

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Química

“FEROMONAS”

423

T E S I S

Que para obtener el título de

Q U I M I C O

p r e s e n t a

MA. DEL CARMEN SIERRA VAZQUEZ

México, D. F.

Febrero 1976



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TRINIDAD
1976
FECHA
PRG

~~401~~ 401



QUIM 02

JURADO ASIGNADO SEGUN EL TEMA :

PRESIDENTE : QFB. MAGDALENA ACOSTA SEGURA

VOCAL : DRA. MARTHA ALBORES VELASCO

SECRETARIO : DRA. YOLANDA CABALLERO DE BARRIOS

1er. SUPLENTE : Q. GUILLERMO JAMES MOLINA

2o. SUPLENTE : MC. HECTOR BARRIOS LOPEZ

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA :

BIBLIOTECA DEL INSTITUTO DE QUIMICA
BIBLIOTECA DEL INSTITUTO DE BIOLOGIA
BIBLIOTECA DE LA FACULTAD DE QUIMICA
BIBLIOTECA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS

U N A M

NOMBRE DEL SUSTENIENTE : MARIA DEL CARMEN SIERRA VAZQUEZ

NOMBRE DEL ASESOR DEL TEMA : DRA. YOLANDA CABALLERO DE BARRIOS

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MIS MAESTROS

Así mismo expreso mi agradecimiento -
por su valiosa cooperación a la Dra.
Yolanda Caballero, al Sr. QFB Antonio
Macías y a los Laboratorios Grupo ---
Roussel, S.A.

INDICE

INTRODUCCION	Pag. 3 -5
1. GENERALIDADES	Pag. 6 -23
1.1 MECANISMOS DE LA INFORMACION	
1.2 TIPOS DE SEÑALES	
1.3 ETIMOLOGIA DE LA PALABRA FEROMONA	
1.4 DEFINICION DE FEROMONA	
2. CLASIFICACION DE LAS FEROMONAS	Pag. 24-62
2.1 CLASIFICACION DE KARLSON	
2.2 CLASIFICACION DE WILSON	
2.3 CLASIFICACION DE BUTLER	
3. MECANISMOS DE RECEPCION	Pag. 63-91
3.1 ORGANOS PRODUCTORES	
3.2 RECEPCION	
3.3 ESTRUCTURA DE LOS RECEPTORES DE INSECTOS	
3.4 ELECTROANTENOGRAMA (EAG)	
3.5 OLFATICION	
3.6 ESPECIFICIDAD DE LAS ESPECIES Y EL MECANISMO RECEPTIVO	

4. ESPECIES ESTUDIADAS	Pag. 92-136
4.1 GUSANO DE SEDA (<i>Bombyx mori</i>)	
4.1 PALOMILLA GITANA (<i>Porthetria</i> <i>dispar</i>)	
4.3 MOSCA DOMESTICA (<i>Musca domes</i> <i>tica</i>)	
4.4 CUCARACHA AMERICANA (<i>Peripla</i> <i>neta americana</i>)	
5. USOS DE LAS FEROMONAS	Pag.137-156
5.1 LA EVOLUCION DE LOS PESTICIDAS	
5.2 LA TERCERA GENERACION DE LOS INSECTICIDAS	
6. CONCLUSIONES	Pag.157-158
7. BIBLIOGRAFIA	Pag.159-167

INTRODUCCION

La preservación de la vida depende de la interacción y coordinación de las especies, una forma de lograrlo es a través de la información que se pasa de un organismo a otro.

Si no hay comunicación, la vida del individuo y de la comunidad, están en peligro. La comunicación puede efectuarse por cuatro tipos diferentes de señales: acústicas, visuales, químicas y táctiles.

Las señales químicas se encuentran ampliamente distribuidas a todos los niveles del reino animal. Las sustancias químicas que permiten la comunicación entre organismos de la misma especie, son llamadas feromonas, y su estudio ha despertado gran interés a los investigadores de la última década.

La monografía realizada respecto a éste tema tiene como interés fundamental, mostrar los distintos aspectos que se han estudiado de las feromonas. El tema es tan amplio, - que se le han tenido que dar diferentes enfoques para comprender lo mejor.

Se hizo necesario incluir algunas generalidades

de las teorías de la comunicación, para comprender el papel que desempeñan éstas sustancias en la comunicación de las especies que carecen de otros medios más especializados para lograrla.

La clasificación de las feromonas no se ha unificado, porque dependiendo de sus distintos investigadores, las han agrupado considerando diferentes criterios.

Los órganos productores y receptores de las feromonas, han sido ampliamente estudiados en algunas especies de insectos, son de interés fundamental los estudios realizados -- para comprender el mecanismo por el cual, éstas sustancias son capaces de provocar una respuesta nerviosa en el individuo receptor. Dichos estudios dan la pauta para comprender y dar las teorías más acertadas del olor y del sabor.

Aunque se han encontrado feromonas en muchas especies de animales, se le ha dado mayor importancia al estudio de éstas en los insectos por constituir las cuatro quintas partes de las especies animales del planeta. Se han clasificado más de 900,000 especies diferentes de ellos, y muchas especies de ellos son perjudiciales.

La organización mundial de la salud ("World Health Organization") por datos estadísticos ha establecido que los insectos son responsables de la mitad de las muertes humanas, bien sea directamente por enfermedades, o indirectamente por destruir las cosechas alimenticias, de fibras textiles, deforestación de los bosques, provocar enfermedades a la ganadería, apicultura, etc. Por lo que es importante combatir las plagas de ellos.

En las décadas pasadas se han combatido las plagas con insecticidas, pero los insectos han usado su adaptación biológica para crear generaciones de insectos resistentes a la acción de los insecticidas. Obligando al hombre a utilizar cada vez insecticidas más poderosos; lo cual ha creado un nuevo problema, que es el de la contaminación ambiental a causa de los insecticidas clorados, organofosfatos, carbamatos, etc., que son venenosos y tóxicos tanto a la especie humana como a otros animales.

Los entomologistas y químicos han estado trabajando juntos para encontrar nuevos y mejores métodos para el control de plagas, y para ello se han empezado a utilizar las feromonas.

Este tipo de sustancias ofrece grandes ventajas, como son sustancias específicas de la especie, se coloca la sustancia en trampas, y solamente atrapa a la especie de insecto que se combate, protegiendo así a las especies benéficas; por lo general, para éste fin, son utilizadas las feromonas sexuales que produce y libera la hembra para atraer al macho, y el macho es el que responde a su llamado, por lo que las trampas atraen a los machos hacia su destrucción, evitando así el apareo con la hembra y la procreación de la especie.

Son sustancias de alta actividad biológica, y solo se requieren pequeñísimas cantidades de feromona en las trampas, haciendo que el costo de fabricación sea muy bajo y su eficiencia alta. Difícilmente podrían los insectos desarrollar adaptación biológica a éstas sustancias.

1. GENERALIDADES

Las feromonas son aquellas sustancias químicas que permiten que se establezca una comunicación entre los individuos de una misma especie. La comunicación constituye la base -- para que exista un control y una coordinación adecuada en los seres vivos, la transmisión de la información permite la preservación de la vida.

A partir de Gregorio Mendel (1822-1884), se han desencadenado una serie de estudios para comprender el mecanismo por el cual los caracteres hereditarios y toda la información genética puede ser transmitida de unos organismos a otros.

Sabiéndose ahora que ésto es posible porque la información genética se encuentra grabada en los genes, el orden con el que se presentan unas sustancias químicas enlazadas para formar una macromolécula llamada DNA, es lo que establece un código de la información, y cuando se transcribe la información genética, coordina y regula todo el ciclo de vida de las células, tanto animales como vegetales.

No todas las células presentan las mismas reacciones, por lo que hay células diferentes, dependiendo del organismo o sistema del cual forme parte. La diferenciación celular es dirigida y controlada genéticamente en forma intracelular.

El conjunto de células que van a formar los órganos y sistemas de los organismos pluricelulares, requieren -- también de sistemas de control para mantener la homeostasia o -- estado de equilibrio. Este tipo de control puede llevarse a cabo por medio de agentes químicos, tales como las hormonas. La mayoría de los animales pluricelulares también presentan mecanismos de coordinación nerviosa a través de neuronas y receptores, que transmiten el impulso nervioso por el interior del organismo -- hacia un centro nervioso del cual sale la respuesta al estímulo.

Estos medios de control permiten que el organismo de cada individuo de las diferentes especies animales, funcione correctamente.

Pasando del control genético intercelular, al -- control hormonal y nervioso del organismo completo, solo resta -- pasar al control de unos individuos sobre otros de las distintas especies de animales, y esto solo es posible teniendo un control y coordinación de las especies por la comunicación que existe -- entre ellas.

Un punto fundamental es que se transmita información de unos individuos a otros, para lograr la supervivencia.

Los tipos de señales que se emplean por las especies para transmitir información, están de acuerdo con los órganos o sistemas que posean para éste fin, así las especies más simples, presentan sistemas de comunicación a base de olores y sabores, mientras que si un organismo es más complicado podrá -- emitir ruidos, zumbidos, realizar danzas, etc. Únicamente los --

humanos presentan una garganta equipada para producir sonidos, y que empleando esos símbolos sonoros, se forman los diferentes lenguajes.

Así las feromonas son las sustancias que excreta un individuo para que tenga respuesta en otro, que por lo general es de la misma especie. Para que exista este tipo de comunicación, se requiere que se siga una red de comunicación.

1.1 MECANISMOS DE LA INFORMACION

Cada organismo necesariamente interactúa en -- mayor o menor grado con otros organismos. Con frecuencia la supervivencia depende de que la interacción se coordine adecuadamente (1).

Se utiliza la palabra información como sinónimo de noticia, conocimiento o comunicado (2).

La teoría de la comunicación e información se - puede ver desde dos puntos de vista:

- La comunicación entre animales para dar respuesta a un proceso adaptativo, con la tendencia a ser genéticamente programado, existiendo un signo o conjunto de signos para cada respuesta y vice versa.

- La comunicación en que se emplea el Lenguaje.

El hombre posee una garganta equipada para producir gran variedad de **simbolos** sonoros, mientras que el resto - de las criaturas solo heredan la capacidad instintiva para emitir algunos **sonidos**.

El lenguaje del hombre es por abstracción, usan do para cada sonido un significado propio. Los animales, que no poseen la capacidad de abstracción para comunicarse con palabras, tienen para éste fin, la producción de ruidos, gritos, bailes, -

y los aromas, que les permiten transmitir mensajes (3).

Cualquier red de comunicación se compone de --
tres partes principales que son:

TRANSMISOR → CANAL → RECEPTOR

El transmisor o fuente, selecciona el mensaje y lo codifica en una señal que viaja por el canal de comunicación; el cual es un medio físico como el agua, aire, tierra, etc., hasta que el mensaje llega al receptor; el cual utiliza un descodificador o traductor para obtener el mensaje nuevamente en su forma original (4).

Para que las señales no puedan ser confundidas con otras, deben existir órganos productores, que las produzcan siempre de igual manera; y órganos receptores, en el organismo - que las recibe, perfectamente especializados, para que sea capaz de distinguirlas de otras señales parecidas. Además debe existir un sistema que pueda interpretar y codificar la información recibida.

El comportamiento más complejo es el resultado de un mayor número de diferentes patrones de conducta accesibles a un animal, con un sistema nervioso más complicado.

Los animales pueden reaccionar en forma diversa a estímulos ligeramente distintos, por lo que generalmente em--

plean juegos de señales para formar complicados sistemas de comu
nicación.

La interpretación correcta de las señales, es -
fundamentalmente hereditaria. La emisión de una señal o la res-
puesta a ésta, es casi involuntaria (1).

1.2 TIPOS DE SEÑALES

La comunicación puede efectuarse por cuatro -- tipos de señales diferentes, que son: acústicas, visuales, químicas y táctiles. De éstos tipos de señales, las más conocidas habían sido las visuales y acústicas, por ser las más utilizadas por el hombre mismo. Sin embargo se ha hecho evidente la importancia de otras formas de comunicación al estudiar más ampliamente la conducta de los animales.

La mayoría de los animales, si no es que todos, transmiten información a través de señales químicas específicas, constituyendo así un lenguaje químico; que ha sido recientemente estudiado, porque el hombre, al no tener muy desarrollado su sentido del olfato, no se había dado cuenta de la existencia de los aromas como señal de información.

1.2.1 Señales Acústicas.- Son empleadas por -- una gran variedad de organismos, incluyendo algunos grupos de insectos y muchos vertebrados. La mayoría de los invertebrados no producen sonidos y dependen de otras formas de comunicación.

Los sonidos no necesariamente son producidos vocalmente, los insectos hacen vibrar parte de sus cuerpos para hacer señales específicas; los machos de algunas especies de pájaros carpinteros utilizan como tambor diversos objetos huecos para producir sonidos durante el cortejo. Los murciélagos y delfines -- utilizan señales ultrasónicas para ubicarse. Por el trino de un

pájaro informa a otras aves que es macho, y que está en época - de defensa de territorio; ésto ayuda a las hembras de la misma especie a encontrarlos para anidar. También el canto estimula a la hembra al apareamiento. Estas actividades tienden a la conti-nuidad de la especie fomentando la reproducción (1).

1.2.2 Señales Visuales.- Los pájaros también - se comunican por el color y tonos de su plumaje, por los movi--mientos del cuerpo, o adoptando ciertas posturas. Como señal vi-sual se puede considerar la Danza que realizan las abejas, para que al verla los otros miembros de la colonia capten su mensaje, bién sea el vuelo nupcial, o comunicar hacia donde se encuentra la fuente de alimento. Si el alimento se halla muy cerca del pa--nal, la abeja que lo descubre realiza una danza en redondo en - la colmena (Fig. 1A), ésta danza no da más información sobre la dirección en la que se encuentra el alimento, pero indica que - puede ser localizado a corta distancia del panal.

Cuando el alimento se encuentra lejos del panal la abeja efectúa una danza de vibración de la cola (Fig. 1B), - haciendo una figura modificada del número ocho. La dirección se indica siempre en términos de un ángulo en relación con la posi-ción del sol; si la posición central de la figura del número --ocho es perpendicular a la cresta de la colmena (Fig.1C), el --hallazgo se encuentra en la dirección del sol. El ángulo que se hace a partir del eje perpendicular, indica el ángulo con refe--rencia al sol en que se puede hallar el alimento (Fig. 1D).

Una vez que se ha determinado el ángulo, describe la figura sobre el panal, dando el ángulo a partir del eje perpendicular -- (Fig. 1E) pag. 15. El número de veces por unidad de tiempo que la abeja hace vibrar la cola, y el número de vueltas que da sobre la figura, indican la distancia hacia la fuente de alimento. Si las vibraciones son rápidas y da muchas vueltas, eso significa que la distancia es corta, y vice versa.

En la tabla No. (1), se muestran los datos obtenidos por las experiencias y observaciones del Prof. Karl von Frish (5), quién ha realizado muchos trabajos de investigación con diferentes clases de abejas para descodificar el mensaje que transmiten en sus danzas.

Distancia (pies)	Abeja Florea		Abeja Mielífera.	
	Tipo de Danza	No. de Vueltas	Tipo de Danza	No. de Vueltas
10	Redondo	--	Redondo	--
50	Vibración	9.8	Redondo	--
200	Vibración	7.0	Redondo	--
1000	Vibración	4.0	Vibración	7.4
2000	--	--	Vibración	5.5

Tabla No. (1).- Interpretación en el lenguaje de las abejas, para dos clases de abejas diferentes, el tipo de danza y el número de veces que la realizan, puede ser diferente para una -- misma distancia a la fuente de alimento, dependiendo de la especie de abeja de que se trate.

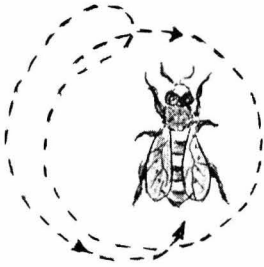


Fig. 1A

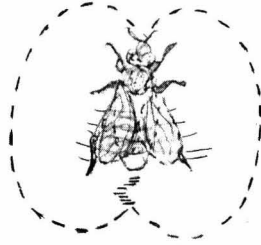


Fig. 1B

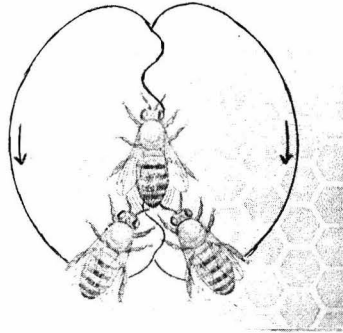


Fig. 1C

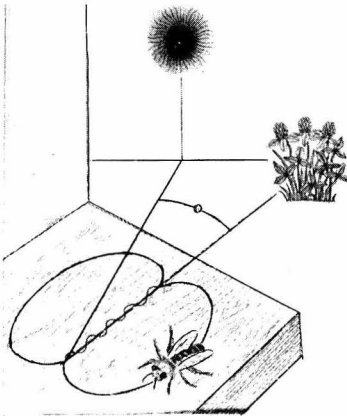


Fig. 1D

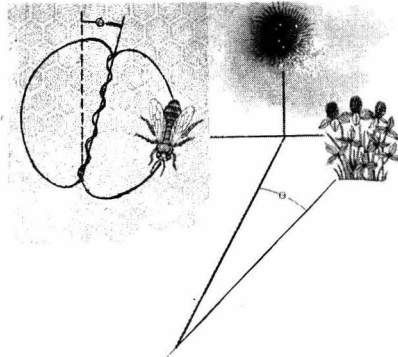


Fig. 1E

1.2.3 Señales Químicas.- La comunicación por medio de sustancias químicas está ampliamente distribuida a todos los niveles del reino animal. Muchas de éstas señales se hacen cuando el individuo libera sustancias químicas al medio ambiente y que influyen en la conducta de otros organismos de la misma especie. A éstas sustancias se les ha dado el nombre de feromonas, y se han estudiado con detalle en algunas especies de insectos, con el objeto de utilizarse para el control de plagas, esto será comentado en forma más amplia a lo largo del trabajo.

Las sustancias químicas que se evaporan al aire, quedan disgregadas en moléculas.

Existen ciertos factores que pueden alterar la estructura química de la feromona y afectar el mensaje transmitido, entre estos factores se pueden citar: la luz, que induce reacciones de ciclización, isomerización y polimerización, el aire puede oxidar las sustancias del tipo benzaldehído transformándolas en ácido benzoico que tiene menos olor, y de ésta manera desaparece el olor en corto tiempo.

Las sustancias con dobles ligaduras también se pueden afectar en presencia del aire, formando peróxidos con olores fuertes.

También los factores físicos tales como la absorción y adsorción por los cuerpos cercanos, puede afectar el mensaje llevado químicamente por la feromona (3).

1.2.4 Señales Táctiles.- los receptores del -- tacto forman parte de la anatomía básica de todos los animales; funcionan en actividades tan diversas como esquivar obstáculos, en la lucha y en la copulación. Muchos animales usan señales -- táctiles como parte de la conducta de cortejo, con frecuencia - el macho de la tortuga palmea o araña a la hembra durante el -- cortejo. Ciertos peces generan electricidad para protegerse y - para comunicarse (1).

Casi todos los animales utilizan la combinación de varios tipos de señales para transmitir los mensajes y lograr la comunicación.

La comunicación de peces, anfibios y peces, se efectúa principalmente por medios químicos empleando las feromonas. Esto ha sido comprobado en algunas especies, y es muy probable que muchas de las especies no estudiadas también se comuniquen por éstos medios.

Muchos insectos viven aislados, y solo se comunican para buscar el apareamiento. Una minoría se encuentran asociados la mayor parte de su vida, como lo hacen los insectos sociales tales como hormigas, abejas y termitas, en los cuales el orden en la colonia utilizando señales químicas es muy importante y fundamental para constituir un complicado sistema de comunicación entre los miembros de la colonia; otras especies de insectos son parcialmente sociales, forman colonias solo para anidar, y después se separan nuevamente (6). La comunicación química en insectos es altamente especializada para especies o grupos de ellos.

Los insectos son especialmente sensibles a los olores, y pueden interpretar los mensajes contenidos en los signos químicos como: fuente de alimento, apareamiento, lugar adon de anidar, alarma por un peligro cercano, etc. (7).

Los insectos tienen sus receptores del olor -- principalmente en las antenas y palpos maxilares, provistos de células de idéntica reactividad y extrema sensibilidad, que las hace ideales para la investigación de los mecanismos de la quimiorrepción, ayudando a probar experimentalmente las teorías - del olor y del sabor (8).

Para estudiar las teorías del olor han sido ne cesarios estudios avanzados de la visión, bioquímica, biofísica, neurofisiología y psicofísica. La morfología de los sistemas de quimiorrepción de los insectos, es análoga a los sistemas de - detección del olor y sabor en los vertebrados (7).

1.3 ETIMOLOGIA DE LA PALABRA FEROMONA

PHEREIN = transmitir o llevar

HORMON = excitar

La palabra feromona significa provocar una excitación de un individuo a otro (6). Inicialmente a éstas sustancias se les dió el nombre de Ectohormonas (9).

En 1959 Karlson y Butenandt (10) introdujeron el termino de feromona. Son aquellas sustancias que una vez producidas son expelidas, y que influyen en el comportamiento de los individuos en relación con otros seres vivos.

Las feromonas constituyen el lenguaje químico de la comunicación. El clásico ejemplo de feromona es el atrayente sexual de larvas y mariposas, que en éste caso, son producidas por las hembras en una glándulas que tienen en el abdomen, y liberan la feromona para atraer al macho desde grandes distancias. Al ser percibidas por las antenas del macho, motivan como respuesta una excitación para copular (11).

En forma más general se conocía a las feromonas únicamente como los atrayentes sexuales de los insectos, por lo que son las especies más estudiadas, pero no son exclusivas de ellos.

1.4 DEFINICION DE FEROMONA

"Las feromonas son sustancias secretadas al exterior por un individuo y recibidas por un segundo individuo de la misma especie, en el cual se produce una reacción específica; por ejemplo: un comportamiento definido, o un proceso de desarrollo mental". Esta es la definición propuesta por Karlson y Butenandt en 1959 (10).

Wilson (12) las define como compuestos químicos transmitidos a otros miembros de la misma especie como signos.

De cualquier manera, las feromonas constituyen el lenguaje químico de una forma de comunicación muy común en los insectos, pero sin ser exclusiva de ellos.

También las hay en los mamíferos, primates, reptiles, anfibios, peces, etc., e incluso recientemente se han encontrado feromonas en los humanos (13).

Las feromonas iniciadoras de un mecanismo son difíciles de detectar en los humanos, porque pueden afectar el sistema endócrino sin producir respuesta específica en el comportamiento. En la actualidad se han podido observar las extraordinarias diferencias sexuales, porque la habilidad de los humanos para oler ciertas sustancias (9) permite diferenciarlas.

Michael, Bonsall y Warner (15) encontraron en las secreciones vaginales de las hembras de distintos órdenes de chingos (*Macaca mulata*, *Papio anubis*, *Erythrocebus patas*, *M. nemestrina*, *M. fasciculareis* y *Saimiri sciureus*) ácidos alifáticos

volátiles: acético, propanoico, metilpropanoico, butanoico, metilpentanoico. Estos ácidos poseen propiedades de atrayente --- sexual y estimulan la actividad sexual por via olfativa de los machos. Los estudios preliminares realizados con muestras de -- productos de excreción de 28 mujeres, en la clínica de la infertilidad en el Samaritan Hospital for Women en Londres; dieron evidencias de tener los ácidos volátiles encontrados en las excreciones de los primates inferiores. La producción de éstas feromonas coincide con la Ovulación humana. Se colectaron muestras vaginales en tampones y fueron analizadas por cromatografía de gases.

Los efectos de las feromonas en las mujeres -- contemporáneas no son muy significativos, porque llevan una vida sexual normal, tal vez esto fue más significativo con nuestros ancestros (14).

Los anticonceptivos y los productos de higiene femenina afectan las medidas de concentración de la feromona. Las cantidades aumentan a medio ciclo, o sea, en el periodo de fertilidad, y disminuye cuando se toman las píldoras anticonceptivas.

En los casos de infertilidad en la mujer, las concentraciones son menores que las determinadas para mujeres normales (13).

El biólogo francés J. le Magnen (9) ha reportado que el olor del Exaltolide, que es una lactona sintética - del ác. 14-hidroxi-tetradecenoico, es percibido claramente por -

las mujeres sexualmente maduras y más intensamente durante el -- periodo de ovulación. Los hombres y las niñas jóvenes son insensibles, pero los hombres adquieren sensibilidad si se les inyectan estrógenos. El Exaltolide es usado comercialmente como un fi jador de perfumes.

Estas pruebas difícilmente representan la existencia de feromonas humanas, porque el género humano presenta -- los sistemas más complicados y elaborados para comunicarse por -- abstracción, a diferencia con todas las especies animales.

Los atrayentes sexuales juegan un papel muy importante para la reproducción; la feromona del abeja reina (6), le permite atraer al zángano desde grandes distancias. Generalmente las feromonas son producidas por las hembras y a determinadas horas del día.

Las feromonas son usadas principalmente por -- aquellas especies, en las cuales es muy pobre o nula la comunicación audiovisual (6).

Las feromonas no solo son atrayentes sexuales, también pueden ser usadas como sustancias de alarma, para comunicar el peligro a otros miembros de la especie, trazadores de rastro hacia la fuente de alimento, o bien, hacia el nido.

Los atrayentes de los insectos fueron definidos como aquellos compuestos o mezcla de ellos que son capaces de -- estimular en el insecto una respuesta de comportamiento, sea de orientación o de locomoción hacia la fuente de origen del atrayente (15).

Las feromonas son probablemente las sustancias fisiológicamente más potentes conocidas. En algunos casos se pueden percibir concentraciones del orden de unos cientos de moléculas o menos, en las células sensitivas a dichas sustancias (7).

2. CLASIFICACION DE LAS FEROMONAS

Así como se han dado diversas acepciones para la palabra feromona, igualmente han sido clasificadas de diversas maneras según sus investigadores.

No es fácil la clasificación de acuerdo a su función biológica, porque algunas feromonas tienen diversas funciones bajo diferentes condiciones. Por ésta razón se presentan los trabajos de clasificación realizados por los principales investigadores de éste tema que aún no ha sido unificado consistentemente.

2.1 Karlson (1960) las clasifica de acuerdo al tipo de sistema receptor de la feromona que tiene el organismo:

- 2.1.1 Feromonas de detección olfativa
- 2.1.2 Feromonas de detección oral o gustativa
- 2.1.3 Feromonas de detección táctil

2.2 Wilson (1963) las diferencia dependiendo si la respuesta que se produce en el individuo receptor produce un cambio en el comportamiento que sea inmediato y reversible, o un cambio fisiológico involuntario, y las denomina:

2.2.1 Feromonas de Liberación.

2.2.2 Feromonas de Efecto Iniciador.

2.3 Butler (1967) las divide en dos grandes -- grupos cuando considera el canal por el cual se transmite la información:

2.3.1 Feromonas Aereas

2.3.2 Feromonas Terrestres

Y de acuerdo a su función biológica las clasificó en:

2.3.3 Feromonas de Atracción Sexual

2.3.4 Feromonas de Asociación

2.3.5 Feromonas de Alerta

2.3.6 Feromonas de Rastro

2.3.7 Feromonas Afrodisiacas

2.3.8 Feromonas que controlan el desarrollo y la maduración sexual.

2.1 CLASIFICACION DE KARLSON

La clasificación que hizo Karlson (6) fue basada en el tipo de sistema receptor que emplean los insectos. Y se agrupan de la siguiente forma:

2.1.1 Feromonas de Detección Olfativa.- las feromonas que son percibidas por éste medio son muy volátiles, por lo tanto, son llevadas por el aire como olores o aromas, para ser detectadas por el individuo receptor por el olfato. En éste grupo se pueden incluir los atrayentes sexuales, las sustancias de alarma y los trazadores de rastro (6).

2.1.2 Feromonas de Detección Oral o Gustativa.- actúan directamente en el sistema oral; la más importante de éste grupo es la sustancia que segrega la abeja reina, que es la llamada sustancia reina, la cual tiene entre sus componentes el ácido trans-9-oxo-2-decenoico y el ácido 9-hidroxi-2-decenoico (16).

Los olores distintivos de la colonia son el resultado de que el insecto transporta en sus batas y su cuerpo, el néctar y polen de diferentes plantas, las reinas vírgenes producen además otras sustancias que dan un olor característico a la colmena (17).

La feromona del abeja reina es esparcida por toda la colonia, y cuando las abejas obreras lamen el cuerpo de la

primera, reciben diariamente la cantidad aproximada de diez microgramos, que es la cantidad suficiente para inhibir su desarrollo.

Esta misma sustancia reina actúa como atrayente sexual olfatorio cuando la reina la esparce al viento y hace su vuelo nupcial para atraer al macho.

Esta feromona actúa también a través del cerebro para controlar la secreción endócrina (12).

2.1.3 Feromonas de Detección Táctil.- dentro de la clasificación de Karlson pueden tener lugar éste tipo de feromonas, que no fueron incluidas originalmente por éste autor, pero pertenecen a otra forma de detección diferente a las anteriores y por lo tanto, es conveniente mencionarla como parte de la misma.

Estas son llamadas feromonas de superficie, son importantes para la defensa de una colonia en sus aspectos de vida social, han sido ampliamente estudiadas desde el punto de vista biológico, aunque químicamente no han sido bien determinadas su composición y sus propiedades (6).

Estas sustancias no solo son específicas de la especie, sino que algunas veces actúan en toda la colonia como - en el caso de los insectos sociales tales como abejas, hormigas, etc.

Las feromonas de detección táctil son sustancias del tipo de ceras o grasas muy poco o nada volátiles que se acumulan en la superficie del insecto.

El olor del insecto puede ser debido no solo a las sustancias producidas por las glándulas de secreción externa, sino también a otras sustancias adquiridas de diferentes maneras, que para el caso particular de las abejas, las pueden adquirir por el contacto con el polen de las flores, el panal, las larvas, la comida, etc.

Con solo palpar la superficie del insecto, se pueden diferenciar a los que no pertenecen a la colonia, puesto que los olores absorbidos son diferentes para los insectos que son miembros de diferentes colonias.

Algunas veces la misma feromona puede ser recibida olfativa y gustativamente, como las feromonas que emplean las hormigas y termitas para indicar el rastro que debe seguirse para llegar al sitio donde se encuentra la comida (6).

2.2 CLASIFICACION DE WILSON

Wilson (6) clasifica a las feromonas de acuerdo a su capacidad de producir en el individuo receptor una serie de cambios que van ocurriendo lentamente; en base a esto, se pueden agrupar de la siguiente forma:

2.2.1 Feromonas de Liberación.- (efecto "releaser") son las feromonas que producen un cambio más o menos inmediato y reversible en el individuo que las recibe, se dice que tiene un efecto de libertad. Este es el caso de las sustancias químicas que actúan en el sistema nervioso central del individuo receptor.

Un ejemplo lo constituyen las feromonas de rastro, de alarma, afrodisiacas, atrayentes sexuales, etc., porque estas feromonas actúan para modificar la conducta del insecto, y hasta cierto punto, puede ser controlada por él mismo (9).

2.2.2 Feromonas de Efecto Iniciador.- (efecto "primer") - son sustancias producidas por algún miembro de la colonia, o por varios a la vez, cuya función principal es la de iniciar una serie de cambios fisiológicos en el individuo receptor. A esta función se le llama efecto iniciador.

La respuesta a la acción de la feromona son cambios que no se perciben inmediatamente en el comportamiento del insecto.

Las feromonas iniciadoras pueden actuar como inhibidoras como en el caso de las termitas, en que los soldados por medio de feromonas inhiben el desarrollo de otras termitas, logrando con esto la diferenciación de castas entre ellas; otro ejemplo se encuentra en los machos adultos de la langosta *Schistocerca gregaria*, los cuales secretan por la superficie de su piel la feromona que acelera la maduración sexual de las langostas jóvenes, y ésto se ha podido apreciar porque tienen diferente color los machos adultos y los jóvenes (9).

La clasificación de Wilson se puede resumir en la Fig. No. (2). Las feromonas influyen directa o indirectamente en el comportamiento del individuo receptor. Si el estímulo de la feromona se recibe en el sistema nervioso central, puede producir un cambio inmediato o de liberación; o puede afectar condiciones fisiológicas que actúen sobre la actividad metabólica para que a través de un estímulo nervioso se modifique el comportamiento del individuo receptor (9).

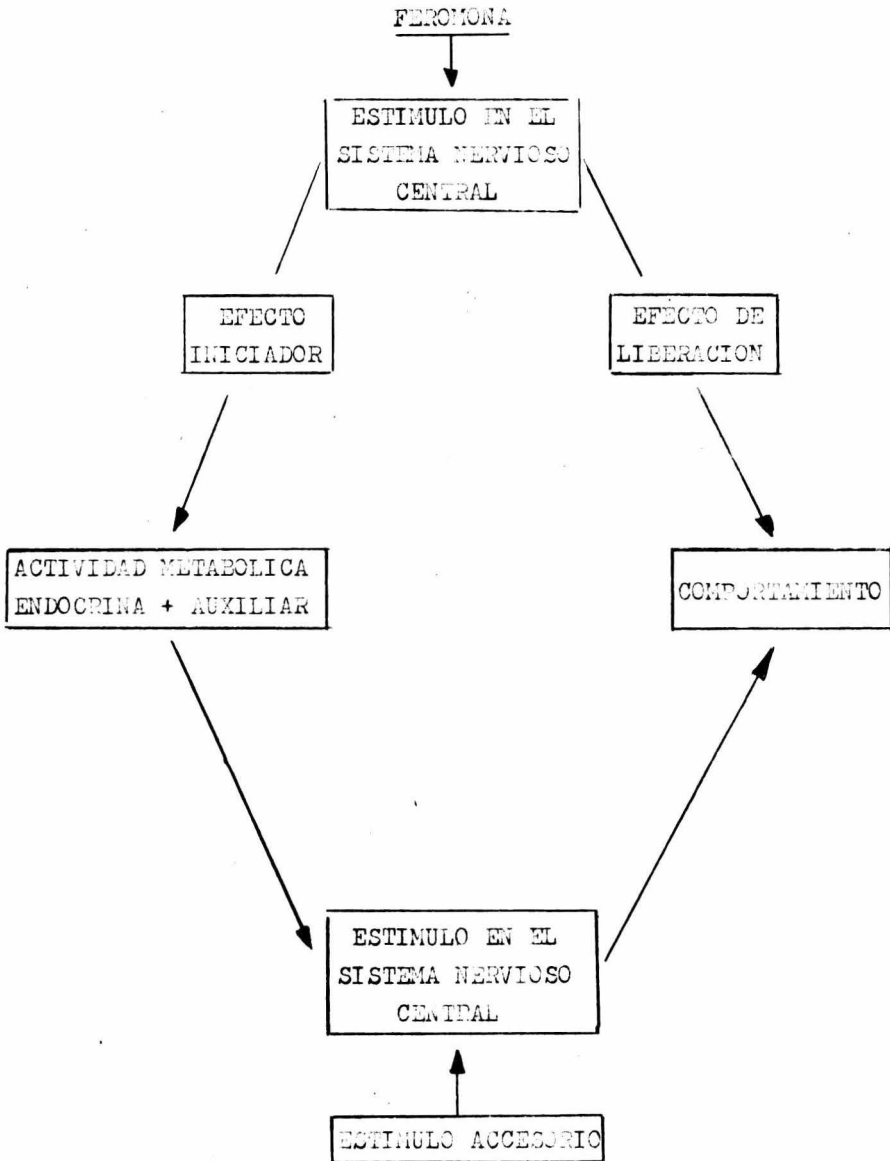


Fig. (2). Clasificación de las Feromonas según Wilson (9).

2.3 CLASIFICACION DE BUTLER

Butler (6) hizo dos tipos de clasificación; la primera según el medio en que son transportadas y así las divide en aéreas y terrestres, y la segunda clasificación la hizo considerando la función biológica que desempeña el compuesto, y así considera las feromonas de atracción sexual, de asociación, de alerta, de rastro, afrodisiacas, y las que controlan el desarrollo y la maduración sexual. La función biológica de las feromonas es el aspecto más conocido de éstas sustancias, los estudios realizados al respecto se han ido complicando, porque algunas feromonas tienen diferentes funciones bajo diferentes condiciones.

2.3.1 Feromonas Aereas.- son producidas por insectos voladores o que vuelan poco. Todas las feromonas producidas por este grupo de insectos se consideran aéreas y pueden cumplir -- funciones muy variadas: de atracción sexual, afrodisiacas, etc.

Un ejemplo de éste tipo de feromonas es el atrayente --- sexual que espanta la abeja reina virgen durante su vuelo nupcial.

El canal de comunicación por el cual viaja el mensaje es el aire, y no tiene relación con la función biológica que desempeña la feromona.

La distancia a la que pueden rastrearse éstas sustancias

es muy variable, puede cubrir desde un metro hasta Kilómetros. Por ejemplo, el gusano de seda (*Actias silene*) detecta la feromona a 11,000 metros, la palomilla gitana (*Porthetria dispar*) a 3,800 metros. Sin embargo, los trabajos recientemente realizados con otros insectos indican que las distancias son más cortas. -- Por ejemplo, la mosca de sierra del pino (*Diprion similis*) la -- detecta de 30 a 60 metros, la abeja mielífera (*Apis mellifera*) - a 60 metros.

La cantidad mínima suficiente para que el insecto responda al atrayente sexual recibido olfativamente es muy pequeña. - El macho de la cucaracha (*Periplaneta americana*) responde a concentraciones del orden de 10^{-20} g, el equivalente a 30 moléculas aproximadamente. El atrayente sexual de la palomilla gitana --- (*Porthetria dispar*) es efectivo a 10^{-18} g, y a la misma concentración se detecta la feromona del gusano de seda (*Bombyx mori*), y se ha comprobado para todas las especies de insectos estudiados que las concentraciones de feromonas requeridas son muy bajas (6)

En la naturaleza, las hembras usan sus poderosas feromonas para inducir su presencia en una gran area, con un mínimo - gasto de energía.

Aplicando modelos matemáticos a los procesos de difusión, con los datos obtenidos experimentalmente, Wilson y Bossert (9) dedujeron la forma y el tamaño del espacio elipsoidal, en el - cual, los machos de las palomillas pueden ser atraídos en condiciones naturales. Este experimento fué realizado con el ayplure, que es el atrayente sexual de la palomilla gitana. Como se ilustra en la figura No. (3).

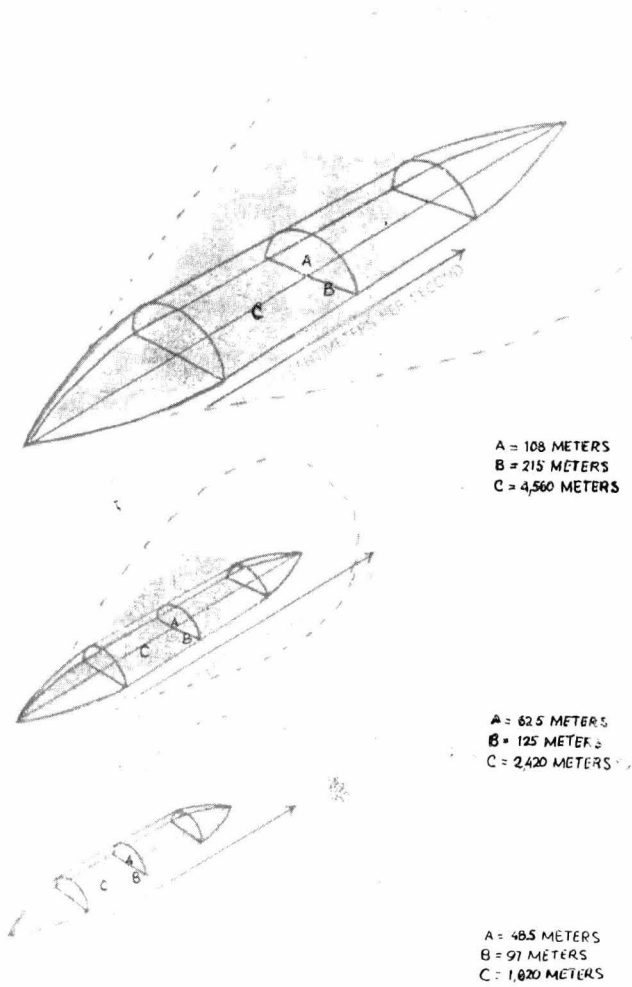


Figura No. (3) Modelos de los Procesos de difusión de la feromona de la palomilla gitana. Wilson Bossert (9).

La zona punteada es un espacio activo del gyloure, que es el atrayente sexual de la palomilla gitana, en el primer ejemplo son las medidas reales, los otros dos se obtienen aplicando modelos matemáticos.

Cuando sopla un viento moderado, el arrastre es suave, y el espacio activo tiene un eje longitudinal de cientos de metros, el eje transversal paralelo a la tierra es de más de 200 metros. Cuando el viento es más intenso produce turbulencias, y esto hace que la distancia longitudinal sea menor.

Los experimentos realizados recientemente por el investigador alemán Schwinck (9), han revelado que cuando el macho es atraído por la feromona, puede ocurrir que el macho vuele en dirección contraria al viento hasta llegar a encontrar a la hembra, o bien, cuando por accidente sale de la zona activa, vuela cambiando bruscamente de dirección, hasta encontrar nuevamente la ruta que lo conduce a encontrar a la hembra.

2.3.2 Feromonas Terrestres.- en esta categoría se agrupan las feromonas dejadas en lugares como el suelo, las ramas y cortezas de los árboles, o las paredes. Por ejemplo, muchas hormigas y termitas marcan su rastro sobre objetos pequeños como las hojas caídas de los árboles, piedras, ramitas, etc., a lo largo de la ruta que recorren y que los ha de conducir al nido, o bien a una fuente de alimento.

Para detectar su ruta otros miembros de la especie, se ayudan palpando con las antenas y palpos maxilares, el suelo y los -

objetos por donde la trazaron; en el caso de perder el rastro, - regresan un tramo y dan de vueltas hasta encontrar nuevamente el rastro.

Los rastros dejados deben ser renovados continuamente -- para evitar que se borren (6).

En el siglo XIX el naturalista francés Fabre (9), especulando sobre los atraentes sexuales de los insectos, dijo que éstos se podían comunicar a grandes distancias únicamente por su olor, ya que sueltan un aroma que se difunde (por el aire, agua o tierra) abarcando una gran área, al igual que basta una sola gota de carmín para dar tintura a un lago y que se aprecie su -- color. Ahora sabemos que la analogía propuesta por Fabre es correcta y que los poderosos receptores que poseen los insectos, - hacen que esto sea posible.

La otra clasificación que hizo Butler fué agrupar a las feromonas dependiendo de su actividad biológica y bajo los siguientes nombres: feromonas de atracción sexual, de asociación, de alerta, de rastro, afrodisiacas, y las que controlan el desarrollo y la maduración sexual.

2.3.3 Feromonas de Atracción Sexual.- son secretadas externamente por el insecto adulto, para atraer desde una gran distancia a miembros del sexo opuesto y de la misma especie. Generalmente la hembra estimula al macho y lo atrae para inducirle - los movimientos copulatorios.

La comunicación a distancia de algunos insectos no sociales puede ser vital para la supervivencia. En las especies de insectos en que el apareamiento solo ocurre una vez, la producción de la feromona cesa después de la copulación (18).

Las primeras feromonas que se identificaron fueron las sexuales, y posteriormente encontraron las demás feromonas que desempeñan diferentes funciones en el comportamiento de las especies.

Para empezar el estudio de las feromonas se escogieron inicialmente especies de insectos que se adaptaran fácilmente al trabajo de laboratorio, y que su estudio tuviera importancia económica. Los investigadores de éste campo se encontraron con los siguientes problemas:

10. Localizar el sitio donde el insecto produce o almacena la feromona, para ser extraída.
20. Localizar entre un gran número de componentes químicos del extracto del insecto, cual es la feromona.
30. Determinar su estructura con pequeñísimas cantidades aisladas.
40. Producir la feromona sintética para comprobar la estructura correcta de la feromona natural y su actividad biológica.

Para aislar la feromona casi no se utiliza la técnica de aislar la glándula productora de la feromona, porque

en la mayoría de los casos no se sabe exactamente cual es y donde se localiza. La primera técnica que se utilizó para el aislamiento fué cortar los últimos segmentos del abdomen, que generalmente son los reservorios de la feromona; con ésta técnica se aisló la feromona del gusano de seda. Otra técnica de aislamiento consiste en pasar una corriente de aire sobre los cuerpos de los insectos y condensar el aire para obtener la feromona; pero éste método requiere de mucho tiempo, durante el cual puede descomponerse químicamente la feromona. Un método más utilizado consiste en lavar la superficie cuticular del insecto con solventes, para obtener un extracto que posteriormente se concentra, pero la feromona se encuentra muy impurificada con otras excreciones del insecto.

Como las feromonas son sustancias muy volátiles, es ideal el uso del cromatografo de gases para determinar su estructura en combinación con los espectógrafos de masas, resonancia magnética nuclear, infrarojo y el ultravioleta, logrando un microanálisis que permite determinar fácilmente la estructura de la feromona.

Una vez que se ha determinado la estructura química de la feromona, se procede a sintetizarla para comprobar -- que la estructura propuesta es la correcta, y la manera de comprobarlo es con las llamadas técnicas de bioensayo, que consisten en colocar la feromona natural y sintética en trampas que atraen al insecto y no permiten que éste escape, para comparar la actividad de las sustancias probadas. Esta técnica no es muy confiable

porque se ha encontrado que algunos insectos pueden dar respuesta positiva dentro del laboratorio, y negativa en el campo, o sea, en las condiciones normales de vida del insecto.

Los mejores resultados para medir la actividad biológica de las sustancias propuestas como feromonas, se han logrado con la técnica del electro-antenograma (EAG), que consiste en grabar la respuesta ante un estímulo dado de un sensor aislado, y por comparación de los patrones de respuesta se puede saber si se trata de la misma sustancia la que produce el estímulo y con que intensidad.

Cuando se utilizan los cromatografos de gases en combinación con el EAG, solo se requiere de 50 a 200 insectos para lograr el estudio completo de la feromona. Sin embargo, es arriesgado decir que la feromona identificada por el método del EAG es la feromona natural, porque el insecto puede responder positivamente a otras sustancias aunque no sean exactamente iguales al extracto natural (18).

Las feromonas sexuales se han estudiado ampliamente en los insectos del orden de las lepidópteras, que comprende a los insectos con metamorfosis complicada, provistos con cuatro alas membranosas, que tienen la boca en forma de trompa chupadora arrollada en espiral; sus larvas son las orugas, y sus ninfas se llaman crisálidas. Corresponden a éste grupo las mariposas, palomillas y polillas. Las orugas de muchos de ellos producen graves daños a las plantas agrícolas o forestales.

La tabla No. (2) muestra algunos de los atraentes sexuales de lepidópteras que han sido identificados.

FEROMONAS SEXUALES DE LEPIDOPTERAS

ESTRUCTURA		ESPECIE DE INSECTO
2 0 2 4 6 8 10 12 14 16		Larva de la berza (<i>Trichoplusia ni</i>)
		Mosca de la fruta oriental (<i>Grapholitha molesta</i>)
		Mosca de la uva (<i>Paralobesia viteana</i>)
		Gorgojo del Maíz europeo (<i>Ostrinia nubilalis</i>)
		Mariposa nocturna (<i>Adoxophyes orana</i>)
		+ y (<i>Adoxophyes fasciata</i>)
		Gorgojo indio del harina (<i>Plodia interpunctella</i>)
		Gorgojo del almendra (<i>Cadra cautella</i>)
		Mariposa nocturna del sur (<i>Prodenia eridania</i>)
		Gusano de seda (<i>Bombyx mori</i>)
		Palomilla gitana (<i>Porthetria dispar</i>)
2 0 2 4 6 8 10 12 14 16 18		

Tabla No. (2) Estructura de las feromonas de insectos del orden de las lepidópteras que han sido identificadas por métodos químicos y espectroscópicos.

Una de la plagas que más han preocupado a los agricultores de América ha sido la del picudo del algodón (*Anthonomus grandis*), que anualmente destruye grandes cantidades de algodón, se ha calculado que cada habitante de los Estados Unidos paga diez dolares más al año de lo que debería pagar por los tejidos de algodón que necesita, a causa de los daños que el picudo del algodón produce en las plantaciones. Los daños son causados por los adultos y sus larvas; aquellos por alimentarse de la planta del algodón y por las perforaciones que producen para depositar sus huevos, y las larvas por los estragos que hacen a las flores, lo cual hace que las fibras sean escasas y cortas.

Las orugas de muchas mariposas atacan a las especies forestales, la palomilla gitana (*Porthetria dispar*) es originaria de Europa, y sus orugas llamadas lagartas, atacan a los robles y encinos. Esta especie también produce daños a los bosques de América por haber sido introducida accidentalmente al Nuevo Mundo.

Al gusano rosado del algodouero (*Pectinophora gossypiella*), originario de Egipto, destruye las semillas de ésta planta.

El gusano u oruga del elote (*Heliothis armigera*) produce graves daños a los maizales, por destruir los granos -- tiernos del maíz. La mariposa de la col (*Pieris brassicae*) ataca a ésta hortaliza.

Sin embargo, algunas especies son útiles, entre ellos se encuentra la mariposa del gusano de seda (*Bombyx mori*),

es originaria de Asia, pero el cultivo del gusano de seda se extendió por Europa Meridional, China y la India, para desarrollar la industria productiva de la sedicultura.

También a éste grupo pertenecen insectos que contribuyen a la polinización de diferentes plantas, como la palomilla de las yucas (19).

La producción de feromonas sexuales para muchas especies de mariposas y polillas ha sido bien estudiada, y se han podido identificar tanto las que produce la hembra para atraer al macho, como las que produce el macho durante el cortejo, a éstas últimas se les conoce como afrodisiacas, y solo tienen efecto a cortas distancias.

El primer investigador que estudió las feromonas de las lepidópteras fué Butenandt (20), quién logró identificar la feromona sexual de la hembra del gusano de seda (*Bombyx mori*), logrando purificar solo 12mg extraídos de medio millón de hembras vírgenes. A la feromona le dió el nombre de bombykol, que químicamente resultó ser el trans-10-cis-12-hexadecadién-1-01.

La mayoría de los atrayentes sexuales de las lepidópteras han sido identificados como monoenos o dienos a lo largo de una cadena que puede ser de alcoholes, grasas o acetatos, con 12 a 14 átomos de carbono. Por lo general las feromonas hasta ahora identificadas están formadas por una sola sustancia, y son muy pocos los casos en que se requiere la presencia de dos compuestos para realizar la función de feromona.

La hembra de la mosca de la **fruta** (*Adoxophyes orana* y *A. fasciata*) produce una potente feromona formada del cis-9 y del cis-11-tetradecil acetato para la atracción sexual del macho (21).

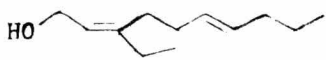
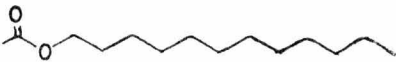

Los gusanos de las manzanas y peras de las especies *Carpocapsa* y *Laspeyresia pomonella*, en el estado de larvas se encuentran en el interior de los frutos, y en éste estado producen graves daños, los cuales representan pérdidas considerables que se cuentan por millones de pesos al año (19).

Mc. Donough (22) dedicando sus trabajos a la determinación de la estructura química de la feromona de los gusanos de la peras y manzanas, reportó como componente el cis-2-trans-6,7-metil-3-propil, deca-cis-2-trans-6-dién-1-ol, mientras que el investigador Roelofs (23) en base a los estudios realizados con las técnicas de electro-antenograma (EAG), sugiere que la estructura de la feromona natural puede ser el dodeca-trans-8-trans-10-dién-1-ol.

Estas discrepancias solo podrían aclararse realizando experimentos comparativos de las pruebas de campo, puesto que cada autor tiene evidencias para suponer que la estructura que propone es la correcta para la feromona natural. Sin embargo, no se ha reportado aún la aclaración de éste problema.

Para algunas especies de insectos sus feromonas solo se han identificado por EAG, y no se ha comprobado química mente si la estructura que propone para la feromona es la correcta. La tabla No. (3) da las estructuras de algunas de ellas.

FEROMONAS SEXUALES NO BIEN IDENTIFICADAS
SUS ESTRUCTURAS QUIMICAS

ESTRUCTURA	ESPECIE DE INSECTO
2 0 2 4 6 8 10 12 14 16 	Gusano de la manzana (<i>Laspeyresia pomonella</i>)
..... 	Falso gusano de la manzana (<i>Argyroplote leucotreta</i>)
..... 	Gorgojo del Harina del Mediterraneo (<i>Anagasta kuehniella</i>)

FEROMONA SEXUAL IDENTIFICADA UNICAMENTE POR EL METODO DEL ELECTRO ANTENOGAMA, SIN PRUEBAS QUIMICAS:


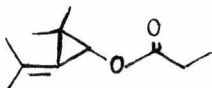
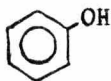
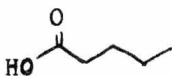
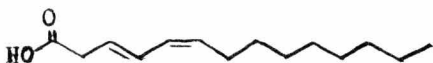
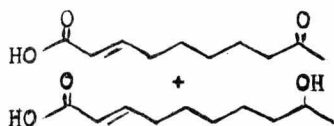
..... 	Gusano de la manzana (<i>Laspeyresia pomonella</i>)
2 0 2 4 6 8 10 12 14 16	

Tabla No. (3) Estructura de las feromonas que no han sido bien identificadas, cuyas pruebas en el campo son ambiguas y no se reporta cual es la estructura correcta de la feromona natural.

FEROMONAS SEXUALES DE ESPECIES DE INSECTOS

NO — LEPIDOPTEROS

ESTRUCTURA



ESPECIE DE INSECTO

Díptera:

Mosca Doméstica
(*Musca domestica*)

Hymenóptera:

Abeja mielífera
(*Apis mellifera*)

Coleóptera:

Escarabajo negro de la
lana (*Attagenus megatoma*)Larva del azúcar de remola-
cha (*Limonijs californicus*)Larva del escarabajo del cé-
sped (*Costelytra zealandica*)

Orthóptera:

Cucaracha Americana
(*Periplaneta americana*)

Tabla No. (4) Estructura de las feromonas sexuales de las especies de insectos que no son lepidópteros, pero ha sido importante su estudio.

Muchas especies de insectos de diferentes grupos, representan un vehículo por medio del cual se diseminan gérmenes diversos que penetran en el organismo del hombre o los animales y propagan las enfermedades, como sucede en el caso del mosquito anópheles que transmite el paludismo picando a individuos sanos. Otras veces transportan sobre su cuerpo gérmenes microbianos de infecciones patógenas, que recogen en los lugares inmundos que frecuentan y diseminan.

Por lo general éstos insectos pertenecen al orden de los dípteros, que son insectos con un solo par de alas, trompa chupadora blanda o rígida, entre los que se encuentran - la mosca doméstica, mosco Anópheles, Culex, Aëdes, Chironomus, Simulium, Tabanus, etc. (19).

El macho maduro de la mosca doméstica, se ve fuertemente atrído por la feromona de la hembra, se vuelve sexualmente agresivo, y ataca a la hembra esté viva o muerta. A la feromona de la mosca doméstica se le ha dado el nombre de (Z)-9-tricoseno o Muscalure, y es producida solo por las hembras maduras. Su estructura se representa en la tabla No. (4) junto con las estructuras de feromonas de otros insectos que no son lepidópteras.

Comparando con otros atrayentes sexuales, el musculare no es muy atractivo, sin embargo su producción es económica, y puede tener la potencia económica para reducir la cantidad de insecticida empleada para el control de moscas (24).

Uno de los grupos biológicos más estudiados des de diferentes puntos de vista, lo forman las abejas y hormigas,

que pertenecen a los hymenópteros, los cuales presentan metamorfosis complicada, tienen alas membranosas, su aparato bucal es -- muy variable, pero generalmente es del tipo masticador con labio en forma de lengüeta que les permite absorción de sustancias líquidas. Algunos de éstos insectos son sociales como las abejas, hormigas y avispas, otros parasitan y atacan las plantas, en las que forman agallas o viven como parásitos de otros insectos que constituyen plagas agrícolas.

Las abejas son un ejemplo de insectos sociales que están provistas de un sistema de feromonas extremadamente complejo, llamado "sustancia reina".

Las abejas han sido observadas desde tiempo inmemorial a causa de los productos que proporcionan al hombre, -- como son la miel y la cera, por su cooperación en la tarea de -- polinizar las flores, y la extraordinaria organización social -- que tienen.

En la colmena existen tres clases de individuos: la reina o hembra, de la que solo hay una; un número pequeño de zánganos o machos, y un número considerable de obreras o hembras estériles (19).

La reina de las abejas realiza su vuelo nupcial durante el cual, segrega el ác. 9-oxodec-trans-2enoico (17). Que funciona como inhibidor del desarrollo de ovarios en las obreras, y junto con el 9-hidroxi-derivado, actúa como atrayente sexual de los zánganos (16). Aún más, cuando el zángano se encuentra volando al rededor de la reina también segrega una feromona, que

es producto de secreción de la glándula de Nassanoff para fortalecer la coordinación del aparato fecundo (19).

Después del vuelo nupcial la reina regresa a la colonia, en donde se ocupa de la oviposición (Fig. 4A). Los zánganos después del vuelo, son abandonados por las abejas a sus propias fuerzas, sin que las obreras les permitan el acceso a la colmena, cuando no son muertos por ellas, ya que su presencia constituye una carga para la comunidad, por ser inútiles y faltos de habilidad para el trabajo. La reina deposita sus huevecillos en cada celdilla de los diversos panales de la colmena, seguida de un grupo de obreras que están por completo a su servicio, y que forman el llamado cortejo real o guardia de honor, que jamás abandonan a la reina.

Las celdillas de los panales no son todas iguales, la mayoría son de contorno hexagonal, pero en determinados lugares del panal, hay algunas en forma de sacos irregulares, llamadas celdas reales. Entre las hexagonales existen a su vez de dos clases: una pequeñas que son las celdas de las obreras, y otras mayores en donde se desarrollarán los zánganos.

Los huevos de las abejas son de dos clases: los fecundos, de los cuales nacen las reinas y las obreras, y los no fecundos, de los cuales nacen los machos, los huevos no fecundos también reciben el nombre de partenogénéticos (Fig. 4B y 4C).

Las larvas que nacen de los huevos fecundos producen reinas u obreras, en atención al alimento que reciben, es decir, la reina les da con el alimento la sustancia reina para -

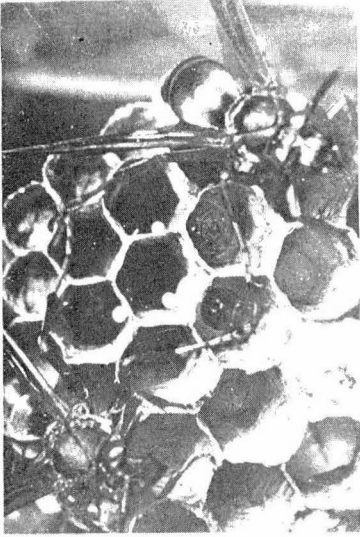


Fig. 4A

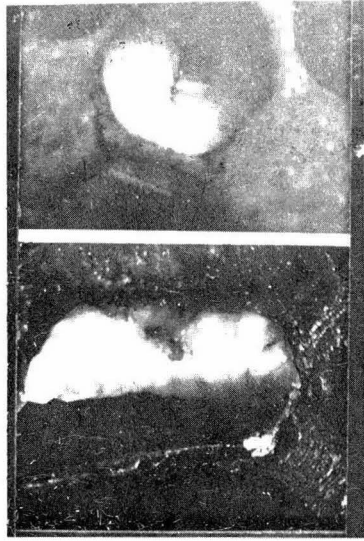


Fig. 4B

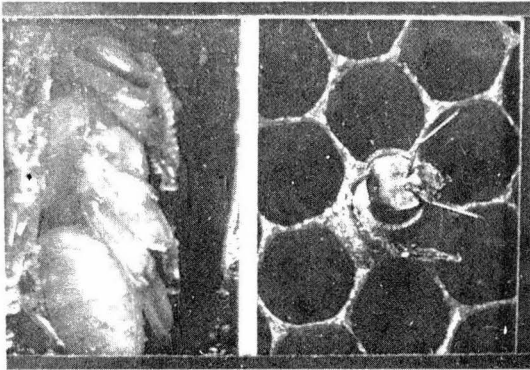


Fig. 4C

Fig. No. 4A, 4B y 4C .- El desarrollo de las Abejas.

prevenir la creación de potenciales rivales a las que serán reinas (19).

De ésta manera las feromonas juegan un papel - muy importante como determinar que el mismo tipo de huevo produzca una reina o una obrera (18).

Las larvas que se transforman en reinas, son - alimentadas durante todo su desarrollo con una sustancia segregada por las obreras, llamadas papilla o jalea real, en tanto - que las larvas que serán obreras, solo se alimentan de éste manjar especial durante los primeros días de su existencia.

En las colmenas solo existe una reina, cuando la reina vieja presiente el nacimiento de una nueva reina, trata de matarla, pero las obreras no lo permiten, y en la mayoría de los casos, opta por abandonar la colmena en que nació para formar un enjambre con obreras que le siguen en su marcha (19).

La feromona de la abeja reina es esparcida por toda la colonia, y cuando las abejas obreras lamen el cuerno de la reina, reciben diariamente la cantidad aproximada de diez microgramos de feromona, que es la cantidad suficiente para inhibir el desarrollo de ovarios en las obreras (Fig.4D y 4E).

En la misma sustancia reina la que actúa como inhibidora del desarrollo de las obreras como también es la sustancia que riega la reina durante su vuelo nupcial para atraer a los zánganos desde un kilómetro de distancia.

Las reinas de algunas especies de termitas, so lo utilizan como sustancia reina el ác. 9-oxodec-trans-2enoico



Fig. 4D

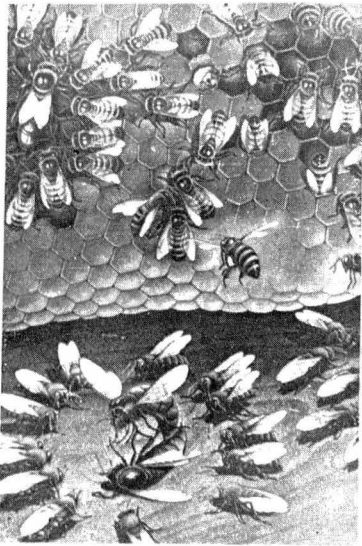


Fig. 4E

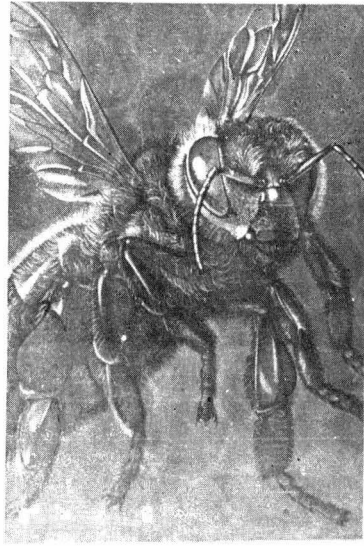


Fig. 4F

Fig. No. 4D, 4E, 4F .- Las larvas lamen el cuerpo de la reina para ingerir la feromona.

Los coleópteros son insectos con boca mastica-
dora, sus alas anteriores coréáceas formando un estuche, entre
ellos se encuentran los escarabajos golitahus, megasoma, de agua,
peloteros, la catarinita de la papa, aceiteras, pinacates, maya
tes, ciervos voladores, cetonias, gusanos de luz, gorgojos, pi-
cudos, cicidelas, cárabos, etc. (19). Las feromonas de los esca-
rabajos, son de estructuras muy diversas, en algunas especies -
las producen las hembras y en otras los machos.

La feromona se la hembra del escarabajo negro -
de la lana (*Attagenus magatoma*) produce alcoholes y ácidos gra-
sos y se especula que también hay otras feromonas secundarias no
identificadas.

Se ha descrito que la feromona sexual de la lar-
va del azúcar de remolacha (*Limonius californicus*) es el ác. va-
lérico. El atrayente sexual de la larva del escarabajo del césped
(*Costelytra zelandica*) es fenol, el cual se cree que proviene -
de la acción de una bacteria simbiótica o como producto metabóli-
co de la tirosina de las glándulas colaterales de la hembra (18).

2.3.4 Feromonas de Asociación.- muchas especies de inse-
ctos de diferentes ordenes se asocian para varios propósitos, en-
tre ellos se incluyen la mutua protección y el apareamiento.

La asociación puede ser temporal (para invernar
o para aparearse) o persistente (colonias de insectos sociales
como las abejas). Tales asociaciones pueden ser por miembros de
uno o ambos sexos, y de la misma especie, u ocasionalmente, de-

varias. En algunas especies se ven claramente involucrados varios tipos de feromonas. Como ejemplo de asociación temporal se puede citar el vuelo nupcial, compuesto de una danza, la acción de las feromonas sexuales que libera la hembra, las afrodisiacas del macho, zumbido o ruido, aleteo, y otros signos especiales. El vuelo nupcial tiene como fin estimular la actividad fisiológica reproductiva de los participantes.

También son feromonas de asociación temporal - las que mantienen la unión de insectos para invernar y para unir se en el verano; son usadas preferentemente por los escarabajos, y es probable que sea un material volátil colocado en la corteza del árbol.

Los olores de los productos de degradación del nido atraen a las hembras, funcionando como feromonas de oviposición (6).

Norris (25) encontró que la hembra de la langosta de desierto (*Schistocerca gregaria*), posee una feromona - para atraer a otras hembras y asociarse en los lugares de oviposición, es probable que la tengan en la superficie del cuerpo, y las transmitan por frotamiento para ser detectada por el tacto.

Probablemente estas feromonas sean liberadas - en el caso de insectos subsociales, para mantener unido al grupo y protegerse mutuamente, y tal vez, también ayuden a mantener la cohesión de las colonias de larvas de otros insectos sociales. Así se ve claramente que éstas feromonas son importantes en situaciones tales como asociación para el apareamiento, para

protección del grupo, invernación, y en forma muy especial, para la oviposición.

La asociación persistente es la que llevan a cabo solo los insectos sociales, como abejas, hormigas, avispas y termitas, que forman colonias en donde cada individuo depende de los otros. La cohesión de la colonia se mantiene por varios factores, entre los que se incluyen una o más feromonas, que pueden ser producidas por la reina, las obreras, las larvas, y algunas veces por los machos.

Entre los insectos que presentan asociación persistente, los más estudiados son las abejas, en las que se sabe que las feromonas que mantienen la cohesión de la colonia es la producida por las glándulas mandibulares de la reina.

Simpson (26) ha realizado trabajos importantes para demostrar que la cohesión en el panal de la abeja mielífera (*Apis mellifera*) depende del ác. 9-hidroxi-trans-2decenoico, que es una entre más de veinte sustancias que componen la sustancia reina, muchas de las cuales son feromonas para diferentes funciones; y que se encuentran presentes en las secreciones de las glándulas mandibulares de la abeja reina.

Las colonias que han perdido sus reinas, pronto tratan de sustituirla con otra reina para que no les falte esa feromona, de lo contrario, se rompe la cohesión de la colonia.

La cohesión en las colonias de hormigas, avispas y termitas, también-persiste por las sustancias secretadas por sus reinas, y posiblemente por las sustancias estabilizadoras

de sus obreras, pero no han sido tan bien estudiadas como las de las abejas (6).

2.3.5 Feromonas de Alerta.- muchos insectos segregan sustancias causticas, nauceabundas, pegajosas, etc., para protegerse del enemigo, muchas de éstas sustancias no son feromonas, porque no afectan el comportamiento de otros miembros de la misma especie; sin embargo, son secreciones de defensa. El ác. fórmico que segrega la hormiga (*Formica rufa*), la protege de sus enemigos, y también sirve para prevenir del peligro a los otros miembros, y por lo tanto se puede considerar como feromonas.

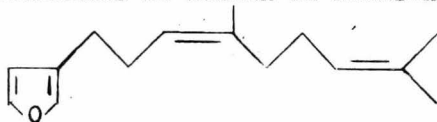
A éstas feromonas también se les llama sustancias de alarma, se ha demostrado que las tienen 21 especies de hormigas, abejas, y algunas termitas. En todas las especies estudiadas se ha visto que son producidas por las obreras y por diferentes glándulas, dependiendo del tipo de insecto.

Se ha demostrado que la secreción de las glándulas mandibulares se seis tipos de hormigas es 4-metil-3-heptanona, y es la feromona de alerta de todas esas especies. En el caso de la abeja mielífera, la reina también secreta la feromona de alerta, que fué identificada como 2-hentanona (6).

La mayoría de las feromonas de alerta que han sido aisladas e identificadas, son terpenos con pesos moleculares inferiores a 200, muy volátiles y con una vida muy corta una vez que han sido segregadas. Cada especie responde frecuentemente a las sustancias de alarma de otros insectos.

La sustancia de alarma usada principalmente en los confines del nido, no necesita la potencia estimulante de los atrayentes sexuales para poder llevar el mensaje de alarma a grandes distancias. Por ésta razón, unas cuantas moléculas producen la señal de alarma. La fig. No. (5) ilustra las estructuras de las cuatro feromonas de alarma que han sido identificadas en las hormigas obreras (9).

FEROMONAS DE ALARMA DE HORMIGAS



DENDROLASIN (*Lasius fuliginosus*)



2-HEPTANONA (*Iridomyrmex pruinosus*)



CITRAL (*Atta sexdens*)



CITRONELAL (*Acanthomyops claviger*)

Fig. No. (5).- Estructura de las feromonas de alarma identificadas en las hormigas obreras.

2.3.6 Feromonas de Rastro.- generalmente son de rastro - terrestre, pero la reina de las abejas tiene una feromona de rastro aerea, que le permite guiar a los zánganos hacia ella durante su vuelo nupcial.

Las feromonas de rastro más estudiadas son las de las hormigas, que les permiten marcar el camino desde el nido hasta la fuente de alimento (6).

El rastro que deja la hormiga se fuego consiste en una sustancia secretada en nequeñas cantidades por las glándula de Dufour (Fig. 6), va soltando la sustancia intermitentemente al suelo, como se distribuye la tinta de una pluma al escribir.

Las feromonas de rastro no han sido bién identificadas químicamente, probablemente por la dificultad de obtenerlas.

Cuando una hormiga encuentra una fuente de alimento, traza un rastro hasta el nido, y comunica a las demás hormigas por medio de contactos con las antenas, su alimento; las demás hormigas salen del nido y se dirigen hacia el lugar que les conduce el rastro, toman alimento y regresan, remarcando el rastro para evitar que se borre (Fig. 7). Cuando la fuente de alimento se va agotando, las hormigas ya no remarcan el rastro, para que éste se borre. Aún más, el rastro tiene orientación, la forma de las gotitas del atrayente al ser depositadas con la punta del abdomen, tienen forma alargada que les permite saber si va o viene.

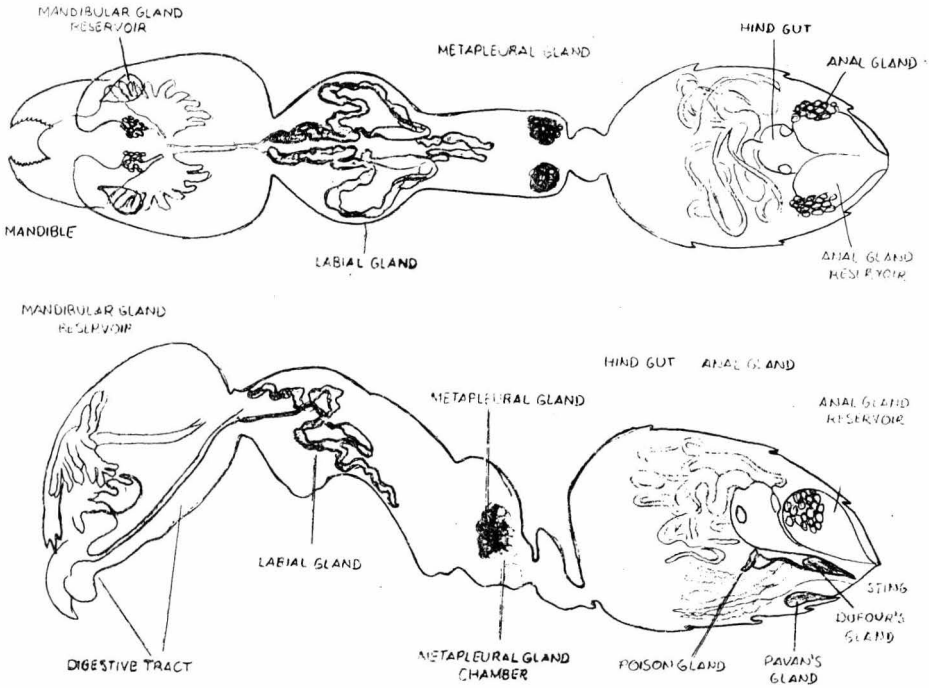


Fig. No. (6).- Sistema glandular exócrino de las hormigas obreras especialmente adaptado para la producción de sustancias químicas que permiten establecer la comunicación. Algunas feromonas son almacenadas en reservorios y liberadas repentinamente solo cuando se necesitan; otras son secretadas continuamente. Dependiendo de la especie, las sustancias de rastro son producidas por las glándulas de Dufour, de Pavan o de Poison. Las sustancias de alarma son producidas por las glándulas mandibulares y anales, las que producen otras feromonas son desconocidas.

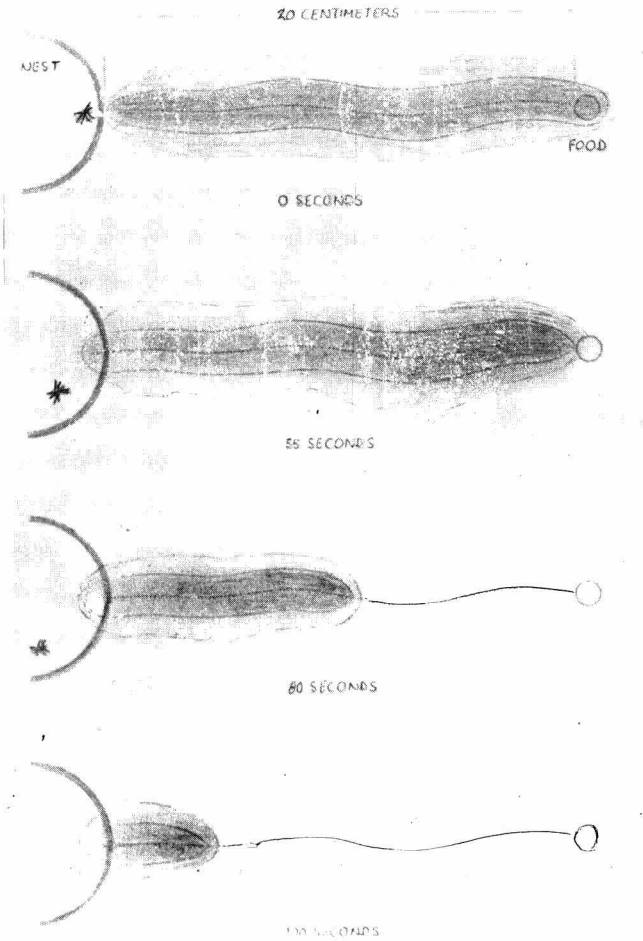


Fig. No. (7).- Muestra el espacio activo de un rastro trazado por hormiga, el cual se va borrando por la evaporación de la feromona si éste no es renovado. Ocasionalmente la hormiga puede perder el rastro si se encuentra muy borrado, palpa el suelo con sus antenas y mueve la cabeza de un lado a otro hasta que encuentra nuevamente donde continúa el rastro (9).

2.3.7 Feromonas Afrodisiacas.- son sustancias generalmente producidas por el macho, que forman parte de un complejo comportamiento que prepara al sexo opuesto a la copulación.

Estas feromonas empiezan a actuar después de que ha sido atraído el macho por las feromonas sexuales de la hembra y se han encontrado ambos. Estimulan al insecto por el olfato, - así lo hacen muchas especies de mariposas, o también lo pueden percibir por los órganos gustativos, como lo hacen las cucarachas.

Cuando el zángano de las abejas ha sido atraído por la feromona de la reina, agita rápidamente sus alas para liberar la feromona afrodisiaca, que es el ác. 9-oxo-decanoico, -- que le permite copular con la reina.

Los machos de la mariposa *Danaus* producen la feromona afrodisiaca que está compuesta principalmente por tres componentes que son: 2,3-dehidro-7-metil-1-H-pirrolizín-1-ona; N-hexadecil-acetil-acetato y cis-vacenil-acetato. Se ha demostrado que los machos de algunas especies de cucarachas tienen glándulas dorsales abdominales en las que producen las sustancias afrodisiacas olfativas, y probablemente también gustativas (6).

Las glándulas del aroma de muchos machos de mariposa, están asociadas a unas brochetas especiales para dispersar el aroma afrodisiaco (Fig. No. 8). Posiblemente algunas afrodisiacas sean específicas de la especie, evitando así apareamientos cruzados con otras especies, pero no hay evidencias de que esto ocurra exactamente (20).

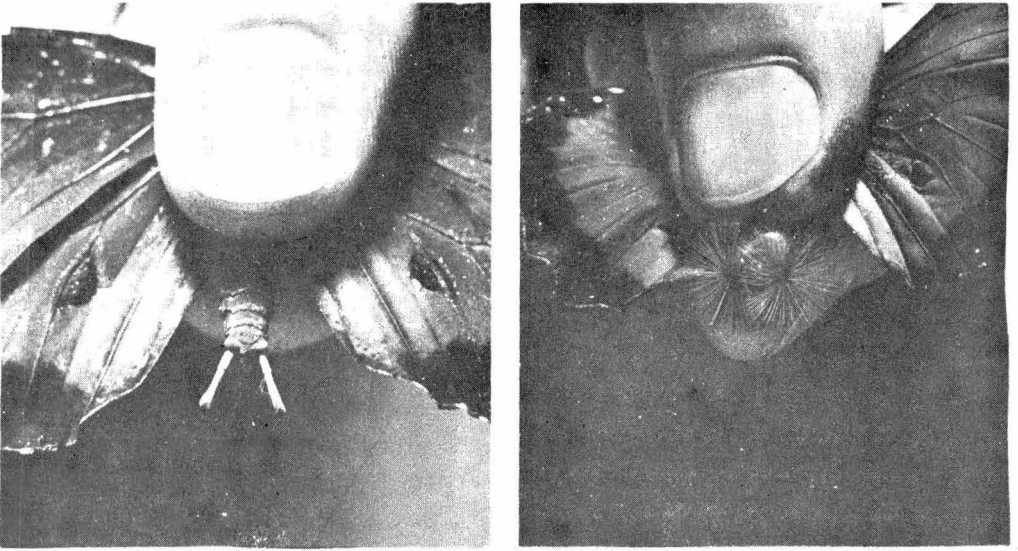


Fig. No. (8).- Algunos machos de mariposas tienen unas brochas en las antenas especiales, para dispersar la feromona - afrodisiaca sobre la hembra y estimularla a la copulación (20).

2.3.8 Feromonas que Controlan el Desarrollo y la Maduración Sexual.- la madurez de algunos individuos que viven asociados temporalmente, se ve influenciada por feromonas producidas por otros miembros de la comunidad. La maduración de las abejas obreras es prevenida por la sustancia reina.

En cambio, la langosta del desierto, acelera la maduración sexual de los otros miembros de la comunidad. Cuando el macho adulto de la langosta del desierto (*Schistocerca gregaria*) está sexualmente maduro, cambia del color café rojizo, a un color amarillo brillante, y la presencia de un macho maduro, acelera la maduración sexual de hembras y machos jóvenes. Las hembras maduras estimulan mucho menos enérgicamente a la maduración de machos jóvenes. El estímulo de los machos probablemente solo sea efectivo a muy cortas distancias, porque la feromona es una sustancia volátil que cubre los cuerpos de los machos maduros, y es percibida por los órganos olfativos de las antenas y por los palpos labiales y maxilares. Este comportamiento ha servido para medir la actividad de las sustancias que se supone presentan actividad biológica, cuando mueven las antenas es que las están percibiendo, y si cambian de color los machos, es que la sustancia aceleró la maduración sexual.

Se ha encontrado que la feromona es producida por las glándulas epiteliales, y es soluble en disolventes grasos. De 500 fracciones obtenidas de machos amarillos, se aisló el pigmento que resultó ser β -caroteno más la feromona (6).

3. MECANISMOS DE RECEPCION

El objetivo de un receptor es detectar los cambios en el medio ambiente y convertirlos en impulsos nerviosos. Todos los sistemas nerviosos, ya sean simples o complejos, deben contener algunas unidades que funcionen como receptores; y de ésta manera, un organismo solo puede detectar aquellos estímulos para los cuales tiene receptores. Así por ejemplo, un pez no puede escuchar las ondas sonoras cuando se encuentra fuera del agua, y los humanos no podemos ver la luz infrarroja por carecer de los receptores adecuados.

Son indispensables tres requisitos generales para establecer la comunicación:

Primero, para evitar que las señales se confundan con otras, deben existir órganos que las produzcan siempre de igual manera.

Segundo, el organismo que recibe la señal debe tener receptores capaces de distinguirla de otras señales parecidas.

Tercero, debe existir un sistema que pueda interpretar y coordinar la información recibida.

Una investigación sobre los diferentes tipos de receptores en el reino animal, mostró que la información ambiental utilizada con mayor frecuencia es la que proviene de la luz, la temperatura, las sustancias químicas, el sonido y la gravedad.

Para captar ésta información, todas las especies tanto animales como vegetales, están provistas de los receptores adecuados, siendo muy simples para los organismos inferiores, y más complejos para los mamíferos y vertebrados. Un organismo además de estar provisto de órganos receptores, posee los órganos - productores de las señales (1).

3.1 ORGANOS PRODUCTORES

La transmisión de información por medio de feromonas, es solo un paso para que se lleve a cabo la comunicación química. Las feromonas pueden ser producidas en lugares muy di--versos; algunos insectos poseen glándulas especiales para su producción, como es el caso de las glándulas mandibulares de las --abejas (18).

Las hormigas tienen todo un sistema glandular - exócrino especialmente adaptado para la producción de feromonas, (Fig. 6). La glándula especializada para la producción de fero--monas puede ser variable, dependiendo de la especie de hormiga, así las feromonas de rastro pueden ser producidas por las glándu--las de Dufour o Pavan, o por las glándulas del veneno, mientras que las sustancias de alarma son producidas por las glándulas --mandibulares y anales. Las glándulas que producen otro tipo de -feromonas no han sido estudiadas (9).

En otras especies de insectos, como el gusano - de seda, no se sabe exactamente que glándulas producen sus fero--monas, pero para aislarla, se cortaron los últimos segmentos del abdomen de la hembra, lo cual indica que ahí tiene sus reser--orios (11).

Algunos científicos de la universidad de Pensil--vania, encontraron que hay insectos que no fabrican sus fero--monas, sino que acumulan algunas de las sustancias que ingieren en

sus dietas, para usarlas posteriormente como feromonas.

Así se encontró que la feromona de atracción sexual que usa la palomilla de los robles de hoja cilíndrica, es una sustancia obtenida de las hojas de éste tipo de roble, del cual se alimenta.

Para llegar a ésta conclusión se analizaron las sustancias provenientes de los extractos de abdómenes de las hembras, lo cual significa que tienen sitios especiales para almacenarlas. La feromona químicamente es el cis-10-tetradecil-acetato.

Una misma especie de insecto que habite en regiones diferentes, tiene una dieta alimenticia diferente, y por lo tanto, sus feromonas químicamente pueden variar, en función a la región geográfica que ocupan y a la estación del año debido a variaciones en la alimentación (27).

3.2 RECEPCION

A partir de 1964 se han venido realizando experimentos neurofisiológicos para estudiar el mecanismo receptivo, que es básicamente similar en todas las especies animales.

El sistema receptivo está compuesto por neuronas sensoras conectadas al sistema nervioso central.

Los primeros experimentos realizados para conocer el mecanismo de la recepción, consistieron en grabar la actividad del impulso producido en una antena de abeja, sensible a cambios en concentraciones de bióxido de carbono a las que fue sometida, y comparativamente grabando los impulsos con una neurona aislada. Se ha encontrado experimentalmente que ambos estímulos dan la misma curva de respuesta, lo cual demuestra que la recepción de estímulos es transmitida vía neuronal de una manera muy eficiente.

El tipo de receptores para recibir el estímulo puede ser auditivo, olfativo, táctil, etc., dependiendo de los requerimientos de la especie.

El nivel al cual es descodificado el lenguaje quimiorreceptivo, está poco estudiado. Lo que se ha podido conocer, es que la respuesta neuronal de un solo sensor del antena, es comparable con la respuesta de todo el insecto, y por eso, basta la excitación de un solo sensor, para que se produzca como respuesta un cambio en el comportamiento del insecto.

Las teorías que se usan en los estudios de quimiorrecepción, están a nivel de hipótesis de la recepción o código de estímulos (3).

El término estímulo es aplicado a organismos vivos, y puede ser aquella influencia que se origina en el medio ambiente interior o exterior, la cual motiva una reacción biológica. El estímulo químico, ampliamente considerado, es aquella influencia química para que otro organismo reaccione.

La quimiosensibilidad general, es una discreta respuesta, en la superficie del cuerpo, y otros órganos internos, actuando como un sistema de defensa. La sensibilidad del receptor es la respuesta rápida.

Las dendritas de las células receptoras son excitadas por compuestos adecuados, para los cuales, la célula responde específicamente. Estas células son moderada o extremadamente sensitivas. El mensaje nervioso se forma fuera del receptor, integrándose cuando viaja por las fibras nerviosas del sistema nervioso central.

Todos los sistemas receptores, son básicamente similares en los grupos de organismos relacionados, sin embargo, hay notables similitudes en especies no relacionadas como resultado a una adaptación al medio ambiente. Por eso los sistemas receptores comprenden un límite de palabras químicas dependiendo del lugar donde vive ese organismo.

Las modalidades de los sistemas de quimiorrecepción en los insectos, son análogas al sabor y al olor de los --

vertebrados. Anatómicamente son diferentes los sentidos del olfato y el gusto de los vertebrados y los insectos, sin embargo, las células especializadas para éstas funciones se comportan de la misma manera.

Los insectos son especialmente sensibles a los olores, para interpretar los mensajes contenidos como signos químicos, y por lo tanto, son un buen modelo de sistema de recepción, accesible y morfológicamente bien entendido.

Los insectos poseen muchos receptores de feromonas, con células de idéntica reactividad y extrema sensibilidad, que los hace ideales para la investigación de los mecanismos de quimiorrecepción, o sea, encontrar la causa de que las sustancias tengan olor y sabor.

Para poder estudiar la olfación, fué necesario estudiar lo más avanzado de la visión, bioquímica, biofísica, neurofisiología y psicofísica, y a pesar de todos estos estudios, solo se han podido dar las teorías de la olfación, porque no hay manera de demostrarlo experimentalmente (7).

La identificación de los quimiosensores no es tan obvia como la de los fotosensores, o los receptores del sonido; para poder identificar exactamente los lugares en donde se encuentran los quimiosensores de los insectos, fué necesario extirpar partes de su cuerpo. Se ha demostrado que los principales sitios de la quimiorrecepción son las antenas, papilas maxilares y labiales y las piernas (Fig. 9A, B y C). Los pelitos de quimiorrecepción por contacto son un grupo de células cubiertas por una membrana y que conectan con un nervio.)

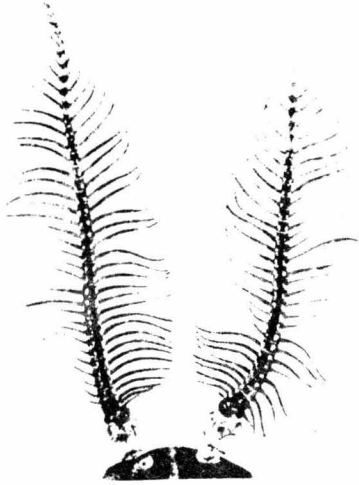


Fig. 9A



Fig. 9B



Fig. 9C

Fig. (9A).- La mariposa de seda tiene el sentido del olfato en las antenas, que varían en tamaño y forma para las diferentes especies, siendo frecuente que estén más desarrolladas en los machos que en las hembras.

Fig. (9B).- Patas posteriores de la abeja vistas por encima, son uno de los principales sitios de la quimiorrecepción.

Fig. (9C).- Lengüeta de la abeja, éste es el instrumento por medio del cual recogen el nectar de las flores y lamen el cuerno de la reina para ingerir la feromona. Para hacer ésta fotografía se separaron las demás partes bucales que la rodean (28).

El nervio consiste en los axones de las células receptoras, las células se extienden al sistema nervioso central.

Las dendritas de las neuronas se extienden hasta la punta del pelito; así, cada cabello está compuesto solo - por cuatro neuronas. Pero las antenas son más sensitivas que los pelitos de las piernas (29).

3.3 ESTRUCTURA DE LOS RECEPTORES DE INSECTOS

Los sensores olfativos de los insectos están principalmente en las antenas; que pueden ser de muchas formas: cortas, largas, cortas pero muy densas de paquetes de células sensoras, de forma de hoja, etc.

En la antena no solo están los órganos olfativos, sino también los receptores del estímulo, la temperatura, la humedad y la estimulación mecánica. Los detalles del conocimiento de la fina estructura del sensor olfativo, no conducen a la evaluación de la función del olfato. Fig. No. (10).

Para estudiar al gusano de seda se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones: el número de receptores del olor sexual del antena, el área de la superficie del cabello, el número de poros olfativos, y el área del antena considerada como el contorno de una hoja de árbol. Las pruebas hechas con bombykol radiactivo mostraron que el 25% de las partículas del olor son absorbidas por el antena, captadas del aire. Algunas partículas pierden la información olfativa porque llegan a los sitios inertes de la antena. Solo una fracción comparativamente pequeña del número total de moléculas, atraviesa el antena penetrando por el poro (7).

Las antenas del gusano de seda están formadas por dos tipos de sensores receptores: coleocónicos y basicónicos, que le permiten captar el aroma desde dos millas de distancia.

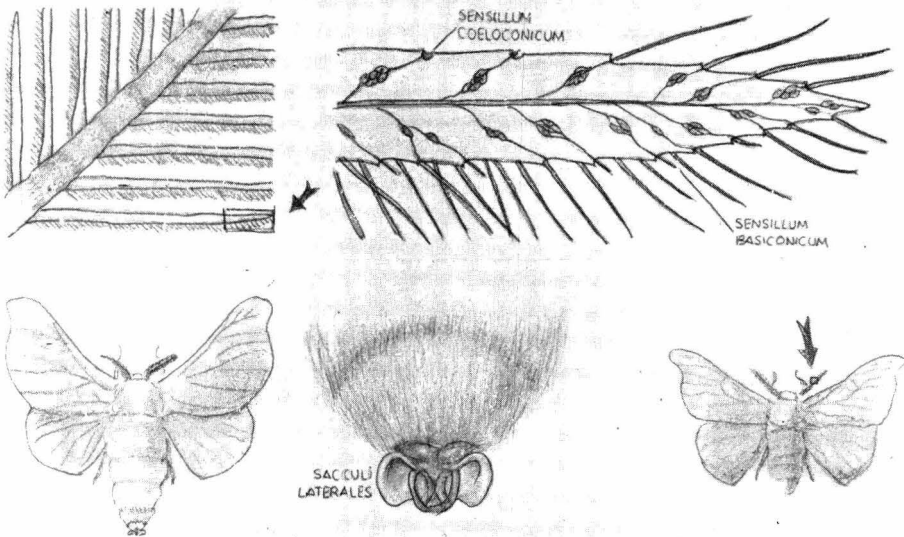


Fig. No. (10).- La hembra del gusano de seda emite la feromona sexual que almacena en un par de sacos de la punta del abdomen. El macho absorbe la feromona por las antenas para producirle un estímulo de atracción sexual. Bastan unos cuantos cientos de moléculas para producir la respuesta al atrayente sexual en el macho, el cual percibe el aroma desde dos millas de distancia de la hembra (20).

El antena del abeja tiene de 3,000 a 30,000 cilios, el problema está en saber en cuantas y cuales de éstas es estructuras está situada particularmente la quimiorrecepción. Los cilios son muy variables en tamaño, forma y número de neuronas.

Generalmente los cilios de las antenas se describen como cabellos de longitud y grosor variable, que presentan numerosas y finas perforaciones, por donde salen aproximadamente cinco dendritas de las neuronas para realizar contacto con el aire (29).

En la antena gigante del macho Polyphenus moth, se han encontrado más de 60,000 sensores con 150,000 células receptoras, de las cuales del 60-70% son específicas del atrayente sexual de la hembra (8).

Los órganos de los sentidos externos de los insectos se llaman sensores. Un sensorreceptor es un pedazo especializado de la cutícula con un mínimo de tres células; dos de las cuales son formativas que envuelven a la célula sensorial o receptor primario. Todas estas células pertenecen a la epidermis, las cuales son descendientes por diferentes tipos de división celular de una célula madre. Cada célula receptora olfativa manda su axón (0.1 a 0.2 μ de diámetro) directamente a aquellas partes del cerebro, las cuales responden al estímulo olfativo (deutocerebro).

Entre las partes cuticulares del antena, se encuentran formas muy variadas, como las que se muestran en la figura No.(11).

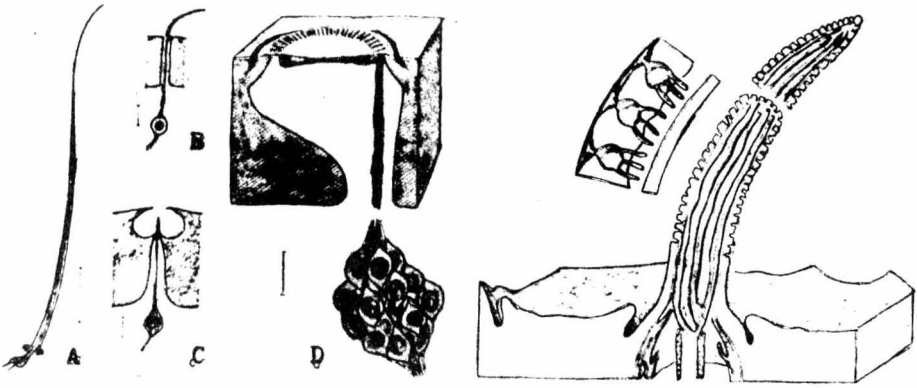


Fig. No. (11).- Son los cuatro tipos más importantes de -
 sensoreceptores, que han sido identificados durante los ensayos
 de grabar electrofisiológicamente. Se muestra en forma más deta-
 llada la estructura del sensor basicónico amplificado.

A .- Tricodea.- es un cabello de paredes delgadas, largo
 y espigado, lo presentan las polillas, mariposas y el gusano de
 seda gigante (*Antheraea P.*).

B .- Basicónico.- es un cabello corto de pared delgada, -
 espigado, se encuentra en muchos insectos y escarabajos del tipo
 (*Necrophorus vespillio*).

C .- Coleocónico.- semeja la punta de un clavo que asoma
 de un hoyo, lo presentan las lepidópteras, himenópteras y otras
 especies de insectos, entre los que se encuentra la langosta del
 desierto (*Locusta migratoria*).

D .- Placodea.- es un órgano plano que se encuentra en las
 abejas y otros himenópteros como las avispas, etc.

Las células olfativas de los insectos tienen - cuerpo ciliar, las dendritas próximas al cuerpo ciliar tienen un sistema membranal.

Los sensores de los tipos: tricódeos, basicónico y placódeos, son prototúbulos que conectan al medio exterior con las dendritas, mientras que el tipo coleocónico es diferente aunque no bien entendido, y es probable que tenga muchos - subtipos morfológicamente.

El prototúbulo tiene una parte de la cutícula - que penetra por el poro. Varios túbulos penetran en partes inherentes de la cutícula, pero otros llegan por el lumen del cabello - hasta las dendritas. Los prototúbulos pueden tener un diámetro - de solo 100 Å, y una pared de menos de 30 Å. En el sensor receptor basicónico, el prototúbulo se abre al exterior.

El fluido que baña a las dendritas distantes, - puede ser el responsable de la transmisión de la respuesta; éste líquido se llama líquido sensor y posiblemente sea un producto - de secreción de las células formativas (7).

3.4 ELECTROANTENOGRAMA (EAG)

Las células de los receptores olfativos se pueden catalogar como especialistas y generalistas. Las generalistas reconocen el olor de la comida, en el cual van mezclados muchos aromas diferentes. Mientras que las células especialistas perciben el aroma del atrayente sexual.

La evaluación cualitativa y cuantitativa de las respuestas a los olores se pueden medir mediante las respuestas eléctricas producidas por las células receptoras, insertando microelectrodos en la base y en la punta del antena, a esto se le llama la técnica del electroantenograma o EAG, que esencialmente consiste en grabar el impulso eléctrico de respuesta de la célula receptora ante un estímulo dado.

La técnica del EAG ha demostrado que el impacto de una sola molécula de feromona sobre la parte especializada receptora del antena, en algunos machos, es suficiente para producir la respuesta (18).

Las células receptoras olfativas de los insectos presentan dos tipos de respuesta eléctrica: una lenta del receptor local o potencial generador y el impulso nervioso que viaja rápidamente, y es del tipo todo o nada, en el cual la fibra nerviosa da el máximo de respuesta o nada.

El EAG se compone de los potenciales del receptor que se detectan simultáneamente de muchas células olfativas.

La grabación muestra la respuesta eléctrica al olor, que presenta la antena aislada del resto del cuerpo, las primeras pruebas que se realizaron por éste método utilizaron al macho del gusano de seda (*Bombyx mori*). Al antena se le colocan un par de microelectrodos, y se pone en contacto con una corriente de aire que arrastra el aroma contenido en un papel filtro humedecido con la feromona, de ésta manera se graba el impulso de respuesta. Los EAG's dan gráficas muy complejas, porque los diferentes tipos de células olfativas pueden responder de manera diferente, sin embargo, una penetración de la cutícula a la base del sensorreceptor, permite grabar los impulsos de varias células receptoras simultáneamente. La amplitud del impulso de la mayor parte de los EAG's es lo suficientemente diferente, como para -- permitir diferenciar a que tipo de célula pertenece la respuesta, lo que queda fuera de medirse, es si la señal de respuesta, la está dando una sola célula o un conjunto de ellas, puesto que -- reaccionan idénticamente.

El proceso de estimulación es sumamente complicado por la variedad de células olfativas que dan respuestas diferentes; sin embargo, la estimulación con células especializadas se entiende fácilmente. Por ejemplo, en las antenas del macho de la abeja, de los cientos de células receptoras del olor que tiene, muchas son específicas para captar el aroma de la sustancia reina, otras captan la feromona de la glándula Nasanov, y las -- otras varían de célula a célula para los diferentes olores. Pero Schneider considera que el número de tipos de receptores del olor que usa el sistema nervioso central es mayor que el esperado (7).

3.5 OLFATICION

La transferencia de información química requiere una fuente química, un medio de transferencia que generalmente es agua o aire, y un receptor. Para el hombre y otros vertebrados es fácil poder distinguir entre olor y sabor.

El estímulo olfativo estimula una respuesta en los receptores nasales o los receptores específicos del olor; y el estímulo del sabor provoca respuesta en las células de la cavidad de la boca como ocurre en algunos peces y anfibios, e incluso en la superficie de la piel mojada. El medio de transferencia de los estímulos del sabor es siempre agua. El rango de respuesta al estímulo es cualitativamente pequeño.

En el hombre son reconocidas cuatro puebas del sabor: dulce, agrio o ácido, amargo y salado. En los vertebrados inferiores el número de cualidades del sabor es grande. El rango cualitativo del estímulo del olor es grande para todos los organismos. No se han desarrollado sistemas satisfactorios para clasificar psicofísica o fisiológicamente los olores. Grabando la respuesta del EAG de los insectos revelan la analogía con los vertebrados, a pesar de ser anatómicamente diferentes (7)

Actualmente se han estudiado ampliamente las sustancias químicas cuya estructura molecular predice la actividad que debe tener. De aquí se derivan las teorías del sabor. La relación entre estructura química y actividad fisiológica



ca o biológica ha sido objeto de estudio para los químicos y el desarrollo de las teorías que relacionan la actividad de una sustancia con su estructura.

Solo siete elementos de la tabla periódica tienen olor propio, y existen en moléculas di o poliatómicas; y son los siguientes: P_4 , As_4 , O_3 , F_2 , Cl_2 , Br_2 , I_2 .

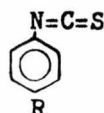
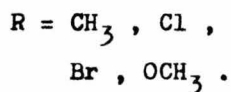
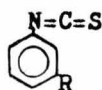
El oxígeno y el nitrógeno no producen olor por fatiga.

Compuestos inorgánicos: las sales tienen menos olor. Los compuestos covalentes de los no metales siempre tienen olor, los cuales son la mayoría de las veces desagradables. El agua y el bióxido de carbono son menos olorosos debido probablemente a que siempre están presentes y producen fatiga olfativa.

Compuestos orgánicos: la mayoría tienen olor, - y tienen correlación los compuestos de la misma clase o familia. Los isómeros de posición de los derivados del benceno son compuestos de estructuras similares, y por lo tanto, tienen olores similares, pero hay excepciones (Fig. 12). También hay compuestos cuyas estructuras son diferentes pero poseen olores similares.

Generalmente los isómeros similares tienen olores similares. Los isómeros posicionales del benceno hacen que difiera el olor grandemente. Los isómeros geométricos hacen que difiera en cantidad e intensidad de olor. Son confusos los datos de la relación entre el olor y los isómeros ópticos. En cuanto a pesos moleculares, con excepción del yodoformo (PM=394), todos los compuestos olorosos están en un rango PM = 17 a 300.

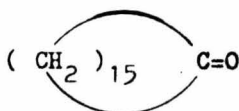
Fig. (12).- Compuestos de estructura similar pero olor diferente.



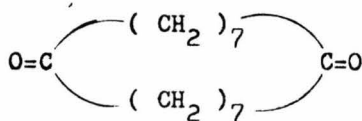
picante

anis dulce

Compuestos macrocíclicos:

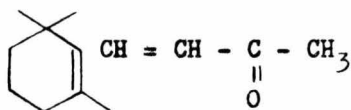


almizcle

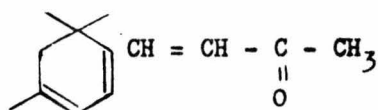


menos olor

Derivados del ciclohexano:



olor a violetas (β -ionona)

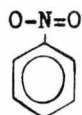
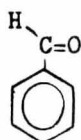


olor a hojas frescas

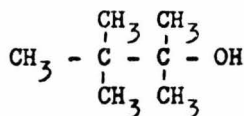
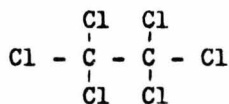
Compuestos con diferentes estructuras que pueden tener olores similares.

Olor a almendras amargas:

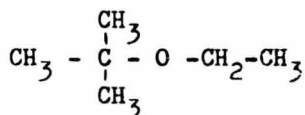
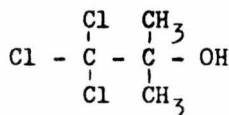
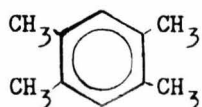
H-C≡N



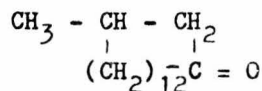
Olor a alcanfor:



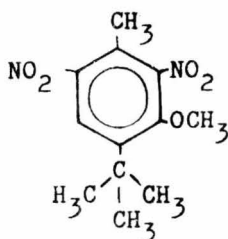
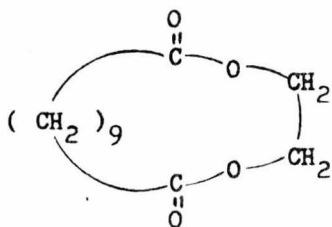
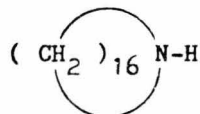
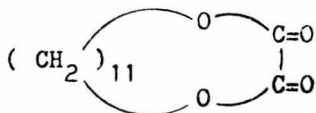
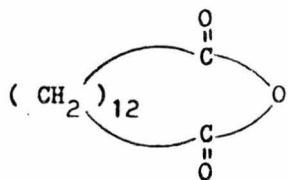
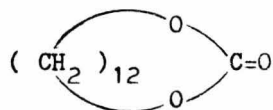
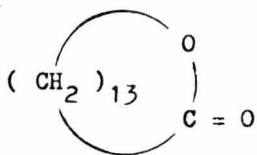
alcanfor



Olor a almizcle:



muscone

almizcle
sintético.

El principal problema en el estudio de la olfacción es que no hay aparatos que den medidas cuantitativas del olor; puesto que las medidas varían para cada persona, y aún para la misma persona dependiendo del tiempo. Se usan cromatógrafos gas-líquido, pero no dan buenos resultados.

Desde 1870 se han propuesto más de treinta teorías para explicar el olor, la mayoría sin estudios experimentales. Otras relacionando al olor con propiedades físicas, químicas, UV, IR, insaturaciones, grupos funcionales, solubilidad en agua, volatibilidad, absorción, oxidabilidad y momento dipolo.

Una teoría establece la relación del mecanismo de estimulación de la célula nerviosa y sus diferentes sensaciones del olor por diferentes sustancias. Hay mucha controversia entre si las moléculas olfativas entran en contacto con el receptor olfativo, o si los olores emiten ondas que estimulan al receptor (8).

Hay otras teorías que involucran la inhibición por enzimas. Una de las teorías más aceptadas, propuesta en 1937 es la de Dyson-Wright (30) o teoría de la vibración, que dice que hay tres requerimientos para que una sustancia tenga olor: volatibilidad, solubilidad de grasas y vibraciones intramoleculares en la región de $3,500$ a $1,400\text{cm}^{-1}$ que es la región de frecuencias en las que la nariz es sensible. Pero ésta teoría no explica porqué no hay relación de olores en los isómeros ópticos. Hay 3 excepciones: el amoniaco, sulfuro de hidrógeno y cianuro de hidrógeno, ninguno de los cuales tienen frecuencias de vibración bajas.

La teoría estereoquímica de Moncrieff-Amoore dice que los únicos requisitos que debe tener el olor, es que sean sustancias volátiles y solubles. La primera edición de su libro - fué en 1944 y en la segunda edición de 1949 dice que los prerrequisitos son volatilidad y configuración molecular complementaria a los sitios de recepción; concepto bien conocido en bioquímica como el modelo de la llave-cerradura que se aplica para el estudio de enzima sustrato.

En ésta teoría se piensa que hay posiblemente - de 4 a 12 tipos de sitios receptores que corresponden a los olores fundamentales. Los últimos trabajos de Amoore llevan a los siguientes postulados:

- Determinar el número de células receptoras
- Determinar el tamaño y la forma de cada sitio receptor.

Para determinar el número de células receptoras se propone determinar el número de olores fundamentales correspondientes a cada sitio, clasificando a los compuestos dentro de catorce grupos. Los siete primeros olores son los más frecuentemente descritos por la química. La tabla No. (5) muestra la clasificación de Amoore y el número de compuestos que presentan es tipo de olor (31).

La forma y tamaño del receptor son determinados por la forma y tamaño de la molécula. Así el modelo molecular encontrado para el olor a alcanfor es una esfera con diámetro a aproximado de 7\AA (Fig.13). De la misma manera para otros olores.

GRUPO	NUMERO DE COMPUESTOS
1.- Alcanfor	106
2.- Picante	95
3.- Etereo	53
4.- Floral	71
5.- Menta	77
6.- Almizcle	69
7.- Podrido	49
8.- Almendra	30
9.- Aromático	27
10.-Anisado	12
11.-Limón	7
12.-Cedro	7
13.-Ajo	7
14.-Rancio	6
	<hr/>
	616

Tabla No. (5),.- Clasificación de los compuestos de Amoore. Son los olores que más frecuentemente se describen en la química, los primeros 7 son los primarios con un solo sitio molecular, los otros presentan dos o más sitios donde entra la molécula (31).

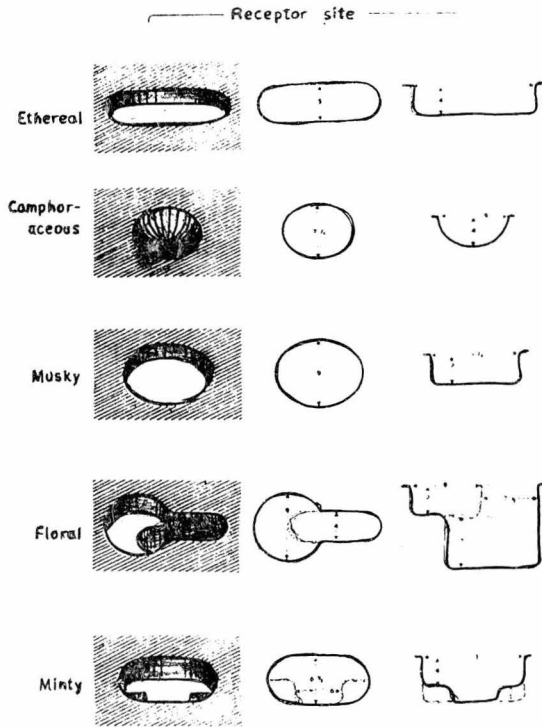


Fig. No. (13).- Modelos de los sitios receptores para los olores: etereo, alcanfor, almizcle, floral y menta, que son olores primarios captados por los receptores olfativos de los humanos. Los compuestos de diferente fórmula, pero de forma molecular similar, tienen gran similitud de olor. Una misma molécula puede tener varios sitios, pero preferencia por uno de ellos, a altas concentraciones se ocupan todos los sitios posibles, mientras que a bajas concentraciones solo se ocupan los sitios adecuados. Algunos olores se pueden predecir antes de sintetizarlos, otros se pueden reproducir por la combinación de olores primarios.

Los cambios en las cualidades del olor se deben a la adsorción preferencial en varios sitios. Por estudios de cromatografía gas-líquido se han encontrado 38 componentes del aroma del café. Los olores de cada persona son característicos, y pueden ser usados para detección criminal (8).

Esta última teoría es la que ha tenido más aceptación como teoría del olor y el sabor, y se ha valido de las técnicas del EAG para trabajar más fácilmente y obtener los patrones del estímulo.

Se han reportado en la literatura algunas sustancias que tienen actividad de feromona pero no tienen ninguna relación con la estructura de la feromona natural, posiblemente se deba a que ambas presentan una forma y tamaño parecido de la molécula y el sitio activo en el receptor.

Generalmente las estructuras de las feromonas son simples, y son detectadas por el insecto en cantidades de trazas, debido a que tienen los sitios receptivos muy específicos para detectarlas y producir la respuesta en el comportamiento del insecto.

3.6 ESPECIFICIDAD DE LAS ESPECIES Y EL MECANISMO RECEPTIVO

La especificidad de las feromonas permite que se lleve a cabo la reproducción en insectos aislados bajo las condiciones naturales. Hay casos en los que aparentemente varias especies utilizan la misma feromona, sin embargo, otros factores externos dan la especificidad, como son: los ciclos de las estaciones, la distribución geográfica, la incompatibilidad fisiológica, genética, etc. (32).

La especificidad estructural es un simple cambio en la estructura de la feromona que hace que se reduzca o pierda la actividad. Se ha encontrado en algunas especies, que la feromona está formada por dos sustancias, y la presencia de una sola de ellas causa inhibición (18).

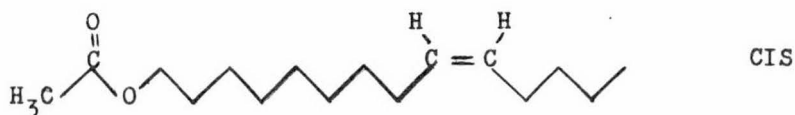
Roelofs (32), en base a los principios taxonómicos utilizó para sus experimentos dos especies de lepidópteras - morfológicamente similares, para determinar la especificidad a los extractos crudos de feromona y la feromona sintética. Los estudios histológicos realizados en la mosca de la manzana de las especies: *Archips mortuanus* (Am) y *Archips argyrospilus* (Aa), -- mostraron que son especies muy semejantes, indistinguibles morfológicamente, con los mismos ciclos de estaciones, son huéspedes y se alimentan del árbol de las manzanas. Sin embargo, un estudio intensivo mostró que eran diferentes porque se pueden separar con

trampas de feromonas en pruebas de colección.

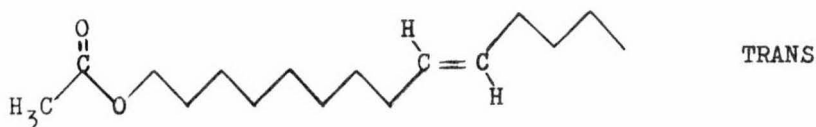
Se obtuvo el extracto crudo de la feromona extraído de los últimos segmentos del abdomen de 180 hembras de la especie Aa, y otro extracto de 80 hembras de la especie Am. Se colocaron éstas muestras en unas trampas a un metro de distancia entre ellas en un árbol de manzanas. La trampa con el extracto Aa atrapó 203 machos de la especie Aa y ninguno de la especie Am. Mientras que la trampa con extracto de las hembras Am, atrapó 82 machos Am y 10 Aa en el mismo tiempo.

De este experimento se llegó a la conclusión -- que eran dos especies diferentes y con cierta especificidad de las feromonas.

Un segundo experimento utilizando dos especies de Gelechiidae morfológicamente muy similares, una gris y la otra amarilla, se extrajo la feromona y se encontró que la especie gris era atrapada con 10 μ g de cis-9-tetradecil acetato:



y las amarillas fueron atraídas con el isómero geométrico trans:



Después de hacer pruebas durante dos meses, se

demonstró que son altamente específicas a una distancia de separación de las trampas de solamente 30cm. Fueron atrapados un total de 240 machos amarillos por el isómero trans y 45 grises por el isómero cis, sin error. Se sintetizaron las feromonas en el laboratorio para complementar el estudio y demostrar la especificidad por isómeros.

La mosca de la fruta del mediterráneo ataca a los frutos subtropicales, especialmente los frutos cítricos, y en los lugares donde hay ésta mosca no es costeable la producción de frutas. En Estados Unidos el Departamento de Agricultura gastó 11 millones de dolares para combatir ésta peste en uno de los campos más productivos de fruta, usando insecticidas no muy efectivos, por lo que fue necesario intentar el uso de la feromona de ésta mosca por ser más potente, pero desgraciadamente no es fácil obtenerla.

Una vez aislado el atrayente natural, se buscaron otros compuestos de estructura semejante con mayor actividad. Al primer compuesto sintético importante se le llamó Siglure. -

Además del siglure se sintetizaron otros compuestos de estructuras similares (Fig. 14) y se realizaron dos tipos de pruebas con ellas; en el laboratorio, utilizando la técnica -- del EAG, y en el campo, utilizando trampas para atrapar a los machos atraídos en las condiciones naturales de vida de éstos insectos. Se encontró en las preparaciones de siglure mucha diferencia de actividad en las pruebas de laboratorio y de campo, y las investigaciones para aclarar éste comportamiento llevaron a la conclusión de que se debía a la existencia de isómeros (Fig. 15).

	91	Pruebas:	
	R	Laboratorio	Campo
	CH_3CH_2-	122	38
		100	100
	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-$	71	98
		99	48
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}-$ CH₃	87	279	
SIGLURE			

Fig. No. (14).- Estructura del siglure y algunas moléculas de estructura similar que también presentan actividad biológica como atrayentes sexuales de la mosca del Mediterraneo.

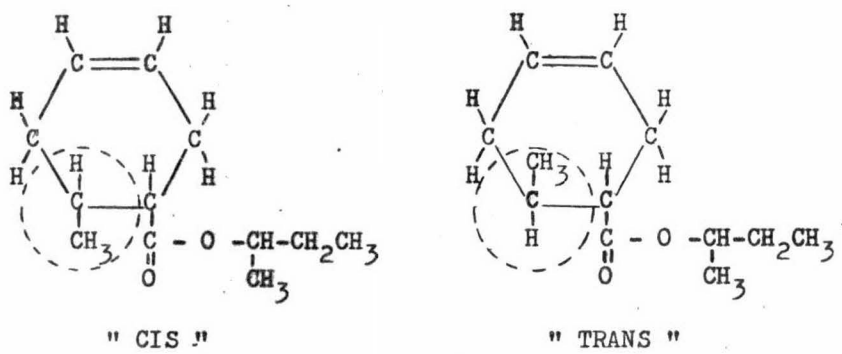


Fig. No. (15).- Isómeros del siglure, por IR se demostró la existencia de isómeros, y por bioensayo se vió que la mosca -- tiene preferencia por aquellas preparaciones que tienen mayor cantidad del isómero trans (33).

4. ESPECIES ESTUDIADAS

La primera especie que se estudió fué el gusano de seda, pasaron treinta años de estudio antes de que se pudiera dar la estructura química de la feromona sexual de la hembra del gusano de seda comercial (*Bombyx mori*). El estudio se realizó -- con el material que se extrajo de 500,000 abdómenes de hembras, para lo cual se tuvieron que matar dos toneladas de gusanos.

Esta especie de gusano de seda es altamente domesticable y se adapta fácilmente el trabajo de laboratorio. Se utilizaron técnicas químicas para el microanálisis y la síntesis, que permitió asegurar que se había llegado a la determinación de la estructura correcta; y por las técnicas de bioensayo se determinó la estequiometría del compuesto.

La palomilla gitana (*Porthetria dispar*) fue llevada a los Estados Unidos en 1889 para la industria de la seda, - pero no sirvió para tal fin, y cuando se volvió a saber de ella, ya se había convertido en una plaga que estaba produciendo enormes pérdidas en madera. La feromona de ésta palomilla se aisló - por un método semejante al empleado para la del gusano de seda y se determinó su estructura, pero resultó incorrecta y posteriormente se aclaró. La palomilla gitana se empezó a atacar con insecticidas, pero se ha hecho resistente a su efecto, por lo que actualmente se utilizan en forma industrial las feromonas para -

su control. Se incorporaron las técnicas de cromatografía para el estudio de ésta feromona, auxiliados también por la espectroscopía de IR y RMN.

Para el estudio de las feromonas de la mosca doméstica, ya no fué necesario matar el animalito para cortar los últimos segmentos de su abdomen, la extracción se llevó a cabo lavando la superficie cuticular de la mosca con hexano, y por procesos de cromatografía en columna se purificó la sustancia.

Se sintetizó la feromona, y para probar su actividad se utilizaron las técnicas de bioensayo del olfactómetro y las pseudomoscas. Se encontró que la humedad es un factor determinante para la actividad de la feromona sexual de la hembra de la mosca. La mosca doméstica (*Musca domestica*) es portadora de los gérmenes de muchas enfermedades, y se ha hecho altamente resistente a la acción de los insecticidas, por lo que tiene mucha importancia desarrollar la técnica adecuada para su control por feromonas.

La cucaracha americana (*Periplaneta americana*), es un insecto que va soltando la feromona por todos los objetos que toca, por lo que se facilitó extraer la feromona del papel-filtro por el cual había pasado la hembra, pero las concentraciones no fueron suficientes para su identificación, por lo que se desarrolló un método más elaborado para ordeñar a las hembras, es decir, colocaron 10,000 hembras en un recipiente por el que se pasó una corriente de aire durante nueve meses, y se condensó para extraer la feromona. Se estableció la estructura química de

la feromona, pero resultó inactiva biológicamente, por otros investigadores se ha reportado otra estructura como la correcta, - pero aún no se ha reportado los bioensayos que demuestren que esa feromona sintetizada sea la correcta, y por lo tanto, ese trabajo no se puede considerar concluido.

Hay otras especies en que tiene mayor importancia económica el conocimiento de sus feromonas, con el fin de ser utilizadas para el control de la plaga que producen muchos insectos, pero no se han reportado los estudios completos. Los trabajos más recientes utilizan las nuevas técnicas del microanálisis.

4.1 GUSANO DE SEDA (Bombyx mori)

El bioquímico alemán Adolf Butenandt y sus colaboradores (34) aislaron e identificaron el primer atrayente sexual a partir de dos toneladas de hembras del gusano de seda comercial, a las cuales se les extirparon los dos últimos segmentos del abdomen, y después de complicados trabajos de purificación, lograron obtener 12mg de la primera feromona en forma cristalina.

A ésta feromona se le dió el nombre de bombykol, y resultó ser el trans-10-cis-12-hexadecadién-1-ol. Quince años antes hubiera sido imposible aislar e identificar tan pequeñas cantidades de sustancia, pero ahora es posible por el uso de la instrumentación electrónica aplicada a la tecnología química, que permite trabajar con cantidades de μg . Para estos estudios son de mucha ayuda: la cromatografía de gases, infra-rojo, ultra-violeta y resonancia magnética nuclear (20).

Se demostró que la purificación de la sustancia era un paso muy difícil, para lo cual se recurrió a la esterificación de la feromona que es un alcohol; el derivado fué una sustancia colorida más fácil de manipular y purificar. } ①

Para la determinación de la actividad biológica, tuvo que ser saponificada, porque los ésteres son inactivos. }

La formula empírica del alcohol denominado bombykol fué: $\text{C}_{16}\text{H}_{30}\text{O}$, con la presencia de dos dobles ligaduras conjugadas en la molécula, la elucidación de la estructura fué hecha }

posteriormente por los mismos investigadores, utilizando el método oxidativo con muestras de menos de un miligramo del éster aislado. La fórmula se confirmó por síntesis, probando su actividad biológica por las técnicas de bioensayo, con pruebas de laboratorio y de campo (11).

Los ensayos biológicos y el aislamiento de la feromona realizados por Butenandt y colaboradores (35), son los siguientes: fueron extraídos 500,000 abdómenes de las hembras del gusano de seda, que es el lugar donde almacenan la feromona. Se lavaron con éter de petróleo, homogenizando con agua, se extrajo un extracto con una mezcla de etanol-éter (3:1).

La combinación de extracciones de las glándulas con éter de petróleo y la evaporación del solvente, dió por resultado un aceite oscuro. Después de agregar agua, la solución se alcalinizó con bicarbonato de sodio y se extrajo con éter. Los extractos etereos fueron lavados con solución de carbonato de sodio y agua, las fracciones acuosas se extrajeron con éter y las fracciones etereas combinadas se evaporaron para dar un material neutro. Ese producto se saponificó con hidróxido de potasio en solución metanólica. Se lavaron con agua las fracciones etereas, para obtener una fracción insaponificable, la cual se extrajo con metanol y se evaporó el disolvente del residuo aceitoso, el cual se redisolvió en éter de petróleo, se secó con sulfato de magnesio para obtener las sustancias insaponificables.

Las sustancias insaponificables se esterificaron al adicionar piridina y anhídrido succínico, y se separaron

con ácido sulfúrico para eliminar la piridina y neutralizando -- con solución de carbonato de sodio, se extraen con éter de la fa se orgánica que contiene las sustancias insaponificables, se seca el solvente o se extrae al vacío.

Al residuo aceitoso se le adicionó solución metanólica de hidróxido de potasio, y se calentó bajo atmósfera de nitrógeno con evaporación del metanol. La mezcla se vertió en -- agua y se extrajo con éter. Se realizó una cristalización fraccio nada en metanol obteniéndose una fracción aceitosa (I).

La fracción aceitosa (I) se calentó bajo atmósfera de nitrógeno en presencia de cloruro de 4'-nitroazobenceno-4-carbonilo en benceno y piridina. La mezcla de reacción se ex-- trajo con porciones de benceno, se secó por evaporación del di-- s solvente, y se obtuvieron los ésteres correspondientes como pro-- ducto (II).

La fracción (II) que fué insaponificable, se di solvió en benceno y mostró tener una alta actividad biológica -- como atrayente. La subsecuente purificación del producto (II), -- se llevó a cabo disolviendo en acetona y agregando de 20-50% de agua y extrayendo con éter de petróleo. Por cromatografía en sílica gel se separaron dos fracciones coloridas, una de ellas fué eluida con benceno, y la otra con una mezcla de benceno-éter (1:1) encontrándose la actividad biológica en la fracción bencénica.

Recristalizando dos veces la fracción bencénica, -- una en acetona acuosa y otra en éter de petróleo, se obtuvo al -- compuesto (II) puro, pero biológicamente inactivo en esa forma.

El compuesto (II) hidrolizado mostró tener una actividad atrayente muy alta.

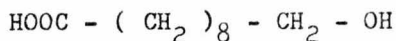
Presenta: p.f. = 95-6°C , $\lambda_{\max} = 230\text{-}1\mu\mu$, el peso molecular se calculó entre 475 ± 15 .

La determinación de la estructura también fue -- realizada por Butenandt y sus colaboradores (36), para lo cual -- realizaron el siguiente estudio: Por hidrólisis de la fracción -- (II) con hidróxido de potasio en benceno, se obtuvo el compuesto (III), que es un líquido.

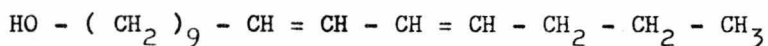
La hidrogenación del extracto (II) seguida de -- una extracción con solvente y sublimación fraccionada, produjo -- un producto cristalino (IV) con p.f. = 47-8°C.

El espectro de IR del bombykol libre, indicó -- que se trataba de un alcohol alílico con dos dobles ligaduras, -- en configuración cis-trans, conjugadas, teniendo la cadena saturada en los últimos cuatro CH_2 del compuesto.

La posición de las dobles ligaduras conjugadas, en relación con el grupo oxhidrilo, fué determinada por degradación oxidativa de la fracción (II) con permanganato de potasio -- en acetona anhidra, obteniéndose el ácido ω -hidroxidecanoico, ác. butírico y ác. oxálico:



Un segundo experimento con la fracción (II), -
 dió los mismos resultados. Así se demostró que el bombykol, es
 uno de los cuatro posibles isómeros del 10-12-hexadecadién-1-ol:



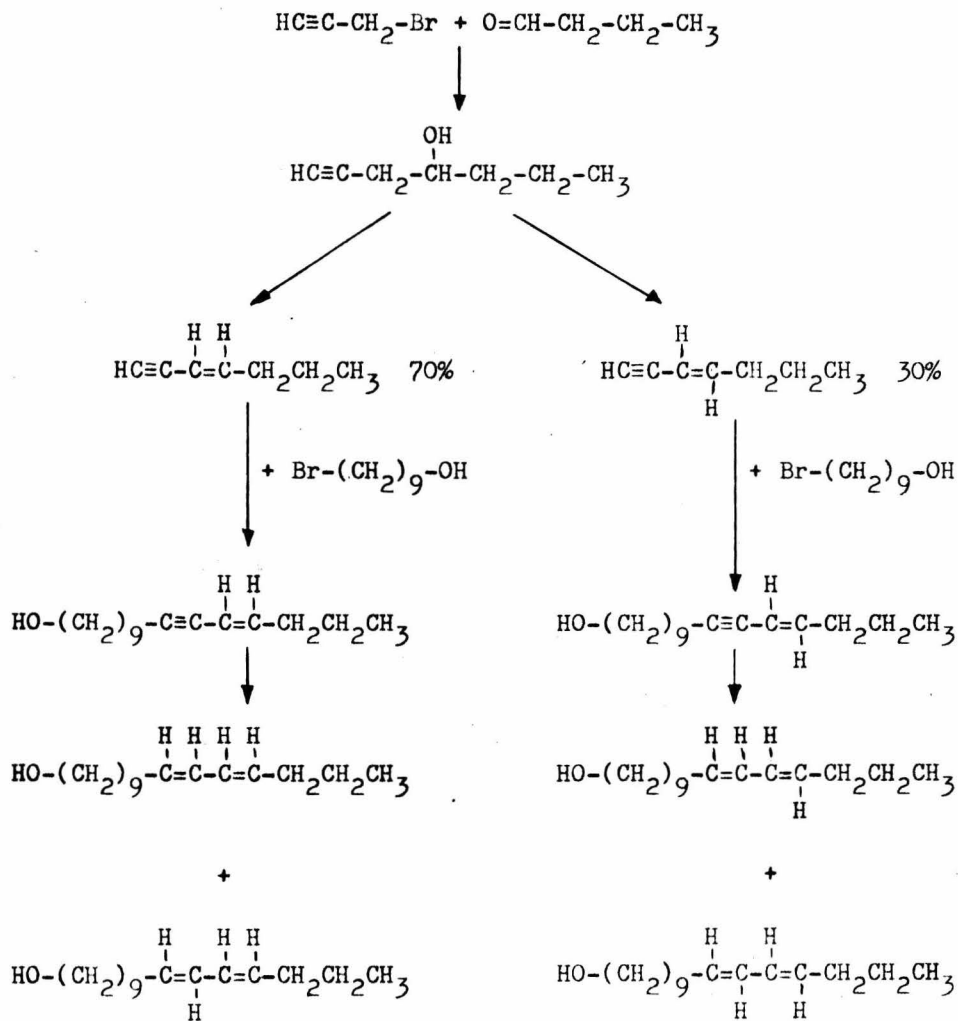
Posteriormente se sintetizaron los diferentes -
 isómeros (37), y se encontró que la actividad del isómero 10-cis
 12-trans fué más fuerte que la del bombykol natural, pero irra-
 diándolo con luz de día en presencia de un catalizador, pasa al
 isómero 10-trans-12-trans.

La síntesis del bombykol se puede realizar unien-
 do cadenas de C_7 y C_9 con la reacción de Reformatskii, empleando
 bromuro de propargilo con n-butiraldehído en presencia de zinc y
 éter, para obtener 4-hidroxi-1-heptino, el cual es deshidratado
 con p-toluén sulfonato de sodio, hidróxido de potasio y calentan-
 do. Así se obtiene el 70% del isómero cis y 30% del trans, que -
 se pueden separar por una destilación fraccionada.

Después se agrega ω -bromo nonanol en amoniaco -
 líquido y éter, tratando con sodio para formar la sal sódica, --
 para obtener la cadena con los 16 átomos de carbono que se requie-
 ren. Posteriormente se realiza una reducción de la triple ligadu-
 ra con litio o sodio en amoniaco líquido, ésta reacción es este-
 reoselectiva, y predomina el isómero trans.

Se recristaliza en acetona y después en etanol
 para obtener el bombykol puro.

REACCIONES DE SINTESIS DEL BOMBYKOL



Las técnicas de bioensayo ayudaron a determinar la estereoquímica del bombykol, por comparación con el extracto-natural de feromona. Una varilla de vidrio se humedece con la solución etérea del bombykol sintetizado y se coloca frente a un macho de gusano de seda, en caso de respuesta positiva, el macho vuela alrededor y empieza la danza nupcial exitado a copular con la varilla de vidrio. Este ensayo no es muy preciso, y se requiere de más de 60 machos para realizar la prueba de dilución.

Un método de bioensayo más elaborado, pero más preciso, es el del EAG, que permite grabar la respuesta del receptor cuando es estimulado con diversas sustancias, así se encontró que solo 200 moléculas de bombykol son necesarias para producir la respuesta positiva en las grandes antenas del macho del gusano de seda (Fig. 16).

Realizando bioensayos con la feromona natural - en comparación con soluciones etéreas de los 4 diferentes isómeros, se llegó a la conclusión de que la configuración del bombykol es 10-trans-12-cis-hexadecadién-1-ol, porque mostró tener la misma actividad del atrayente natural (37).

Se seleccionó el gusano de seda (*Bombyx mori*) - para la investigación de feromonas, porque es un animalito altamente domesticable y se adapta fácilmente al trabajo de laboratorio. En otros laboratorios de investigación de feromonas, han seleccionado especies que tenga importancia económica su estudio - (11).

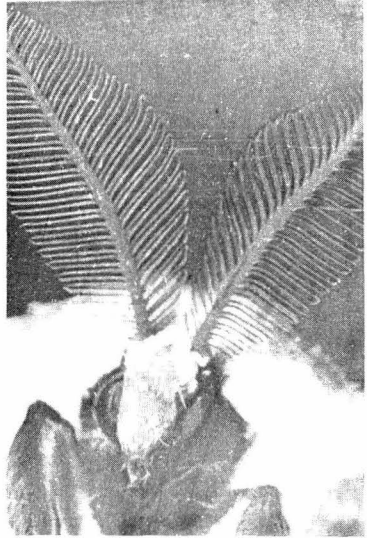


Fig. No. (16)
GUSANO DE SEDA
(*Bombyx mori*)

4.2 PALOMILLA GITANA (*Porthetria dispar*)

La palomilla gitana es originaria de Europa, - Asia y Nor-áfrica, y fué llevada a Massachusetts en 1889 con el propósito de producir seda para la industria local, desafortunadamente algunos insectos escaparon, y no se supo de ellos hasta hace 23 años, en que ha producido una explosión de población de vastadora. A través de una infestación local, gradualmente ha quedado fuera de control por las fuerzas naturales; aún impregnando los árboles con creosota y rociándolos con insecticidas del tipo de arseniatos, la palomilla continúa extendiéndose hacia - nuevas areas (38).

La palomilla gitana es un lepidóptero a cuyas orugas se les llama lagartas; ataca a los robles y encinos (19). La palomilla giatna tiene una generación por año, pone sus huevos en invierno para que salgan las orugas a fines de abril o - principios de mayo, en un periodo de 2 a 4 semanas, y se empiezan a alimentar del mismo nido, localizado en robles, sauces, - alamos, manzano y muchos otros (Fig. 17). Las orugas muy jóvenes viajan dentro del árbol y hacia afuera; el viento transporta a - los diminutos insectos hasta cientos de metros de distancia, y - en algunas ocasiones, se producen nuevas infestaciones a 40km de la zona de origen.

Las orugas son voráceas y devoran rápidamente -- las hojas, una sola palomilla de 5cm de longitud come 50cm² de -

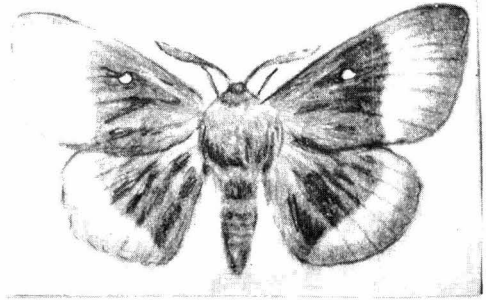
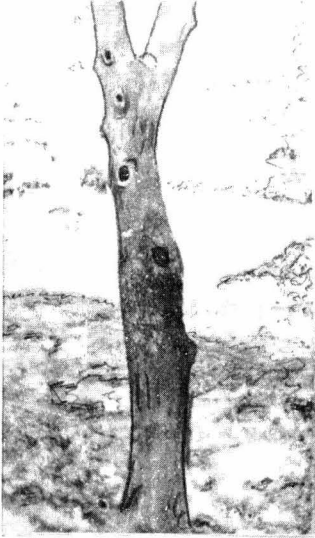
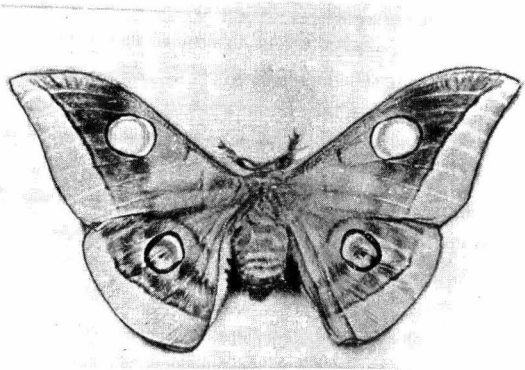


Fig. No. (17)

PALOMILLA GITANA

(*Porthetria dispar*).



superficie de hoja al día.

A fines de junio y principios de julio entran en etapa de muda, que dura de 10 a 14 días. Los machos son los primeros que emergen de la metamorfosis, para quedar convertidos en palomillas adultas de color café; las hembras son blancas, -- con el abdomen lleno de huevos y no vuela.

La hembra por medio de feromonas, logra atraer al macho para el apareamiento, pone de 100 a 800 huevos, los cuales van a sacar nuevas larvas hasta la siguiente primavera. Las palomillas adultas tienen corta vida, mueren después del apareo, por lo que la mayor parte de su vida se limita al estado larvario (38).

Esta plaga ha costado dos millones de dolares anuales a Nueva Inglaterra; desde 1940 se introdujo el uso del poderoso insecticida DDT, pero los insectos se han hecho resistentes a él, y a partir de 1958 se descartó ésta posibilidad para terminar con la infestación, la cual se ha extendido rápidamente por el sur de Virginia, norte y sur de California, Florida, Alabama, Ohio y Wisconsin.

En 1970 la peste de palomilla gitana deshojó -- 800,000 acres de bosque; en 1971 aumentó a 2 millones de acres -- (1 acre = 0.4 hectárea), lo que muestra la importancia que tiene investigar nuevos métodos para terminar con la plaga (38).

Actualmente los científicos usan las feromonas para el control de plagas, pero la identificación de la feromona de la palomilla gitana no fué fácil, se requirieron 30 años

de cuidadoso trabajo, para que a partir de 500,000 abdómenes de hembras vírgenes solo se obtuvieron 20mg de un líquido incoloro que resultó ser 10-acetoxi-7-cis-hexadecén-1-ol, al que se le dió el nombre de gyptol. Este compuesto fue preparado por una -- síntesis de 10 pasos, estableciéndose que éste compuesto era la feromona (33). Este trabajo fue realizado por Jacobson, Beroza y Jones (39) en 1960, sin embargo, el mismo compuesto se ha sintetizado en otros laboratorios, y por pruebas de bioensayo, se demostró no tener la actividad biológica esperada, lo que hizo pen sar que esa no era la estructura correcta de la feromona (11).

Los químicos investigadores del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) encontraron un compuesto parecido al gyptol extraído del aceite de castor, al cual le llamaron gyplure, que presentó una actividad biológica ligeramente inferior a la del gyptol.

La estructura del gyplure resultó ser 12-acetoxi cis-9-octadecén-1-ol (Fig. 18), que se usa en la actualidad para combatir la plaga, para lo que se obtiene industrialmente por ser más costeable económicamente que obtener la feromona natural (20).

El extracto crudo de los 2 últimos segmentos abdominales de la hembra, se empezaron a utilizar en las trampas -- para detectar palomillas gitanas desde 1940, colectando las hembras a las que se les cortó cuidadosamente la punta del abdomen a las 24 horas de haber emergido; se extrajo con benceno una solución concentrada que se hidrolizó para estabilizar la feromona, y de ésta manera se colocó en las trampas.

La purificación del gyptol presentó muchos problemas, Acree (40) se ayudó mucho con los estudios de cromatografía que realizó, y por extracciones con solventes logró separar la fracción activa.

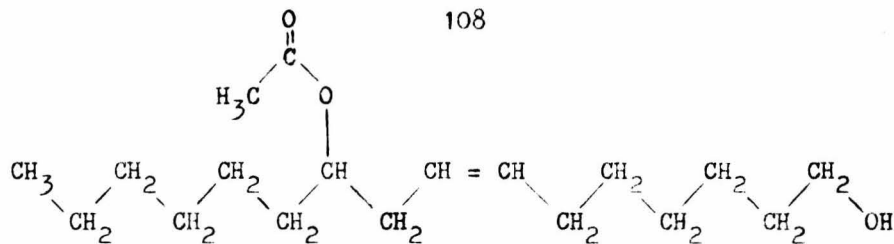
Hasta 1960 se determinó la estructura del gyp--tol, y también se reportó actividad similar del gyplure, pero -- hasta 1969 se identificó correctamente la feromona (38).

Una investigación de Jacobson confirmó que la -preparación de gyptol era activa por la presencia de trazas de otra sustancia con extraordinariamente alta actividad biológica.

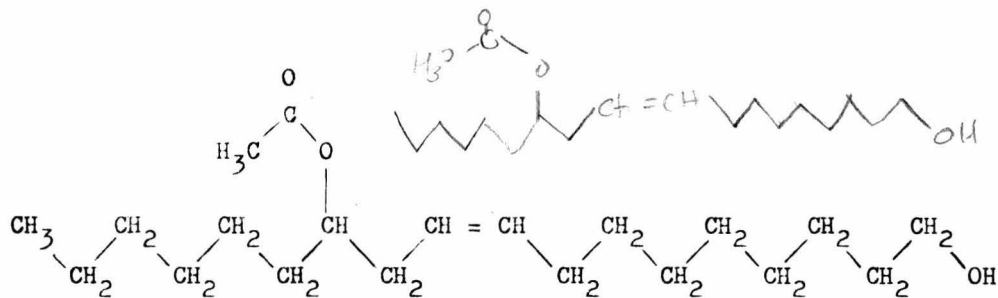
Bierl, Beroza y Collier (41) aislaron e identificaron la verdadera feromona como cis-7,8-epoxi-2-metil-octadecano, a la cual le dieron el nombre de dispartlure (Fig. 18).

El compuesto sintético resultó activo tanto en - las pruebas de laboratorio, como en el campo, a concentraciones de 2×10^{-12} y 1×10^{-9} g. El atrayente sexual se extrajo de 78,000 puntas de abdomen de hembras vírgenes colectadas en España, el - cual fué concentrado y se puso a reflujo bajo atmósfera de nitrógeno con hidróxido de potasio etanólico para saponificar las grasas, así se separó una fracción neutra insaponificable con acti-vidad biológica.

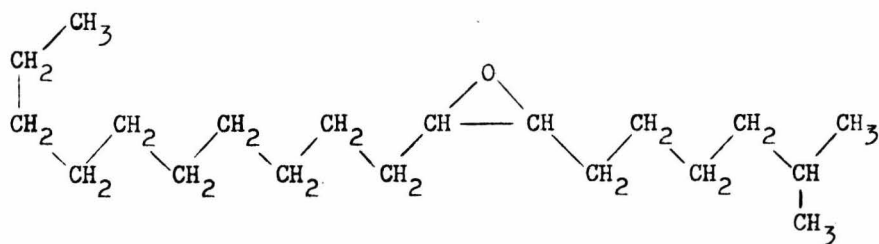
Los hidrocarburos fueron eluidos con hexano, y una mezcla de hexano con 2 a 6% de éter, se extrajo el material activo en una columna de cromatografía, y se cromatografió nueva-mente, purificandose por cromatografía en placa fina con silica gel en dos dimensiones, **eluyendo** con ciclohexano-diclorometano 4:1,



GYPTOL 10-acetoxi-cis-7-hexadecén-1-ol



GYPLURE 12-acetoxi-cis-9-octadecén-1-ol



DISPARLURE cis-7,8-epoxi-2-metil-octadecano

Fig. (18).



y 3:2 ($R_f = 0.5$). Una porción del material parcialmente purificado, se analizó para obtener la información de la actividad del material natural, por las técnicas de bioensayo.

La movilidad cromatográfica (R_f) en silica gel, fué consistente con una cetona alifática, epóxido alifático, metil alkil éter, o un alkil éster como un acetato. También indicó que el compuesto era monofuncional.

La cromatografía de gases por retención indicó que el compuesto tenía de 18 a 20 átomos de carbono. La ozonólisis del compuesto no disminuyó su actividad, ni afectó el valor de R_f en la cromatografía en placa, por lo tanto, se excluyó la posibilidad de dobles ligaduras en la molécula.

El material en la placa de cromatografía se suspendió en solución acuosa de clorhidrato de semicarbazida, y la muestra fué inatacada, lo cual mostró que no se trataba de aldehído o cetona. En una prueba similar con ác. fosfórico, el cual reacciona con los epóxidos, eliminó la actividad. Con hidruro de litio y aluminio se destruye la actividad.

Usando cromatografía en columna, se trató con ác. bórico (extrae alcoholes) y o-dianisidina (extrae aldehídos) recirculando por la columna, y no se vió afectada la actividad. Una bencidina (extrae aldehídos, cetonas, y algunos epóxidos) - disminuyó un poco la actividad, cuando se recirculó ác. fosfórico, se eliminó totalmente. Estos resultados permitieron postular que el atrayente natural es un alkil epóxido con C_{18} a C_{20} . Desafortunadamente la cantidad de atrayente puro de las 78,000 -

palomillas, fué insuficiente para la caracterización adecuada -- del atrayente. Se especuló que el insecto podía tener una olefina precursora, de la cual se podría formar el epóxido que es el verdadero atrayente sexual.

El tratamiento de la fracción natural neutra con ác. m-cloroperbenzoico, el cual epoxida las olefinas, realizó la actividad biológica de la fracción. Un tratamiento similar a una fracción de hidrocarburos, genera una considerable actividad, indicando que el extracto natural tiene mucha mayor cantidad de olefinas precursoras del atrayente activo.

Para aislar e identificar a la olefina precursora, se cromatografió en silica gel la fracción de hidrocarburos en una columna que contuvo el 25% de nitrato de plata, para separar las parafinas, mono-olefinas y poli-olefinas.

La fracción de mono-olefinas, es la que posteriormente se convierte en biológicamente activa por epoxidación, fué separada para analizarse por cromatografía de gases. Solo -- una de las olefinas separadas dió un pico de 10 a 15 μ g, se epoxidó a material activo demostrando su actividad en pruebas de laboratorio y de campo. Su tiempo de retención (t_R) en columnas de dietilenglicol-succinato fué consistente con una olefina de 19 átomos de carbono, y una véz epoxidada, dió el mismo tiempo de retención que el atrayente natural.

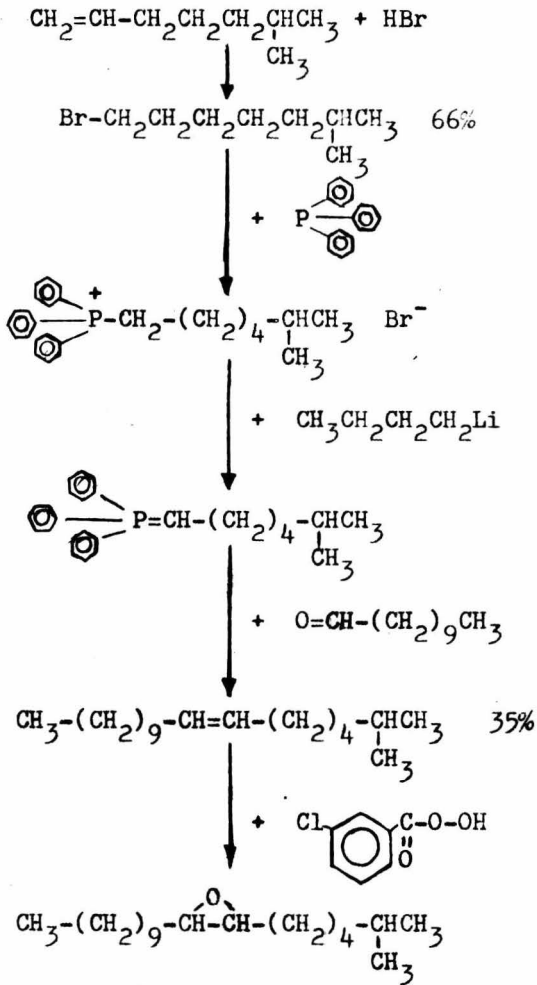
La posición de la doble ligadura de la olefina precursora, fué determinada por ozonólisis de un microgramo de -- la fracción de mono-olefinas, obteniéndose principalmente dos --

fragmentos. El tiempo de retención de uno de ellos resultó ser idéntico al del undecanal, y el otro fué ligeramente menor que el n-octanal, consistente con un aldehído de C_8 , por lo que la olefina es: $CH_3-(CH_2)_9CH=CH-R$, donde R es un grupo alquilo de C_7 , la doble ligadura fué establecida como cis por cromatografía en placa fina impregnada con nitrato de plata.

La posición del grupo metilo fué determinada por hidrogenación instantánea de un microgramo de la olefina en un sistema de cromatografía de gases, extrayendo el producto con hexano y determinando su espectro de masas. El espectro mostró ser un ión molecular en 5% de abundancia a 268 m/e, correspondiente a $C_{19}H_{40}$, y un pico mayor a 253 m/e y 225 m/e consistentes con un solo metilo en la posición dos del hidrocarburo (esto es un grupo isopropilo terminal). El atrayente sexual es por lo tanto: cis-7,8-epoxi-2-metil-octadecano.

Este compuesto fué sintetizado de la siguiente manera: a 6-metil-1-hepteno, se le agregó bromuro de hidrógeno en presencia de peróxido de benzoilo (reacción de Anti-Markownikoff), para formar el 1-bromo-6-metil-heptano en un 66% de rendimiento. El compuesto se puso a reflujo toda la noche con trifenil fosfina en acetonitrilo, para formar la sal fosfonio, se le agregó n-butil-litio en dimetilsulfóxido seco, y se le adicionó undecenal; y así se obtuvo 2-metil-7-octadeceno en un 35% de rendimiento y con pureza del 98.5% comprobado por cromatografía de gases. Presentó un espectro de RMN consistente con el espectro esperado.

REACCIONES DE SINTESIS DEL DISPARLURE



DISPARLURE

Mostró tres grupos metilo con un doblete más un triplete a 9.14, los grupos metileno con un singulete a 8.75, -- multiplete de C-H a aproximadamente 8.4; dos grupos metileno adyacentes a la doble ligadura como un multiplete a 8.02, y -CH=CH- como multiplete a 4.74, los valores calculados para $C_{19}H_{38}$ fueron: C=85.63% , H=14.37% , y los valores encontrados fueron los siguientes: C=85.89% , H=14.35%.

Tratando la olefina sintética con ác. m-cloroperbenzoico, se obtiene el epóxido. Los valores calculados para $C_{19}H_{38}O$ fueron: C=80.78% , H=13.56% , y los valores encontrados fueron: C=80.73% , H=13.56%.

La olefina sintética fué separada por cromatografía en columna en silica gel-nitrato de plata, aislando un 85% del isómeri cis y 15% del trans. Los dos epóxidos isoméricos también fueron separados y probados por bioensayo, encontrándose -- que el isómero cis es aproximadamente 10 veces más activo que el trans, y no se disminuye la actividad cuando están juntos, por lo que no es necesario separar los productos finales de la síntesis. La confirmación de la identidad del atrayente sintético con el epóxido de la olefina natural se puede obtener de diversas maneras.

La olefina sintetizada: 2-metil-7-cis-octadeceno, fué hidrogenada en un cromatógrafo de gases reteniendo el -- producto, el espectro de masas de la parafina resultante fué virtualmente idéntico al de la parafina precursora del atrayente -- sexual natural hidrogenada.

El espectro de masas de ambas olefinas fué también el mismo. La ozonólisis de la olefina sintética, también produce aldehidos fragmentados teniendo el mismo tiempo de retención que los productos de la olefina natural. Los índices de retención de los isómeros cis y trans del epóxido sintético 2-metil 7,8-epoxi-octadecano fueron significativamente diferentes. El índice de retención del epóxido de la olefina natural resultó el mismo que el del isómero cis y por lo tanto, es una forma de confirmar la configuración.

Además, la cromatografía de gases del material activo, mostró que coinciden los picos con una mezcla de los dos componentes: el natural y el sintético.

Los bioensayos de varias fracciones activas, mostraron variaciones en la actividad en función del area o pico correspondiente al epóxido sintetizado. Se colocaron en trampas soluciones equivalentes tanto de la feromona natural como de la sintética, y se encontró la misma respuesta de las palomillas para ambas trampas. De la misma manera se pudo identificar el atrayente usando de 10 a 15 μg de la olefina y solo unos cuantos microgramos de la olefina natural (41).

Se ha calculado que la hembra de la palomilla gitana produce 0.01 μg de gyplure, que teóricamente puede atraer a más de un billón de machos (9). Solo se requieren concentraciones de 10^{-13}g en las trampas para atraer al macho, por lo que una onza de feromona alcanza para 3×10^{14} trampas (8). El disparlure es activo a niveles menores de 0.001 μg por trampa, pero después

de tres meses baja su actividad, pero se puede prolongar si se mezcla con sustancias menos volátiles (42).

Para combatir la plaga de la palomilla gitana - se han usado animales depredadores como el ratón blanco, pajaros negros, escarabajos, etc. También se han usado virus que suprimen la copulación; como el *Streptococcus faecalis*, y la bacteria insecticida *Bacillus thuringiensis*. El insecticida más usado para ésta plaga es el Carbaryl (Sevin) y se usa en cantidades de una libra (0.45Kg) por acre para prevenir la infestación. El costo de un tratamiento efectivo es de 3 a 5 dolares por acre para una estación, y el momento en el cual debe ser aplicado el tratamiento es crítico (38).

El control de la palomilla gitana con feromonas es el primero que se ha hecho a gran escala, usando trampas con la feromona para capturar los machos y de ésta manera detectarlos y de ésa manera saber cuales son las areas que necesitan un tratamiento con DDT por aeroplano; las trampas no son muy efectivas para capturarlos, pero bastan unos cuantos machos para detectar y prevenir la infestación (43).

Es necesario colocar las trampas para detectar a tiempo la infestación y poder combatirla con insecticidas adecuados y eficientes, así se puede minimizar la reproducción.

Otro problema es eliminar la plaga cuando el -- grado de infestación es alto, por lo que es muy importante prevenirla. Con 30g del disparlure se tiene la cantidad suficiente para ser usada en las trampas durante los próximos 50,000 años, y

su costo es de aproximadamente cinco pesos (MN) por gramo.

Las trampas de estudio requieren 100 μ g para aumentar su efectividad como detectores. El dispartlure se mezcla - con otras sustancias para regular su volatilización, se han pro-bado muchas sustancias estabilizadoras, pero la mejor es el tri-octanoin, porque mejora los resultados de actividad y persisten-cia.

El mejor objetivo que se propone usando la feroumona sexual, es prevenir el apareo y la procreación de la palomiulla atrayendo al macho a trampas letales. Las técnicas propues-tas son para zonas susceptibles a ser infestadas, y se han invesutigado dos métodos: el primero consiste en atraer al macho hacia su destrucción en alguna trampa confinada a ello, y el otro, es el método de confusión, que consiste en dispersar vapores de fe-romona en la atmosfera para que el macho se confunda y no sepa - hacia adonde dirigirse en su búsqueda por la hembra, y no pueda llegar a ella (38).

Otra posibilidad de uso de las feromonas, es como bloqueo de funciones o procesos fisiológicos vitales, o cam-bios en el comportamiento por fatiga u otros mecanismos. Las cantidades de feromona que se requieren para el método de confusión son mucho menos costosas que si se usara insecticida, y es más potente y específica (38).

Algunos compuestos (Tabla No. 6) fueron sinte-tizados para determinarles su actividad biológica como atrayen--tes. Pequeñas variaciones en la estructura química son criticas.

COMPUESTO SINTETICO	ACTIVIDAD %
8,9-epoxi-nonadecano	0.02
7,8-epoxi-2-metil-octadecano	100
7,8-epoxi-3-metil-octadecano	5
7,8-epoxi-4-metil-octadecano	0.5
3,4-epoxi-2-metil-octadecano	0.1
3,4-epoxi-3-metil-octadecano	0.001
3,4-dimetil-6,7-epoxi-heptadecano	0.1
9,10-epoxi-2-metil-octadecano	---
10,11-epoxi-2-metil-octadecano	---

Tabla No. (6).- actividad biológica en pruebas de campo que varía significativamente al realizar pequeñas variaciones - en la estructura química del compuesto; ninguno de ellos llegó a igualar la actividad del atrayente natural. Se hace evidente la alta especificidad de la feromona, por lo cual pueden ser usadas para el control de plagas, además ofrecen otras ventajas como son: su baja toxicidad, bajo costo y alta potencia (41).

4.3 MOSCA DOMESTICA (*Musca domestica*)

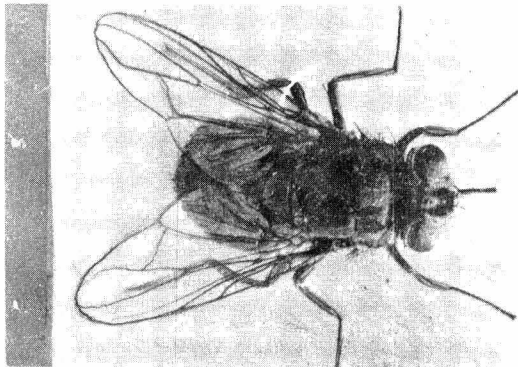
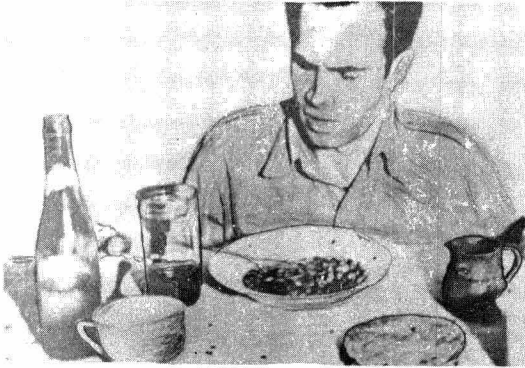
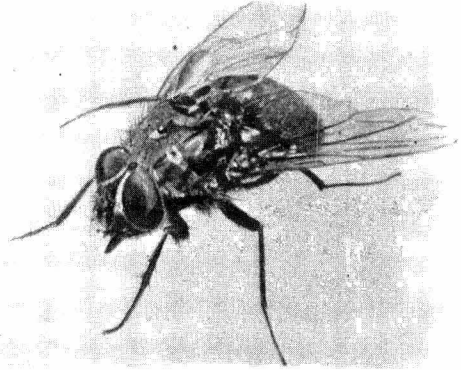
En la actualidad las tres cuartas partes de todos los animales vivientes son insectos, pero aunque solo el 1% de ellos son perjudiciales para el hombre y sus pertenencias, es de mucha importancia tener control de las especies nocivas; considerando que tienen gran habilidad para adaptarse al medio, capacidad de reproducirse rápidamente y su gran poder de diseminación. Estos factores influyen para que los insectos desarrollen poblaciones enormes que afectan la salud del hombre y compiten con él para arrebatarse lo que necesita y desea (Fig. 19).

Uno de los principales insectos que afectan la salud del hombre es la mosca doméstica, que es una eficaz diseminadora de gérmenes patógenos, las moscas causan inconvenientes a donde quiera que vayan, porque son portadoras de los gérmenes de más de 50 enfermedades, como el tracoma, viruela, escarlatina, tuberculosis, lepra fiebre tifoidea, etc. (44).

La mosca doméstica no pica, pertenece al orden de los dípteros, su trompa solo sirve para aspirar sustancias líquidas, tiene un solo par de alas. La mosca adulta busca sus alimentos sobre las inmundicias, excrementos y carroña; a ésta causa se debe que sus patas y trompa, provistas de pelos o cerdas, sean un excelente vehículo que utilizan las bacterias patógenas (19). Cada mosca hembra puede poner 5 o 6 tandas de huevos en una sola estación, y cada tanda contiene 120 a 150 huevos.

Fig. No. (19)

MOSCA DOMESTICA



En una pocas horas, salen de los huevos las pequeñas larvas blancas sin patas. Estas se alimentan y crecen, se vuelven ninfas, y luego se transforman en moscas aladas, todo en 10 o 12 días. Las nuevas moscas a su vez ponen huevos, y así prosigue el ciclo. Estos insectos se multiplican tan rápidamente, - que antes de terminar el verano, toda mosca hembra puede tener - innumerables descendientes.

Si todos viviesen y se reprodujeran normalmente, en condiciones favorables, en solo nueve generaciones (aproximadamente 6 meses), considerando que no haya mortalidad, sus descendientes dan lugar a la fantástica cifra de 324 billones de individuos (44).

Las moscas se encuentran en todo el mundo, y los datos publicados de su comportamiento y las plagas que producen, datan desde Aristóteles (45).

El macho es sexualmente agresivo, y las moscas son muy prolíferas, la presencia de una feromona sexual en las moscas, se revela claramente porque la hembra viva o muerta es - atractiva para el macho. Otros estudios han demostrado que el excremento de la hembra también atrae a los machos, al igual que los lípidos cuticulares. El análisis de esos lípidos, descubrieron - que el atrayente es un hidrocarburo producido solo por las hem--bras maduras, y que es efectivo solo sobre los machos maduros.

Al atrayente sexual de la mosca se le llamó -- muscalure, y resultó ser (Z)-9-tricoseno. La extracción se llevó a cabo lavando la superficie cuticular de las hembras maduras --

con hexano o éter, para remover los lípidos. El concentrado se - cromatografió en una columna de sílica gel y la fracción activa - se eluyó con hexano, las demás fracciones se eluyeron con disolventes más polares.

Se realizó cromatografía en placa fina de la -- parte activa usando hexano con 1% de éter etílico para separar 4 zonas. La zona más activa presentó un $R_f = 0.70$, que resultó con cordante con una mono-olefina de cadena larga. Las otras zonas - con $R_f = 0.95$, 0.25 , y 0.10 , resultaron ser parafinas y poli-olefinas. Realizando numerosas separaciones con columnas de cromatografía, se aisló la suficiente cantidad de material activo, - para ser llevada a un análisis por cromatografía de gases, dando los siguientes resultados:

22%	que corresponde a	C_{23}	es el más activo
1%	que corresponde a	C_{25}	
64%	que corresponde a	C_{27}	
10%	que corresponde a	C_{29}	
3%	que corresponde a	C_{31}	

El compuesto de C_{23} resultó ser el más activo, su espectro de masas mostró 322 m/e que corresponde a $C_{23}H_{46}$.

Desaparece su pico de la cromatografía de gases y su actividad biológica, cuando se trata con bromo en tetracloruro de carbono al 5%, verificando con ésto la presencia de la - doble ligadura.

La posición de la doble ligadura fue determinada por micro-ozonólisis de una muestra de 10 μ g, seguida por la cromatografía de gases de los productos. La configuración de la doble ligadura se determinó por cromatografía en placa fina en sílica gel-nitrato de plata, encontrándose que era cis.

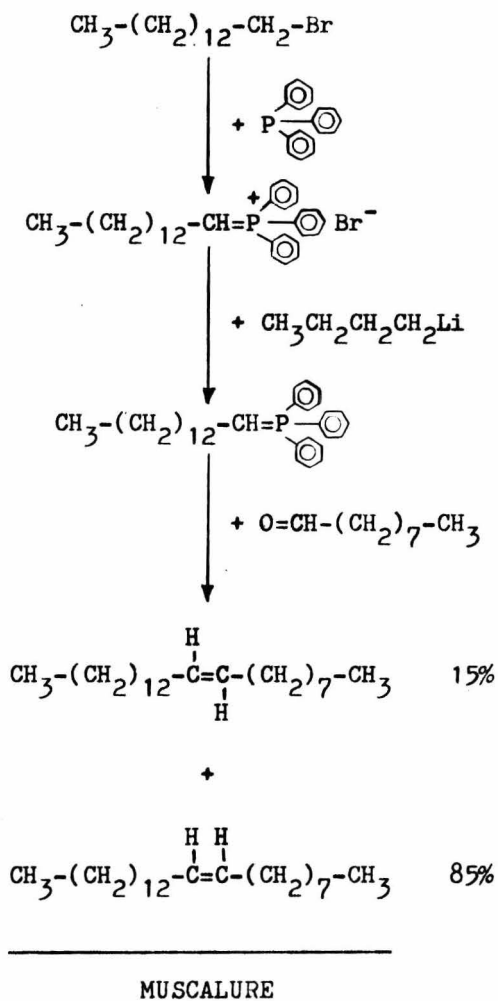
La hidrogenación instantánea de 100 μ g de olefina fina, dió n-tricosano, demostrado por el espectro de masas. Por lo tanto los datos indican que el atrayente sexual es Z-9-tricoseno.

El atrayente fué sintetizado de la siguiente manera: se puso a reflujo 1-bromo-tetradecano con trifenil fosfina en acetonitrilo, para formar la sal fosfoni, se le agregó n-butilitio disolviendo en dimetilsulfóxido seco, y se le agregó nonanal; así se obtuvo 9-tricoseno, 85% del isómero cis y 15% del trans, los cuales se separaron por cromatografía en columna de sílica gel-nitrato de plata, usando como eluyente hexano.

El isómero cis presentó un espectro de RMN mostrando la presencia de 2 grupos metilo con un triplete a 9.12 , 17 CH_2 - a 8.73 , 2 CH_2 adyacentes a la doble ligadura como un multiplete a 8.01 , $\text{CH}=\text{CH}$ como un triplete a 4.72 .

La olefina natural tiene un mismo valor de R_f que el isómero cis sintetizado. El espectro de IR de ambos resultó idéntico, y la configuración resultó idéntica por hidrogenación instantánea de ambos y probada por el mismo tiempo de retención en la cromatografía de gases. La muestra de C_{23} aislada de las eses fecales resultó idéntica a la olefina C_{23} cuticular (24).

REACCIONES DE SINTESIS DEL MUSCALURE



Se demostró que la feromona sintética era idéntica a la natural por las técnicas de bioensayo, IR, y tiempo de retención en el cromatógrafo de gases (24).

La síntesis del Z-9-tricoseno también se puede realizar electroquímicamente, electrolizando Z-9-docoseno con ácido propiónico utilizando electrodos de platino, según patente alemana (46).

Para probar la acción atrayente de la feromona de la mosca, se han desarrollado dos métodos especiales de bioensayo: el olfactómetro y las pseudo-moscas. Las pseudo-moscas son pequeños objetos negros que simulan ser la hembra, los cuales son individualmente impregnados con la sustancia de prueba, para ser expuesta a los machos. La técnica es tal, que se tienen de 12 a 14 variables como: la temperatura, concentración, humedad, tamaño de la pseudo-mosca, etc., lo cual permite hacer una evaluación por la repetición de las pruebas, así se probó la actividad de otras mono-olefinas desde C_{25} a C_{31} , pero la mayor actividad se presentó en C_{23} , y las poliolefinas fueron aún menos activas (47).

El olfactómetro es un recipiente plexy-glass -- (de $90 \times 45 \times 54$ cm), de una de las caras salen dos cilindros de vidrio (de 8 cm de diámetro \times 40 cm), los cuales comunican al aire interior de la cámara con el exterior. En los extremos finales de los cilindros tienen unos conos, que permiten la entrada a los machos, pero les dificultan la salida. En el interior de la cámara se colocaron 300 hembras narcotizadas con bióxido de carbono,

y se soltaron 300 machos nuevos de solo tres horas de edad, por uno de los cilindros de vidrio se pasa una corriente de aire para que salga el olor de las hembras, y en el otro cilindro se coloca la muestra de comparación. Los machos se dirigen hacia los cilindros y penetran en ellos, donde son atrapados para contarlos. De ésta manera se pueden hacer pruebas comparativas de la feromona natural con otras sintéticas y a diferentes concentraciones. En otras pruebas se han colocado como estandar, soluciones de los lípidos fecales (24).

La actividad del atrayente de la mosca está relacionada con la humedad relativa, ésto se ha podido demostrar con el uso de las trampas para el bioensayo. Las pruebas hechas donde la humedad del medio ambiente es de 50-73% no dieron tan buenos resultados como las que se realizaron con la humedad relativa mayor que la ambiental en un 18 a 38%.

La adición de 6% de agua a la muestra, aumenta su actividad atrayente hasta el máximo. Controlando la humedad de un cuarto con ác. sulfúrico, se encontró que baja notablemente la actividad atrayente de la feromona en lugares donde la humedad sea menor del 40%, o con atrayentes secos (48).

En otros experimentos se pone la feromona en engrudo como material inerte, y se ve que el número de moscas que caen en la trampa varía con el tiempo de exposición. Para estudiar la remota posibilidad de que la mosca grabara en su memoria la localización de la trampa, para prevenir a las otras moscas, se estudió de la siguiente manera: se colocaron dos cajas de --

Petri, una con material inactivo y la otra con feromona, y se dejaron así durante 20min., al cabo de los cuales, gran cantidad de moscas fueron atraídas por la caja con feromona. Inmediatamente después, se invirtieron de lugar las cajas, 4min. y se tomó una fotografía, en la que se encuentra la misma distribución en ambos casos. A los 6min. se tomó otra fotografía en la que se ve que -- primero se dirigen al sitio inicial y luego regresan. Después de 5min. más, se tomó la última fotografía, en donde se ve que la ma yoría se dirigen al lugar correcto.

Haciendo algunas variantes sobre ésta prueba, se encontró que cuando la feromona se presenta muy diluida, la mosca vuela en varios ángulos cambiando rápidamente de dirección, hasta que se dirige al sitio correcto (49).

Algunas sustancias como el amoníaco, ác. grasos, sulfurosos, desperdicios fermentados, y algunas aminas, atraen a las moscas hacia el sitio de oviposición, pero éstas sustancias no son feromonas (20).

Se espera que el muscalure no sea caro en su ma nufactura, y que sea lo suficientemente potente para reducir la cantidad de insecticida necesario para llevar a cabo en forma efi ciente el control de la mosca doméstica (24).

4.4 CUCARACHA AMERICANA (*Pereplaneta americana*)

Las cucarachas son insectos antiquísimos, parece ser que son originarias de la India, pero se han extendido -- por todo el mundo. Las cucarachas pertenecen al orden de los ortópteros, tienen boca masticadora, la cucaracha americana alcanza gran tamaño, hasta de 7cm de longitud, y tiene alas tan desarrolladas que puede volar.

La cucaracha americana fué llevada a Europa desde la América tropical, estableciéndose en las casas, principalmente en las próximas a los muelles y a los barcos.

Viven de desperdicios, pero es difícil encontrar algo que no atraiga a las cucarachas en materia de alimento, porque se sabe que han comido hasta papel de esmeril y otras sustancias poco comunes. Y lo que no se comen, lo inutilizan, ya que dejan sobre todo lo que tocan su asqueroso olor, proveniente de las sustancias segregadas por las glándulas del dorso. Son transmisoras de muchas enfermedades a los animales y al hombre.

Las cucarachas colocan de 30 a 40 huevos en cápsulas (Fig. 20), y la madre lleva la cápsula en el abdomen durante varios días antes de depositarla, probablemente para que esté completamente endurecida antes de dejarla escondida (24).

Se inició el estudio de las feromonas de la cucaracha americana, por el análisis de las sustancias que dejan -

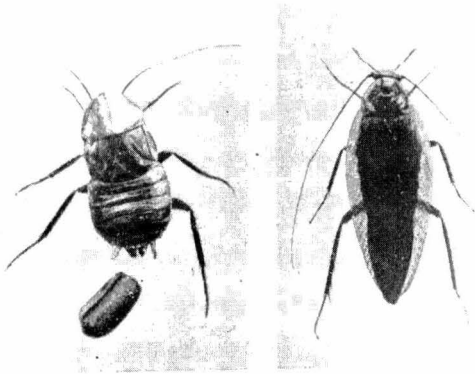
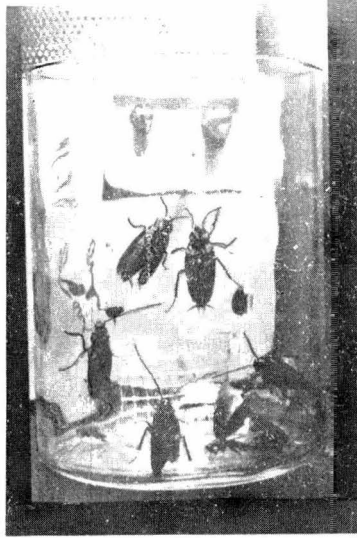


Fig. No. (20) CUCARACHA AMERICANA

las cucarachas en todo lo que tocan. La sustancia producida por las hembras vírgenes, puede ser recogida con papel filtro por el cual ha pasado la hembra haciendo contacto con su cuerpo, pero recoger el extracto por éste método solo da cantidades muy pequeñas, lo que indujo a la investigación de otro método de recolección más eficaz, y evitando usar el método empleado para el gusano de seda y la palomilla gitana de cortar los últimos segmentos del abdomen (11).

El método empleado para la extracción de la feromona consistió en colocar a las hembras vírgenes en un recipiente de metal y pasarles una corriente de aire que arrastrara el aroma hasta un recipiente condensador de los vapores, donde se extrajeron con benceno y se condensaron para someterlos al proceso de análisis (Fig. 21).

Wharton y Miller (50) iniciaron la investigación de la feromona extraída del papel filtro impregnado con el atrayente, pero solo obtuvieron 28 mg de la sustancia pura, la cual no pudieron identificar. Para obtener mayores cantidades del atrayente se usó el otro método de pasar una corriente de aire constante sobre 10,000 hembras colocadas en el recipiente, condensando los vapores en una trampa de enfriamiento con solución de ácido clorhídrico al 0.1% (para que se combine con una amina que hidroliza lentamente al atrayente), y se extrajo el condensado con hexano, se lavó con agua, se secó sobre sulfato de sodio y se destiló a 20mmHg y menos de 40°C para obtener un residuo amarillo semisólido que se purificó por cromatografía en columna.

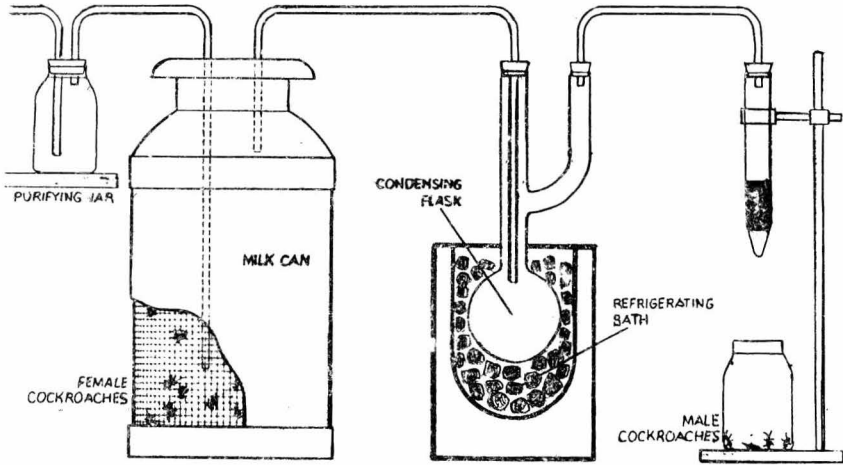


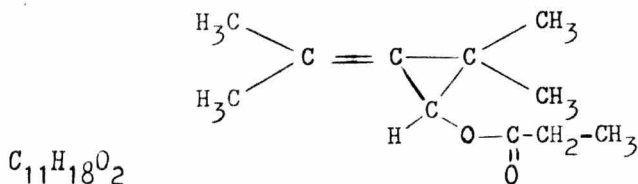
Fig.No. (21).- Sistema de recolección de la feromona sexual de la cucaracha americana. Se colocan las hembras vírgenes - en un recipiente metálico, y se les pasa una corriente de aire - puro, los vapores son condensados utilizando una trampa de enfria miento. Los machos se colocan en otro frasco, y sirven de prueba para saber si en los vapores condensados se encuentra la feromona sexual (20).

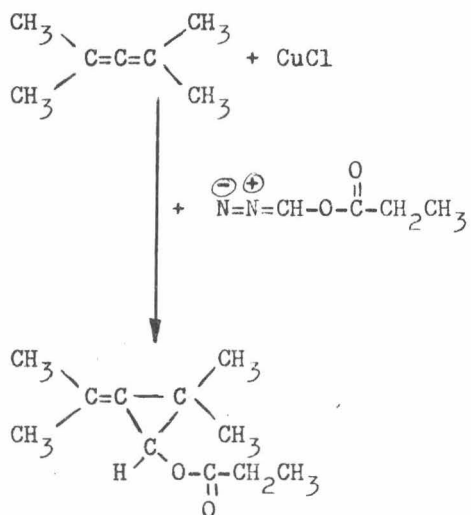
La purificación se llevó a cabo en una columna de sílica gel eluyendo con hexano espectral y el 3% de una solución de éter-hexano 1:9. Se extrajo un líquido amarillo más activo, el cual se separó por destilación por arrastre de vapor (51).

Este trabajo tardó 9 meses para ordeñar las hembras, para obtener la cantidad de 12.2mg del atrayente puro, que es un líquido amarillo de olor característico, el cual es activo a niveles de concentración de 10^{-14} μ g.

Los trabajos realizados para aislar la cantidad de 12.2mg de feromona, así como los primeros intentos para determinar su estructura, fueron realizados por Jacobson y Beroza (51).

El primer análisis mostró tener una fórmula mínima de $C_{11}H_{18}O_2$ sin mostrar actividad óptica ni absorción en el UV. Por IR mostró ser un éster con un isopropilideno. La hidrogenación catalítica mostró un consumo de hidrógeno para 1.1 de dobles ligaduras dando un compuesto menos colorido. Una RMN con --deuterocloroformo confirma que no hay hidrógeno unido a la doble ligadura. La saponificación alcalina del compuesto saturado dió un alcohol secundario y ácido propiónico. La oxidación del atrayente también dió ácido propiónico. De éstos datos se propuso que la estructura del atrayente podía ser 2,2-dimetil-3-isopropilideno-ciclopropil-propionato:





OBTENCION DEL 2,2-DIMETIL-3-ISOPROPILIDEN-CICLOPROPIL
PROPIONATO

Además realizaron la síntesis haciendo reaccionar 2,4-dimetil-2-penteno con etil diazo acetato y saponificando para obtener el ácido como un aceite viscoso menos colorido. Sin más detalles esto los llevó a la obtención de un producto que -- dió el siguiente análisis espectroscópico: en IR dió un pico a -- 800 cm^{-1} , en RMN mostró la presencia de dos grupos metilos a -- 8.74, un átomo de hidrógeno a 7.66, el ciclopropil a 5.82, -- y un grupo alkilo a 9.14 del cual no se dá más explicación a que tipo de alkilo pertenece, pero posteriormente otros autores lo -- mencionan.

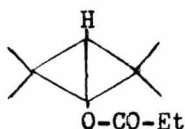
Posteriormente estos mismos autores Jacobson y Beroza (52) en 1965 demostraron que la estructura dada prematuramente para la feromona era incorrecta, porque las pruebas de bioensayo mostraron que no tenía actividad biológica, y los espectros de RMN de los productos de oxidación contradicen la existencia de ácido propiónico. Esto indica que el atrayente sexual sufre un complejo rearrreglo que no es fácil de comprender. El atrayente es excepcionalmente inestable y se descompone en pocos días -- si se guarda sin diluir; diluido en hidrocarburos y enfriado en nitrógeno puede durar hasta 6 meses. Durante el aislamiento de -- la sustancia activa siempre se mantuvo en esa forma.

Otro grupo de investigadores trataron de encontrar la estructura correcta de la feromona, éstos fueron Day y -- Whiting (53), quienes encontraron que el tiempo de retención en cromatografía de gases para el compuesto que se había postulado como feromona era de 6min, mientras que el de la feromona natu-

ral es de 110-145min. Y las evidencias químicas para éstos com--
 puestos no concuerdan, ésto los hizo iniciar una nueva investiga
 ción. Reportaron un complejo método de obtención de la misma --
 sustancia; empleando un éster que por termólisis, pirólisis y su
 friendo rearreglos da el producto, pero no se describen las reac
 ciones de transformación. Posteriormente se reportan los resulta
 dos obtenidos del análisis espectroscópico del producto de la sin
 tesis: el IR da una banda a 1782 cm^{-1} del C=C , pero el producto
 natural tiene una banda a 802 cm^{-1} que éste no la tiene. en RMN --
 presenta un multiplete a 5.96 perteneciente a un protón, dos sin
 guletes de 3 protones a 8.82 y 8.93 vecinos a un cuarteto de tri
 pletes del grupo etilo.

Además éstos autores Day y Whiting dan explica
 ción al valor reportado en RMN por Jaboson y Beroza de 9.14, di
 ciendo que se debe a un grupo alkilo de $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_n$ en donde $n > 6$.
 Pero de cualquier manera, la sustancia que sintetizaron no pre--
 sentó actividad biológica, por lo tanto no es feromona.

Day y Whiting al demostrar que la sustancia pro
 puesta por los otros investigadores era incorrecta, ellos propo
 nen una nueva estructura de biciclobutano, en base solo a que el
 tiempo de retención y la fórmula mínima coinciden con la sustan
 cia natural, pero no reportan la síntesis de dicha sustancia ni -
 las pruebas de bioensayo que confirmen que es la verdadera fero
 mona. La estructura que proponen es la siguiente:



Otro grupo de investigadores: Meinwald, Weeler, Nimetz y Liu realizaron la síntesis del etil-2,2-dimetil-3-isopropilidén-ciclopropil-1-carboxilato por diferentes métodos; obteniendo rendimientos muy bajos o mezclas muy complejas de productos de reacción, pero sometiéndolas a purificación y separación - muy minuciosa, lograron la síntesis deseada.

Una de las mejores técnicas de síntesis encontrada para éste compuesto, fué a partir del tetrametil aleno con diazo-acetato de etilo en presencia de cloruro de cobre, se extrae con éter y se lava con hidróxido de amonio y 2 veces con agua. Se destila el exceso de tetrametil aleno con una destilación fraccionada y se obtiene el producto con fórmula mínima $C_{11}H_{18}O_2$, dando los valores de C = 72.49% e H = 10.02%, cuando los valores esperados para dicho compuesto son: C = 72.49% e H = 9.96%. El espectro de IR dió dos picos: a 581 cm^{-1} y 880 cm^{-1} . La resonancia magnética dió un cuadruplete a 6.25 de 2 protones, un doblete a 8.35 de 6 protones, y un triplete a 8.87 de 9 protones (54).

Se demuestra que los datos reportados en la literatura por los diferentes autores no concuerdan, y los métodos que se proponen para la síntesis del mismo compuesto no se explican claramente, lo que hace que no se pueda considerar como concluido éste trabajo. El espectro de RMN del extracto natural de la cucaracha se muestra en la Fig. No. (22), y confirma una vez más que la feromona no tiene la estructura que se propone, y no se tienen más reportes que aclaren ésta situación. Las fallas posiblemente sean a causa de la inestabilidad de la feromona.

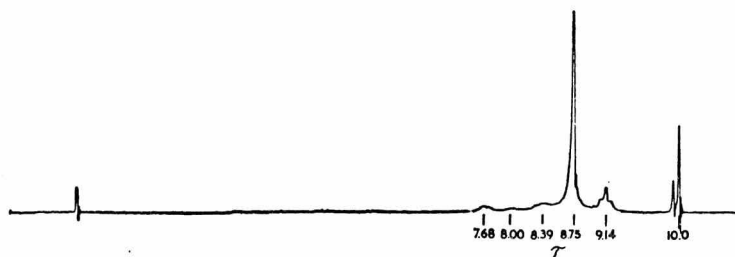


Fig. 1. Nuclear magnetic resonance spectrum of naturally occurring cockroach sex lure in CDCl_3 .

Fig. No. (22).- Espectro de RMN del extracto natural de la feromona de la cucaracha americana (52).

La identificación y bioensayos de los atrayentes aislados, debe hacerse a ciertas horas del día o de la noche. La concentración de los olores es muy importante, se ha demostrado que a altas concentraciones, el insecto puede repeler la feromona en vez de ser atraído. La respuesta del insecto también se ve afectada por la luz, humedad, temperatura, corrientes de aire, etc., de aquí la dificultad para realizar las pruebas de bioensayo que son determinantes para establecer la estructura correcta de estas sustancias (20).

5. USOS DE LAS FEROMONAS

Las feromonas, como ya se ha mencionado, son -- aquellas sustancias segregadas por los insectos que van a influir en el comportamiento de otros individuos de la misma especie.

La principal importancia que ha tenido el estudio de éstas sustancias es con la mira de ser usadas como insecticidas del futuro. Utilizando las feromonas que posee la hembra para atraer al macho, se colocan en trampas tales, que el macho se dirige a ellas en busca de la hembra y se encuentra con su -- destrucción.

Los insectos se han venido haciendo resistentes a la acción de los insecticidas actuales, que cada vez son más -- potentes, y a su vez, son más tóxicos para el resto de los seres vivos, lo cual ha incrementado notablemente la contaminación ambiental. Los insecticidas tradicionales no son específicos para la especie, y se exterminan tanto las especies nocivas como las benéficas.

En éste capítulo se describen los métodos tradicionales que se han venido usando para la lucha contra las plagas, y finalmente, los avances de lo que podía constituir la tercera generación de los insecticidas: hormonas y feromonas.

Los insectos constituyen las tres cuartas partes de todos los animales de la tierra, y si se reproducen explo

sivamente constituyen las plagas, que compiten con el hombre y -
el resto de los animales por los alimentos, por lo que es de gran
importancia mantener el equilibrio y controlar las especies.

5.1 LA EVOLUCION DE LOS PESTICIDAS

La humanidad siempre ha sido afectada por los insectos, hay especies que son perjudiciales al hombre, los animales domésticos, el ganago, los granos almacenados, los cultivos, etc. Y otras especies son benéficas, como las abejas que producen la miel y cera, y además ayudan a la polinización de plantas y árboles (44).

El uso de los pesticidas presenta grandes dificultades. La primera es que puede ser tóxico no solo para la peste, sino también para otras especies de insectos. La segunda es que los insectos desarrollan una gran habilidad para adaptarse y reproducirse rápidamente y se hacen resistentes a los insecticidas; su poder de dispersión hace que se desarrollen enormes poblaciones de insectos que afectan la salud del hombre al constituir las plagas. La tercera es que los insecticidas se han usado en cantidades excesivas provocando la contaminación ambiental (55).

Los métodos de lucha contra las plagas se pueden agrupar de la siguiente manera:

5.1.1 Culturales

5.1.2 Uso de insecticidas

5.1.3 Métodos biológicos

5.1.4 Métodos preventivos o cuarentenas.

5.1.1 Culturales.- comprenden la rotación de -
cultivos. Arar la tierra para sacar los insectos y otros animali
tos del suelo para que queden expuestos al sol, los pájaros y --
otros agentes desfavorables para su desarrollo. Los riegos por -
inundación también son efectivos para los insectos que viven en
el suelo.

5.1.2 Uso de insecticidas.- el empleo de los in-
secticidas data desde Homero (1,000 años A.C.), el cual ya hablaa
ba de usar el azufre como fumigante para combatir plagas. Los ro-
manos utilizaron el veratro (planta de la familia de las liliá-
ceas), para combatir ratas e insectos. Por el año 900D.C. los --
chinos usaban el arsénico contra las plagas en sus jardines.

Los insecticidas se pueden clasificar desde di-
ferentes puntos de vista: considerando su origen, como compues-
tos derivados de vegetales, que junto con los inorgánicos consti-
tuyeron la primera generación de los insecticidas. Entre los in-
secticidas vegetales se encuentran el sulfato de nicotina, el pi-
retro, la rotenona, y la sedalilla; con toxicidades muy bajas pa-
ra los animales de sangre caliente. Los insecticidas inorgánicos
son generalmente a base de arsénico, cobre, mercurio, cinc y ---
flúor; en forma de arseniato de calcio, verde de parís (aceto
arseniato de cobre), fluoruro de sodio, arseniato de plomo, clo-
ruro de mercurio, sulfato de cinc, criolita (fluoroaluminato de
sodio) y el azufre (44).

El progreso industrial de los insecticidas fue

lento hasta 1939, en que el químico suizo Müller redescubrió el DDT, el cual fué sintetizado por primera vez por el químico alemán Zeidler, en 1874. El DDT (dicloro-difenil-tricloroetano) dió inicio a la segunda generación de los insecticidas (55). Este poderoso insecticida estimuló el desarrollo de nuevos compuestos - clorados, fosforados y carbamatos, los cuales pertenecen al grupo de los insecticidas de origen orgánico o sintético.

Los insecticidas orgánicos se agrupan de acuerdo a los elementos tóxicos que contienen. La fenotiazina y antinonina, son derivados del fenol y del cresol; el hexaclorobenceno BHC es un insecticida clorado. También se usan el clordano, - aldrín, dieldrín, endrín, etc. En 1950 se usaron los derivados - del ác. fosfórico, pero tienen un poder tóxico mayor que los clorados, entre ellos se pueden citar: el pirofosfato de tetraetilo, el paratión etílico y metílico, el systox, metasystox, fosdrín, malatión, Co-Ral y trolene. Y finalmente se han usado los carbamatos todavía más tóxicos. Todos ellos tienen alto poder destructivo.

Los insecticidas también se pueden clasificar por su modo de actuar sobre el insecto, y se dividen en insecticidas de contacto, ingestión y aspiración (fumigación). También se han desarrollado diversas técnicas para esparcer el insecticida.

El uso inadecuado de los insecticidas ha causado serios problemas, como que los insectos por selección natural se han hecho resistentes a ellos, por su uso amplio y continuo.

Hoy se sabe que más de 20 especies de importancia médica y veterinaria (mosquitos, moscas, cucarachas, garrapatas, etc.) y otras tantas de importancia agrícola (picudo del algodón, gusano rosado, gusano de la manzana, etc.) han desarrollado poblaciones resistentes a los insecticidas (44). Y no solo se han hecho resistentes, sino que lo metabolizan y se vuelven adictos a él.

En 1966 la venta de insecticidas de la segunda generación en Estados Unidos alcanzó un valor de 50 millones de dolares al año. Y en esa cantidad son sumamente tóxicos y peligrosos. La rápida evolución de la resistencia a los insecticidas es crítica, la malaria es transmitida por el mosquito anopheles, el cual es resistente al DDT y eso constituye un grave problema mundial (55).

5.1.3 Métodos biológicos.- consisten en ayudar a la producción artificial de insectos predadores enemigos de -- los que se desean exterminar. Los enemigos naturales pueden ser protozoarios, nemátodos, hongos, bacterias y virus.

También se está tratando el desarrollo y diseminación de agentes que provoquen esterilidad sexual; producción y liberación de individuos con genes letales que actúen durante el desarrollo del insecto; distribución de preparados hormonales que interfieran en el desarrollo del insecto; producción y liberación de insectos que han sido esterilizados sexualmente por medio de radiaciones (44).

5.1.4 Métodos preventivos o cuarentenas.- consisten en regular el manejo y tráfico de semillas, plantas y animales de un lugar a otro para evitar que se propaguen las plagas por todo el mundo. Se usan trampas para detectar una posible infestación, cuando se detecta a tiempo, se puede controlar en forma adecuada previniendo pérdidas mayores (44).

5.2 LA TERCERA GENERACION DE LOS INSECTICIDAS

El primer candidato para constituir la tercera generación de los insecticidas es la hormona juvenil, que es secretada por el insecto en ciertas etapas de su vida y regula su crecimiento y desarrollo. Y las feromonas que también son secretadas por los insectos y regulan su comportamiento, crecimiento y desarrollo.

Los entomologistas piensan que éstas sustancias pueden resolver el problema de controlar las plagas de insectos para salvar las cosechas de comida, fibras, madera, etc., el problema se concreta ahora a como hacerlo en forma eficaz y económica, con el mínimo de contaminación del medio ambiente, para poder desplazar a los insecticidas de la segunda generación, que han domonado en las tres últimas décadas (56).

La hormona que regula el crecimiento vital y la muda de los insectos es la ecdisona. La hormona juvenil es producida por el cerebro del insecto y participa en el control del crecimiento, su función es conservar al insecto en estado larvario durante cierto número de mudas. Hay sustancias inhibidoras de la acción de la hormona o mimetizantes, que se pueden utilizar como insecticidas naturales que no tienen efecto sobre otras formas de vida, como sucede con los insecticidas orgánicos como el DDT y el Parathión (57).

La hormona juvenil es una secreción interna de

los insectos para regular su crecimiento y metamorfosis, para - pasar de larva a adulto. Si la hormona juvenil se pone en contacto con los huevos o las larvas, produce que el insecto permanesca en estado larvario y muera sin reproducirse.

La hormona juvenil no es tóxica para el resto - de los seres vivientes, y no es fácil que el insecto ofresca resistencia o insensibilidad a la hormona, que cuando se encuentra pura es extraordinariamente activa, un gramo es suficiente para actuar sobre un billón de insectos.

Las hormonas identificadas son del tipo de esteroides y no es muy fácil sintetizarlas, después de que han sido aisladas de un gran número de insectos para obtener una pequeñísima muestra, que se somete a purificación e identificación (55).

Las feromonas sexuales son las que se han considerado frecuentemente para el control de insectos. Como son sustancias que produce el insecto para regular su comportamiento, ofrece menor resistencia que a los insecticidas convencionales, y es más remota la posibilidad de adaptación.

Se han desarrollado tres técnicas importantes - para el control de insectos por feromonas:

- La Primera consiste en rastrear la población de insectos con trampas de prueba, ésta técnica se usa actualmente en -- Estados Unidos para detectar la infestación de palomilla gitana, si se detecta oportunamente, se reduce la variedad de insecticidas que se requieren para combatirla, y así mismo, se usa menor cantidad del mismo, que por no ser específico para la especie, -

resulta tóxico para los pájaros y mamíferos.

- La Segunda técnica consiste en atrapar en masa a los machos de la especie y exterminarlos por cualquier método.

- La tercera técnica es la llamada de confusión, que consiste en soltar al aire a la feromona sexual femenina, para que el macho se confunda y se sature con el olor, y se frustra en la búsqueda de la hembra.

Estas técnicas han sido probadas en laboratorios experimentales y en el campo, y los datos obtenidos indican que se pueden usar para el control de grandes infestaciones (56).

El control de la palomilla gitana es el primero que se ha hecho a gran escala, utilizando trampas para atraer a los machos excitados por el atrayente sexual de la hembra, y de ésta manera se sabe que area necesita un tratamiento con insecticida esparcido por aeroplano. Estas trampas no son muy específicas para capturarlos, pero sí para detectarlos. Se han probado muchos tipos de trampas para encontrar las que den los mejores resultados.

La trampa de Graham consiste en un cilindro de metal de 17.5cm de longitud y 10cm de diámetro, en una de las bases del cilindro lleva un cono de papel con un hoyo de 2.5cm de diámetro, para que una vez que haya entrado la palomilla, ya no pueda escapar (Fig. 23). La pared interior de la trampa está cubierta con papel adhesivo, y dentro de la trampa se coloca un papel filtro humedecido con la feromona, evitando que toque al adhesivo. La trampa se cuelga del árbol del area infestada.

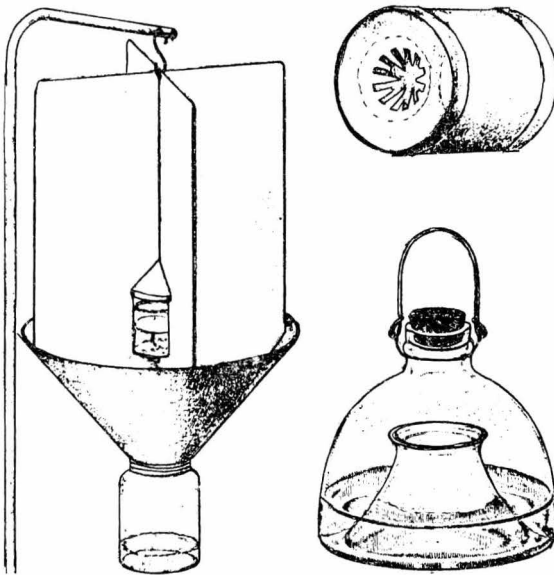


Fig. No. (23).- Diferentes tipos de trampas para ser usadas con feromonas, estas trampas no se usan para exterminar los insectos, pero sí, para detectarlos en las areas posibles de infestación y se checan regularmente para detectar oportunamente la plaga y poder combatirla adecuadamente. Se pueden obtener resultados muy variados bajo diferentes condiciones de trabajo, tales -- factores son el tamaño de la trampa, forma, color, concentración de la feromona, altura a la cual se coloca la trampa, etc., por lo que se han tenido que hacer modificaciones a la trampa de Graham para obtener mejores resultados, y las modificaciones requeridas se imponen según la especie de insecto de que se trate.

Es un factor importante el tamaño que debe tener la trampa; entre más grande sea la entrada, entran más palomillas, pero también se escapan más fácilmente. La cantidad del atrayente que se volatiliza también depende del tamaño del hoyo. Se encontró que cuando el hoyo es de una pulgada de diámetro, se obtienen los mejores resultados. Se debe prevenir que pueda entrar un pájaro, porque se reduciría la eficiencia.

También tiene influencia el color de la trampa. Se probaron trampas de diferentes colores: gris, rojo, amarillo, blanco y verde, y se encontraron diferencias significativas, por lo que se prefiere usar las de color verde oscuro.

Inicialmente se usaron rollos de algodón de 5g para contener aproximadamente 30ml de solución bencénica de la feromona, pero se ha reemplazado por un rollo de papel corrugado en forma de cilindro, de 7.5cm de longitud por 2.5cm de diámetro saturado con 2.5ml de la solución del atrayente. Haciendo pruebas de comparación entre los dos tipos de contenedores de muestra, se encontraron los siguientes resultados:

Contenedor de la feromona	No. de machos atrapados
Algodón	22.0
Papel corrugado de 3" x 1"	44.5
Papel corrugado de 1" x 1"	36.3
Papel corrugado de 3" x 1/2"	33.3
Papel corrugado de 1" x 1/2"	27.3

El papel corrugado se usó hasta 1955 cuando -- descubrieron que las impurezas del papel interfieren con la actividad del atrayente. Se encontró que algunas muestras reducen el poder de captura hasta en un 50%. Los análisis de éstos papeles mostraron la presencia de residuos ácidos. En base a esto, se -- probaron muchos tipos de papel filtro con cualidades uniformes y constantes, hasta obtener datos satisfactorios con un papel crepé en rollos de 3x4" dentro de un cilindro con un hoyo de 1/2" de diámetro. Se requieren 4ml de solución bencénica para saturar al contenedor.

Aunque el atrayente sea estable, muchas veces - el adhesivo es el que no funciona bien, tiene la tendencia a endurecerse en las noches frías, y permite que escapen las palomillas. Renovándolo cada 6 días da unos resultados razonablemente eficientes:

Frecuencia de cambio	Palomillas atrapadas (en dos trampas)	
3 días	93.8	76.3
6 días	63.0	42.5
9 días	34.8	38.8
Sin cambiarlo en toda la estación	12.8	15.5

Se han probado muchos tipos de adhesivos para - aumentar su eficiencia sin tener que cambiarlos. El atrayente de la palomilla gitana es efectivo en presencia del adhesivo Tangle foot, siempre y cuando no exista contacto físico entre ambos.

Al atomizar el adhesivo se puede contaminar el contenedor, impidiendo que continúe su actividad el atrayente.

Se ha visto también que los machos de la palomilla gitana responden mejor a las trampas mientras más cerca estén éstas del suelo, y la máxima efectividad se logra a 6 pies - del suelo:

Pies sobre el nivel del suelo	Palomillas atrapadas
0	27.0
3	22.0
6	34.5
12	15.5

Se han tratado de encontrar las condiciones más favorables para atrapar el máximo de palomillas. Los experimentos se llevaron a cabo en áreas libres de infestación de ésta palomilla, se colocaron las palomillas en un punto central a las trampas que a su vez se encontraban a 30' unas de otras. En algunos casos, a media milla del punto central, y en otros casos a un --tercio de milla. El primer factor que influye sobre el macho es la dirección del viento. Es importante que todas las trampas tengan la misma posibilidad de atrapar palomillas (43).

Para que la trampa sea efectiva, se requieren - varios factores: el número y distribución de las trampas requeridas es relativo al número y distribución de la - palomilla a ser controlada. El tipo de trampa (Fig. 24) que se - requiere está en función a la especie que produce la plaga (Fig 25)

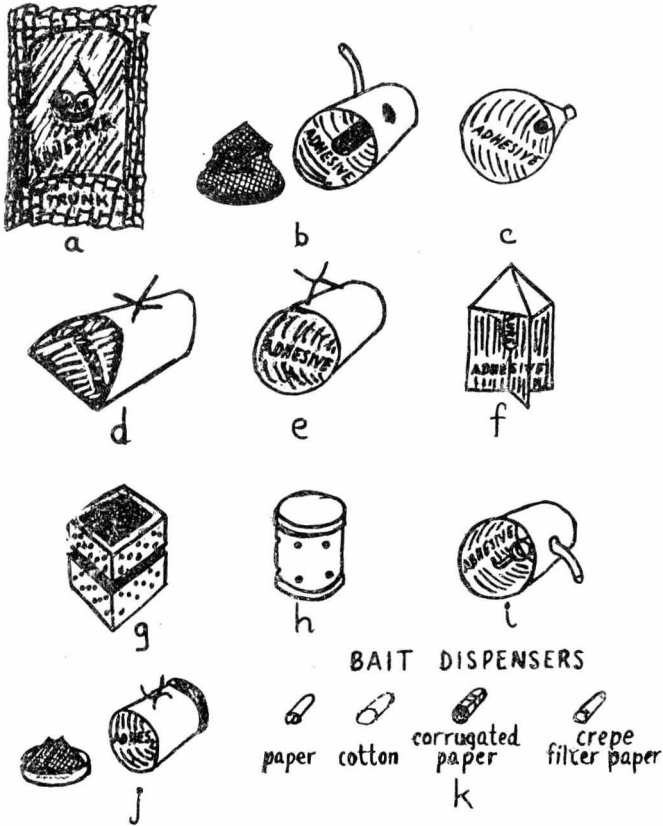


Fig. No. (24).- Diferentes tipos de trampas y de contenedores de feromona que pueden ser utilizados para detectar una plaga. El tipo de trampa se ajusta a las necesidades de la especie de insecto de que se trate.

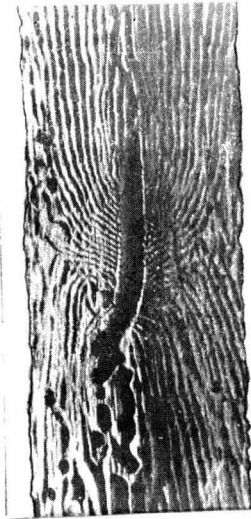
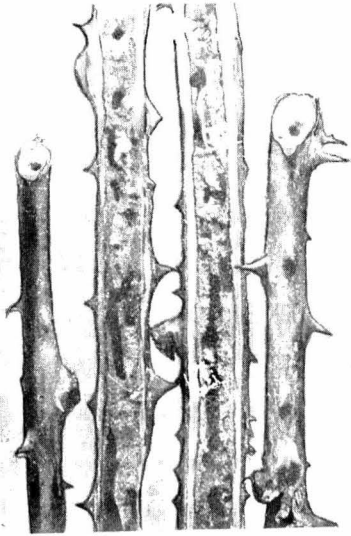
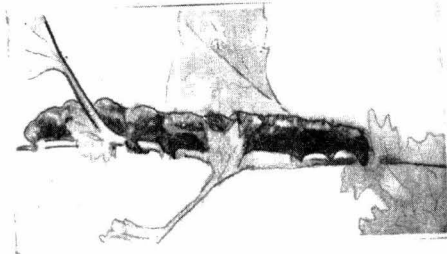


Fig. No. (25)



La razón de crecimiento de la población, determina el grado de control que se requiere para reducir el número de sus miembros.

Para aplicar el método de la confusión, es necesario esparcer una cantidad suficiente de la feromona para prevenir la respuesta normal del macho, que se orienta hacia la fuente de feromona y así encuentra a la hembra. Es indispensable conocer la dinámica del proceso básico de adaptación para establecer las estrategias de su control.

La plaga de palomilla gitana se puede extender de dos maneras: las larvas jóvenes se sueltan al aire, el cual las transporta a algunas millas de distancia y caen en nuevas plantas; o bien, los machos adultos están capacitados para volar e invadir otras áreas (38).

La razón de crecimiento de la palomilla gitana, ha sido tema de estudio de los entomologistas por algunos años. Cada hembra es capaz de depositar varios cientos de huevos, y aunque muchos mueren, la razón de crecimiento va aumentando en la forma siguiente:

Años sucesivos	Número de adultos nuevos
1er. año	2
2o. año	2×10
3er. año	2×10^2
4o. año	2×10^3
5o. año	2×10^4
6o. año	2×10^5

La detección oportuna de la palomilla gitana es de vital importancia para controlar la infestación de grandes zonas (38).

Cuando se supone que hay infestación de palomilla, se colocan las trampas para detectarlas y poder evaluar el grado de infestación, y se procede a rociar DDT en la zona, realizando pruebas periódicas para asegurarse de que la plaga está controlada (43).

Cuando se usa el método de confusión, se ponen muchas fuentes de feromona en el campo, para que se extiendan -- sus vapores en la atmósfera. El macho satura sus receptores olfativos y se vuelve insensible a la feromona, se ponen muy excitados, y el periodo de confusión se prolonga por 4 a 5 semanas.

Para lograr que el aroma persista, se puede colocar la feromona en papelitos de 0.4cm^2 de superficie, y se distribuyen 5,000 pedacitos de papel en un área de 40 acres; cada pedacito contiene una gota de la feromona, y durante los 6 primeros días tiene mucha actividad, si se requiere mayor efectividad, se puede aumentar el número de fuentes de feromona, también se pueden utilizar microencapsulados con solución de feromona en algún solvente empleando estabilizadores químicos. Los papeles humedecidos con la feromona y suspendidos de los árboles, no son muy activos, porque están expuestos a la lluvia y al viento (38).

La técnica de confusión es efectiva hasta en un 93%, utilizando los microencapsulados con solución de disparlure, que duran de 6 a 8 semanas.

Las feromonas son efectivas para detectar la -- plaga de palomilla gitana, pero cuando ya está infestado el lu-- gar, se requiere el uso de insecticidas para combatirlos rapida-- mente y evitar que se extienda la plaga (56).

Se pueden producir muchas trampas de muy bajo - costo. Cada trampa cuesta aproximadamente dos centavos dolar, in cluyendo la feromona y el adhesivo. La feromona cuesta \$10.00 la libra, y con esa cantidad es suficiente para preparar un total - de 50,000 trampas anuales durante 300 años, para un área de 10 a 500 millas cuadradas, se requieren 5,000 trampas para que se cap ture el 95% de la población, y se reduzca para el año siguiente.

Las pruebas toxicológicas mostraron que el dis-- parlure no es tóxico para los mamíferos. En 1970 la peste de pa-- lomilla gitana deshojó 800 acres de bosque, y en 1971 llegó a -- 1.9 millones de ares en los Estados Unidos, y por esas notables pérdidas, es por lo que se han desarrollado los mejores estudios para combatirla, y aún así, cuesta millones de dolares el con--- trol de ésta plaga (38).

Hay veces que la feromona puede ser un compues-- to caro, o difícil de obtener, pero también se han probado sus-- tancias de estructura química semejante al atrayente, que aunque tenga menor actividad biológica, su costo es mucho más bajo, lo cual solo se refleja en que se tiene que usar en cantidades ma-- yores. Tal es el caso del gyplure, que se extrae del aceite de - castor y sin ser la feromona, presenta actividad biológica como atrayente sexual de la palomilla gitana (33).

También se ha dado el caso de tener compuestos que no tienen ninguna relación estructural con la feromona, pero también presentan actividad, como el trimedlure, que atrae a los machos de *Ceratitidis capitata* (18).

Las feromonas son sustancias específicas de la especie y de muy baja toxicidad para las otras especies de insectos, o no los afecta. Su costo de producción es muy bajo, y como las cantidades que se requieren de ella son muy pequeñas, por su alta actividad biológica, ofrecen las mejores garantías para ser usadas como los insecticidas de la tercera generación, que apenas empieza con las hormonas y feromonas.

6. CONCLUSIONES

El trabajo realizado ha tenido por objeto mostrar un panorama amplio de un tipo de compuestos denominados feromonas, las cuales intervienen en la comunicación química de -- las especies y que influyen en el comportamiento de otros individuos de la misma especie.

Por ser un tema nuevo y poco estudiado, se presentan los tres tipos de clasificaciones que realizaron sus primeros investigadores. Las feromonas no son exclusivas de los insectos, sin embargo, la mayor parte de los trabajos de investigación realizados se han hecho en insectos; en algunas especies de ellos se sabe exactamente cuales son los órganos que las producen, y en otras, solo se puede localizar el sitio donde las almacenan.

Las investigaciones realizadas en el campo de la recepción de éstas sustancias, ha permitido tener un estudio muy amplio de la estructura y fisiología de los receptores de los insectos. Además, se han desarrollado técnicas específicas de estudio, como la técnica del electro-antenograma (EAG), que consiste en grabar la respuesta del receptor ante un estímulo, teniendo al receptor aislado del resto del insecto. Con éste nuevo avance de la ciencia, se motivó a los científicos a estudiar con la técnica del EAG la respuesta de las células receptoras a los distintos olores y postular las teorías más avanzadas que explican el

mecanismo por el cual se perciben el olor y el sabor de las sustancias, relacionándolo a la estructura química y su configuración, haciendo semejanza con el modelo enzima-sustrato, bién estudiado por los bioquímicos.

La importancia del conocimiento de la estructura química de las feromonas, radica en la posibilidad de ser utilizadas como los insecticidas del futuro, porque no contaminan el ambiente, no son tóxicos, y es más remota la posibilidad de que los insectos se hagan resistentes a las feromonas sintéticas como ocurre con los insecticidas conocidos.

Para que éstas sustancias sean utilizadas como insecticidas hay varios problemas: Las empresas elaboradoras de productos químicos comerciales, no se han interesado en producir éste tipo de sustancias, porque dado el costo de producción bajo, les dejaría poco margen de utilidad comparado con otros productos; a los que si pueden cargarles sobreprecio por empaque, publicidad, etc. Otro de los inconvenientes es que para cada especie se necesita un tipo especial de feromona, lo que equivale a tener que -- identificar a que especie de insecto pertenece la plaga, y una -- vez identificada, ver si ya se ha identificado o nó la feromona - que se necesita.

Sin embargo, existe la posibilidad de que algún gobierno que no busque fines comerciales, sino luchar contra la contaminación ambiental, produzca tales sustancias para ser utilizadas como insecticidas de la tercera generación, por las grandes ventajas que ofrecen.

7 BIBLIOGRAFIA

- (1) Nelson, G.E., Robinson, G.G. y Boolootian, R.A.
 Conceptos Fundamentales de Biología
 Cap. XI: Comunicación: Las bases para la -
 comunicación entre organismos.
 Ed. Limusa. México (1973).
- (2) Jagjit Singh
 Teoría de la Información del Lenguaje y de
 la Cibernética.
 España (1972).
- (3) Bedoukian, P.Z.
 Advances in Chemioreception. Vol.I.
 Cap.III: Purity, Identity and Quantifica-
 tion of Pheromones.
 Ed. Johnston, J.W., Moulton, D.G. & Turk, A.
 Appleton-Century-Crofts-Educational Divi-
 sion. New York (1970).
- (4) Raisbeck, G.
 Information Teory
 An Introduction for Scientists and Engineers
 rs. (1963).
- (5) von Frisch, K.
 Dialects in the Language of the Bees
 Scientific American, (Agosto 1962).

- (6) Butler, C.G.
Advances in Chemioreception. Vol. I
Cap. IV: Chemical Communication in Insects:
Behavioral and Ecologic Aspects.
Appleton-Century-Crofts. New York (1970).
- (7) Schneider, D.
Insect Olfaction: Deciphering System for -
Chemical Messages., Science, 163, p-1031-7
(1969).
- (8) Rodereck, W.R.
Current Ideas on the Chemical Basis of Ol-
faction., J.Chem.Ed., 43, 10, p-510-20 (1966).
- (9) Wilson, E.O.
Pheromones., Scientific American., 208, 2, --
p-100-14 (1963).
- (10) Karlson, P. and Butenandt, A.
Pheromones (ectohormones) in Insects., Ann.-
Rev. Entom., 4, p-39-58 (1959).
- (11) Karlson, P.
The Chemistry of Insect Hormones and Insect
Pheromones., Pure and Applied Chemistry.,
Vol. 14, p-75-87 (1967).
- (12) Wilson, E.O.
Animal Communication., Scientific American.,
207, 3, p-52-60 (1972).

- (13) Michael, R.P., Bonsall, R.W. and Warner, P.
Human Vaginal Secretions: Volatile Fatty
Acid Content., *Science.*, 186, p-1217-19,
(Dic. 1974).
- (14) Scientists Identify Human Pheromones., -
Chemical & Engineering News., p-4-5 (Ene
ro 1975).
- (15) Karlson, P.
Chemistry and Biochemistry of Insect Hormo
nes., *Angewandte Chemie.*, 2,4, p-175-82, -
(1963).
- (16) Chemical Abstracts
57:5132h.- Butler, C.G.,
The Insect of Queen Honeybees, *Apis melli-
fera*, that causes Partial Inhibition of --
Queen Rearing., *J.Insect Physiol.*, 7, p-258-
64 (1961).
- (17) Chemical Abstracts
57:13026h.- Butler, C.G.,
Recent Work on Bee Behavior., *Proc.Roy.Soc.
Med.*, 55, p-545-8, (1962).
- (18) Evans, D.A. and Green, C.L.,
Insect Attractants of Natural Origin., *Chem.
Soc.Rev.*, 2, p-75-97, (1973).
- (19) Rioja, E.B., Rufiz, M.O. y Larios, I.R.
Tratado Elemental de Zoología., Cap.XVI: In-
sectos., Ed. Porrúa, S.A., México (1964).

- (20) Jacobson, M. and Beroza, M.
Insect Attractants., Scientific American,
Vol.8, (Agosto 1964).
- (21) Meijer, G.M., Ritter, F.J. and Persoon, C.J.
Sex Pheromones of Summer Fruit Tortrix Moth
Adoxophyes orana: Two Synergistic Isomers.,
Science., 175, p-1469-70 (marzo 1972).
- (22) Mc.Donough, L.M., George, D.A., Butt, B.A., Ruth,
J.M., and Hill, K.R., Science, 177, p-177, -
(1972). cf. Chem.Soc.Rev., 2, p-75-97, (1973).
- (23) Roelofs, W.L., Comeau, A., Hill, A., and Milice-
vic, G., Science., 174, p-297, (1971). cf. Chem.
Soc.Rev., 2, p-75-97, (1973).
- (24) Carlson, D.A., Mayer, M.S., Silhacek, D.L., James,
J.D., Beroza, M., and Bierl, B.A.,
Sex Attractants Pheromone of the House Fly:
Isolation, Identification and Synthesis., -
Science., 174, p-76-8 (1971).
- (25) Norris, M.J.
a) Laboratory Experiments on Gregarius Beha-
viour in Ovipositing Females of the Desert
Locust (*Schistocerca gregaria* forsk), Ento-
mol.Exp.Appl., 6, p-279-303, (1963).
b) Laboratory Experiments on Gregarius Ovipo-
sition in the Desert Locust., Anim.Behav., 11,
p-408-9 (1963). c.f. (6).-Butler, C.G.(1970).

- (26) Simpson, J.,
Queen Perception by Honey Bee Swarms., --
Nature., 199, p-94-5 (1963). cf. (6).-Butler,
C.G. (1970).
- (27) Insects May Obtain Sex Attractants from ---
Plants., Chemical Engineering News., p-17-8
(Nov. 1974).
- (28) Step, E.
Maravillas de la Vida de los Insectos.,
4a. Ed., España-Calpe, S.A.
Madrid (1960).
- (29) Dethier, V.G.
The Physiology of Insect Senses.,
Cap.V: Quimioreceptin. p-112-55.
Ed. John Wiley & Sons Inc.
London-New York (1963).
- (30) Dyson, G.M.,
Perfumery Essent Oil.Rec., 19, p-456 (1928).
cf. von Frisch, K., Scientific American(1962).
- (31) Amore, J.E.
Proc.Sci.Sect.Toilet Goods Assoc., Suppl.to
Vol.37, 1, p-13 (1962). cf. von Frisch, K.,
Scientific American., (1962).
- (32) Roelofs, W.L. and Comeau, A.
Sex Pheromone Specificity: Taxonomic and --
Evolutionary Aspects in Lepidoptera., Science,
165, p-398-400, (1969).

- (33) Beroza, M. and Jacobson, M.
Trapping Insects by their Scents., *Chemistry.*, 38, 6, p-6-11 (1965).
- (34) Butenandt, A., Beckmann, R., Stamm, D. and Hecker, E., *Z. Naturforsch.*, 14b, p-283 (1959).
cf. Michael, R.P., *Science*, 186, (1974).
- (35) Chemical Abstracts
56:7811i.- Butenandt, A., Beckmann, R. & Hecker, E., Sexual Attractant of the Silk Moth. I. Biological Testing and Isolation of the Pure Sexual Attractant Bombykol., *Z. Physiol. Chem.*, 324, p-71-83 (1961).
- (36) Chemical Abstracts
56:7812f.- Butenandt, A., Beckmann, R. & Stamm, D., Sexual Attractant of the Silk Moth. II. Constitution and Configuration of Bombykol., *Z. Physiol. Chem.*, 324, p-84-7 (1961).
- (37) Butenandt, A. und Hecker, E.,
Synthese des Bombykols, des Sexual-lockstoffes des Seidenspinners, und Seiner Geometrischen Isomeren., *Angewandte Chemie.*, 73, 11, p-349-416, Alem. (1961).
- (38) Beroza, M. and Knipling, E.F.
Gypsy Moth Control with the Sex Attractant Pheromone., *Science.*, 177, p-19-27, (Jul.-1972).

- (39) Jacobson, M., Beroza, M. and Jones, W.A.,
 Science., 132, p-1011 (1960). cf. Wilson,
 E.O., Scientific American, 208, 5, p-100-
 14, (1963).
- (40) Acree, F.
 The Chromatography of Gyptol and Gyptyl -
 Ester., Journal of Economic Entomology., -
 47, 2, p-321-6 (1954).
- (41) Bierl, B.A., Beroza, M. and Collier, C.W.,
 Potent Sex Attractant of the Gypsy Moth: Its
 Isolation, Identification, and Synthesis., -
 Science, 170, p-87-9 (Oct. 1970).
- (42) Beroza, M., Bierl, B.A., Tardif, J.G.R., Cook,
 D.A. and Paszec, E.C.,
 Activity and Persistence of Synthetic and Na
 tural Sex Attractants of the Gypsy Moth in -
 the Laboratory and Field Trails., J.Econ. En
 tomology., 64, 6, p-1499-508 (1971).
- (43) Holbrook, R.F., Beroza, M. and Burgess, E.D.,
 Gypsy Moth (*Porthetria dispar*) Detction with
 the Natural Female Sex Lure., J.Econ. Entomo-
 logy., 53, 2, p-751-6 (1960).
- (44) Nueva Enciclopedia Temática. Tomo III
 Cap. 9: p-127-34
 Cap. 14: p-170-83
 Ed. Richards, S.A. Panamá (1963).

(45) Aristotle.

History of Animals., I. Bekker, Ed.

(Royal Prussian Academy of Science, Berlin, 1831), book 5, Chap. 8, p-542, A6-10. cf. Meijer, G.M., et al., Science, 175, p-1469-70, (1972).

(46) Chemical Abstracts

80:95221m.- Meseresz, Otto & moszsgai, C., Ger. Offen., 2 331 657., 17-Enero-1974., Brit. Appl. 29 835-72, 26-jun 1972, 18pp.

(47) Voaden, D.J., Jacobson, M., Rogoff, W.M., and - Gretz, G.H.,

Chemical Investigation of the Sex Pheromone of the House Fly., J. Econ. Entomology., 65, 2, p-358-9 (1972).

(48) Acree, F., Davis, P.L., Spear, S.F., LaBrecque, G.C. and Wilson, H.G.

Nature of the Attractant in Sucrose Fed on - by House Flies., J. Econ. Entomol., 52, 2, p-981-5 (1959).

(49) Bernhart, C.S., and Chadwick, L.E.,

A "Fly Factor" in Attractant Studies., Science., 177, 3031, p-104-5 (1953).

(50) Wharton, D.R.A., Miller, G.L. & Wharton, M.L., J. Gen. Physiol., 37, p-461 (1954). cf. Jacobson, M. et al., Science, 139, 3549, p-48-9 (1963).

- (51) Jacobson, M., Beroza, M. & Yamamoto, R.T.,
Isolation and Identification of the Sex -
Attractant of the American Cockroach., --
Science, 139, 5549 , p-48-9 (1963).
- (52) Jacobson, M and Beroza, M.,
American Cockroach Sex Attractant., Scien-
ce, 147, p-748-9 (1965).
- (53) Day, A.C. and Whiting, M.C.,
On the Structure of the Sex Attractant of
the American Cockroach., J.Chem.Soc. (C),
p-464-7 (1966).
- (54) Meinwald, J., Wheeler, J.W., Nimetz, A.A. & Liu,
J.S.,
Synthesis of Some 1-substituted-2,2-dimethyl
3-isopropylidene cyclopropanes., J.Org.Chem.,
30, p-1038-46 (1965).
- (55) Williams, C.M.,
Third-Generation Pesticides, Scientific Ame-
rican, 217, 1 , p-13-17 (1967).
- (56) Marx, J.L.,
Insect Control (I): Use of Pheromones., Scien-
ce, 181, 4101 , p-736-7 (1973).
- (57) Nelson, G.E., Robinson, G.G. y Boolootian, R.A.
Conceptos Fundamentales de Biología
Cap. VIII: Control por Medio de Agentes Quí-
micos. Ed. Limusa. México (1973).