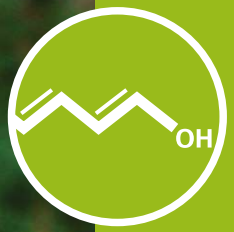
LAS FEROMONAS Y EL METODO DE LA CONFUSION SEXUAL

El objetivo de CBC (EUROPE) Ltd. es difundir, en el ámbito agrícola, la utilización de métodos innovadores de defensa con bajo impacto ambiental. En esta óptica se añade el desarrollo y la comercialización de los productos a base de feromonas para la confusión sexual de los Lepidópteros, de Shin-Etsu Chemical Co Ltd.

La creciente sensibilidad de la opinión pública con respecto a la temática medioambiental, ha impulsado, en el curso de los años, una utilización siempre más limitada de los fitofármacos en la defensa de las producciones. Por este motivo hay que considerar las restricciones legislativas sobre el nivel de residuos máximos admitidos en las producciones comercializadas y sobre el número y tipología de las moléculas utilizadas.

La tutela del medio ambiente y de la salud humana son los principios que han inspirado el desarrollo y la difusión de la lucha integrada y biológica en agricultura. Estas son las bases del progresivo aumento de la utilización, en agricultura, de particulares sustancias, denominadas **feromonas sexuales**.



LA COMUNICACION QUIMICA DE LOS LEPIDOPTEROS

Los insectos representan, probablemente, el grupo de animales que mayoritariamente utilizan el olfato como medio de comunicación.

Esta modalidad de comunicar a través de los “olores” regula un elevado número de procesos vitales, como por ejemplo la elección de la pareja para el apareamiento, el mecanismo de selección de la planta hospedadora, la selección del sitio de deposición de los huevos, la localización de la presa, etc.

Tales comportamientos utilizan una basta gama de sustancias, definidas como compuestos semioquímicos (de origen griego semeion, señal), sustancias químicas que permiten el intercambio de informaciones entre los individuos.
Si el mensaje es interespecífico, que se produce entre los individuos de especies diferentes, la sustancia semioquímica se llama Aleloquímico, si el mensaje es intraespecífico, entre individuos que pertenecen a la misma especie, se llaman feromonas.

LAS FEROMONAS

La hipótesis de que una comunicación química se intercambiase entre los insectos pertenecientes a la misma especie viene propuesta por primera vez al final del siglo XVII, pero la primera evidencia que corroboraba tal hipótesis ocurrió sólo en el siglo XIX gracias al naturalista francés Henri Fabre, el cual verificó como las hembras vírgenes de los Lepidópteros eran capaces de atraer a los machos a larga distancia.

Solamente al final de los años 50, el químico alemán Butenandt aisló y caracterizó la primera feromona de insecto, la del gusano de seda *Bombix mori*, utilizando la extremidad abdominal de muchísimas hembras vírgenes.
En el mismo periodo Karlson y Luscher propusieron una definición para estas sustancias, todavía hoy actual: "Las feromonas son sustancias segregadas en el ambiente externo por un individuo y recibidas por un segundo individuo de la misma especie en el cual provocan una reacción específica".
Tales sustancias pueden ser distintas en algunas de las categorías principales, según las diferentes funciones que realizan:

- **feromonas de agregación:**
  causan un notable aumento de la densidad de los individuos de una cierta especie en los alrededores de la fuente olorosa. Han sido descritos numerosos comportamientos ligados a estos compuestos, sobretodo en los Himenópteros sociales (abejas y avispas) y en los Coleópteros Scolítidos.
- **feromonas de dispersión:**
  estimulan la fuga y otros comportamiento de defensa. Se encuentran ejemplos en las abejas y en los pulgones.
- **feromonas sexuales:**
  regulan los comportamientos que permiten a los dos sexos acercarse y aparearse. Pueden servir sea en la localización de la pareja a distancia (atractivos sexuales), sea en la coordinación de las actividades reproductivas del macho y de la hembra "a corta distancia" (feromonas de cortejo). **Las feromonas sexuales son aquella categoría de sustancias semioquímicas que han recibido mayor atención y en las que se han realizado las mayores aplicaciones práctica en el campo agronómico.**

CARACTERISTICAS QUIMICAS

Desde el punto de vista químico las feromonas sexuales de los Lepidópteros pertenecen a la clase de los hidrocarburos oxigenados a media- larga cadena y presentan las siguientes características:
- cadena lineal compuesta de 10-20 átomos de carbono;
- saturados hasta 3 dobles enlaces;
- categoría química: alcoholes, acetatos o aldehídos.

Salvo en pocas excepciones estas moléculas son un grupo bien definido de sustancias con estructura a cadena lineal y uno de los tres grupos funcionales en una de las extremidades.

Las características químicas de los compuestos pertenecen a cada una de estas series y varia, en manera muy predecible, con el aumento del número de los átomos de carbono o con la introducción de dobles enlaces, como se demuestra, por ejemplo, para los alcoholes en el cuadro siguiente:

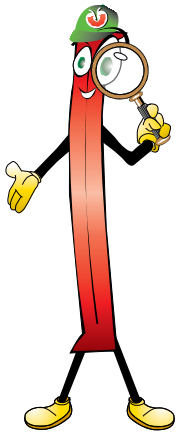
ALCOHOL	PUNTO DE FUSIÓN (°C)	PUNTO DE EBOLLICIÓN (°C)	PROPRIDAD	USOS
1-Octanol	desde -16° hasta -17°	194°-195°(760 mm Hg)	Líquido incoloro	Cosmética
1-Decanol	6,4°	233° (760 mm Hg)	Líquido viscoso	Producción de disolventes, herbicidas, surfatantes
1-Dodecanol	24°	259° (760 mm Hg)	Líquido viscoso	Producción de mojantes
1-Tetradecanol	38°	167° (760 mm Hg)	Cristales blancos	Producción de mojantes, emoliante para cremas
1-Hexadecanol	49°	344° (760 mm Hg)	Cristales blancos	Cosmética
1-Octadecanol	59,4°	210° (15 mm Hg)	Gràmulos blancos	Cosmética
(Z)-9-Octadecen-1-ol	13°-19°	195° (8 mm Hg)	Líquido oleoso	Producción de detergentes, antiespuma

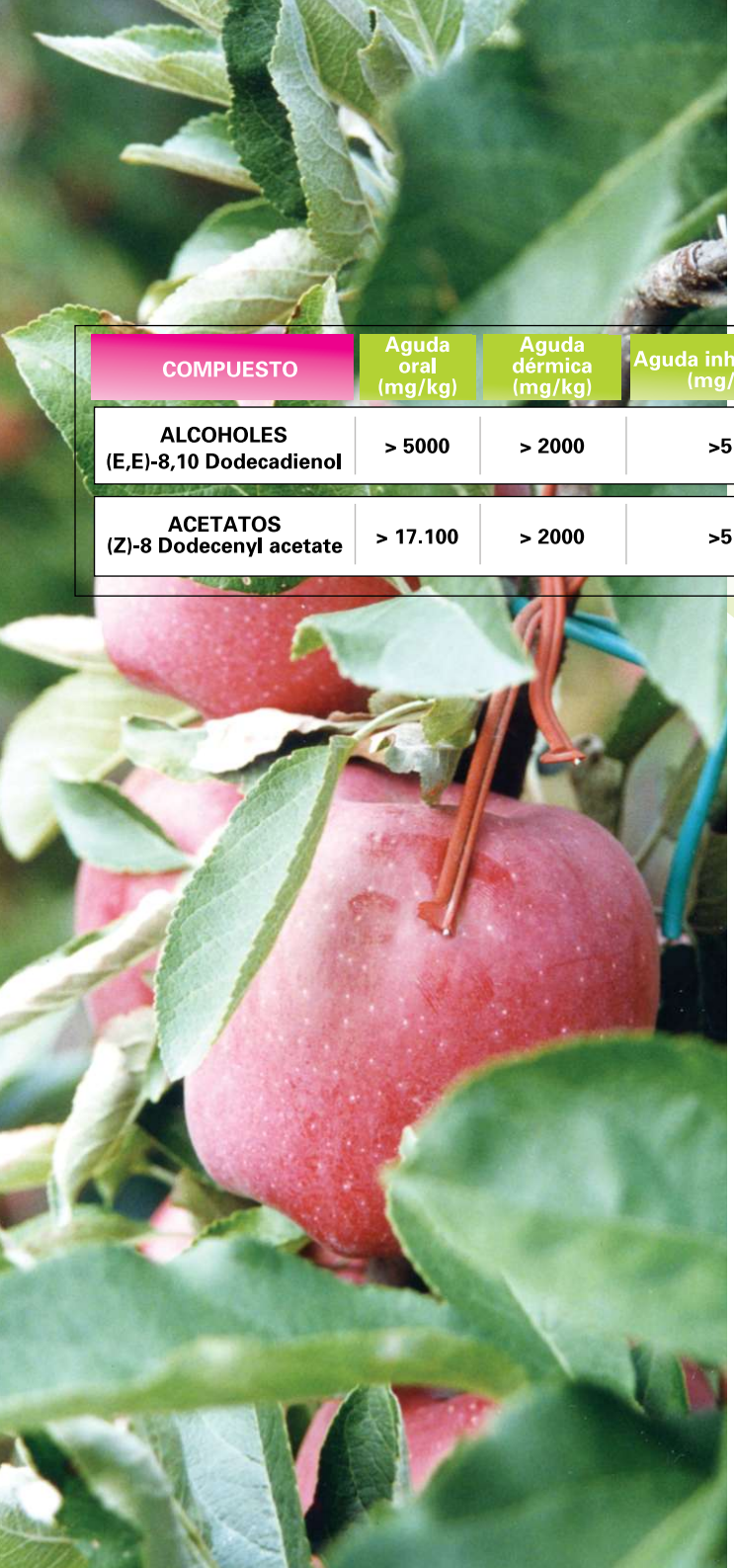
Como se puede ver, al aumentar el número de átomos de carbono, el punto de fusión y de ebullición aumentan. En el último compuesto podemos ver el efecto de la introducción de un doble enlace en sus características físicas de la molécula.

En el cuadro siguiente vienen reproducidas, como ejemplo, las características físico-químicas de la feromona de Carpocapsa.

Cydia pomonella

FEROMONA DE CARPOCAPSA	
Punto de Ebullición	110° - 120° C/2 mm Hg
Peso Específico (25 °C)	0,857
Indice de Refracción	1,467
Viscosidad (25 °C)	22,9 c.s.
Punto de Inflamación	91°C
Presión de Vapor (25 °C)	1,428 x 10 - 2 mm Hg
pH	5,6





CARACTERISTICAS TOXICOLOGICAS

Desde el punto de vista toxicológico, las feromonas de los Lepidópteros son moléculas caracterizadas por una baja toxicidad, como se puede ver en los siguientes ejemplos:

COMPUESTO	Aguda oral (mg/kg)	Aguda dérmica (mg/kg)	Aguda inhalación (mg/L)	Irritabilidad Dérmica (2)	Irritabilidad Oftálmica (2)	Capacidad Mutagénica (Ames test)
ALCOHOLES (E,E)-8,10 Dodecadienol	> 5000	> 2000	>5	2.13	9.0	Negativo
ACETATOS (Z)-8 Dodecenyl acetate	> 17.100	> 2000	>5	0.96	5.3	Negativo

(1) Escala de Draize. Escala Máxima: 8.0

(2) Escala de Draize. Escala Máxima: 110

En el siguiente cuadro se pueden observar los datos toxicológicos de algunas de las moléculas insecticidas más utilizadas en agricultura:

COMPUESTO	Aguda oral (mg/kg)	Aguda dérmica (mg/kg)
Azinphos-methyl	16,4	250
Fenitrothion	800	890
Flufenoxuron	> 3.000	> 2.000
Tebufenozide	> 5.000	> 5.000

DESTINO AMBIENTAL

Los semioquímicos, y las feromonas en particular, son moléculas que desaparecen rápidamente en el ambiente, principalmente por volatilización y degradación, esto también porque, en la naturaleza, su persistencia resultaría contraproducente para la recepción sucesiva de las diferentes señales de comunicación por parte del sistema olfativo del insecto. Las feromonas de los lepidópteros a cadena lineal (SCLP) son rápidamente transformadas por la oxidación de los dobles enlaces de la cadena de los átomos de carbono y por otros tipos de degradación oxidativa. Los enzimas que obran durante la degradación de los residuos de las feromonas tienen una presencia omnipresente en la naturaleza.

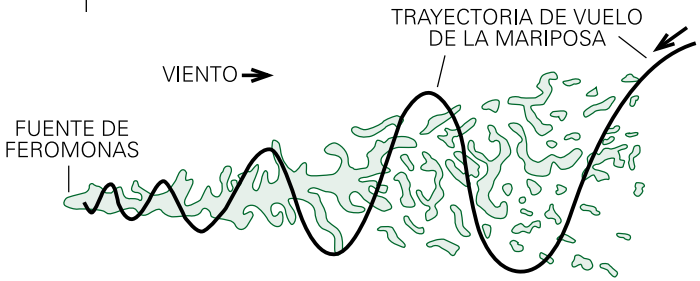
LA CONFUSION SEXUAL

El método que desarrolla estos compuestos para el control de los insectos y, principalmente de los Lepidópteros en agricultura, es universalmente conocido como **“mating disruption”** o, en España, como el método de la **confusión sexual.**

2

LA CONFUSION SEXUAL

El comportamiento de los Lepidópteros durante la fase de apareamiento ha sido objeto de profundos estudios en el curso de los años.
Esta fase empieza con la liberación de la feromona específica por parte de la hembra que provoca en el macho receptivo el clásico vuelo de acercamiento "contraviento" con una trayectoria en "zig-zag" que lo hace llegar próximo a la fuente de la atracción.



Cuando en el ambiente está presente una uniforme concentración de tal compuesto, esto provoca una modificación de tal comportamiento, generando, un efecto "camuflaje" del rastro olfativo natural, haciéndolas indistinguibles por el insecto macho.

El método de la confusión se basa, por lo tanto, en la liberación en el ambiente del análogo sintético de la feromona natural en modo de crear una concentración en el aire suficiente (pocos nanogramos por m^3) para comprometer la capacidad receptiva del sistema olfativo en los individuos del sexo masculino de la especie en cuestión. Los posibles mecanismos propuestos para dar una explicación a tal efecto son los siguientes:

a) cansancio sensorial, que lleva a una pérdida de la capacidad por parte del macho para encontrar a las hembras;

b) enmascaramiento del rastro natural;

c) competición entre las fuentes artificiales de feromonas y las hembras naturales.

La confusión sexual determina, por lo tanto, una **reducción del número total de los apareamientos** (debido al cansancio sensorial, enmascaramiento o competición de la feromona sintética con aquella natural) y un retraso de aquellos posibles (con la consiguiente reducción de la fecundidad total de las hembras). **Estos dos efectos sumados nos llevan a una reducción de la capacidad reproductiva total del insecto, con una consiguiente reducción de la población en campo.**

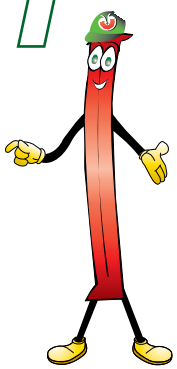
ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LA TECNICA DE LA CONFUSIÓN SEXUAL

Además de la biología específica del insecto, los factores que influencian la efectividad de la confusión sexual pueden ser reunidos en tres grupos:

1. **características del difusor de feromonas;**
2. **concentración de la feromona en campo;**
3. **características del área tratada y aspectos aplicados.**

1. características del difusor de feromonas

Los difusores de feromonas son instrumentos expresamente estudiados para segregar, en el ambiente circundante, las moléculas de feromonas contenidas en su interior utilizando principios de naturaleza físico-químicos. Por lo tanto tiene gran importancia la tecnología con la que han sido construidos.
Los difusores Shin-Etsu son micro-capilares de material plástico. Los factores que regulan la suministración son dos:



la velocidad de permeabilización de la feromona a través de las paredes y la velocidad de evaporación de la feromona en el aire. Mientras que la segunda de estas variables (velocidad de evaporación) depende de las medias de las temperaturas y de los vientos en la zona tratada, la primera (velocidad de permeabilización) depende, fundamentalmente, de las características del difusor y, en particular de la tipología del material plástico utilizado y de los espesores de las paredes.

El empeño y los esfuerzos en la investigación y desarrollo en el curso de los años han conseguido la definición de una forma del difusor Shin-Etsu a "capilar" que, a diferencia de otras, es aquella que mejor permite, durante el proceso productivo, variar y controlar de manera precisa los espesores de las paredes plásticas .Además tal forma permite a todo el difusor permanecer impregnado de sustancia activa también cuando, durante el curso de la estación, su contenido interno disminuya. La superficie total en la cual viene liberada la feromona no varía durante todo el periodo de exposición y la permeabilización se mantiene constante en igualdad de condiciones externas de viento y temperatura. Además, durante los años, han sido individualizados diferentes tipos de materiales plásticos que mejor se adaptan a los varios tipos de moléculas empleadas.

Efecto de la temperatura sobre la liberalización y sobre la concentración de la feromona en campo.

ESTACIÓN	Liberalización (g/ha/día)	Concentración (ng/m^3)
VERANO	4,3	20
PRIMAVERA	1,9	19

Efecto de la velocidad del viento sobre la cantidad liberada y sobre la concentración de la feromona en campo.

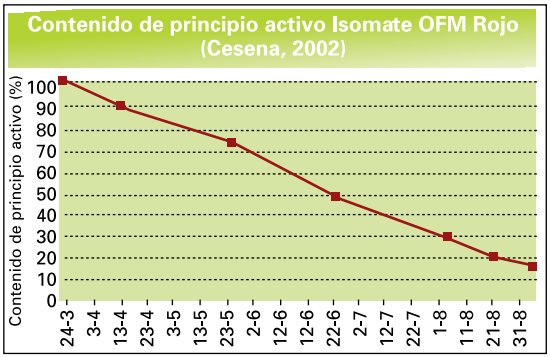
VIENTO	Velocidad del viento (m/sec)	Liberalización (mg/h/ha)	Concentración (ng/m3)
A. ÁREA VENTOSA	2,5	235	1,2
B. ÁREA CALMA	1	204	2,5
A/B	2,5	1,15	0,48

La capacidad de liberalización del difusor viene expresada a través de dos tipos de gráfico: curva de descarga y curva de emisión.

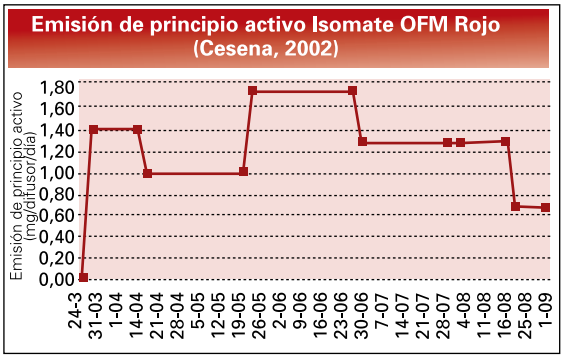
Como hemos indicado antes, la temperatura y el viento desarrollan un papel fundamental en la influencia de las características en la segregación de los difusores.

Estas vienen realizadas a través de las sucesivas recogidas en campo de difusores durante la estación y sus sucesivos análisis en el laboratorio de su contenido residuo de sustancia activa.

Curva de descarga: indica la cantidad de principio activo presente en el difusor al momento de la recogida de las muestras, expresa en valor porcentual respecto al contenido inicial (100%).



Curva de emisión: indica la emisión del contenido del difusor en la atmósfera, expresada en mg/difusor/día. La curva está obtenida de la diferencia del contenido de los difusores recogidos en dos muestreos sucesivos durante la estación. Esta cantidad, expresada en mg, está subdividida entre los días que pasaron entre los dos muestreos.



2. Concentración de la feromona en campo

Para la interrupción de la comunicación entre los dos sexos necesita la presencia constante de una concentración mínima de feromonas en campo durante todo el periodo de actividad del insecto.

Una vez emitida por los difusores, la feromona se difunde en la atmósfera circundante formando una nube que recubre el frutal.

En la siguiente tabla podemos ver las concentraciones de feromonas necesarias para confundir algunas especies de Lepidópteros en campo.

Como se puede observar estas concentraciones son del orden de nanogramos por m^3 mientras la emisión de los varios difusores es medianamente cercana al miligramo por día, como hemos visto anteriormente en el gráfico de la curva de descarga.

ESPECIE FITÓFAGA	Concentración feromonas (ng/m^3)	Sustancia activa
P. gossypiella	2-5	Z,Z/E-7,11-16-Ac
A.orana	5-10	Z,11-14-Ac
C. pomonella	3-8	E,E-8-10-12-OH
S. hector	< 1	Z,Z-3,13-18-Ac
P. xylostella	< 1	Z-11-16-Ac+Z-11-16-Al

Para comprender el motivo de estas diferencias es necesario analizar aquello que viene llamado "balance de la feromona en campo".

Este balance mete en relación los imput de feromonas, es decir, la entrada de feromonas en el ambiente, con los output de feromonas, es decir,

todas las causas que determinan una pérdida o dispersión de feromona.

APORTACION DE FEROMONAS

- **Difusores**

PERDIDAS DE FEROMONAS

- **Desplazamiento** a causa del viento (frecuentemente estacional)
- **Evaporación** al cielo (unidos a las altas temperaturas)
- **Bordes** de las parcelas
- **Orografía** de las campos (pendiente)
- **Descomposición** (rallos ultravioletas, bacterias)
- **Absorción** del suelo y de las plantas (en función de la estructura de la feromona)
- **Condiciones** específicas particulares (presencia de carreteras, cursos de agua, etc.)

Como se puede notar el único factor que aporta la feromona es el difusor mientras muchas son las causas que determinan su desaparición. Por este motivo, antes de aplicar el método en las diferentes realidades, es necesario hacer una valoración atenta y cuidadosa del área que se quiere tratar para tener en cuenta todas las oportunas estrategias con el objetivo de mantener la justa concentración de feromonas en campo.

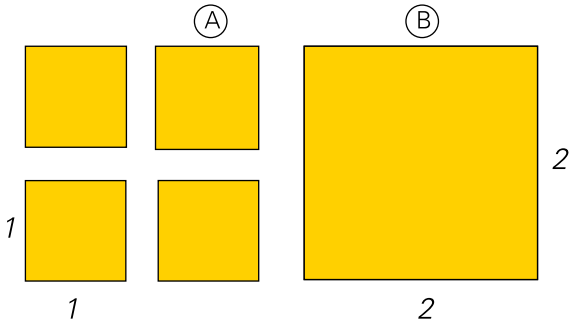
3. Características del área tratada y aspectos aplicativos

Dimensión, forma, pendiente

La confusión sexual da los mejores resultados en frutales de amplias superficies, en forma regular, y en plano, sin numerosas faltas y con plantas de altura uniforme.

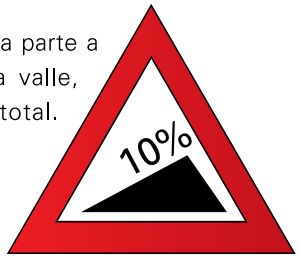
Buenos resultados se pueden obtener también sobre campos de dimensiones reducidas, adoptando oportunas condiciones de uso para la aplicación como, por ejemplo, ampliar el área tratada, donde

sea posible, en el cultivo limítrofe o aumentar la dosis aconsejada.
Formas regulares, tendencialmente cuadradas y planas consienten crear una nube homogénea de feromonas limitando las pérdidas laterales. De hecho, en los campos de forma regular, los bordes tienen una incidencia menor al aumentar la superficie total.
El concepto viene mejor explicado en el cuadro siguiente donde están confrontados la incidencia del perímetro sobre la misma superficie en el caso en el que esta última sea unificada o fragmentada.



PARÁMETROS	SITUACIÓN A	SITUACIÓN B
PERIMETRO	16	8
ÁREA	4	4
P/A	4	2

También la pendiente constituye un elemento importante a tener en consideración debido a los efectos que tiene sobre el movimiento de las feromonas. Teniendo éstas más peso que el aire, en situaciones orográficas no planas, las feromonas tienden a acumularse en el fondo del valle. Para contrastar este fenómeno tendremos que disponer una aplicación de los difusores no uniforme, que prevea una mayor cantidad en la parte a monte y una menor en la parte a valle, manteniendo inalterada la dosis total.



Dimensiones de las plantas

Es más fácil obtener mejores resultados con plantas bajas porque se consigue envolver mejor al cultivo con una nube de feromonas. Mayores problemas se evidencian con plantas de notables dimensiones las cuales, además de presentar frecuentemente elevadas poblaciones de fitófagos, tienen un considerable volumen ocupado en la copa y por lo tanto resulta más difícil que las feromonas la cubran de manera homogénea. Por este motivo, para las plantas de altura hasta los cuatro metros, se aconseja una aplicación de los difusores en el tercio superior y en plantas de dimensiones mayores se aconseja seguir una aplicación sobre dos niveles: 1/3 de los difusores en la parte alta y 2/3 en la parte baja.

Nivel de infestación

La confusión sexual provee los mejores resultados con bajos niveles iniciales de infestación. En las superficies con medio-alto u otras poblaciones iniciales, la técnica prevé la integración con tratamientos insecticidas de soporte.
En tales superficies, de hecho, aumentan las posibilidades que se verifiquen encuentros casuales, no mediados por la feromona, con los consiguientes aparejamientos y ovodeposiciones.
En estos casos aconsejamos elegir, entre los varios principios activos, aquellos con más bajo impacto ambiental que, salvaguardando los insectos útiles, permitan mantener un buen control indirecto también de otros fitófagos importantes del ecosistema del frutal.

Instalación de los difusores

La aplicación de los difusores en campo debe ser realizada antes del inicio del vuelo de los insectos de sexo masculino de la generación hibernante de la especie.

Esto se realiza para actuar sobre los primeros individuos machos adultos activos y, por lo tanto, realizar una precoz acción de contención de la población.

Los difusores deben ser distribuidos de la manera más uniforme posible sobre toda la superficie puesta en confusión, salvo en condiciones particulares como, por ejemplo, en presencia de una parcela en pendiente o en presencia de plantas de notables dimensiones, como hemos visto precedentemente. Ocurre prever siempre un refuerzo sobre las primeras filas de borde y sobre las primeras plantas de las filas para compensar las mayores pérdidas de feromonas que se registran en estas zonas.

Controles de eficacia

La aplicación del método de la confusión sexual necesita frecuentes controles de campo para evaluar la evolución de la población del fitófago e intervenir tempestivamente, cuando sea necesario, sin llegar a situaciones que no se puedan controlar. El primer nivel de control está representado por la utilización de las trampas de monitoreo. Estas deben estar colocadas en el centro del área tratada y en las zonas retenidas particularmente a riesgo, como los bordes o en las partes altas de las pendientes donde resulta más difícil mantener el justo nivel de concentración de feromona. Normalmente, en las áreas tratadas, las trampas no registran capturas. Esto es solo una primera y preliminar indicación del correcto funcionamiento del método, pero no se puede retener suficiente.

Que las trampas no registren capturas requiere un nivel de concentración de feromona mucho más bajo que aquel necesario para una reducción significativa de los aparejamientos, especialmente en situaciones de altas poblaciones.

Pueden, por lo tanto, verificarse daños en las producciones también en ausencia de capturas en las trampas.

Por lo tanto es de absoluta importancia hacer controles frecuentes de las áreas tratadas valorando la presencia de brotes o frutos atacados para establecer la eventual necesidad de tratamientos de soporte.

Tratamiento de choque

El tratamiento de choque se efectuará en el caso en el que vengan superados los umbrales de intervención específicos para cada fitófago, para cada generación y para cada especie frutícola tratada. Para mayores detalles sobre la modalidad de control y sobre las características de cada uno de los productos comercializados por CBC (EUROPE) Ltd ver nuestra página Web: **www.cbceurope.it**

EL MÈTODO EN EUROPA

La investigación en los últimos años ha sido particularmente localizada en la individualización de la mezcla feromónica más eficaz y de los polímeros plásticos que garanticen su mayor y más constante liberación a la atmósfera para cada una de las especies de lepidópteros.

Por este motivo los difusores Shin-Etsu tienen características químico/físicas que los hacen específicos para cada especie.

3

Como testimonio de la utilización de la investigación realizada por **Shin-Etsu Chemical Co. Ltd y CBC (EUROPE) Ltd**, el número de los productos disponibles en el mercado ha aumentado desde su aparición, en 1989, con el difusor ISOMATE C para la confusión sexual de *Cydia pomonella*. Las fichas relativas a los productos registrados están presentes en el apartado adjunto. A parte de éstas se encuentran una serie de productos en fase de registro y otros en experimentación.

La **aplicación del método de la confusión sexual para el control de los principales lepidópteros de los cultivos frutícolas y vitícolas** ha ido aumentando de manera constante en los últimos 10 años por los mismos motivos que han determinado la confirmación en España.

En el territorio de la Unión Europea la cultura sobre la cual es **más amplia la aplicación de los difusores de feromonas es la viña**.
De hecho, sobre esta especie, se puede valorar una utilización de esta técnica sobre una superficie de casi 35.000 ha para el control de *Lobesia botrana* y de otras 60.000 para el control contemporáneo de *Lobesia botrana* y *Eupoecilia ambiguella*.
En las drupáceas el fitófago clave es la *Cydia molesta* que, en los últimos años, se está difundiendo de manera preocupante también sobre las pomáceas.
Actualmente la superficie controlada trámite confusión sexual es aproximadamente de 10.000 ha. Siempre sobre las drupáceas el problema del control de otro lepidóptero se está encontrando de manera siempre más presente, *Anarsia lineatella*. Se puede valorar una superficie de casi 2.000 ha en la que se está empleando la feromona específica.
En las pomáceas, el fitófago clave es *Cydia pomonella* y su control con el método de la confusión se ha ido expandiendo hasta llegar a una superficie estimada de aproximadamente 30.000 ha.
Otro lepidóptero sobre el cual la utilización de las feromonas da resultados interesantes y ha llegado a una superficie de aproximadamente 2.000 ha es la *Zeuzera pyrina* sobre diferentes especies frutícolas.
Una tendencia que se ha ido **delineando en el curso de los últimos años es la petición de difusores multifuncionales**, lo que significa que en una única aplicación pueda permitir el control de más insectos contemporáneamente, con un notable ahorro de costes sea de producto que de mano de obra para la aplicación.

1 2 3

CBC (EUROPE) Ltd.
MILAN Branch
Via E. Majorana, 2
20054 NOVA MILANESE - (MI)
Tel. +39.0362.365079 r. a.
Fax +39.0362.41273
E-mail: biodiv@cbceurope.it
www.cbceurope.it/biocontrol

importado por

producto de
Shin-Etsu
Shin-Etsu Chemical Co.,Ltd.

asociado con IBMA