Productos registrados en Argentina

#### *Acaricidas*

**Azociclotin:** en frutales y en tomate contra araña.

**Cihexatin:** en florales y ornamentales contra araña y ácaro del tostado en frutales.

**Fenbutatin-óxido:** en manzano contra sobre larvas y adultos de ácaros.

## 12.C. Propargite

**Acción en la plaga:** contacto e ingestión

**Acción en la planta:** contacto.

**Mecanismo de acción**

Inhibición de ATP sintasa mitocondrial

**Producto registrado en Argentina**

**Acaricida**

**Propargite**

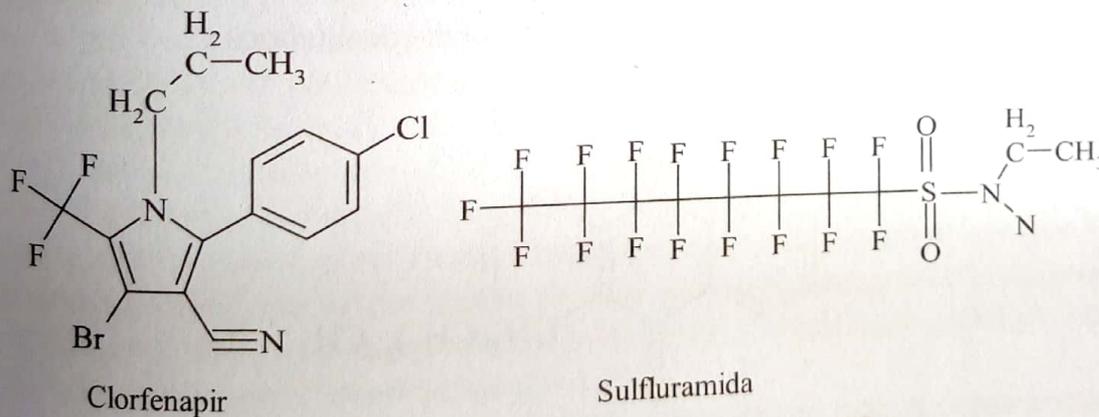
Se emplea contra el ácaro tejedor y arañuelas en cultivos frutícolas como ciruelo, duraznero, mandarina, naranja, manzano, nogal, peral, ornamentales, florales y hortícolas como pimiento y tomate.

## 13. Desacopladores de la fosforilación oxidativa. Clorfenapir y sulfluramida.

**Introducción**

Se han identificado compuestos de fuentes naturales y sintéticas que derivan de compuestos producidos por microorganismos llamados pirroles halogenados. Sulfluramida es una sulfonamida alquil halogenada (Figura 58).

Figura 58. Fórmula estructural de clorfenapir y sulfluramida



**Acción en la plaga:** Clorfenapir: contacto e ingestión. Sulfluramida: ingestión.

**Acción en la planta:** Clorfenapir: translaminar. Sulfluramida es un cebo (sin acción en planta)

**Mecanismo de acción**

Son potentes desacoplantes de la respiración mitocondrial con la consecuente pérdida de ATP. El metabolito de-etilado de la sulfluramida se genera por el citocromo P450.

**Síntomas**

De lento desarrollo. Incluyen inactividad, parálisis y muerte.

### Toxicidad y efecto sobre enemigos naturales

**Clorfenapir:** moderadamente tóxico para mamíferos. Altamente tóxicos para abejas. Muy tóxico para aves. Extremadamente tóxico para organismos acuáticos. En 2000, la EPA negó la inscripción de clorfenapir en algunos cultivos por su persistencia en el ambiente y por el grave impacto que ocasiona en la reproducción de aves. Sin embargo, en 2001 la EPA aprobó su uso en ornamentales de invernadero. Desde 2003, se registra información sobre efectos cancerígenos por lo cual la Unión Europea prohibió su uso.

**Sulfluramida:** ligeramente peligroso para mamíferos. Muy tóxico para peces. Altamente a ligeramente tóxico para aves.

### Productos registrados en Argentina

#### Insecticidas

**Clorfenapir:** en algodón para oruga de la hoja del algodnero (*Alabama argillacea*) y en tomate, para controlar la polilla del tomate (*Tuta absoluta*). Se utiliza también en frutales. En algunas especies tiene acción ovicida.

**Sulfluramida:** cebo granulado para hormigas en forestales y jardines.

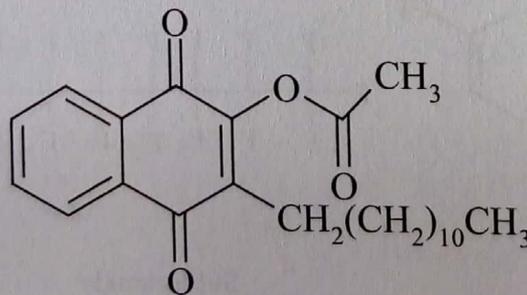
## 20. Inhibidores del complejo III de transporte de electrones mitocondrial

### 20B. Acequinocil

#### Introducción

Pertenece al grupo químico naftoquinonas (Figura 59).

Figura 59. Fórmula estructural del acequinocil



**Acción en la plaga:** contacto e ingestión. Acción de volteo.

**Acción en la planta:** contacto

#### Mecanismo de acción

Inhibe la respiración en mitocondria a nivel del Complejo III (citocromo c reductasa) formando un enlace en el sitio de oxidación del ubiquinol ( $Q_0$ -quinona outside) en la cadena de transferencia de electrones.

## Producto registrado en Argentina

### Acaricida

**Acequinocil:** actividad en todos los estadios en ácaros en manzano, peral y té. Actúa rápidamente y provee una residualidad de 28 días. Controla arañuela roja europea (*Panonychus ulmi*) y ácaro rojo del té (*Oligonychus yothersi*). No muestra resistencia cruzada con los acaricidas existentes y es efectivo contra varias especies resistentes y susceptibles de ácaros.

### Toxicidad

Exhibe baja toxicidad aguda en mamíferos.

### Efecto sobre enemigos naturales

Es indicado para MIP.

## 21. Inhibidores del complejo I de transporte de electrones mitocondrial

### 21A. Acaricidas

#### Mecanismo de acción

Interrumpe transporte de electrones al inhibir al complejo I de transporte de electrones mitocondrial

#### Productos registrados en Argentina

##### Acaricidas

**Fenpiroximato:** contacto e ingestión en el insecto sin actividad translaminar. Es preventivo o curativo. Es activo en todos los estadios aunque tiene mayor acción en larvas. Posee poder de volteo y no es fitotóxico. Los ácaros dejan de alimentarse y las hembras no desovan. Provee una actividad residual de hasta 21 días. Tiene bajo efecto sobre enemigos naturales. Controla arañuela roja europea (*Panonychus ulmi*), ácaro tejedor (*Tetranychus urticae*) y ácaro rojo del té (*Oligonychus yothersi*), en flores ornamentales, manzano, peral y té.

**Piridaben:** contacto solamente. Tiene actividad en todos los estadios, incluyendo huevos, ninfas, larvas y adultos. Es de acción rápida en los estadios móviles y puede proveer hasta 45 días de residualidad. Para ácaro tejedor (*Tetranychus urticae*) y arañuela parda (*Bryobia rubri-culus*) y arañuela roja europea (*Panonychus ulmi*).

**Fenazaquin:** contacto e ingestión sobre ninfas y adultos de arañas rojas, presentado en forma de suspensión concentrada para aplicar en aspersion al follaje. Se caracteriza por su poder de volteo y persistencia en manzano y peral para ácaros. Poco tóxico para mamíferos, muy tóxico para peces, invertebrados acuáticos. En abejas es altamente tóxico y no se debe aplicar cuando el cultivo o las malezas están en flor y cuando las abejas se encuentren libando.

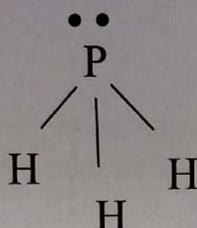
## 24. Inhibidores del complejo IV de transporte de electrones mitocondrial

### 24.A. Fosfina

#### Introducción

La fosfina o fosfina son nombres comunes del fosfuro de hidrógeno o hidrógeno fosforado (Figura 60).

Figura 60: Estructura molecular de la fosfina



#### Características de la fosfamina

##### *Organolépticas*

Gas incoloro, sin olor al estado puro, pero a la concentración de grado técnico presenta olor aliáceo o a pescado podrido por el agregado de productos para advertir su presencia.

##### *Densidad*

La densidad de 1,18 le permite descender por gravedad en instalaciones llenas de granos.

##### *Reacción con el oxígeno*

Al aire arde con llama de color blanco y muy brillante, desprendiendo vapores de ácido fosfórico, según la reacción:  $\text{PH}_3 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4$ . Es un poderoso reductor que toma el oxígeno para transformarse en ácido fosfórico.

##### *Reacción con la humedad ambiente*

Se transforma en fosfina en contacto con la humedad atmosférica. La reacción demora por lo menos 2 horas.

Se comercializa como fosfuro de aluminio. Es un fumigante, en contacto con el aire se gasifica. Viene formulado como pellets o pastillas, que incluyen sustancias auxiliares que producen amoníaco, reduciendo el potencial de combustión espontánea o explosión. Los pellets también pueden ser directamente ingeridos por roedores produciéndose fosfina en el ácido estomacal de estas plagas.

#### Mecanismo de acción

No se conoce en profundidad, pero se sabe que la fosfina es un poderoso agente reductor especialmente en la cadena de transporte de electrones a nivel de complejo IV. Produce especies reactivas como radicales de oxígeno produciendo la muerte celular.

Por este motivo se usa como fumigante en semillas almacenadas que están dormidas. Actúa rápidamente y no deja residuos en el grano almacenado. Existen casos de insectos resistentes a la fosfina.

#### Toxicidad

La fosfina es altamente tóxica en organismos que realizan respiración oxidativa, pero no es tóxica en organismos anaeróbicos.

## Producto registrado en Argentina

**Fosfina:** en silos para control de insectos de granos almacenados.

## TÓXICOS FÍSICOS

Los insecticidas tóxicos físicos se basan en la modificación del ambiente fuera y dentro del insecto afectando la humedad o la cantidad de oxígeno en el cuerpo del insecto, lo que produce su muerte. Entre los tóxicos físicos se encuentran los jabones, aceites y tierra de diatomeas que no están incluidos en la clasificación de IRAC

### Jabones

#### Introducción

Los jabones son sales de ácidos grasos. Esto implica que los ácidos grasos se hacen solubles por medio de un proceso químico que consiste en neutralizarlos con una base como por ejemplo el hidróxido de potasio para formar la sal, o sea el jabón. No todos los jabones son obtenidos de la misma manera. Existen muchos ácidos grasos que pueden ser neutralizados con diferentes bases químicas lo que resulta en distintos tipos de jabón. La mayoría de los jabones insecticidas derivan de ácidos grasos de cadena larga, lo que los hace eficaces en el control de plagas de exoesqueleto blando como por ejemplo pulgones. El jabón insecticida debe estar basado en ácidos grasos de cadena de entre 10–18 carbonos, ya que los de cadena más corta (atoms) tienden a ser fitotóxicos. El jabón más común es en base a laureato de potasio. Las concentraciones están entre 1 y 2 %.

#### Mecanismo de acción

No bien comprendido. Se propone que el jabón:

- 1) es absorbido por los insectos por las tráqueas y esto produce la ruptura de la membrana celular. Se genera una disrupción del balance de agua y la rotura de membrana de las células epidérmicas con la consecuente liberación de su contenido hacia el exterior. Los polinizadores como los himenópteros son relativamente poco afectados.
- 2) disuelve el exterior de la cutícula por emulsificación de las ceras de la cutícula del insecto, causando la deshidratación.
- 3) bloquea en forma física los espiráculos lo que conduce a la muerte por sofocación.

Independientemente de cuál sea la teoría correcta, los jabones producen la muerte por contacto físico o ingresando en el cuerpo del insecto sin producir reacciones químicas ni unirse en un sitio de acción determinado. Es esencial que el jabón esté húmedo para ejercer su acción ya que si se aplica como polvo seco no daña a los insectos. Se debe cubrir el área de la planta lo más posible con el jabón insecticida. Muchos insectos se alimentan también debajo de las hojas y en consecuencia el pulverizar debe alcanzar el envés foliar para ser eficaz. Se requieren aplicaciones repetidas ya que no posee residualidad. El agua no debe ser dura que reduce la eficacia. No son compatibles con fungicidas cúpricos o ditiocarbamatos ni con fertilizantes. En general no son fitotóxicos si se usan adecuadamente pero algunas plantas ornamentales pueden ser especialmente sensibles.

## **Control**

**Áfidos** (aunque algunos solo pueden controlados si se agrega un insecticida al jabón). En menor medida se utilizan para control de thrips, moscas blancas y ácaros.

## **Aceites**

### **Aceites Minerales**

#### **Introducción**

Los aceites minerales, se dividen en dos grupos principales:

**Aceites de verano:** se aplican sobre plantas en pleno estado vegetativo: ej.: cítricos. En forma práctica podemos decir que un aceite de verano puede aplicarse sin temor a daños en plantas afectadas (caducas o perennes), durante los meses fríos, pero un aceite de invierno no debe aplicarse nunca en presencia de altas temperaturas, o sea en primavera o verano. Los aceites de verano pueden ser blancos o transparentes. Los aceites blancos son emulsiones de aceite en agua fácilmente diluibles.

Los aceites son relativamente eficaces y amigables con el ambiente y los enemigos naturales

**Aceites de invierno:** se aplican sobre plantas de hojas caducas, cuando están sin hojas, flores y frutos: ej.: durazneros, ciruelos. Un aceite de invierno no debe aplicarse nunca en presencia de altas temperaturas, o sea en primavera o verano.

#### **Propiedades y acción en la planta**

El vegetal posee en su morfología estructuras que le sirven para intercambiar gases (estomas, lenticelas) y éstas también quedan recubiertas con la película de aceite al ser aplicado el producto. Si el aceite no es de buena calidad, o fue mal seleccionado o mal aplicado, puede producir fitotoxicidad. No se deben usar con temperaturas muy altas ni heladas ni con insuficiente humedad en el suelo y en el aire.

Los compuestos en base a azufre pueden ser fitotóxicos en combinación con aceites. Los aceites minerales se obtienen de la destilación del petróleo sobre los 300° y están constituidos por hidrocarburos saturados y o saturados. El índice de sulfonación permite determinar la cantidad de hidrocarburos no saturados que son fitotóxicos. Al ser tratados con ácido sulfúrico reaccionan constituyendo el residuo sulfonado. Los hidrocarburos saturados no reaccionan con el ácido sulfúrico y constituyen el residuo no sulfonable. Cuanto mayor sea la cantidad de hidrocarburos saturados, es decir no sulfonables, menor será el riesgo de fitotoxicidad pero siendo que los hidrocarburos no saturados son los que tienen mayor poder insecticida, no deben eliminarse totalmente, sino graduarlos de tal manera que sean efectivos para los artrópodos sin dañar las plantas. Los aceites minerales deben mantener un residuo no sulfonable durante el invierno, para pulverizaciones en plantas sin follaje, no menor del 70% y en verano no menor del 90%. Por otro lado es necesario conocer el Índice de viscosidad ya que el aceite penetra en los estigmas para ejercer su acción. Si es muy viscoso tarda mucho en penetrar y es difícilmente expulsado, en cambio si es liviano penetra fácilmente pero se expulsa rápido. Algo semejante ocurre en los estomas de las hojas cuando el aceite viscoso no puede ser expulsado impidiendo los procesos de respiración y transpiración.

Como conclusión el aceite debe asegurar una penetración relativamente rápida a través de los órganos respiratorios del insecto y una adecuada persistencia, que no sea excesiva para evi-

tar daños en el vegetal. Por lo general los aceites de verano presentan viscosidades que varían entre 70 y 85 segundos Saybolt a 38 °C.

### **Mecanismo de acción**

Los aceites actúan recubriendo el cuerpo del insecto y la muerte se produce por bloqueo de los espiráculos lo que produce sofocación.

### **Control**

Se usan fundamentalmente para control de homópteros y en particular de cochinillas con un caparazón que recubre el cuerpo (ej.: cochinilla del Olivo: *Saissetia oleae*), sin caparazón (ej.: cochinilla blanca del tronco de los cítricos: *Unaspis citrii*), de aspecto algodonoso (ej.: cochinilla algodonosa: *Pseudococcus citrii*), recubiertas de una capa cerosa (ej.: cochinilla grande del aguaribay: *Ceroplastes grandis*). En menor medida se recomiendan para control de áfidos y moscas blancas pero en realidad son de difícil control ya que se reproducen rápido y tienden a residir en el envés y axilas de las hojas donde no son alcanzados por el aceite.

## **Aceites esenciales**

### **Introducción**

El aceite más eficaz es el aceite del árbol del Neem (*Azadirachta indica*), mencionado en el ítem UN Insecticidas de acción desconocida.

Hay una gran variedad de aceites esenciales que repelen a los insectos. Se utilizan en muchos cultivos hortícolas para controlar insectos de muchos órdenes. Entre los aceites se encuentran:

*Syzygium aromaticum*

*Rosmarinus officinalis*

*Menta piperita*

El aceite de citronella deriva de *Cymbopogon nardus* y *Cymbopogon winterianus*. El tallo produce un aceite esencial de color amarillo marrón con aroma a limón. El tallo se destila para producir el aceite esencial. Sus principales constituyentes son citral, citronelal y geraniol. Su mecanismo de acción consiste en que los insectos evitan las plantas pulverizadas con los aceites esenciales.

## **Tierras de diatomeas**

### **Introducción**

Las tierras de diatomeas se utilizan para el control de artrópodos y otras plagas en agricultura en pequeña escala y en mucho menor medida como protectores del grano almacenado por sus propiedades insecticidas y su acción contra patógenos y no son tóxicas para el hombre. No tienen gran aplicación debido a los obstáculos para su buen funcionamiento.

Un aumento en el contenido de humedad del grano almacenado reduce considerablemente la eficacia de las tierras de diatomeas, especialmente cuando el contenido es mayor a 14 % o la humedad relativa excede el 70%. Se conoce que el insecto remueve el polvo de sus patas y

antenas pasando por su aparato bucal. Es probable que la actividad de limpieza juegue un rol fundamental en aumentar la eficacia de las tierras de diatomeas en relación a la desecación interna.

Si los insectos son atraídos por la presencia de las tierras de diatomeas se mantienen más tiempo y recogen más partículas en su patas o antenas. Se puede usar para esto un alimento en base a cebo (levadura y miel) en su formulación que atrae a los insectos y los mantiene por mayor período de tiempo.

Con respecto a la capacidad de sorción se conoce que las partículas de las diatomeas absorben agua superficial y dependiendo de la humedad relativa. A medida que la humedad aumenta la cantidad de agua absorbida por las tierras de diatomeas aumenta. La eficacia de las tierras de diatomeas se reduce cuando su contenido de humedad es mayor a 8-10% y cuando las partículas poseen una capa de agua y los poros están completamente saturados de agua, su eficacia insecticida se pierde completamente. La presencia de agua afecta adversamente las propiedades de dispersión. A medida que las tierras de diatomeas se secan tienden a aglomerarse y adherirse a las superficies sobre las cuales se seca más que sobre los insectos que están sobre la superficie. Una vez que las tierra de diatomeas se secan se adhieren unas a otras formando depósitos cohesivos, y en este caso es difícil que las partículas puedan ser tomadas por los insectos. Aunque las partículas de las tierras de diatomeas son efectivas cuando están secas, la reducida dispersión de las partículas reduce la extensión en la cual se adhieren a los insectos que pasan por sobre las tierras de diatomeas. Como resultado los insectos no toman contacto con la cantidad necesaria de partículas que facilitan la desecación. Las partículas de tierras de diatomeas secas se deben adherir al cuerpo de los insectos para ser efectivas.

La presencia de humedad reduce la eficacia de tres maneras

a) reduciendo la capacidad de sorción por los lípidos sobre la epicutícula del insecto.

b) afectando la fluidez del material-

c) en condiciones húmedas un insecto puede reponer más fácilmente la humedad perdida.

En consecuencia, las partículas deben estar lo más secas posibles (contenido de agua libre en el rango del 4-8%, aunque menos de 5% es preferible).

Sin embargo, a medida que las tierras de diatomeas se secan tienden a aglomerarse y adherirse a las superficies sobre las cuales se secan. Se adhieren unas a otras formando depósitos cohesivos, y en este caso es difícil que las partículas puedan ser tomadas por los insectos.

Aunque las partículas de las tierras de diatomeas pueden ser efectivas cuando están secas, la reducida dispersión de las partículas reduce la extensión en la cual se adhieren a los insectos que pasan por sobre ellas. Como resultado, los insectos no toman contacto con la cantidad necesaria de partículas que facilitan la desecación. Las partículas de tierras de diatomeas secas se deben adherir al cuerpo de los insectos para ser efectivas.

Hay numerosos estudios sobre el efecto de la tierra de diatomeas sobre hormigas, grillos, plagas textiles, orugas en agriculturas y termitas, escarabajos, caracoles centípedos, escarabajos pero su uso en el control de estas es limitado.

En granos almacenados se propone para controlar insectos en granos almacenados como *Sitophilus* spp., *Rhyzopertha dominica*, *Oryzaephilus surinamensis*, *Tribolium* spp. Si bien no siempre se logra un control comercialmente aceptable. También se propone como domisanitario para controlar algunas plagas. El control de insectos es limitado en ambientes exteriores, especialmente en regiones con abundantes precipitaciones. Las tierras de diatomeas tienen la limitación de la humedad ambiente y la temperatura, como ya se ha comentado. Otro inconveniente es la falta de seguridad debido a las partículas muy pequeñas presentes en el aire por horas luego del tratamiento que pueden ingresar en los pulmones y causar inflamación.

Se ha intentado reducir la producción de polvo y la dosis mezclando las tierras de diatomeas con otros compuestos como silica gel, miel seca, levadura no activada y azúcar. Sin embargo, estas mezclas tienen efecto negativo en la densidad y en la fluidez del grano. Se ha propuesto la mezcla de tierra de diatomeas con pequeñas concentraciones de insecticidas convencionales o extractos de plantas para mejorar su acción. Esta acción sinérgica mejora mucho la eficacia y permite reducir mucho la dosis de las tierras de diatomeas.

### Mecanismo de acción

El cuerpo de los artrópodos está cubierto por una capa de ceras constituidas por los lípidos cuticulares. Esta capa es llamada epicutícula y su función es restringir la pérdida de agua del cuerpo. La absorción depende del tamaño y topografía de las especies de diatomeas. Las partículas con mayor superficie activa poseen mayor capacidad de sorción en los lípidos y son más eficaces.

Las partículas de la tierra de diatomea se absorben al cuerpo del artrópodo produciendo diversos daños:

Es bien conocido que el modo de acción de las tierras de diatomeas es físico, a través de desecación.

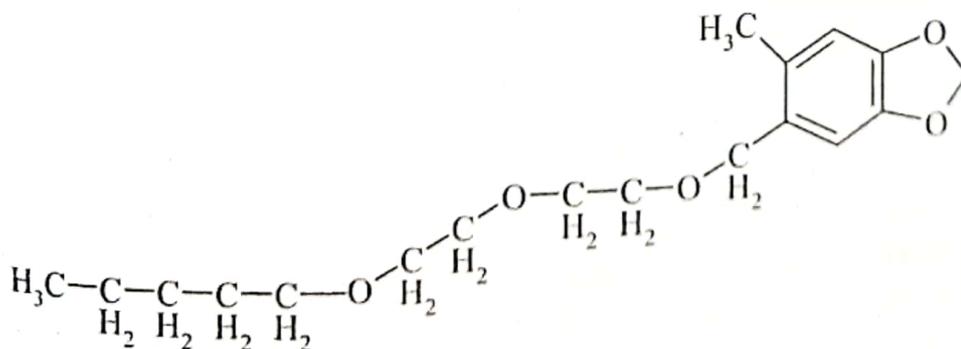
Otro daño es la abrasión del tegumento que incluye abrasión del tracto digestivo que resulta en desecación interna. Además puede obturar los espiráculos lo que produce desecación. Estos daños actúan en combinación. En los puntos dañados por las partículas el artrópodo pierde humedad. No puede llevar varios días hasta que se produzca la muerte.

## SINERGISTAS

### Introducción

Los sinergistas no se pueden considerar en sí mismos como tóxicos o insecticidas, pero son materiales usados con insecticidas para incrementar su actividad. Los sinergistas se encuentran en casi todos los aerosoles de uso casero, de animales y de mascotas para mejorar la acción de los insecticidas piretro, aletrina, y resmetrina, contra insectos voladores. Los sinergistas actuales, tales como el butóxido de piperonilo (Figura 61), contienen el metilendioxfenil, una molécula que se encuentra en el aceite de sésamo y que ha sido denominada *sesamin*.

Figura 61. Fórmula estructural del butóxido de piperonilo



### Mecanismo de acción

Las polisustrato monoxigenasas (PSMOs), como el citocromo P450, son enzimas oxidativas que degradan sustancias tóxicas: especialmente piretroides y carbamatos. Son producidas por los microsomas, unidades subcelulares que se encuentran en algunos tejidos de los artrópodos y en el hígado de los mamíferos. Los sinergistas inhiben estas enzimas e impiden que degraden el agente tóxico y, por lo tanto, favorecen la acción del insecticida.

## REGULADORES DEL COMPORTAMIENTO

### Introducción

Los semioquímicos (del griego semeion, una señal) son productos químicos que sirven de intermediarios en las interacciones entre organismos. Cumplen funciones de atrayentes, repelentes, disuasivos o estimulantes pero ninguno es un insecticida propiamente dicho. Algunos pueden usarse para reducir la descendencia de los insectos. Se clasifican en aleloquímicos y feromonas.

### Clasificación de los semioquímicos

- a) **Aleloquímicos:** Productos interespecíficos y según la respuesta de emisor o receptor se clasifican como sigue:

| Respuesta favorable | Respuesta no favorable | Denominación | Descripción de la sustancia                       |
|---------------------|------------------------|--------------|---|
| Emisor              | Receptor               | Alomonas     | Repelentes del predador o atrayentes de la presa. |
| Receptor            | Emisor                 | Kairomonas   | Emitidas por la presa y atraen al predador        |
| Receptor y emisor   | -                      | Sinomonas    | Néctar que atrae a polinizadores                  |

- b) **Feromonas** (del griego phereum, llevar; horman, excitar o estimular): Productos intraespecíficos. Descubiertas por Budenandt en 1959 (a partir del gusano de seda, *Bombyx mori*). Las feromonas son liberadas por un individuo de una especie para causar una interacción específica en otro de su misma especie.  
Las feromonas pueden tener acción rápida o lenta:

### *Acción rápida*

- 1) De congregación, incluyendo el seguimiento de pistas: Permiten a los insectos detectar alimento
- 2) De alarma: permiten detectar predadores o toxinas
- 3) De atracción sexual: permiten identificar insectos de la misma especie para el apareamiento.
- 4) De dispersión: indican la necesidad de dispersarse de un área
- 6) De oviposición: indican el momento o lugar oportuno para realizar la oviposición.

### *Acción lenta*

Son de información. Pueden causar cambios graduales en el crecimiento y desarrollo, especialmente en insectos sociales, al regular las proporciones entre castas de insectos que forman colonias.

La respuesta a las feromonas es fundamental para la sobrevivencia y reproducción de muchos animales, incluidos los insectos. La prevalencia de estos compuestos depende del insecto considerado. Los blatáridos (cucarachas) y los lepidópteros las emplean ampliamente en sus sistemas de comunicación, mientras que los ortópteros dependen más del sonido o la visión como primer modulador de la comunicación.

La mayoría de las feromonas empleadas en control son de atracción sexual.

### *Feromonas de atracción sexual*

De las 1314 especies de insectos con respuestas confirmadas de atracción a feromonas identificadas, en 1260 éstas son producidas por hembras. Solo 54 especies usan atrayentes sexuales producidos por los machos. En unas pocas especies ambos sexos producen el mismo atrayente.

Están formadas por componentes múltiples con proporciones precisas de distintas moléculas. Las actuales formulaciones comerciales de feromonas son imitadores de las mezclas químicas de los productos naturales producidos por las hembras. Son de síntesis industrial costosa.

Están disponibles para pocos insectos de importancia económica.

Tienen la ventaja de ser muy poco tóxicas para el hombre y el medio.

Los usos agrícolas principales de las feromonas sexuales son:

### *Usos agrícolas de las feromonas*

**Captura de machos en trampas:** para ejercer un control significativo de la población, los machos deben ser eliminados antes que puedan aparearse. De lo contrario, se aparean más veces y el control resulta inadecuado. Este método se ha usado contra la lagarta rosada del algodónero (*Pectinophora gossypiella*).

**Estudios de movimiento:** permiten determinar la dispersión de los insectos en una región. La información de las capturas de las trampas puede ser muy útil para la toma de decisiones de aplicación de insecticidas y otras medidas de control. Es esencial contar con un protocolo de captura consistente. Para que la trampa sea efectiva el diseño es crítico. Las trampas varían en diseño y tamaño, según el comportamiento de los insectos blanco. A través de los años se han probado muchos diseños de cebos, pero los de uso común hoy son: difusores, dispensadores o tiras emisoras, que pueden ser fibras huecas de plástico de polivinilo (emiten por ambos extremos), fibras huecas selladas y bolsas (emiten por las paredes) y flecos de plástico laminado (emiten por las paredes y bordes expuestos).

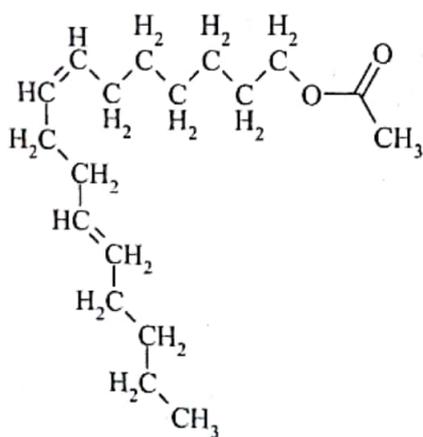
**Programas de detección:** permiten determinar la ocurrencia de una plaga en un área limitada, por ejemplo, alrededor de aeropuertos internacionales o en áreas en cuarentena.

**Técnica de "confusión o alteración del apareamiento":** para controlar insectos con un enfoque biorracional. En teoría, la confusión sexual se basa en que los insectos sigan rastros falsos, al colocar muchos más puntos de fuentes de feromonas por hectárea que la densidad monitoreada de hembras en el cultivo. En los insectos, existen sitios específicos de recepción en las antenas que sólo responden a las moléculas de las feromonas. Cuando un receptor es activado continuamente por altas concentraciones de feromonas en el ambiente, la señal disminuye. El sitio receptor deja de responder y el insecto se vuelve navegablemente ciego. Por lo tanto, el sistema nervioso central del insecto es inundado con señales, se habitúa a ellos y la feromona no ejerce el efecto atrayente. El resultado neto de la confusión es que el macho no se puede orientar hacia ninguna fuente de feromona ni seguir el rastro de una pareja. Las probabilidades de que los machos encuentren hembras disminuye. Una desventaja importante es que las hembras y los machos no son eliminados por efecto de la feromona, por lo cual el cultivo debe tener baja población de la plaga y estar lo más aislado posible de otros cultivos de la misma especie, para evitar el ingreso de hembras fecundadas de lotes vecinos. Por esto, se obtiene mejor control cuanto mayor es el lote.

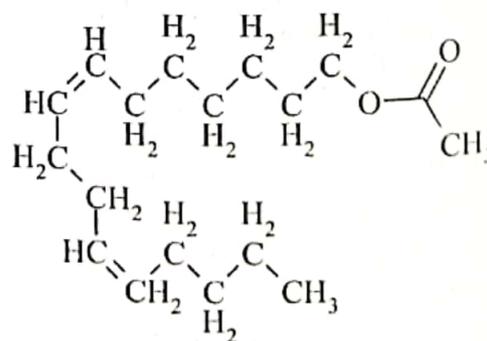
### Productos registrados en Argentina

**Gossyplure:** El primer uso de alteración del apareamiento involucró el gossyplure. Su nombre se debe a que fue extraído de *Pectinophora gossypiella* (lagarta rosada del algodón). Los dispensers con gossyplure se distribuyen uniformemente en el lote de algodón en palos de aproximadamente 2 m para atraer a los machos de lagarta rosada, reduciendo la reproducción de la plaga. Gossyplure es una mezcla de isómeros (Z,E) y (Z,Z) del hexadeca-7,11-dien-1-il-acetato (Figura 62). La mezcla se llama hexadecadienilacetato. En los campos tratados se han observado machos de la lagarta rosada tratando de copular con fibras huecas de fuentes de feromonas. En Argentina, este producto se usa colocando trampas en función de las hectáreas infestadas con la plaga. Todas las formulaciones deben aplicarse al comienzo de la floración, en estado de yema ("botón pequeño") o cerca del estado de 8 hojas verdaderas, que es el momento más temprano de reproducción de la plaga. Cuando aparecen las primeras yemas florales se hacen aplicaciones para controlar las poblaciones invernantes que se encuentran en baja densidad.

Figura 62. Fórmula estructural del gossyplure



Isómero (7Z,11E)



Isómero (7Z, 11Z)

**Dodecadienol E8 E10 y Dodecenilacetato (2/8 E8 Dodecenilacetato):** *Cydia pomonella* (gusano de la pera y la manzana) y *Grafolita molesta* (gusano del brote de duraznero) son problemas serios en la producción de estas frutas en el mundo. El desarrollo de métodos de control contra estas especies es difícil ya que muchos insecticidas que las controlaban han sido restringidos o prohibidos. La disrupción del apareamiento por el método de confusión sexual se ha utilizado con éxito. Se utilizan trampas de monitoreo, que consisten en una estructura en la cual se coloca una cápsula cebo impregnada con la feromona, que permite verificar la presencia de machos adultos. Dentro de la trampa, el cebo emisor debe ser cambiado cada 21 días durante la primera generación y cada 15 días a partir de la segunda. Cuando se registra la primera captura en la trampa de monitoreo se colocan las feromonas en difusores o tiras emisoras. Vienen en distintas concentraciones: E/Z-7,9 - dodecadienil acetato 8,5%, Z8-E8 dodecenilacetato 20%, E8-E10 dodecadienol 6%, E8-E10 dodecadienol 7,6 %, E8-E10 dodecadienol 12% y Z8 / E8 - dodecenilacetato 7,2%

#### **Toxicología y efecto sobre enemigos naturales**

No son insecticidas y no afectan a los organismos en general

#### **Combinación de feromonas e insecticidas**

Se han aplicado productos comerciales a base de feromonas en hojas con adhesivos con pequeñas cantidades de un insecticida de contacto. Estas formulaciones atraen y matan a los insectos machos. En la práctica, el daño se limita a la especie blanco. Se pueden realizar aplicaciones de feromona e insecticidas por separado o en mezcla de tanque. La feromona puede aumentar la actividad de vuelo de los insectos y, de esta manera, aumentar la probabilidad de exposición al insecticida.

### **MECANISMO DE ACCIÓN DESCONOCIDO O INCIERTO (UN)**

#### **8. Misceláneos multisitio**

##### **8A. Alquilhalidas**

Son fumigantes, es decir que su acción es en estado de gas.

##### **Mecanismo de acción**

No está elucidado. Se propone que pueden reaccionar con enzimas que poseen el grupo -HS causando su progresiva e irreversible inhibición.

##### **Toxicidad y efecto sobre el ambiente**

Son muy tóxicos para mamíferos, por lo que se requieren precauciones para su empleo. Es reductor del ozono estratosférico.

##### **Producto registrado en Argentina**

**Bromuro de metilo o bromometano:** El Protocolo de Montreal interrumpió su uso en etapas. Era ampliamente usado como insecticida y nematocida con efecto fungicida, acaricida, rodenticida, herbicida (semillas en germinación). Actualmente se utilizar en ambientes cerrados para esterilización de frutas.

## **Azadiractina**

### **Introducción**

Se considera un insecticida botánico, ya que se obtiene del extracto del aceite de las semillas del árbol del Neem (*Azadirachta indica*). Es un triterpenoide que pertenece a los lemonoides.

**Acción en la plaga:** ingestión

**Acción en la planta:** de contacto con actividad sistémica y translaminar

### **Mecanismo de acción**

Es un veneno estomacal por lo que el insecto debe ingerir el principio activo para ser afectado. Se propone que inhibe la alimentación por alterar el desarrollo y reproducción, reducir la fertilidad, probablemente por interferir en la síntesis de la hormona protoracicotrópica y de este modo se inhibe la producción de ecdisona. Sin embargo, no parece ser ese su único mecanismo de acción ya que se piensa que afecta la mitosis, la hormona juvenil y a la síntesis de quitina. También tiene acción fungicida, nematocida y bactericida. El control es relativamente lento.

### **Toxicidad y efecto sobre el ambiente**

Muy baja toxicidad en mamíferos. No afecta abejas. Apto para MIP.

### **Producto registrado en Argentina**

#### ***Insecticida y acaricida***

**Azadiractina.** Registrado o en proceso de registro en tomate, pimiento, frutilla, ajo, cebolla, lechuga, cítricos, olivo, tabaco, soja para insectos chupadores y minadores y ácaros.

## **Pyridalyl**

### **Introducción**

La subsidiaria de Sumitomo Chemical, Valent USA Corporation's introdujo un insecticida de una nueva clase química con sitio de acción desconocido (Pyridalyl).

**Acción en el insecto:** de contacto e ingestión

**Acción en la planta:** translaminar

### **Toxicidad y efecto sobre enemigos naturales**

No es tóxico para el hombre. No afecta a los enemigos naturales y puede usarse en programas de manejo integrado.

### **Productos registrados en Argentina**

No registrado. Control rápido y residual de thrips (*Frankliniella occidentalis*) y larvas de lepidópteros en invernáculos de hortalizas y ornamentales y algodón en Estados Unidos.

**Azufre:** Se utiliza para el control de ácaros y algunos trips, sobre todo en los primeros estadios larvales. Ver mecanismo de acción en Fungicidas.