

## Plaguicidas

- Vías de acceso al organismo
- Naturaleza Química de los plaguicidas
- Formulación de plaguicidas
- Formulación sólida
- Formulación líquida
- Resistencia a los insecticidas

### ► INTRODUCCION

La preocupación por incrementar y preservar las cosechas y sus productos derivados, ha sido temática constante del hombre desde el momento en que su asentamiento como agricultor, actividad primordial para nuestra subsistencia lo ha impulsado a incrementar y mejorar la calidad de esas cosechas y producir grandes cantidades para almacenar en épocas críticas y vender a regiones alejadas donde no es posible reproducirlas. Además de la batalla contra las distintas plagas que amenazan los alimentos y otros productos agrícolas, se suma la necesidad de controlar los insectos y otros animales, vectores de enfermedades transmisibles de importancia en salud pública. Con el formidable progreso de la industria química en el siglo XX, han surgido una gran cantidad de sustancias químicas de alta agresividad contra los organismos dañinos pero cuyos efectos sobre el hombre y equilibrio del ecosistema continúan estando en tela de juicio.

Por el uso de determinados agroquímicos, en todo el mundo cada año hay aproximadamente 25 millones de trabajadores agrícolas afectados, de los cuales 20.000 mueren. La mayoría de los trabajadores apenas conoce el tipo de sustancias que manipulan o sus efectos. Generalmente son personas analfabetas que reconocen la toxicidad de los agroquímicos (que varía dependiendo del laboratorio donde se desarrolle) por la escala cromática de peligrosidad que viene indicada en las etiquetas, ignorando así explicaciones necesarias para el uso y manejo preciso de los productos.

A pesar de los peligros asociados a los plaguicidas, en esta sección, también descubriremos los beneficios que pueden ofrecernos cuando son utilizados de manera racional y bajo políticas responsables, especialmente para con el medio ambiente.

Debemos estar conscientes que el desafío que tenemos por delante para combatir las plagas, es cada vez más grande ya que siempre surgirán plagas nuevas, los insectos crearán resistencia tarde o temprano a productos que hoy pueden ser muy efectivos y todo esto agravado porque el hombre, con su constante expansión demográfica, continúa destruyendo áreas silvestres ricas en biodiversidad y convirtiéndolas en terrenos agrícolas para cosechas, especialmente del tipo monocultivos, lo que genera ecosistemas muy pobres e inestables, que fácilmente son el blanco de muchos organismos con características de plagas.

Pero **¿que son los plaguicidas exactamente?**, Definiremos el concepto de “plaguicidas” como todas aquellas sustancias químicas, además de las preparaciones de bacterias y virus, que son utilizadas para combatir a cualquier organismo que por comportamiento o estilo de vida, interfiera directa o indirectamente con los intereses del hombre. A pesar del origen de la palabra plaguicida, que literalmente implica matar (cida = matar), también se incluyen bajo esta definición, algunos productos que no necesariamente producen la muerte de la plaga. Por tanto bajo este concepto, también se incorporan todos los productos que actúan repeliendo, atrayendo, que regulan el crecimiento de las poblaciones o que causan esterilidad.

De acuerdo a la definición de la EPA (Agencia Federal para la Protección al Ambiente), plaguicida es “cualquier sustancia o mezcla de sustancias utilizadas para prevenir, destruir, repeler, o mitigar cualquier plaga, así como cualquier sustancia o mezcla de sustancias utilizadas como regulador vegetal, defoliante o desecante”.

Para la FAO, plaguicida “es una sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo vectores de enfermedad humana o animal, especies indeseadas de plantas o animales capaces de causar daños o interferir de cualquier otra forma con la producción, procesamiento, almacenamiento, transporte o mercado de los alimentos, otros productos agrícolas, madera y sus derivados o alimentos animales, o que pueden ser administrados a los animales para el control de insectos, arácnidos u otras plagas en sus organismos”.

En relación a los plaguicidas y quienes los utilizan, se distinguen claramente dos tipos de consumidores, aquellos profesionales que trabajan en la agricultura, plantas ornamentales o forestales, quienes se familiarizan mas con los productos que tienen acción fungicida, herbicida y reguladores del crecimiento y los profesionales que se dedican al control de las plagas urbanas, quienes están más relacionados con el uso de insecticidas, acaricidas, avicidas y rodenticidas.

Es interesante saber que en relación a la clasificación de los plaguicidas, existen muchísimas formas de hacerlo, y en este sentido, dependiendo de la clasificación, dos productos diferentes podrían estar dentro de una misma categoría o diametralmente opuestos en otra clasificación.

Los Plaguicidas se pueden clasificar según:

### **Según Actividad Biológica**

- Insecticidas
- Acaricidas
- Nematicidas
- Fungicidas
- Herbicidas
- Molusquicidas

- Atrayentes y repelentes de insectos
- Rodenticidas
- Avicidas

### ***Rutas de Ingreso***

- Por ingestión
- Por contacto o insecticidas desecantes
- Por inhalación

### ***Por su naturaleza química***

- Inorgánicos
- Orgánicos
  - Botánicos
  - Piretroides sintéticos
  - Organofosforados
  - Carbamatod
  - Nicotínicos
  - Reguladores del crecimiento
    - Juvenoides
    - Inhibidores de QUITINA

### ***Por su formulación***

- Gránulos
  - Seco (DP)
  - Mojable (PM)
  - Solubles (PS)
- Cebos - Pellet s- Bloques
- Fumigantes
- Líquidos
  - Emulsión Concentrada (EC)
  - Emulsión en Agua (EW)
  - Suspensión Concentrada (SC)
  - Microencapsulados (ME)
  - Suspensión Emulsionable (SE)
  - Aceites
  - Líquidos Solubles (SL)
  - Aerosoles

### *Por su toxicidad*

- Extremadamente tóxico
- Altamente tóxico
- Moderadamente tóxico
- Ligeramente tóxico

## ▶ VÍAS DE ACCESO AL ORGANISMO

### *Ingestión*

Para que los plaguicidas actúen, deben primero ingresar al organismo blanco, y se describen distintas rutas o vías de acceso.

En algunos casos la ruta de ingreso se relaciona con el mecanismo de acción de los plaguicidas. Cuando nos referimos a los plaguicidas que actúan por ingestión, necesariamente para que estos productos actúen, deben ser ingeridos por nuestra víctima y por tanto requieren la aprobación y degustación del producto. De esta forma, este tipo de plaguicidas deben incluir sustancias atractivas que faciliten su consumo. Estos se presentan como cebos, polvos y líquidos, y como ejemplo tenemos los cebos que se utilizan para el control de roedores, cucarachas y hormigas.

### *Contacto*

Los plaguicidas de contacto, son aquellos que actúan penetrando las paredes del cuerpo. Otros actúan removiendo la capa cerosa externa protectora del cuerpo del insecto, lo que conlleva a la pérdida de fluidos o líquidos produciendo la deshidratación del individuo. La silicona aerogel y la tierra de diatomeas son ejemplos de esta última. Los plaguicidas por contacto son aplicados por aspersión, humo o aerosoles y basta que el producto toque el cuerpo del insecto para desencadenar su muerte.

Algunos productos tienen la propiedad de formar una película sobre las superficies donde habitan los insectos y basta que ellos transiten por estas áreas para levantar la dosis letal, incluso varios días después de haber realizado la aplicación (insecticida de acción residual).

### *Inhalación*

Otra forma de ingreso del plaguicida es a través de la inhalación o en el caso de los insectos a través de sus espiráculos traqueales. Estos son productos gaseosos cuyos vapores son los que entran al organismo. Existen algunos plaguicidas que sin ser fumigantes, son capaces de liberar vapores y eliminar a la plaga cuando están en ambientes totalmente cerrados (toxicidad por vapor).

## ► NATURALEZA QUÍMICA DE LOS PLAGUICIDAS

### **Botánicos**

Estos plaguicidas también son denominados “insecticidas naturales” y fueron descubiertos y utilizados hace siglos, cuando los primeros botánicos encontraron ciertas propiedades insecticidas asociadas a algunas plantas como las flores del Crisantemo. De esta última, se extrae uno de los insecticidas más seguros y usados por más de un siglo, el piretro. Estas piretrinas naturales, si bien tienen propiedades insecticidas, son mejoradas con un sinergista que acentúa el poder letal contra los insectos. De otra forma, por sí solas las piretrinas solo derriban a los insectos pero estos se recuperan después de degradar y metabolizar las moléculas de piretro al interior de su organismo. El sinergista entonces actúa bloqueando la enzima que es capaz de degradar y desactivar la molécula de piretrinas en el organismo del insecto.

Las piretrinas actúan a nivel del sistema nervioso de los insectos y si bien se describen bastante seguros para los mamíferos, su toxicidad es elevada para peces, aves, reptiles y anfibios. Otras sustancias naturales con propiedades insecticidas provienen de plantas del tipo alcaloide como la estricnina y la nicotina.

En general, la aplicación de estos productos naturales ha disminuido drásticamente desde la aparición de los plaguicidas de síntesis.

### **Piretroides Sintéticos**

Con el paso del tiempo, los ingenieros químicos han sido capaces de reconocer la composición molecular de los piretros naturales, la que consta de 6 moléculas con estructuras similares. Desde esta estructura básica, ha sido posible la síntesis de muchos materiales similares, conocidos como piretrinas sintéticas. Ciertamente, a estas sustancias sintetizadas, ha sido posible mejorarles algunas propiedades que se manifestaban en forma débil en los piretros naturales, como mostrar mejores propiedades de expulsión, mayor velocidad de derribo, o mayor poder letal sobre algunos insectos. De igual modo, se ha podido prolongar la residualidad del producto en zonas asperjadas. Dentro de estos productos están las piretrinas, que son fotolábiles por lo que no persisten por mucho tiempo en el ambiente y los piretroides fotoestables de síntesis posterior que superaron esta problemática prolongando su efecto tóxico en el ambiente (permetrina, cipermetrina, decametrina).

Los Piretroides, interactúan con el canal de sodio retardando la repolarización de la membrana plasmática incluyendo descargas repetitivas en respuesta a un simple estímulo. En resumen su acción es neurotóxica, lo que causa una estimulación exagerada del sistema nervioso en primer lugar y su posterior inhibición que produce las convulsiones y depresión del sistema hasta causar la muerte en la mayoría de los casos. Una de las ventajas que se describe en los piretroides, es que carecen de potencial de bioacumulación.

### **Inorgánicos**

También son conocidos como plaguicidas minerales, ya que se extraen de depósitos minerales subterráneos.

Son uno de los insecticidas más antiguos y que se utilizaron por muchos años en la agricultura. Últimamente ha disminuido su uso por ser altamente tóxicos para el hombre y animales. Se utilizan poco como insecticidas y con más frecuencia los encontramos como fungicidas.

Dentro de estos compuestos inorgánicos encontramos los insecticidas fluorados, los arsenicales y los fungicidas a base de cobre.

Los insecticidas fluorados actúan por ingestión y se utilizan algunos fluosilicatos y la criolita. En relación a los arsenicales, se utilizan sustancias como los arseniatos de plomo y calcio, el arseniato básico de cobre y el Verde

París, que es un compuesto complejo de metaarsenito de cobre y acetato de cobre. Los compuestos arsenicales inorgánicos son muy tóxicos, cuando son utilizados indiscriminadamente y de forma prolongada, se acumulan en el suelo y pueden, incluso muchos años después de su aplicación, ser absorbidos por las plantas y originar intoxicaciones.

El Caldo Bordelés, es uno de los fungicidas inorgánicos a base de cobre más antiguos, y se prepara mezclando una suspensión de cal en agua con una solución de sulfato cúprico. El agua celeste se prepara a base de sulfato cúprico e hidróxido cúprico. Es fitotóxico.

Se describen otros fungicidas inorgánicos. Entre estos se destacan los mercuriales, los fumigantes halogenados alifáticos como el bromuro de metilo o el sulfuro de carbono que es muy tóxico en mamíferos. Tanto el ácido cianhídrico como sus sales son biocidas muy enérgicos y muy tóxicos para microorganismos, insectos y mamíferos. Son los productos más tóxicos que se utilizan para el control de plagas. Su toxicidad se debe a que se combina con el Hierro de la Hemoglobina bloqueando su capacidad de transportar oxígeno en la sangre. Por último tenemos el óxido de metileno, la fosfina, el anhídrido sulfuroso y el azufre.

En la actualidad existen algunos compuestos inorgánicos que siguen siendo muy utilizados como es el caso del ácido bórico, por su prolongada acción residual, no ser repelentes y no presentar problemas de resistencia. Tienen una acción letal lenta. Se utiliza con frecuencia en el control de hormigas y cucarachas. Tanto el ácido bórico como el fluoruro de sodio, producen la muerte del insecto por interferir lentamente en la conversión energética al interior de sus células.

Otros compuestos inorgánicos, actúan como desecantes, al alterar las capas cerosas de la cutícula del insecto, como es el caso de la sílica aerogel, algunas arcillas y la tierra de diatomeas.

### **Organofosforados**

Estos plaguicidas, conocidos también como "OF", fueron los primeros insecticidas utilizados para reemplazar a los Organoclorados cuando se tomó conciencia del daño que causaban en el ambiente, a

pesar que los primeros de este tipo a principios de 1950 (diclorvos y el paratión), resultaron también ser muy tóxicos para los mamíferos.

Su mayor actividad es como insecticidas, aunque algunos de ellos presentan propiedades nematocida, fungicida y herbicida. Algunos se utilizan también como plastificantes y como fluidos hidráulicos en la industria.

Los OF son ésteres o amidas derivados del ácido fosfórico, tiofosfórico, ditiofosfónico y fosfínico, con una estructura química en común. Son sustancias orgánicas de síntesis, conformadas por un átomo de fósforo unido a 4 átomos de oxígeno o algunas sustancias de 3 de oxígeno y uno de azufre. Una de las uniones fósforo-oxígeno es bastante lábil y el fósforo liberado se asocia a la acetilcolina. Por tanto, su principal acción es alterar el funcionamiento del neurotransmisor acetilcolina, la que juega un papel importantísimo en el sistema nervioso, por ser responsable de continuar la transmisión de los impulsos nerviosos entre dos células nerviosas (neuronas). La fosforilación de la enzima acetilcolinesterasa en las terminaciones, provoca la inhibición de la misma. La enzima acetilcolinesterasa es la responsable de la destrucción y terminación de la actividad biológica de la acetilcolina, al estar esta inhibida, se acumula acetilcolina en el espacio sináptico (entre dos neuronas) alterando el funcionamiento normal del impulso nervioso. Como consecuencia, se interrumpe el impulso y se produce la paralización del cerebro y muerte del insecto.

La acumulación de acetilcolina se produce en las uniones colinérgicas neuroefectoras (efectos muscarínicos), en las uniones mioneurales del esqueleto y los ganglios autónomos (efectos nicotínicos), así como en el sistema nervioso central.

Los OF inactivan la actividad de la enzima Acetilcolinesterasa mediante inhibición enzimática competitiva irreversible. En otras palabras, los OF al igual que los Carbamatos, reaccionan con la enzima de manera similar a la acetilcolina.

Se debe ser muy cuidadoso al manipular este tipo de plaguicidas, ya que los mamíferos (incluido el humano), también poseen colinesterasa, por lo que también podrían verse afectados severamente.

A los OF se les describen las siguientes propiedades:

- **Liposolubles:** Esta propiedad hace que sea muy fácil la absorción a través de las barreras biológicas (piel y mucosas) y también que penetren fácilmente al Sistema Nervioso Central. Algunas pueden acumularse en el tejido graso, lo que puede provocar toxicidad debido a liberación tardía.
- **Mediana tensión de vapores:** Esto las convierte en partículas muy volátiles, lo que facilita la absorción inhalatoria.
- **Degradables:** Sufren hidrólisis en medios alcalinos tanto en tierra como en líquidos biológicos. Esta condición, permite que se degraden rápidamente en el ambiente y a su vez no puedan ser almacenados por períodos prolongados al interior del cuerpo de animales no blancos. En otras palabras, no son bioacumulables, por lo que es difícil que se integren en las cadenas tróficas.

Las características principales de los OF son su alta toxicidad, su baja estabilidad química y su nula acumulación en los tejidos, a diferencia de los Organoclorados (OC).

Se han registrado desde hace varias décadas, gran cantidad de casos de resistencia de insectos a los OF, debido principalmente al uso excesivo de estos insecticidas. Además, se describe resistencia cruzada con los carbamatos. Esto significa, que la resistencia a los carbamatos trae consigo resistencia a los OF.

### **Carbamatos**

Son derivados del ácido carbámico, tiocarbámico y ditiocarbámico, en los que se sustituye un grupo alcohólico por uno amino.

El primer insecticida introducido a fines de los cincuenta fue el sevín (carbaryl), producto de gran actividad y amplio espectro de acción, siendo además barato, estable y relativamente poco tóxico.

Los derivados de los ácidos tio y ditiocarbámico, se utilizan preferentemente como herbicidas si bien algunos tienen propiedades fungicidas, como sucede con el aldicarb. El vapán se utiliza por fumigación contra los insectos; los fumigantes penetran en el insecto a través de los estigmas traqueales e impiden la respiración.

Estos plaguicidas actúan de manera similar a los OF alterando el funcionamiento normal de la acetilcolina, pero presentan algunas ventajas como son su eficacia contra insectos ya resistentes a los OF y su mayor seguridad de manejo. Sin embargo, su producción resulta ser más difícil y cara. También presentan una mayor toxicidad para los insectos polinizadores, por lo que debe analizarse muy bien la situación antes de su aplicación.

### **Organoclorados**

Los insecticidas organoclorados (OC) fueron los primeros insecticidas orgánicos sintéticos utilizados intensivamente a nivel mundial para el control de insectos, demostrando ser muy eficaces y económicos al principio. Son en esencia hidrocarburos con alto contenido de átomos de Cloro. Son compuestos aryl, carbocíclicos o heterocíclicos y que actúan como insecticidas de ingestión y de contacto. Sin embargo, su uso se ha visto muy restringido en los países desarrollados tras comprobarse su capacidad de bioacumulación y persistencia ambiental. Esto se traduce en la detección de residuos en alimentos, tejidos humanos y animales, con un alto potencial cancerogénico y mutagénico. Algunos de ellos se han considerado poderosos disruptores endocrinos, es decir, con capacidad de alterar el equilibrio hormonal de un individuo. Algunos de estas sustancias OC pueden persistir por muchos años en la superficie o en el agua (ejemplo: Mirex, persistencia superior a los 600 años en el suelo; HCB, persistencia superior a los 100 años en el agua).

Los OC se describen muy estables a la luz solar, humedad, aire y calor. Son poco solubles en agua (difíciles

de eliminar por orina) y muy solubles en grasas, por lo que tienden a acumularse en los tejidos grasos de los organismos, y por ende se acumulan a lo largo de la cadena trófica.

Por todos los problemas a nivel mundial que han originado los OC en ecosistemas y en Salud Pública desde su fabricación y aplicación, es que en febrero de 1991, se estableció el convenio Estocolmo (PNUMA), firmándose oficialmente dicho tratado el 23 de mayo del 2001. En este se acuerda eliminar 12 de los Componentes Orgánicos Persistentes (COP) más dañinos para el planeta, conocidos como la “Docena Sucia”. Estos son el: aldrín, bifenoles, policlorados, clordano, DDT, dieldrín, dioxinas, endrinas, furanos, heptacloro, hexaclorobenceno, mirex y toxafeno.

El mecanismo de acción de los OC parece ser muy similar al descrito para los piretroides sintéticos a pesar de poseer estructuras químicas muy diferentes, por lo que matan por interferir con el sistema nervioso de la víctima. Interfieren en el flujo de cationes a través de la membrana de las células nerviosas aumentando la excitabilidad de las neuronas. Algunos compuestos actúan prolongando el tiempo de apertura de los canales de Sodio (ejemplo: DDT) otros además actúan como inhibidores del GABA, esta última, aminoácido esencial que se encuentra en el cerebro y que actúa como neurotransmisor cuyo rol es inhibir o deprimir la excitabilidad de las neuronas (ejemplo: Lindano).

Los OC se clasifican en 4 grupos:

- **Derivados del clorobenceno:** DDT, metoxicloro. El DDT ciertamente es el más conocido de este grupo y fue ampliamente utilizado durante y posterior a la Segunda Guerra Mundial. Al principio, demostró ser muy efectivo contra las plagas debido a su amplio espectro (eliminaba todo tipo de insectos) y su amplio poder residual. Pero justamente, esta última característica que parecía ser tan deseable, fue la que desencadenó gravísimos problemas a nivel de ecosistemas, ya que su efecto tóxico permanecía por muchísimo tiempo en las superficies, lo que desencadenó que a partir de los años 70, se dejara de usar y se prohibiera su aplicación en los países desarrollados y en vías de desarrollo.
- **Derivados del ciclohexano (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>Cl<sub>6</sub>):** HCH y Lindano. Este último aun muy utilizado en nuestro país, especialmente para el tratamiento de las sarnas (ácaros) y la pediculosis (piojos).
- **Ciclodienos o derivados del indano:** aldrín, dieldrín, clordano, heptaclor. El clordano fue muy utilizado durante décadas para el control de las termitas.
- **Canfeno clorados:** clordecona, toxafén.

### Fumigantes

Los fumigantes poseen una extraordinaria capacidad de difusión, una propiedad esencial para cumplir con su función. Estos son productos químicos que actúan como gases o vapores. Estos vapores pueden ser fácilmente absorbidos a través de la membrana pulmonar, del intestino y de la piel. Su toxicidad, se relaciona con su capacidad de actuar y alterar las enzimas de las células de los insectos u otros animales blanco. Es importantísimo al momento de utilizarlos, considerar todos los elementos de seguridad, ya que en ambientes saturados de fumigantes, estos gases incluso pueden penetrar con facilidad la ropa

protectora de hule y neopreno del aplicador.

Algunos de estos compuestos químicos se encuentran en estado sólido y en el momento de estar expuestos al aire, expiden sus gases. Es el caso de la naftalina y el paradiclorobenceno. La fosfina está disponible en forma de tabletas sólidas las que al exponerse al aire liberan los gases.

Otros compuestos se encuentran en forma de gases a temperatura ambiente, por lo que deben ser embasados cuidadosamente en cilindros de gas comprimidos. Es el caso del bromuro de metilo, óxido de etileno, bióxido de azufre, cianuro de hidrógeno y fluoruro de sulfurilo.

Por último otros fumigantes se encuentran en estado líquido y despiden sus gases en contacto con el aire. Se venden en latas o en bidón. Es el caso del bromuro de metilo y el fluoruro de sulfurilo.

También se describen mezclas de fumigantes, con el objetivo de reducir algunas propiedades explosivas de algunos compuestos (ejemplo: el tetracloruro de carbono reduce la explosividad del disulfuro de carbono del acrilonitrilo), o para alertar la presencia de estos vapores cuando se mezclan con otros de olor reducido, es el caso de la cloropicrina, que se añade con frecuencia a fumigantes líquidos por su fuerte olor y efecto irritante.

Algunos fumigantes son los que se describen a continuación:

- Acronitrilo
- Disulfuro de carbono
- Tetracloruro de carbono
- Cloroformo
- Cloropicrina
- Dibromocloro propano
- Dicloro propano
- Dicloro propeno
- Dibromoetano
- Dicloroetano
- Oxido de etileno
- Oxido de propileno
- Formaldehído
- Cianuro de hidrógeno
- Bromuro de metileno
- Cloruro de metileno
- Naftaleno
- Paradiclorobenceno
- Fosfina
- Bióxido de azufre
- Fluoruro de sulfurilo

### ***Insecticidas Reguladores del Crecimiento (RCI)***

Dentro del término RCI se incluyen a todos los compuestos que de alguna manera interfieren con el desarrollo y crecimiento normal de los insectos. Normalmente, poseen baja toxicidad en mamíferos, debido a que actúan a niveles muy específicos en los insectos y artrópodos. Todos ellos parecen interferir con la formación normal de la cutícula, aunque hay algunos que aun no se les conoce muy bien el mecanismo de acción.

La cutícula es el tegumento o capa más externa de los insectos. Es rígida, acelular de estructura compleja y formada por quitina, entre otras sustancias. Cumple una importantísima función, ya que actúa como un escudo protector e impermeable y además es el punto de anclaje de la musculatura del insecto, actuando como un exoesqueleto(esqueleto externo).

Para entender como funcionan los RCI, debemos saber un poco más acerca del proceso normal de desarrollo de los insectos.

Una excelente estrategia que adoptaron los insectos para ser capaces de adaptarse mejor a diferentes medios y variaciones climáticas es la metamorfosis, que se define como el cambio de forma a través de diferentes estadios durante la vida de los organismos. Estos estadios son el huevo, larva, pupa y adulto. La metamorfosis que sufren los insectos desde huevo hasta adulto, se regula por un complejo sistema hormonal. En esta interviene una hormona de la muda (HM) y una hormona juvenil (HJ). Las concentraciones de ambas hormonas en el cuerpo del insecto, son las que determinan si la muda será hacia un juvenil o hacia un adulto.

En algunos insectos, esta metamorfosis puede llevar a cambios muy leves entre las formas juveniles (ninfas) y las forma adultas, siendo la principal diferencia entre ambos el tamaño, fenómeno conocido como metamorfosis simple, como se da por ejemplo en insectos como el chinche y pulgones. En otros casos, los individuos jóvenes difieren considerablemente de las formas adultas, tanto en forma, tamaño y hábitos, lo que se conoce como metamorfosis completa. Los insectos con este fenómeno tienen un estadio pupal o pupa antes de la última muda, durante el cual el individuo no se mueve y al emerger como adulto, este ha sufrido un cambio de forma significativo. Gracias a este mecanismo, los insectos son capaces de sortear condiciones adversas climáticas y ambientales. Un ejemplo clásico de este tipo de metamorfosis lo experimentan las mariposas.

En el caso de RCI, se describen sustancias análogas y miméticas a la HJ (sintéticas y aisladas de plantas y animales) que se conocen como "Juvenoides". La aplicación de estas HJ o sus análogos, origina la formación de cutículas anormales, tanto del punto de vista externo como desde su mismísima estructura molecular, por alteración en su contenido proteico. La diferenciación de las células epidérmicas y la síntesis de proteínas también pueden verse inhibidas. Estos HJ también podrían producir la esterilización de los insectos adultos por una inhibición en el desarrollo de sus órganos sexuales, cuando se alcanzan dosis muy elevadas. Este último efecto por ejemplo, es el que se busca en el control de las cucarachas.

La eficacia del uso de los juvenoides depende del momento de su aplicación, además, existe el peligro de inducir una sobre producción de estadios larvarios, que si coincide con ser el estadio del insecto más peligroso para el cultivo, estaríamos entonces agravando el problema. El mejor uso sería sobre insectos de metamorfosis completa, alterando el normal desarrollo en las formas adultas cuando estas son el problema principal. Algunos ejemplos de RCI Juvenoides son el metopreno, kinopreno y el fenoxycarb, utilizados para

el control de mosquitos y pulgas. También se describen los Juvenógenos, que son compuestos que una vez al interior de los insectos, sufren una activación metabólica liberando una molécula con actividad de HJ.

Existen otros productos que actúan como antagonistas de los HJ conocidos como antihormonas juveniles o Precocenos, ya que son capaces de producir una metamorfosis precoz. Se describen otros compuestos que se encuentran en desarrollo que son capaces de actuar interfiriendo en la síntesis de la HJ en sus diferentes etapas.

Por último, existe otro tipo de RCI que actúa sobre la enzima que participa en la síntesis de la quitina (quitina sintética), afectando el normal desarrollo de la nueva cutícula posterior a la muda, interfiriendo así en el desarrollo normal de los insectos. Esta nueva cutícula no es funcional para el insecto, siendo de un tamaño inadecuado, o de estructura anormal que imposibilita la inserción de los músculos. También los insectos pueden morir por desecación, ya que esta cutícula permite una excesiva pérdida de agua. Estos son los RCI conocidos como Inhibidores de Quitina.

### **Otros ingredientes activos**

#### **Sinergistas**

Estos productos por sí solos por lo general presentan muy poca toxicidad, sin embargo, en contacto con otro principio activo, pueden potenciar increíblemente el poder letal del insecticida. Esta forma de actuar, lo vimos anteriormente en el caso de las piretrinas sinergizadas, ya que el sinergisante bloquea la acción de la enzima propia del organismo del insecto que es capaz de metabolizar y degradar la piretrina al interior de su organismo. Al usar un sinergista, muchas veces nos permite reducir la cantidad del ingrediente activo, permitiendo una mayor efectividad del mismo, y al mismo tiempo reducimos la toxicidad del producto final. Ejemplo: butóxido de piperonilo.

#### **Derivados del petróleo**

A diferencia de lo que vimos con los sinergistas, estos productos por sí solos se les reconocen propiedades de insecticidas, y de hecho son considerados como ingredientes activos en la formulación de un insecticida. Al mezclar estos productos con otros ingredientes activos, se busca potenciar la velocidad de derribo o efecto de expulsión del insecticida sobre los insectos. Se utilizan algunos solventes, diluyentes y productos destilados del petróleo. Ejemplo: Keroseno, tricloroetano y cloruro de metileno.

#### **Adherentes**

Este corresponde a cualquier compuesto que facilite la acción del pesticida para adherirse a una superficie en particular. Por lo general este tiene la característica de reducir la tensión superficial del agua de mezclas en spray o incrementar la propiedad humectante de una solución spray sobre una superficie. Algunos adherentes actúan como surfactantes, es decir, con capacidad de incrementar la emulsificación, dispersión y humectación. Algunos adherentes son usados en pesticidas de solución spray para mejorar la

penetrabilidad y como agentes estabilizadores. Los adherentes son incluidos en las formulaciones como una parte del producto listo para su aplicación o para ser mezclado posteriormente con el pesticida en el tanque o máquina aspersora.

### **Repelentes**

El de más amplia distribución utilizado para repeler mosquitos, es del DEET o dietiltoluamida. El DEET es el ingrediente primario de muchos repelentes de mosquitos para usar sobre la piel.

### **Atrayentes**

Generalmente se utilizan los atrayentes en combinación con algunos insecticidas para hacerlos más eficaces, como es el caso de algunas feromonas sexuales. En la actualidad, se han utilizado eficazmente para el monitoreo y remoción de las formas adultas de insectos en sistemas de trapeo mecánicos (Ejemplo: cintas engomadas).

## **▶ FORMULACIONES DE PLAGUICIDAS**

Aparentemente existe una infinidad de variedades de productos pesticidas disponibles en el mercado, tanto para el uso forestal, agrícola y urbano en todo el control de las plagas de casas y jardines. Existe una gran variedad de presentaciones de estos productos incluso cuando se trata de un mismo tipo de ingrediente activo y manufacturado por una misma compañía.

Las compañías y laboratorios por lo general ofrecen al consumidor la posibilidad de adquirir un mismo insecticida en varias formulaciones. Estas diferentes formulaciones para un mismo ingrediente activo, hace que el comportamiento del producto también sea diferente, por ejemplo; algunos tipos de formulaciones pueden mezclarse fácilmente en agua mientras otras pueden incrementar la posibilidad de daño en las cosechas. Por tanto, la elección apropiada del tipo de formulación que debo emplear, dependerá del tipo de trabajo y control que debo realizar. En este sentido, es importante considerar los siguientes factores:

- El porcentaje de ingrediente activo en la formulación.
- Que facilite su manipulación y mezcla.
- Que disminuya el riesgo de intoxicación a las personas que puedan verse expuestas al producto.
- Al tipo de ambiente, si la aplicación debe realizarse al aire libre o al interior de una construcción. Si se aplicará en la agricultura, en plantas forestales o en ambientes urbanos, etc.
- Conocer los hábitos de las plagas.
- Que sea lo menos dañino posible y efectivo para las cosechas.
- Que sea compatible con el tipo de maquinaria o implementos con los que contamos.
- Considerar el peligro de contaminación de ambientes, suelos, cursos de agua, etc.
- Considerar el costo.



Como decíamos, un mismo ingrediente activo puede estar disponible como un insecticida líquido o sólido, lo que me permitiría controlar por ejemplo a un mismo insecto pero en sus diferentes estadios por presentar comportamientos y hábitos distintos. Ejemplo: líquido, para eliminar formas adultas, gránulos para eliminar formas inmaduras.

El insecticida que el controlador de plagas urbanas o el agricultor tiene acceso, es un producto elaborado y procesado que contiene a su vez distintos componentes además del ingrediente activo, por lo que no se trata de un insecticida 100% puro. Sólo los fabricantes y formuladores tienen acceso a estos productos puros conocidos también como plaguicidas en “grado técnico”.

El pesticida como producto final consiste en dos partes, un ingrediente activo y otro inerte (inactivos). Los ingredientes activos corresponden al químico que actuará controlando la plaga propiamente tal, mientras que los ingredientes inertes corresponderán a los productos como el solvente, que ayudan a transportar y permitir que el ingrediente activo llegue a la plaga blanco de manera más segura y fácil, al mismo tiempo facilita su aplicación, su manejo y la posibilidad de medir sus efectos.

Los ingredientes inertes también sirven para aumentar la utilidad del producto. Estos compuestos pueden ser líquidos en los cuales se disuelve el ingrediente activo, o químicos que mantienen el producto separado o aglutinado, e incluso pueden ayudar a incrementar la seguridad del pesticida posterior a su aplicación.

La combinación de un ingrediente activo con un ingrediente inerte compatible, es lo que se denomina Formulación. La formulación de un producto en su forma física y con características específicas, le permite a las compañías llenar un nicho en el mercado. En los Estados Unidos por ejemplo, existen aproximadamente 860 ingredientes activos de pesticidas, formulados en 21.000 plaguicidas como producto final disponibles para su compra.

Independiente de la naturaleza química del ingrediente activo, estos suelen tener diferentes solubilidades. Algunos se disuelven fácilmente en agua, mientras otros sólo lo pueden hacer en aceites. Otros en cambio, pueden ser insolubles tanto en agua como en aceites. Esta característica de diferencia en la solubilidad, asociado con el pretendido uso del pesticida, definen en gran medida que tipo de formulación se realizará para que el ingrediente activo pueda llegar a las superficies y actúe como es de esperar.

Desde la perspectiva de los fabricantes, es preferible usar el ingrediente activo en su forma original cuando es posible (ejemplo: ingrediente activo soluble en agua, formulado como un concentrado soluble en agua). Cuando esto no es viable, puede ser necesario alterar el ingrediente activo en términos de cambiar sus características de solubilidad. Esto por supuesto, mientras no altere sus propiedades químicas como pesticida.

Normalmente, un ingrediente activo se combinará con los materiales inertes apropiados antes de su

envasado. Una breve reseña sobre terminologías de química básica nos ayudarán a entender mejor cuando comentemos los diferentes tipos de formulaciones que existen.

**Sorción:** En algunos casos puede ser necesario o deseable adherir un ingrediente activo líquido en una superficie sólida (ejemplo, polvo, gránulo, etc.). Este proceso es llamado sorción y puede ser logrado mediante dos posibles mecanismos:

- Adsorción, que es la atracción química/física entre el ingrediente activo y la superficie del sólido.
- Absorción, que es la entrada del ingrediente activo a través de los poros que presenta una superficie sólida.

**Solución:** Una solución es el resultado obtenido cuando una sustancia (el soluto) se disuelve en un líquido (el solvente). El soluto puede ser un sólido, un líquido o un gas. Los componentes de una verdadera solución no pueden ser mecánicamente separados. Una vez que se han mezclado los componentes, una verdadera solución no requiere de agitación para mantener sus diferentes partes libres de aglomeración. Frecuentemente las soluciones son transparentes.

**Suspensión:** Es la mezcla final de componentes o partículas sólidas que quedan dispersas en un líquido. Estas partículas sólidas no se disuelven en el líquido, y la mezcla debe ser agitada para mantener una distribución homogénea. La mayoría de las suspensiones tienen una apariencia turbia. Estos productos también forman una suspensión cuando se mezclan con agua para su aplicación como spray. En las etiquetas de estos productos se describe claramente la necesidad de agitar muy bien la mezcla para mantener las partículas dispersas lo más uniforme posible antes de utilizarlos.

**Emulsión:** Una emulsión es una mezcla que ocurre cuando un líquido es disperso en otro líquido como pequeñas gotitas. Cada líquido retendrá su identidad original y se requerirá agitar para que se perpetúe la mezcla. El Diazinón es un insecticida que se formula como un concentrado emulsionable. El ingrediente activo es disuelto en un solvente oleoso. Cuando el producto es mezclado con agua, se forma una emulsión. En la formulación se requiere de un agente emulsificante que ayude a prevenir la separación en la mezcla del ingrediente activo dentro de pequeñas gotitas de aceite con el agua.

Familiarizarse con los diferentes términos y procesos descritos recientemente, nos llevará a un mejor entendimiento y mejor apreciación sobre las ventajas y desventajas de la formulación de los pesticidas más comunes.

Otra terminología importante de manejar se resume a continuación:

- **Ingrediente Activo:** Sustancias químicas responsables del efecto insecticida.
- **Vehículo:** Material líquido o sólido inerte adicionado a un ingrediente activo en la formulación de un pesticida.
- **Diluyente:** Material líquido o sólido que se utiliza para diluir o transportar un ingrediente activo.

- **Emulsificante:** Sustancia que permite que un líquido permanezca suspendido en otro líquido.
- **Dispersante:** Químico que incrementa el área que un determinado volumen de líquido cubre en un sólido o en otro líquido.
- **Adherente:** Material que se adiciona al plaguicida para incrementar su adherencia. Surfactante: Químico que incrementa en un plaguicida las propiedades de emulsificación, dispersión y propiedades humectantes.
- **Agente Humectante:** Químico que permite que un líquido contacte con la superficie de manera más firme. Como mencionamos anteriormente, al momento de escoger un determinado pesticida y su tipo de formulación, es imprescindible considerar varios factores. Generalmente se pasa por alto la importancia de la formulación del pesticida. Una buena decisión, debiera considerar un análisis de los siguientes factores:
- **Seguridad a las Personas:** Diferentes formulaciones presentan también una amplia gama de peligros para el aplicador y sus ayudantes. Algunos productos pueden ser fácilmente inhalados, mientras otros pueden penetrar la piel o causar serias lesiones cuando pueden caer sobre los ojos. Es por esta razón, que cualquier aplicación debe ser programada anticipadamente para evitar el tránsito normal de personas o para evacuar las áreas.
- **Preocupación por el Medio Ambiente:** Se deben tomar precauciones especiales con las formulaciones, que tienen tendencia a ser dispersadas por el viento o llevadas a otros lugares por las aguas. La vida silvestre también puede verse afectada en diversos grados de acuerdo a los distintos tipos de formulaciones. Las aves pueden verse atraídas por los gránulos y peces u otros invertebrados acuáticos pueden demostrar una especial sensibilidad por específicas formulaciones de pesticidas tales como el 2,4-D esters. Consideraciones Climáticas: Cualquier aplicación debe programarse oportunamente considerando los reportes del tiempo para evitar lluvias, vientos, etc., que puedan influir en la efectividad del tratamiento.
- **Biología de La Plaga:** Los hábitos de crecimiento y las estrategias para sobrevivir de una plaga, siempre deben determinar el tipo de formulación que asegure un contacto óptimo entre el agente activo y la plaga blanco.
- **Disponibilidad de Equipos de Aplicación:** Algunas formulaciones de pesticidas requieren de equipos especiales para ser aplicados. Estos pueden incluir equipos de seguridad, equipos de control de derrames y en algunos casos adecuadas estructuras de contención (ejemplo: carpas).
- **Protección de las superficies:** Los aplicadores deben estar consientes que ciertas formulaciones pueden teñir los géneros, decolorar el linóleo, disolver plásticos o quemar plantas y follajes.
- **Tipo de Superficie a tratar:** Para la decisión de un determinado tipo de formulación es primordial saber las características de la superficie a tratar. Ejemplo: metal, madera, concreto, etc.
- **Costos de Aplicación:** Los precios de los productos pueden variar sustancialmente dependiendo de los ingredientes utilizados y de la complejidad en las formas de llevar y liberar los ingredientes activos en algunas formulaciones específicas. Quienes están a cargo de diseñar un esquema de control, tienen la responsabilidad de conocer las ventajas y desventajas y de cómo actúan y se aplican las distintas formulaciones que están aplicando. Por norma general, cualquier tipo de formulación puede tener

un impacto y causar serios daños a la salud de las personas, animales y medio ambiente. El no poner especial cuidado sobre el tipo de formulación que se está usando, puede significar la diferencia entre una aplicación de rutina y una que sea fuente de contaminación ambiental y lo que es aun más grave, sería exposición para los seres humanos.

Las formulaciones son clasificadas como Sólidas o Líquidas en base a su estado físico dentro del envase o contenedor al momento de adquirirlas en el mercado. Una formulación puede contener más de un ingrediente activo. La gran mayoría de las formulaciones requieren ser diluidas previo a su uso para poder transportar adecuadamente el agente activo (ejemplo: con agua o petróleo).

## ► FORMULACIONES SÓLIDAS

Las soluciones sólidas pueden ser divididas en dos grupos, listas para usar (polvos, gránulos y pellets) o concentraciones que deben ser mezcladas con agua para ser aplicadas posteriormente por aspersión (polvos humectables, floables secos y polvos solubles).

### **Polvos (P)**

La mayoría de los polvos corresponden a mezclas entre insecticidas en seco con algún tipo de polvo inerte como talcos, arcillas o cenizas. Generalmente el ingrediente activo se encuentra casi en un 100% (puro). Estos son relativamente fáciles de usar, no requieren ser mezclados ni utilizar equipos especiales para su aplicación y tienen muy buen efecto residual mientras no se alteren sus propiedades físicas. Los polvos pueden proporcionar una excelente cobertura, por ser partículas tan pequeñas que son capaces de ingresar a pequeños huecos o hendiduras alcanzando lugares de difícil acceso, pero también tienen el inconveniente de ser un riesgo por inhalación involuntaria o por ser dispersados a otros lugares por acción del viento. Por este último motivo, los polvos no son muy recomendados para ser utilizados en la intemperie, además, corren el riesgo de recibir humedad alterando rápidamente sus propiedades como insecticida. En el control de plagas domiciliarias aun se usan exitosamente y con alta frecuencia para eliminar varios tipos de insectos, por el hecho que pueden aplicarse en lugares en los que normalmente no transita la gente ni animales domésticos y que corresponden además a los lugares donde habitan efectivamente los insectos (ejemplo: detrás de muebles, refrigeradores, grietas, etc.).

Normalmente los polvos actúan como venenos estomacales a través de la ingestión, ya sea por consumirlos directamente o por hacerlo a través de los hábitos de limpieza. También pueden actuar por contacto cuando son absorbidos a través de la cutícula o al remover la grasa protectora del cuerpo lo que induce la pérdida de líquidos y posterior muerte del insecto por deshidratación. Ejemplo: ácido bórico, diazinon, carbamatos.

### **Polvos Humectables o Mojables (PH)**

Corresponden a polvos impregnados con insecticidas concentrados. Además, a esta mezcla se le agregan



agentes humectantes y dispersantes para permitir que las partículas de polvo queden suspendidas en el líquido, no se aglomeren y queden homogéneamente distribuidas en el tanque. La mezcla total en promedio tiene alrededor de un 50% de ingrediente activo, pero pueden encontrarse formulaciones que van desde un 75% a un 15%. Al utilizar concentraciones más altas, pueden quedar depósitos visibles sobre las superficies tratadas.

Cuando se aplican a las superficies, el agua de la mezcla penetra los materiales porosos y el polvo permanece en la superficie dejando un buen efecto residual, de tal manera que cuando el insecto transita por ese lugar, incluso varios días después de la aplicación, levanta la dosis requerida para causarle la muerte. Es importante considerar que posterior a la aplicación permanecerá un residuo blanco o grisáceo en las superficies, por lo que podría traer algún inconveniente al ser utilizados al interior de viviendas. Para aplicaciones en superficies donde la presencia de residuos visibles no es importante, resulta ser la mejor elección por presentar la acción residual más efectiva y duradera.

Generalmente este tipo de formulaciones son las más empleadas para el control de plagas en jardines y plantas ornamentales por no quemar el follaje de las mismas, como ocurre con la mayoría de las formulaciones oleosas. Tiene la ventaja también de disminuir los riesgos de intoxicación por inhalación de la persona que realiza la mezcla por la naturaleza misma de las partículas. Sin embargo, los PH también tienen la desventaja de ser por lo general muy corrosivos propiciado un mayor y más rápido desgaste de los equipos aspersores (boquillas, bombas), y a bloquear las boquillas de los mismos con mayor rapidez que al utilizar emulsiones o aceites. Deben agitarse enérgicamente antes y durante su uso ya que los polvos no se diluyen sólo quedan suspendidos, por lo que se necesitan equipos con sistemas muy eficientes de agitación para mantener la homogeneidad de la suspensión. Cuando la aplicación se realiza sobre superficies porosas muy absorbentes, tiene la ventaja de permanecer en superficie mientras el agua es absorbida, pero si la superficie no es absorbente, el agua se evapora dejando el producto en la misma pero con mayor riesgo de escurrimiento.

Unos de los mayores problemas al utilizar estas formulaciones, es el riesgo potencial de su inhalación durante las operaciones de manipulación y mezclado con agua. Las partículas de polvo son tan finas, que quedan suspendidas en el aire durante horas. Los fabricantes han tratado de contrarrestar esta condición, envasando el polvo en bolsas de materiales hidrosolubles, de tal manera que se arrojan al interior del tanque pulverizador sin necesidad de abrirlas (ejemplo: dithane, captan).

### **Polvos Solubles**

Es una formulación muy similar al Polvo Mojable, con la diferencia que el ingrediente activo y todos los otros componentes de la formulación pueden disolverse sin mayor dificultad en el agua, formando un compuesto homogéneo. Una vez que se logra la disolución completa del producto en el agua, no es necesario volver a agitarlo. También difiere en relación al poder abrasivo, sin comportarse como un producto que dañe a los equipos o ropa de protección.

Existen pocos productos formulados así, ya que se describen pocos ingredientes activos que sean solubles en el agua. Debe considerarse durante la dosificación y disolución del producto, que puede presentarse intoxicación por inhalación del polvillo que se genera durante esta maniobra. Ejemplo: Sulfato de cobre.

### **Granulados**

La manufactura de las formulaciones granuladas es muy similar a la de los polvos, con la excepción que en estos el ingrediente activo se adhiere a partículas de mayor tamaño. El material sólido inerte que se utiliza puede ser arena, arcilla e incluso cáscaras de semillas u otros materiales de origen vegetal. Los gránulos presentan sólo un 15% del ingrediente activo.

Los gránulos son aplicados secos y generalmente cuando se aplica sobre las superficies, se espera que por el peso, las partículas descendan hasta el mismo suelo. Al ser partículas de mayor tamaño y peso, se reduce el riesgo de ser dispersadas por el viento. Al mismo tiempo, se reduce el riesgo de inhalación y también prácticamente no afectan la piel.

Pero el volumen de los gránulos también trae consigo algunos inconvenientes, como es la dificultad para aplicarlos de manera uniforme sobre una superficie y por que pueden ser atractivos para ciertos organismos no blancos como las aves.

Algunos tipos de gránulos como los utilizados para el control de algunos gusanos del suelo, requieren ser humedecidos posterior a su aplicación para que se libere el ingrediente activo.

### **Pellets**

Los pellets son muy similares a los gránulos pero difieren en su manufactura. El ingrediente activo se combina con materiales inertes hasta formar una mezcla pastosa (líquido espeso o lechada). Esta mezcla es extruída bajo presión y cortadas a una longitud deseada produciendo partículas uniformes en tamaño y forma. Los pellets normalmente son aplicados en porciones y le brinda mucha seguridad a quien las aplica. Corresponden a una formulación de elección para el caso de rodenticidas.

### **Cebos**

La mayoría de los rodenticidas se formulan como cebos. Los cebos por lo general presentan algún atrayente o sustancia alimenticia para hacerlos atractivos para la plaga blanco, como por ejemplo estar combinados con granos o semillas como son el caso de los cebos para roedores y aves, por ser estos parte de la dieta normal de estas especies. Algunos cebos se formulan con parafina o materiales plásticos para que puedan resistir la humedad ambiental y prolongar así su vida útil.

Los cebos para roedores tienen la ventaja de poder instalarse en cualquier lugar dentro de las estaciones de control, que normalmente son tubos PVC o cajas de latón o plástico. Estas deben ubicarse con cuidado especialmente si son instalados en altura, ya que se debe considerar que cuando el roedor se alimenta

genera desperdicios del cebo que pueden caer y contaminar. Jamás deben instalarse al interior de salas de procedimiento de alimentos o en bodegas donde se almacenen materiales de embalaje o similares que estarán en contacto posteriormente con los alimentos.

## ► FORMULACIONES LÍQUIDAS

Se describen varias formulaciones líquidas que se utilizan comúnmente con bombas aspersoras en la agricultura y en el control de plagas urbanas, pero 4 son las formas más comunes.

### **Concentrados Emulsificables (CE)**

Muchos ingredientes activos no son solubles en agua pero pueden disolverse en diferentes solventes orgánicos, aromáticos o alifáticos. Estos productos llevan como soporte un solvente además de sustancias que mejoran sus características (emulsificantes y coadyuvantes). Los solventes no son solubles en agua y se mezclan con dificultad, pero estos emulsificantes permiten que puedan mezclarse en forma homogénea formando una emulsión. En otras palabras, los CE son soluciones concentradas oleosas de insecticidas (ingrediente activo) a la cual se le adicionan agentes emulsificantes (tipo detergentes), que permiten que estas “gotitas” oleosas de insecticidas queden suspendidas en el agua formando una emulsión, evitando que las gotitas de aceite y agua se separen. Los CE permiten que el ingrediente activo de base oleosa, pueda ser aplicado en forma de spray utilizando el agua como medio de transporte.

Una característica de los CE, es que al ser mezclados con el agua adoptan una coloración blanca o lechosa, ya que las finas gotas difractan la luz cuando pasa a través de la emulsión. En la actualidad se están desarrollando soluciones emulsificables cuyo tamaño de partículas son muy pequeñas “microemulsiones”, y estas microgotitas no son capaces de difractar la luz por lo que genera una mezcla clara, conocidas también como emulsiones transparentes. Las CE, necesitan ser agitadas para mantener la emulsión, a diferencia de las microemulsiones que pueden permanecer como tal por un largo período. Cuando se utilizan CE es recomendable agitar el preparado al menos unas 4 veces por hora, para mantener una buena y uniforme emulsificación. Hay que considerar que algunas formulaciones de CE mantienen estas propiedades de mejor manera que otras.

Cuando se ha terminado un trabajo y ha sobrado parte de la mezcla en el tanque del aspersor, se aconseja retirarlo de la misma, ya que normalmente con el reposo prolongado, la emulsión se separará dejando pequeños residuos que pueden obstruir la máquina. Al mismo tiempo, algunos piretroides, carbamatos y organofosforados tienden a degradarse químicamente cuando permanecen por muchas horas en contacto con el agua, perdiendo su eficacia como insecticida.

Los CE tienen la ventaja de poder ser aplicadas sin mayor riesgo sobre muchos tipos de superficies a diferencia de las suspensiones oleosas, también penetran con mucha facilidad las superficies porosas como

madera, papel, etc., y no son inflamables por lo que pueden aplicarse cerca de fuentes de calor o fuego. En general son bastante fáciles de manipular.

A los CE también se les describen varias desventajas, como por lo general tener un fuerte olor, ser potencialmente dañinas para la piel ya que al ser liposolubles pueden penetrar con facilidad esta barrera, pueden causar daños severos a la vista cuando caen salpicaduras a los ojos. Si se producen derrames, se dispersan rápidamente y son difíciles de limpiar. En relación a los vegetales, algunos solventes tienen propiedades fitotóxicas y además suelen dañar o quemar el follaje de las plantas.

La emulsión contiene agua, que se reconoce como un buen conductor eléctrico, por lo tanto debe evitarse su aplicación cerca de instalaciones eléctricas, junto con ser cuidadoso cuando se apliquen cerca de equipos eléctricos (televisores, computadores, etc.) para no producir desperfectos por corto circuitos. Por último, como mencionábamos anteriormente, la formación de residuos de estas emulsiones pueden bloquear los equipos aspersores. Los mismos solventes pueden acelerar el deterioro de elementos plásticos y caucho utilizados en equipos de protección personal y en los equipos de aplicación (mangueras, juntas, guantes, botas, etc.).

### ***Suspensiones Concentradas o Floables (SC)***

Son la combinación de las cualidades de un concentrado emulsionable con las de un polvo mojable. En este caso tanto el ingrediente activo (que es un sólido) resulta ser insoluble en agua al igual que en solventes inorgánicos. Es este ingrediente sólido el que se muele finamente mezclándose con emulsificantes y dispersantes hasta formar una suspensión concentrada estable.

Estas formulaciones floables, comparten las ventajas y desventajas de los CE, son de fácil manipulación y aplicación, pero por ser líquidas, también presentan alto riesgo de que se produzcan derrames y accidentes por salpicaduras. Se requiere la agitación del envase previo a su uso para homogeneizar la mezcla, porque tienden a formar precipitados en el fondo, de allí que se sugiere adquirir envases de menos de 20 litros para justamente facilitar esta acción. Después de la aplicación, es posible observar residuos visibles sobre las superficies asperjadas. De la misma manera, suelen ser abrasivos por lo que deterioran más rápidamente las boquillas y bombas de los equipos de aplicación.

Una variante de estas Sustancias concentradas son los Microencapsulados Floables, y se caracterizan por ser partículas de insecticidas contenidas o encapsuladas al interior de pequeñas esferas de nylon u otro polímero, además de contener otros ingredientes que permiten mantener estas partículas sin que se aglomeren o precipiten en los envases manteniéndose siempre en esta condición floable. Tienen las mismas ventajas que los Polvos mojables en relación a su manipulación y aplicación, pero también dejan tras sí, residuos visibles que impiden su uso en espacios interiores donde debe conservarse la calidad de la pintura u otros teñidos como en el caso de cortinas y alfombras. Una ventaja al compararlos con los PH, es que las cápsulas que contienen las partículas de insecticidas, los protegen de los factores ambientales

y del efecto degradante del agua, por lo que soluciones preparadas, pueden reutilizarse después de algunos días de almacenamiento sin que esta pierda sus propiedades de insecticida, pero deben agitarse minuciosamente antes de utilizarse. De este modo, a este tipo de formulaciones se les reconoce una mayor vida residual. Asimismo, los microencapsulados son menos repelentes para ciertos insectos rastreros. Por último, se les reconoce una menor toxicidad sobre mamíferos, al compararse con otras formulaciones que llevan el mismo ingrediente activo.

### **Aceites Concentrados**

Corresponde a una dilución gradual de un alto porcentaje de "insecticida técnico" en un solvente que pueda contener esta cantidad de solución. El resultado es un compuesto muy cremoso. La mayoría de estas formulaciones son para ser aplicadas con UBV (Ultra Bajo Volumen), u otras aplicaciones no residuales tanto en interiores como exteriores.

Este tipo de formulación es más efectiva para derribar y matar insectos por contacto directo, por el componente oleoso que permite un mejor ingreso del ingrediente activo a través de las capas serosas de los mismos. Estas formulaciones también fluyen más fácilmente a través de grietas o hendiduras, donde habitualmente se ocultan o viven algunos insectos. La solución oleosa no es conductora de electricidad por lo que pueden utilizarse con mayor seguridad donde existen instalaciones eléctricas.

Sobre su uso es necesario tener las siguientes precauciones:

- Degradan más rápidamente los empaques de las aspersoras y el forro de las mangueras
- Pueden dañar alfombras, tapices, paredes, pinturas sintéticas, linóleo, caucho, etc.
- Son inflamables, por lo que no pueden aplicarse en la presencia de flamas abiertas o en lugares excesivamente calurosos.
- Son tóxicos para las plantas
- El almacenamiento debe ser en lugares templados. Debe evitarse el excesivo calor o los lugares muy fríos. En este último caso, tenderá a precipitar y el insecticida activo puede quedar fuera de la solución, por lo que para su uso, será necesario elevar su temperatura (por temperatura ambiente o baño maría) y agitar para que el sedimento se disuelva nuevamente, lo que puede ser un proceso peligroso y que requiere de experiencia. La mejor alternativa, es regresar al distribuidor.

### **Fumigantes**

Los fumigantes o fumígenos, son plaguicidas que forman gases venenosos que pueden tener diferentes tipos de formulaciones y actúan principalmente ingresando por las vías respiratorias de sus víctimas. Normalmente son utilizados para tratamientos de productos almacenados o cultivos confinados en silos, bodegas, graneros, depósitos, etc. También son utilizados cuando deben abarcarse extensas áreas como edificios y barcos.

Con el uso de fumigantes pueden controlarse plagas tan diversas como roedores, insectos, nematodos,

hongos y malezas. Es imprescindible crear un espacio confinado utilizando coberturas plásticas de diferentes medidas, bolsas, carpas o túneles de polietileno, dentro de la cual se liberan los humos o gases tóxicos.

Como decíamos anteriormente, la formulación varía dependiendo del ingrediente activo. En algunos casos, este ingrediente activo es un gas que se envasa a alta presión en forma líquida (gases licuados), otros se encuentran como líquidos volátiles o como sólidos que en presencia de aire liberan los gases (pastillas, comprimidos, cartuchos o polvos).

La liberación del gas puede ocurrir por la reacción con la humedad (fosfatina), por reacciones químicas exotérmicas (gamexone) o por combustión (cartuchos fumígenos de azufre). Al final de la liberación del gas tóxico, quedan los residuos y sustancias acompañantes que actuaron como soporte, como catalizadores o como oxidantes en las reacciones químicas. Por lo general, los gases licuados y líquidos contienen sustancias indicadoras de la presencia de este gas, el que en algunos casos son totalmente inodora e incolora como el bromuro de metilo. Cuando se abren los envases se liberan los gases a condiciones de temperatura y presión normal, por lo que representa un gran riesgo para el aplicador u otras personas y animales que estén cerca de las inmediaciones. Es por esta razón que es fundamental aislar los lugares donde se aplicaran estos productos y trabajar con equipos de respiración autónomos y ropa protectora de adecuada. A menudo, también deben emplearse un equipo de monitoreo de gases para determinar cuando es posible reingresar al lugar y utilizarlo nuevamente sin riesgo alguno.

Los fumigantes de aplicación al suelo, pueden aplicarse con el sistema de riego o con inyectores. Usualmente se requieren altos niveles de humedad en el suelo para evitar pérdidas por volatilización hacia la atmósfera. Una película de polietileno puede ser útil para contener los gases y las concentraciones activas deseadas durante el tiempo necesario para lograr el objetivo buscado. Las características del suelo y condiciones climáticas suelen influir en la efectividad de un tratamiento con fumigantes.

Cuando se hacen tratamientos en estructuras, es fundamental garantizar un hermetismo total para obtener resultados satisfactorios y reducir los costos operativos. El uso de ventiladores puede ayudar a distribuir más uniformemente los gases al interior de los recintos tratados así como ayudar a ventilar más rápidamente una vez finalizado el período de tratamiento.

En el caso del control de roedores, debe asegurarse que todas las posibles entradas o salidas de las madrigueras queden totalmente bloqueadas y debe considerarse además, que el tratamiento será más efectivo en la medida que el terreno presente suficiente humedad.

### **¿Cuál será la Formulación adecuada?**

Conociendo el tipo de formulaciones disponibles, la forma como actúan, sus ventajas y desventajas, dependerá entonces del profesional a cargo de la empresa de control de plagas, seleccionar el producto a

utilizar. A continuación se entrega un resumen con los puntos que deben considerarse en dicha selección:

- Tipo de superficie a tratar
- Disponibilidad de equipos de aplicación e implementos de seguridad
- Seguridad para el aplicador y las personas o animales cercanos
- Tipo de ambiente (exteriores o interiores)
- Hábitos y conductas de la Plaga
- Tipo de actividad de la empresa donde se desarrollará el tratamiento
- Presencia de enemigos naturales de las plagas
- Presencia de insectos benéficos (polinizadores)
- Época del año
- Residualidad esperable del tratamiento
- Daños que pueden producir a los inmuebles (pinturas, decoloración, presencia de residuos, etc.)
- Costos
- Resistencia de las Plagas

## ► RESISTENCIA A LOS INSECTICIDAS

Cuando realizamos aplicaciones de insecticidas en ciertas áreas para controlar una plaga específica, es importante considerar que es difícil que podamos exterminar al 100% de la población, es probable que algunos individuos puedan sobrevivir a nuestro tratamiento. Estos sobrevivientes en realidad son exactamente iguales al resto de los individuos de su especie, pero han creado un mecanismo de defensa que los mantiene con vida, esto es lo que se conoce como la “resistencia” a los insecticidas, que es nada menos que “la disminución medible de la efectividad de un plaguicida” o la “respuesta atenuada de una población de especies animales o vegetales, a un plaguicida o a un agente enemigo, como consecuencia de aplicaciones reiteradas”, en otras palabras, se hace mucho más difícil eliminar a todos los individuos de una misma población, utilizando los mismos niveles o dosis de plaguicidas que solían ser eficientes en aplicaciones previas para mitigar a una plaga. El gran problema que se presenta, es que los pocos sobrevivientes son capaces de transmitir a sus descendientes esta resistencia por lo que cada vez, más individuos de una población serán capaces de sobrevivir a las sucesivas aplicaciones de plaguicidas.

Esta resistencia se debe principalmente a que normalmente en una población dada, siempre existirá un porcentaje (aunque sea pequeñísima) de individuos que serán menos susceptible a la acción de ciertos productos, o entidades biológicas (bacterias, virus, etc.), por lo tanto, al estar expuestos a estos productos son capaces de sobrevivir. Estos pocos sobrevivientes al reproducirse, contribuirán con descendientes que en un alto porcentaje, también heredarán esta menor susceptibilidad y así sucesivamente, en algún momento prácticamente el total de la población será resistente. El plaguicida induce a una selección natural de los individuos.

Ejemplo: Si tomamos por una población cualquiera, donde coexisten naturalmente individuos susceptibles y resistentes, en proporción 90% a 10 % respectivamente, cuando aparece la presión con el insecticida mueren principalmente los individuos sensibles y la población se enriquece con individuos resistentes. La nueva población tendrá una proporción de 66% a 33%. Si nuevamente la sometemos a la acción del mismo insecticida, la siguiente generación se expresará en proporción 25% a 75%, donde predominarán individuos resistentes.

Cuando se ha empleado reiteradamente un solo tipo de insecticida y las plagas sobreviven a este tipo de ingredientes activos, no solamente continuarán sobreviviendo los individuos a ese químico en particular, sino que además a todos los químicos análogos, lo que se conoce como “resistencia cruzada”. Esto se debe a que la resistencia tiene relación con sobreponerse o crear mecanismos de defensa a la forma como actúa ese químico en el organismo de la plaga, por lo que cualquier otro químico que actúe de la misma manera, no representará riesgo alguno para ese individuo. (ejemplo: poblaciones de insectos resistentes a los Carbamatos, también lo serán para cualquier producto Organofosforado). Si los individuos de una población son capaces de resistir a diferentes clases de plaguicidas que actúan de manera diferente en el organismo, entonces nos encontramos frente a un caso de “resistencia múltiple”. En este caso entonces, la plaga ha demostrado presentar varios mecanismos de defensa frente a diversos tipos de plaguicidas.

La resistencia a un plaguicida es una respuesta poblacional, que requiere de varias generaciones antes de manifestarse una resistencia generalizada. La resistencia comienza normalmente en un sector muy localizado y sobre algunas poblaciones en particular, y de a poco se van extendiendo y afectando otras localidades. Depende mucho por una parte de las migraciones de las plagas (migran y algunos de estos individuos resistentes se integran a nuevas poblaciones), o simplemente se sigue el curso y tendencia natural de que ciertos individuos sean menos susceptibles y sean capaces de sobrevivir. De esta realidad se desprenden dos cosas importantes: primero, tarde o temprano los individuos se irán haciendo resistentes a los productos que utilizamos para su control y segundo, que una población alcance niveles de resistencia, dependerá directamente de la cantidad de veces que estas poblaciones estén expuestas a ciertos productos (frecuencia de las aplicaciones).

Los primeros reportes de resistencia a uso de químicos, datan a principios del siglo pasado. En los 20 años siguientes aparecieron nuevos tipos de plagas resistente a los productos que se estaban empleando en esa época (mezcla sulfocálcica, para el control de insectos en árboles frutales). Pero fue posterior a la segunda guerra mundial, con la introducción del DDT y otros químicos, que comenzó a experimentarse con más frecuencia y en un mayor número de poblaciones plagas la resistencia a los insecticidas. En 1966, se reportó que 180 especies de plagas eran resistentes a algunos grupos de insecticidas, incrementándose a 228 sólo dos años después.

Uno de los mayores problemas con el que se relaciona la resistencia de algunas poblaciones de insectos a ciertos plaguicidas, tiene que ver con la dificultad para controlar poblaciones de insectos que juegan un

rol fundamental como vectores de enfermedades de gran impacto en la salud pública como es el caso de la Malaria. (vector biológico, mosquitos del género anopheles). Dicho de otra manera, enfrentarnos a la presencia de poblaciones resistentes de mosquitos, se traducirá también en un aumento significativo en el número de nuevos casos de Malaria en las poblaciones humanas que habitan en esos sectores.

En las primeras manifestaciones de resistencia, se supuso que si se suspendía el uso por un tiempo prolongado del insecticida problema, y se volvía aplicar mucho tiempo después, las plagas manifestarían nuevamente susceptibilidad a ese insecticida. Sólo en algunos contados casos esto fue así, sin embargo, la población de insectos, con solo una o dos aplicaciones posteriores del mismo plaguicida, se recuperaron más rápidamente. De esto se desprende que una vez que una especie de insecto desarrolla resistencia a un químico determinado, no hay forma de que este compuesto químico reestablezca su eficacia contra aquellos individuos.

Al comienzo, es difícil determinar que una población plaga está desarrollando una resistencia, simplemente se observa que el producto no está siendo totalmente efectivo, y la primera reacción normal del profesional es aumentar las dosis, al igual que las frecuencias entre las aplicaciones, aumentando con ello, el riesgo de intoxicación del propio aplicador. Por norma, nunca se debe exceder las dosis propuestas por sus fabricantes ni disminuir los intervalos entre las aplicaciones. Además de estos riesgos, el gran inconveniente es la pérdida de efectividad en la eliminación de la plaga y el gran costo y tiempo que se debe invertir para desarrollar nuevos productos que logren superar los mecanismos de defensa de los organismos que muestran resistencia.

Es recomendable que en todo momento se estén evaluando los resultados obtenidos después de realizar las aplicaciones y observar cuidadosamente, si es que existe algún signo que nos pueda estar indicando que estamos en presencia de algunos insectos resistentes. Al principio pueden ser signos muy sutiles y pasar desapercibidos por un buen tiempo, pero tarde o temprano, las plagas reincidirán con mayor rapidez, no será posible eliminar a todos los individuos de una población inmediatamente después de una aplicación y persistirán los daños a los alimentos, materiales o infraestructura cuando son el blanco de una plaga determinada.

Es muy importante que esta evaluación sea realizada por un profesional idóneo, ya que muchos fracasos en el control de determinadas plagas, no necesariamente obedece a una situación en la que nos encontremos frente a individuos resistentes a los productos que estamos utilizando, sino que en realidad, puede deberse a prácticas inapropiadas incurriendo en uno o más de los siguientes errores: mala elección del insecticida, formulación inadecuada, aplicación sobre superficies o lugares incorrectos, mal uso de los equipos de aplicación o aplicación de ciertos productos sobre un estadio del ciclo biológico de los insectos, en la que ellos no son susceptibles. En el caso contrario, cuando se confirma la resistencia, la solución más lógica y efectiva es aplicar un plaguicida cuyo mecanismo de acción sobre el insecto sea totalmente distinto (considerar resistencia cruzada).

Para reducir las probabilidades de que las poblaciones plagas puedan crear resistencia se recomiendan algunas de las siguientes alternativas:

- Dentro de la planificación de una rutina de control a largo plazo, considerar la rotación de los principios activos.
- Realizar aplicaciones cuando realmente se presente el problema, de ninguna manera aplicar por aplicar. Es el momento de cambiar la mentalidad y el esquema de trabajo que hasta ahora muchas empresas controladoras de plagas están llevando a cabo en nuestro país. Debe informársele al cliente con fundamentos y conocimientos sobre las ventajas de realizar aplicaciones sólo cuando existen factores ambientales, climáticos e históricos concretos que determinen el desarrollo de una determinada plaga. Al respecto, es habitual ver como algunos controladores a cargo del control de plagas en ciertas fábricas y empresas, tienen como rutina aplicar sagradamente insecticidas una vez al mes, en lugares perfectamente herméticos, limpios, y en los que no se han visto insectos por años.
- Respetar las dosis mínimas propuestas por los fabricantes así como el rendimiento del producto por metro cuadrado.
- Seleccionar el plaguicida en relación a la plaga problema, es decir, ser lo más selectivo posible. No debemos afectar a otras especies no blanco.
- Cuando se asume el control por primera vez en un lugar determinado, si existentes antecedentes de insectos resistentes, y si además existía un control previo por parte de otra empresa o por cuenta propia del cliente y no existen registros ni manera de conocer los productos que fueron utilizados anteriormente, se recomienda elegir aquellos productos que por su precio y dificultad de obtenerlos no hayan sido aplicados antes por otras personas.
- Utilizar dos productos químicos compatibles (que se potencien) y que actúen a distintos niveles (mecanismos distintos de acción).
- Utilizar productos sin poder residual.
- Utilizar cebos tóxicos (en gel o granos), ya que es muy difícil que se genere resistencia en productos cuya vía de acción sea la ingestión.
- Utilizar inhibidores del crecimiento, para reducir el número de individuos que lleguen a un estado adulto con capacidad de reproducirse.
- Complementar el control químico con medidas mecánicas, como cintas engomadas, trampas de captura, lámparas ultravioletas de electrocución, etc.

Dentro de la resistencia de las poblaciones a ciertos plaguicidas, se describen algunos factores:

- **Genéticos:** número y frecuencia de alelos resistentes y su grado de dominancia y expresividad en el descendiente.
- **Biológicos:** Se relacionan con su ciclo de vida, de la cantidad de progenie por generación, de sus hábitos alimenticios, su comportamiento de reproducción (monogamia, poligamia), movilidad, refugios, etc. En general, la resistencia se expresa más rápidamente en individuos que muestran altos índices de fecundidad y que tienden a desplazarse más fácilmente de un lugar a otro. Ejemplo: la mosca doméstica, los mosquitos vectores del dengue y la malaria.

- **Técnicas de Control:** Se relaciona con la naturaleza química y tipo de formulación de los plaguicidas utilizados; y a su forma de aplicación, dosis y frecuencias aplicadas, alternancia de aplicación, etc. Los insecticidas de segunda generación (organofosforados, carbamatos y piretroides) son los más extensivamente utilizados.

La resistencia a un insecticida y, en términos generales a cualquier tóxico natural o sintético, se traduce en una disminución de la mortalidad observada en una población sometida a un tratamiento constante. Este fenómeno, se basa en una evolución genética de las poblaciones de plagas, donde los individuos pueden tolerar dosis que para otros insectos sensibles son letales.

La resistencia a un producto se puede detectar mediante pruebas toxicológicas, que consiste en estudiar la mortalidad provocada por ese tóxico a través de dosis crecientes. Con estos valores, se compara con los resultados de una población susceptible (población de referencia). Estas comparaciones permiten definir el grado de resistencia, que es un parámetro estadístico que expresa el factor por el que tiene que multiplicar la dosis que induce una determinada mortalidad en los individuos sensibles para producir la misma mortalidad en los resistentes, y se expresa como:

$$\text{GRADO DE RESISTENCIA (GR)} = \frac{\text{DL50 cepa resistente}}{\text{DL50 cepa susceptible}}$$

DL50 = Dosis del insecticida necesaria para eliminar al 50% de la población expuesta, expresada normalmente en miligramos por kilo (mg/kg).

Los grados de Resistencia pueden ser muy variables. Existen cepas de moscas domésticas que tiene un GR de hasta 50.000, es decir, se requiere una dosis del insecticida 50.000 más alta para eliminar a igual porcentaje de individuos resistentes que el que se necesita para eliminar al mismo porcentaje de individuos susceptibles. Cuando nos encontremos frente a un caso de poblaciones resistentes a ciertos plaguicidas, debe intentar determinarse la naturaleza en las diferencias que existen entre un individuo susceptible y uno resistente, desde la perspectiva bioquímica, fisiológica y genética.

### **Mecanismos de Resistencia**

Se describen diferentes mecanismos de resistencia con base bioquímica. Las dos principales formas son: resistencia en el sitio blanco, que se produce cuando el insecticida es incapaz de enlazarse al sitio de acción, y por acción de las enzimas detoxificativas (esterasas, oxidasas, o glutathion-transferasas (GST), que previenen que el insecticida alcance su sitio de acción. Se describe un tercer mecanismo, que tiene que ver con la respuesta térmica al estrés, pero que aun se desconoce exactamente su importancia.

- **Resistencia en el sitio blanco:** La alteración de aminoácidos responsables para el anclaje del insecticida en un sitio específico ocasiona que sea menos efectivo o incluso que no funcione. Por ejemplo, el

blanco para los organofosforados y carbamatos es una sinapsis nerviosas colinérgicas, y el blanco para el DDT y piretroides sintéticos son los canales de sodio a nivel axónico. La resistencia cruzada entre DDT y piretroides puede producirse por un simple cambio en algún aminoácido, en el sito de anclaje del insecticida en el canal de sodio del axón .Esta resistencia cruzada parece producir un cambio en la curva de activación del transporte de sodio lo que ocasiona una baja sensibilidad a los piretroides.

Para entender mejor este mecanismo, repasaremos como es transmitido el impulso nervioso a lo largo del axón. En estado de reposo el medio interno de la neurona es negativo respecto al externo por distintas concentraciones de iones de sodio ( $\text{Na}^+$ ) y potasio ( $\text{K}^+$ ). Cuando llega el impulso nervioso, cambia la permeabilidad de la membrana y se permite la entrada de sodio. La membrana nerviosa regula la entrada y salida de estos iones a través de canales específicos para mantener su equilibrio. Cuando el impulso nervioso alcanza la sinapsis, ya no hay contacto entre ambas membranas y se requiere de un mediador químico para continuar el impulso y estimular la próxima membrana post sináptica. Este mediador es la acetilcolina. Esta tiene una acción excitatoria y mientras persista la estimulación nerviosa continuará actuando. Cuando ya ha ejercido su acción, se requiere de una enzima que la degrade para inhibir el impulso nervioso. Esta enzima es la acetilcolinesterasa. Ya vimos anteriormente que los OF, carbamatos actúan inhibiendo la acción de la acetilcolinesterasa. Y los piretroides y DDT actúan disminuyendo la velocidad de cierre en los canales de sodio y potasio. La resistencia a los insecticidas se relaciona con la alteración de la acetilcolinesterasa.

- **Mecanismos detoxificativos:** Las enzimas responsables para la detoxificación de xenobióticos (estructuras químicas sintetizadas artificialmente por el hombre en laboratorios), son transcritas por miembros de gran número de familias multigene de esterasas, oxidasas y GST. Es el mecanismo más frecuente en las cepas resistentes. El efecto final de intoxicación es un equilibrio entre lo que llega al sito de acción para ejercer su acción tóxica y lo que se metaboliza para ser posteriormente excretado. Si este mecanismo de degradación del insecticida está aumentado, el resultado será menores concentraciones del tóxico en el medio interno del insecto y por ende podrá tolerar mayores niveles de insecticida. Los principales caminos degradativos para los insecticidas neurotóxicos son:
  - **Estearasas:** los insecticidas como los Organofosforados, carbamatos y piretroides son esteres, y por tanto pueden ser hidrolizados por las estearasas. Este es un mecanismo muy importante de resistencia para OF, de mediana importancia para piretroides y muy baja para el caso de los carbamatos.
  - **Oxidasas:** de función mixta, son enzimas universalmente distribuidas que juegan un rol importante en la degradación de casi todas las familias de insecticidas con excepción de los ciclodienos.
  - **Transferasas:** Juegan un rol mas modesto ya que se limitan a la detoxicación de fosforados y lindano.

El incremento de uno o más de estos mecanismos de degradación en la misma cepa, puede ocasionar la llamada resistencia cruzada y resistencia múltiple. Es decir, un insecto es capaz de tener resistencia a



distintos mecanismos de acción de insecticidas al mismo tiempo.

El conocimiento más completo acerca de los mecanismos de resistencia de ciertos organismos, provienen de los estudios realizados en la resistencia de los mosquitos a ciertos plaguicidas utilizados en el pasado como parte del control de la malaria. No existen estudios muy acabados de resistencia en otros vectores como piojos, garrapatas, pulgas, etc. Lo más importante es que la detección de la resistencia debiera ser una parte integral de todos los programas de control. Los recursos para el control de vectores aun de aquellos altamente significativos para el área de la Salud Pública a nivel mundial aun son muy limitados, por lo que debieran utilizarse de la manera más efectiva posible.