

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA



Evaluación de la Toxicidad y Selectividad de Cinco Insecticidas en
Bombus ephippiatus Say (Hymenoptera: Apidae)

Por:

JUAN JOSÉ NEGRETE GONZÁLEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Evaluación de la Toxicidad y Selectividad de Cinco Insecticidas en
Bombus ephippiatus Say (Hymenoptera: Apidae)

Por:

JUAN JOSÉ NEGRETE GONZÁLEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Aprobada por:

Dr. Ernesto Cerna Chávez
Asesor Principal

Ing. Edgar Daniel Lara Sánchez
Coasesor

Dr. Jerónimo Landeros Flores
Coasesor

Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2013

AGRADECIMIENTOS

A dios por a verme guiado en el camino de la vida, por a verme dado esa oportunidad de poder realizar mi sueño anhelado, por darme salud y fortaleza para poder realizar este sueño que desde niño me propuse.

A Mí Universidad Agraria Autónoma Antonio Narro por a verme dado las herramientas necesarias y conocimientos para poder realizar mis estudios en sus instalaciones y por verme permitido formarme como profesionalista en mi alma terra mater que siempre representare orgullosamente.

A Mís Profesores del departamento de parasitología por haberme brindado parte de su sabiduría y experiencias. También que de alguna u otra forma aportaron sus conocimientos para mi formación académica para que yo sea un profesionalista con éxito.

A la Dr. María Elizabeth Galindo Cepeda por a verme guiado y aconsejado desde el primer día que yagé a mi alma terra mater.

A Mís Asesores

El Dr. Ernesto Cerna chaves Por su valioso tiempo y paciencia que me brindo para la revisión del presente trabajo así como sus sugerencias para el enriquecimiento del mismo.

Al Ing. Daniel Lara por a verme ayudado y guiado en este trabajo, con sus ideas, recomendaciones y el material utilizado en dicho trabajo.

A mis compañeros de la generación CXVI de Parasitología

Por a verme brindado su amistad, su comprensión, sus consejos y a verme escuchado en los momentos difíciles.

A mis paisanos y amigos gracias por a verme brindado si amistad a José Fermín torres Rodríguez, Joan Gerardo zarate solorio, Ing. Adán Estrada Muños, Jesús Alvares, José madrigal, José Márquez, Ing. Daniel Lara.

DEDICATORIAS

A mis padres:

Juan Negrete Gíménez y Lucíla González García

Por darme la vida, por cuidar de mí en cada momento, por a verme guiado y mandado por el camino del bien con sus consejos que toda la vida estaré muy agradecido por ello. Por verme dado esa gran oportunidad de estudiar para poder formarme como un profesional, por su apoyo en los momentos difíciles que hemos pasado durante mi estancia en la Universidad.

A mis hermanos:

*Marín Negrete González, María Viridiana Negrete González,
Magdalena Negrete González.*

Por a ver creído y confiado en mí durante el transcurso de mi carrera, por ese apoyo que siempre he recibido de los tres, por esos momentos difíciles y de alegría que hemos pasado juntos y por ver creído en mí este trabajo es para ustedes por darme siempre esa confianza necesaria para poder salir adelante.

A mis sobrinos:

Juan Negrete Aguilera, Montserrat Negrete Aguilera, Melanía Pérez Negrete.

A todos ellos muchas gracias

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIAS.....	iii
RESUMEN.....	x
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	2
HIPOTESIS.....	2
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Descripción del Genero (<i>Bombus</i>).....	3
Origen.....	4
Distribución geográfica.....	5
Clasificación taxonómica de <i>Bombusephippiatus</i>	6
Anatomía y Fisiología del abejorro (<i>Bombusephippiatus</i>)	7
Morfología externa	7
Cabeza.....	7
Tórax.....	8
Abdomen.....	8
Morfología interna	9
Glándulas salivales.....	9
Glándulas Postcerebrales, Protorácicas, Hipofaríngeas y Mandibulares	9
Glándulas de cera.....	9
Sistema circulatorio.....	10
Sistema respiratorio.....	10
Sistema nervioso	10
Extracto digestivo.....	10
Biología y Hábitos de (<i>Bombusephippiatus</i>)	11
Reina.....	12

Obreras	12
Machos (zánganos).....	12
Ciclo biológico de <i>Bombus</i>	13
Clasificación por sus métodos de alimentación de las larvas	15
Comportamiento de reproductivo de hembras y machos.....	15
Grado de sociabilidad	16
Importancia comercial de los abejorros del genero <i>Bombus</i>	17
Polinización cruzada	18
Importancia de los abejorros en la polinización	19
Uso de abejorros en la polinización de cultivo de invernadero	20
Características de un buen polinizador	21
Ventajas de la polinización de <i>Bombus</i> vs <i>Apis mellífera</i>	22
Desventajas al utilizar <i>Apis mellifera</i> en cultivos de invernadero:	23
Efecto de los Pesticidas sobre Polinizadores	24
Descripción de los insecticidas	25
Organoclorados	25
Endosulfán	25
Modo de acción	25
Piretroides.....	26
Bifentrina	26
Modo de acción	26
Neonicotinoides.....	27
Imidacloprid	27
Modo de acción	27
Avermectina	28
Abamectina.....	28
Modo de acción	28
Buprofezin	29
Modo de acción	29
MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
Ubicación donde se llevo a cabo el experimento.....	30

Obtención del material biológico.....	31
Plaguicidas utilizados	32
Método de bioensayo de dieta envenenada (OECD, 1998)	33
Análisis estadístico	34
RESULTADOS Y DISCUSION.....	35
Resultados del bioensayo obtenidos a 12 horas	35
Resultados del bioensayo obtenidos a 24 horas	36
Líneas de Respuesta Concentración-Mortalidad	38
LITERATURA CITADA.....	41

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
Cuadro 1.- Productos y concentraciones evaluadas en los tratamientos, en el experimento de <i>Bombus ephippiatus</i> con los dos diferentes plaguicidas.....	34
Cuadro 2.- CL ₅₀ , CL ₉₅ y ecuación de predicción de los productos evaluados sobre obreras Adultas (<i>Bombus ephippiatus</i>) a 12 horas de exposición.....	35
Cuadro 3.- CL ₅₀ , CL ₉₅ y ecuación de predicción de los productos evaluados sobre obreras Adultas (<i>Bombus ephippiatus</i>) a 24 horas de exposición.....	36
Cuadro 4.- Efectos secundarios de los insecticidas en (<i>Bombus ephippiatus</i>).....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Cuadro	Página
Figura 1.- Ciclo biológico de <i>Bombus ephippiatus</i>	14
Figura 2.- Localización de la UAAAN en Saltillo Coahuila, México..	30
Figura 3.- Localización de la empresa BIOINSECTUM donde se obtuvieron las Reinas.....	31
Figura 4.- Plaguicidas utilizados en el bioensayo.....	32
Figura 5.- Líneas de respuesta dosis mortalidad por el método de dieta envenenada sobre obreras adultas (<i>Bombus ephippiatus</i>) a 12 horas.....	38
Figura 6.- Líneas de respuesta dosis mortalidad sobre obreras adultas (<i>Bombus ephippiatus</i>) a 24 horas de exposición.....	39

RESUMEN

En México se calcula que se cultivan alrededor de 1,000 has de jitomate bajo invernadero, por esta razón se solicitan de 20, 000 a 22, 000 colonias de abejorros anualmente. Principalmente trabajándose con *Bombus terrestris* y *Bombus impatiens*, siendo ambas especies extranjeras. Debido a esta gran demanda, cada vez son más las colonias de abejorros exóticos que se importan, lo que genera un impacto ecológico. *Bombus ephippiatus* es potencialmente útil para el mismo fin, pero hasta hora su biología no ha sido totalmente entendida, por lo que no se ha podido manipular en cautiverio y de esta manera podemos explotarlos de manera comercial (Fuentes – Montemayor, y Madrid - cuevas, 2003). Sin embargo también es muy importante conocer el papel de los plaguicidas y su interacción en base a efectos letales, subletales y compatibilidad con esta especie. Una de las técnicas muy utilizada en los abejorros es a través de la obtención de la CL₅₀ para conocer los plaguicidas compatibles con esta especie. En este caso se llevó a cabo la evaluación de 5 plaguicidas, que comúnmente utilizan los productores para realizar las aplicaciones en invernaderos (Abamectina, Bifentrina, Buprofesin, Endosulfan e Imidacloprid). El método de evaluación que se llevó a cabo en el bioensayo, fue el de dieta envenenada, en cual consistió en tratar diferentes productos en el alimento de los abejorros. Para realizar los tratamiento se llevaron a cabo diferentes dosis en cada uno de los tratamientos siendo las concentraciones siguientes: (Abamectina 1, 5, 10, 20, 50 y 100 ppm; para Bifentrina 1, 50, 100, 150, 300 y 500 ppm; para Buprofesin 2,500, 5,000, 7,500, 10,000, 12,00 y 15,000 ppm; Endosulfan 50, 100, 250, 500, 750 y 1000 ppm e Imidacloprid 0.1, 0.5, 1, 10, 50 y 100 ppm). Los productos que presentaron una mayor toxicidad fueron Abametina, Imidacloprid y Bifentrina. Por lo cual se puede mencionar que estos productos fueron los más tóxicos para los abejorros. Los productos Buprofesin y Endosulfan fueron los que presentaron los valores más altos de CL₅₀ por lo tanto se les puede considerar menos toxico para los abejorros.

Palabras clave: Abejorro Mexicano, dieta envenenada, Abamectina, Bifentrina, Buprofesin, Endosulfan e Imidacloprid.

INTRODUCCIÓN

El abejorro común es uno de los tipos de abejorros más utilizados en la agricultura intensiva debido a su gran papel como polinizador. Para obtener una polinización óptima, el polen necesita caer desde el pistilo hasta el estigma. Para que se produzca una buena fructificación. La fructificación se puede realizar de diversas formas, una de las más utilizadas es el empleo de abejorros polinizadores en los cultivos. La introducción de estos insectos en los cultivos bajo cubierta ha presentado un gran incremento y aceptación por parte de los agricultores debido principalmente a su bajo costo y a su inmejorable trabajo en la polinización de flores. El gran interés del abejorro como insecto polinizador viene determinado por su empleo dentro de la agricultura.

Sin embargo las técnicas de cultivo y el empleo de pesticidas para el control de plagas y enfermedades en los cultivos bajo cubierta tienen daños directos o indirectos sobre la actividad polinizadora de los abejorros. Los efectos directos ocurren en las obreras como resultado del contacto o digestión de un producto químico y los efectos indirectos ocurren cuando el abejorro realiza su visita a las flores tratadas y contacta con la materia activa a través del olfato. La exposición a pesticidas en abejorros viene produciendo efectos negativos a nivel individual y en sus colonias. De aquí el esfuerzo por desarrollar insecticidas con un menor impacto sobre esta especie de insecto ha fructificado con la aparición en el mercado de productos altamente específicos y de acción rápida, matando a la mayor parte de las plagas, siendo más benévolos hacia los abejorros; sin embargo son pocos los ingredientes activos que presentan selectividad, siendo la mayoría de las moléculas muy agresivas contra los abejorros interrumpiendo su actividad de polinización (Mussen y Brandi, 2010).

Sin embargo la tendencia es emplear insecticidas y otros productos compatibles con los abejorros, sobre todo cuando la mayoría de los tratamientos son frecuentes en los sitios de polinización.

OBJETIVOS

- Determinar el grado de toxicidad de cinco insecticidas de diferente grupo toxicológico en *Bombus ephippiatus*
- Determinar la selectividad de cinco insecticidas a través de su CL₅₀.

HIPOTESIS

- Al menos uno de los insecticidas evaluados presentara una baja mortalidad en *Bombus ephippiatus* y por lo tanto será más selectivo.

REVIÓN DE LITERATURA

Descripción del Genero (*Bombus*)

Bombus es un género de himenópteros de la familia Apidae que incluye a todas aquellas especies que conocemos vulgarmente como abejorros, contando con 250 especies. Los abejorros *Bombus* tienen un gran valor comercial, pues son utilizados en diversos tipos de cultivos como polinizantés, ya que cuentan con diferentes características que los vuelven ventajosos sobre otras abejas como *Apis mellifera* (Alford, 1975).

Atraves de los años estos abejorros han incrementado su demanda por diferentes países del mundo, ya que se han utilizado como polinizadores de cultivos de invernadero como es el caso del jitomate, trabajando principal mente con *Bombus terrestres* y *Bombus impatiens*, siendo ambas especies extranjeras. *Bombus ephippiatus*, es la especie nativa de México que es potencialmente útil para el mismo fin, pero hasta hora su biología no ha sido totalmente entendida, por lo que no sea podido manipular en cautiverio. Comparten ciertas similitudes con las abejas, como un cuerpo cubierto de vello típicamente coloreado de amarillo y negro, la presencia de un órgano de recogida de polen en sus patas posteriores (corbícula) y la estructura social con castas diferenciadas (reinas, zánganos y obreras) Los abejorros son robustos, velludos, de color negro, muchos presentan bandas amarillas, blancas o en algunos casos naranja. El vello que cubre casi todo el cuerpo es sedoso, con setas ramificadas y plumosas. Las hembras (reinas y obreras) se diferencian de los abejorros por la presencia de la corbícula o canasta de polen en las patas posteriores, un órgano especializado para la colección de polen. Los abejorros son relativamente grandes de 20 milímetros o más. (Fuentes – Montemayor, y Madrid - cuevas, 2003).

Las reinas son más grandes que las obreras y que los zánganos. Se alimentan fundamentalmente de néctar y colectan polen para alimentar a sus crías, como lo hacen sus parientes, las abejas melíferas (Fuentes – Montemayor, y Madrid - cuevas, 2003).

Los abejorros son insectos eusociales, por lo que presentan cooperación con el cuidado de la prole y división del trabajo entre las castas de individuos femeninos. La reproducción está a cargo de un solo miembro de la colonia: la reina, la cual al iniciar la colonia también tiene la tarea de forrajear para recolectar alimento suficiente para mantener a su futura descendencia, así mismo es la encargada de encontrar un buen sitio, para anidar y una vez logrado, se encarga de fabricar las celdas donde depositara sus huevecillos.

Una vez que surgen las primeras obreras, la reina se limita a la función reproductiva y a incubar sus huevecillos, dejando a las obreras la tarea del forrajeo, construcción de celdas, alimentación de larvas, limpieza de la colonia e incluso ayuda a la reina a la incubación (Curtis y Barnes, 1993; Cnaani *et al.*, 2002).

Origen

El género *bombus* incluye aproximada mente 250 especies, de las cuales, 199 de estas especies se encuentran en Asia, 58 en Europa, 41 en Norte América y 43 en México, centro y sur de América.

B. ephippiatus Es Originaria México de las montañas y serranías del centro y sur de México abarcando los estados de Chihuahua, Zacatecas, San Luis Potosí, Veracruz, Nayarit, Tabasco, Hidalgo, Guanajuato, Querétaro, Morelos, Distrito federal, Puebla, Oaxaca y Chiapas (Michener, 2000; Williams 1998).

Distribución geográfica

La distribución de *Bombus* se encuentra en zonas templadas, alcanzando su máxima abundancia y diversidad en Europa y Asia, en donde hay muchas especies y subgéneros que en Norte América. Se presentan en pequeños números en las regiones árticas. En Sudamérica se encuentra una pequeña fauna de bombus que llega hasta la Tierra del Fuego, generalmente en zonas montañosas de los Andes, con algunas especies en el valle del Amazonas. En algunas zonas de África se ha registrado la presencia de algunas especies principalmente en el norte de Sahara. En otros lugares como Nueva Zelanda, Filipinas, Australia y el sur de África, se han introducido como polinizadores. Su distribución depende en gran medida de dos factores: clima y distribución de diferentes comunidades vegetales. En el caso de la temperatura y debido al constante incremento del (Calentamiento Global), la distribución de los abejorros está cambiando, ya que saben obligados a migrar a mayores latitudes (Hernández, 2004).

El hábitat de estos abejorros corresponde en su mayoría a lugares húmedos y fríos, variando entre las diferentes especies. Los abejorros sociales son escasos en desiertos y en general en lugares muy calientes, áridos o semiáridos y en contraste son diversos en lugares fríos y en regiones de montaña (Hernández, 2004 et al, Brahamovich 2004).

De acuerdo a la zona geográfica esta especie presentaría una distribución Neártica Sur, Neotropical Norte, y Neotropical Oeste (Natural History Museum, 2004).

Su distribución En México de esta especie abarca los siguientes estados: Chihuahua, Zacatecas, San Luis Potosí, Veracruz, Nayarit, Tabasco, Hidalgo, Guanajuato, Querétaro, Morelos, Distrito federal, Puebla, Oaxaca y Chiapas. Guatemala: Verapaz, Guatemala Chimaltenango, Chiqué, Escutla, San Marcos, Quetzaltenango y Sololá (Díaz y Brahamovich, 2004).

Clasificación taxonómica de *Bombus ephippiatus*.

Los abejorros son insectos pertenecientes al orden Hymenoptera, Suborden Apocrita, Familia Apidae, Genero *Bombus*, actualmente se reconocen 35 subgéneros dentro del género, incluyendo a las especies que son parásitos sociales del subgénero *Psythirus* (Michener, 2000).

Reino: Animalia

Phyllum: Artrópoda

Clase: Insecta

Orden: Hymenoptera

Suborden: Apocrita

Familia: Apidae

Subfamilia: Apinae

Superfamilia: Apoidea

Género: *Bombus*

Especie: *ephippiatus*

Anatomía y Fisiología del abejorro (*Bombus ephippiatus*)

Se menciona, que la morfología externa e interna del abejorro corresponde esencialmente con la de los demás insectos de la familia Apidae, pero hay alguna diferencia dentro de esta familia por determinadas particularidades y por algunas otras funciones vitales (Ritter, 2001).

Morfología externa

Como característica de los insectos, el cuerpo de los abejorros se divide en cabeza, tórax y abdomen. Presentan un par de antenas, tres pares de patas y dos pares de alas. La estructura de su cuerpo es dura esto, no solo para proteger del medio ambiente, si no que sirve como sostén de musculatura interna. Dicha piel está constituida por células epidérmicas que secretan una sustancia protectora llamada cutícula (Alford, 1975).

Cabeza

La cabeza de estos abejorros contiene el cerebro, glándulas salivares y un par de ojos compuestos, tres ojos simples (ocelos), un par de antenas y un aparato bucal. Los ojos compuestos son los encargados de percibir colores y formas, mientras que los ocelos simplemente perciben diferentes intensidades de luz. Las antenas son órganos muy sensibles que funcionan para el sentido del olfato o tacto. Cada antena se divide en una parte basal, un pequeño pedicelo y un largo flagelo que a su vez se divide en varios segmentos: en el caso de las hembras tienen 10 segmentos, mientras que los machos presentan 11 segmentos. Su aparato bucal cuenta con una larga lengua o proboscis que sirve para comer, una mandíbula y varias glándulas salivales (glándulas postcerebrales y protoraicas, hipofaríngeas y mandibulares). La saliva producida por estas glándulas es usada para diluir sus alimentos y ablandar los materiales de la colonia, ya que la saliva contiene ciertas enzimas digestivas. Estas glándulas además en el caso de los machos, secretan sustancias relacionadas con el comportamiento reproductivo.

Tórax

Contiene la musculatura para el vuelo, consiste de tres segmentos: el protorax, que contiene el primer par de patas, mesotórax que contiene el segundo par de patas y el primer par de alas, y por último el metatórax conteniendo el tercer par de patas y el segundo de alas. En cada pata se distinguen 5 segmentos, siendo esta la estructura general de las patas de un abejorro, pero en el caso de las hembras, las patas traseras contienen unas estructuras conocidas como corbículas, que son las que ayudan para la recolección de polen. La deposición de polen en sus corbículas se lleva a cabo por que en sus patas tienen una serie de pelos llamados cepillos, que como su nombre lo dice, cepillan el polen de sus cuerpos y lo depositan en las corbículas. Las alas por su parte son membranosas más o menos transparente con una versión simple. El par de alas posteriores, son más pequeñas y están unidas al par de las anteriores, por lo que a simple vista parecen que solo contaran con un solo par (Alford, 1975).

Abdomen

Consta de seis segmentos o tergitos. En dichos tergitos se localizan las glándulas de cera, específicamente sobre los tergitos III, IV, V Y VI. Alrededor del abdomen se encuentran células grasas que en el caso de las reinas son más abundantes. En la parte ventral del abdomen se distinguen otros seis segmentos que en este caso se llaman externitos, En el abdomen hay glándulas que producen será usada para la construcción del nido y para recipientes para almacenar néctar, polen y para la cría. Al igual que otros artrópodos, la hemolinfa está contenida en un sistema circulatorio abierto. Es decir que los órganos internos están bañados por la hemolinfa. La aorta o “corazón” es un tubo ubicado dorsalmente que pulsa y empuja la hemolinfa, así hay un sistema de circulación (Curtis y Barnes, 1993).

Morfología interna

Glándulas salivales

Las glándulas salivales en la cabeza secretan la saliva que se mezcla con el néctar y el polen. La saliva también se mezcla en los materiales del nido para ablandarlos. También la usan mezclándola con otros ingredientes para la construcción del nido y de los recipientes para almacenar néctar y polen.

Glándulas Postcerebrales, Protorácicas, Hipofaríngeas y Mandibulares

La saliva producida por estas glándulas es usada para diluir sus alimentos y ablandar los materiales de la colonia, ya que las enzimas contienen ciertas enzimas digestivas. Estas glándulas en el caso de los machos, secretan sustancias relacionadas con el comportamiento reproductivo

Glándulas de cera

En los tergitos se localizan las glándulas, específicamente sobre los tergitos III, IV, V Y VI en el caso de las reinas en el abdomen se encuentran en más abundancia células grasas. En cada tergito hay dos zonas de forma ovalada y color claro denominadas "espejos de cera", que tienen poros visibles únicamente al microscopio, por los cuales sale la secreción grasosa de las glándulas ubicadas en la parte interna de cada tergito.

Sistema circulatorio

El sistema circulatorio es abierto y comprende un solo vaso dorsal, con un corazón abdominal y una aorta que se abre en la parte anterior de manera que los órganos son bañados directamente por la hemolinfa

Sistema respiratorio

El aparato respiratorio está constituido por tráqueas, que se ramifican en el interior del cuerpo y se abren al exterior a través de unos orificios llamados espiráculos situados en el tórax y en el abdomen.

Sistema nervioso

El sistema nervioso está formado fundamentalmente por un cerebro ganglionar, un ganglio subesofágico y una cadena de ganglios (uno por segmento del cuerpo) colocados a lo largo de la región ventral (Curtís y Barnes, 1993).

Extracto digestivo

Se extiende como un tubo largo desde la boca hasta el ano. Después de la boca se observa la faringe, seguida del esófago, el cual se extiende hasta el abdomen donde desemboca en una estructura llamada estomago de miel. Dicho estomago de miel sirve para almacenar el néctar y regurgítalo. La parte final de dicho estomago se conoce como intestino anterior. Después continua el intestino medio en la cual se lleva a cabo la absorción y la digestión.

Biología y Hábitos de (*Bombus ephippiatus*)

B. ephippiatus es un abejorro con distribución mesoamericana. Habita en regiones de montaña con un clima de templado a frío. Se caracteriza por tener un carácter tranquilo y dócil lo que facilita su manipulación. De acuerdo a la clasificación las colonias se encuentran todo el año activas y dependiendo de la altitud, varía el tamaño de la colonia, así en altitudes de 2500 m la colonia presentará un promedio de 400 individuos, mientras que en menores altitudes será aproximadamente de 150 individuos. El tamaño corporal de las reinas de esta especie es aproximadamente de 1.6 – 2 cm, mientras que las obreras muestran un tamaño de 1 – 1.5 cm, y los machos 1.2 - 1.5 cm (Fuentes – Montemayor, y Madrid - cuevas, 2003).

Al igual que otros miembros del género *Bombus*, las reinas son las únicas que sobreviven el invierno y que emergen en la primavera. Las obreras, que aparecen más tarde son más pequeñas. En cuanto la reina encuentra néctar para reabastecer sus energías empieza a buscar un lugar para anidar, que suele ser un nido abandonado de roedor, bajo la tierra. Construye ánforas para almacenar néctar y polen. La reina pone un número pequeño de huevos al principio y los cuida ella sola. Más tarde, cuando maduran las obreras, ellas se encargan de todas las tareas de forrajeo, cuidado de la cría, construcción de ánforas, etc.

Hacia el fin del verano la reina pone algunos huevos no fertilizados (haploides) que dan lugar a machos y otros huevos que reciben más alimentación que las obreras y que serán hembras fértiles, es decir, las futuras reinas. Después que los machos y hembras se aparean, las nuevas reinas buscan un lugar donde hibernar y todos los demás miembros de la colonia mueren (INFOAGRO, 2004).

Reina

La reina es la única hembra con órganos reproductivos perfectamente desarrollados, las principales funciones son la producción de huevos y la segregación de sustancias químicas (feromonas), para inhibir el desarrollo ovárico las cuales regulan el comportamiento de todos los individuos de la colonia. Y también la Reina tiene la función de forrajear para obtener alimento suficiente, para mantener a su futura descendencia, así mismo es la encargada de encontrar un buen sitio para anidar y una vez logrado se encarga de fabricar las celdas donde depositaran sus huevecillos. Una vez que surgen las primeras obreras, la reina se limita a la función reproductiva y a encubar sus huevecillos dejando, a las obreras la tarea del forrajeo, construcción de celdas, e incluso ayudan a la reina a la incubación (Canaani *et al.*, 2002).

Obreras

Son las hembras que no están en su totalidad sexualmente desarrolladas, son estériles, y son las encargadas de realizar todas las funciones especializadas como; coleccionar alimento, así como el cuidado de las crías, forrajeo del nido, construcción de celdas, limpieza dentro del nido, etc. (Goulson 2010).

Machos (zánganos)

La única función de estos es la reproducción por lo que, al poco tiempo de surgir en la colonia, la abandonan para llevar a cabo su función reproductiva y al cumplirla el siguiente paso dentro de su ciclo es morir. Por esta razón su esperanza de vida es muy corta, siendo esta de 3 a 4 semanas, también ayuda a incubar los huevecillos antes de abandonar el nido (Prys-Jones y Corbet, 1991; Heinrich, 2000).

Ciclo biológico de *Bombus*

El ciclo biológico de *bombus* consiste en varias fases, siendo la primera de anidamiento donde la reina fecundada sale de su hibernación en busca de un lugar para su anidamiento. En cuanto sale de su hibernación sus ovarios todavía no están maduros, así que empieza a forrajera para su propio consumo y de esta forma desarrolla sus ovarios gracias a la producción de una glándula llamada corpórea. Una vez lista para ovipositar se encarga de buscar un sitio adecuado para anidar. Dicho lugar puede ser un pequeño agujero en un árbol o en el suelo dependiendo de la especie, pero en general utilizan nidos abandonados por mamíferos o aves (Prys – Jones y Corbet, 1991).

Una vez establecida la reina comienza a aprovisionar su nido con néctar y polen recolectada por ella misma, el polen es transportado en las patas traseras en una estructura llamada corbícula, y luego es masticado para formar una masa, la cual será la base para depositar sus huevecillos, los cuales a su vez son depositados en respuesta de la estimulación ovárica causada por la ingestión de polen. El número de huevecillos puestos varían de especie en especie, pero en general las especies poco prolíferas ponen unos 8 huevecillos, mientras que especies muy prolíferas llegan a poner hasta 16 huevecillos, una vez depositados los huevecillos son cubiertos con cera (Cannani *et al.*, 1991).

Los huevecillos son incubados a una temperatura de 30 °C y durante esta etapa de incubación, la reina sale ocasionalmente del nido por reservas alimenticias. El tiempo aproximado para la eclosión es de 4 a 6 días, variando entre la especie (Prys – Jones y Corbet, 1991). Cuando las larvas emergen de los huevecillos permanecen dentro de la larva de polen en una celda comunal, la cual crece al igual que las larvas ya que la reina la alarga agregándole polen constantemente. Aproximadamente a los 20 días de vida las larvas construyen su propio capullo separándose unas de las otras, dicho capullo está elaborado por seda secretada por sus propias glándulas salivares, y entrando así a su estado de pupa (Prys – Jones y Corbet, 1991; Bloch *et al.*, 1996).

En un tiempo aproximado, de dos semanas surgen las primeras formas adultas siendo hembras diploides (obreras) y nuevamente el material de los capullos es reutilizado. Cuando las obreras surgen del capullo, todavía no presentan la coloración típica de los adultos y sus alas son débiles, pero al paso de unas 4 horas, se revienta ese efecto dando lugar a las coloraciones típicas de cada especie y adquiriendo fuerzas en sus alas. Esto último permite a las obreras salir a forrajera y es así como empieza la división de trabajo, siendo la de la reproducción la única tarea por parte de la reina (Bloch *et al*, 1999).

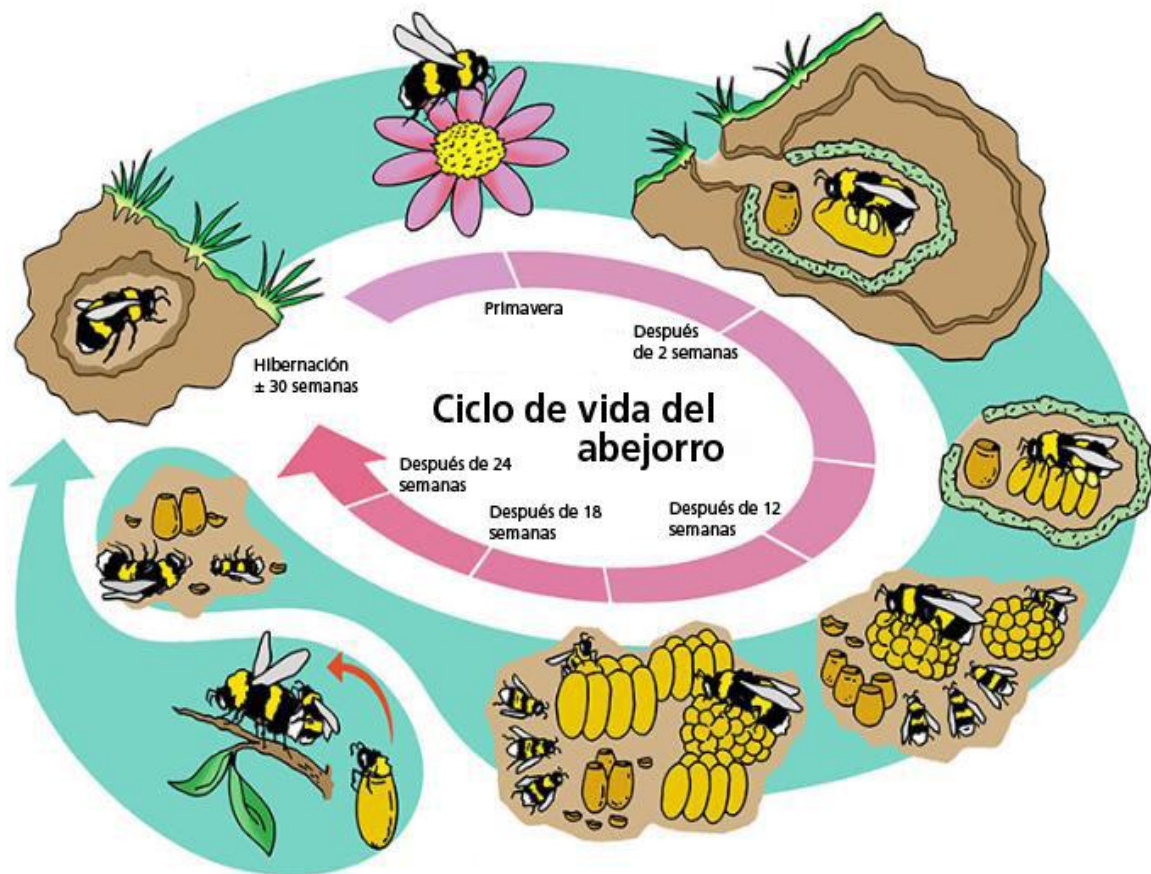


Figura 1. Ciclo biológico de *Bombus ephippiatus*.

Clasificación por sus métodos de alimentación de las larvas

Se clasifican en dos grupos dependiendo de cómo se lleve a cabo la forma de alimentarse. El primer grupo está constituido por las especies, que construyen contenedores, hechos a base de cera, los cuales son rellenos de polen. De esta forma las larvas se acercan al contenedor y se alimentan por ellas mismas.

Por otra parte el segundo grupo, se alimenta directamente a sus larvas una por una regurgitando, una mezcla de polen y néctar a través de una abertura temporal en la envoltura de cera (Prys – Jones y Corbet, 1991; Alford, 1975).

Comportamiento reproductivo de hembras y machos

Las jóvenes reinas que han surgido en la colonia, pasan aproximadamente cinco días antes de abandonar su nido. Durante este tiempo se dedican a engrosar su cuerpo grasoso y una vez transcurrido este tiempo inician lo que se conoce como “vuelo nupcial” en el cual salen en busca de un macho para ser fertilizadas (Heinrich, 2000).

Los machos abandonan el nido a edades tempranas para reproducirse con una joven reina. En el trayecto los machos forrajean para su propio consumo y al caer la noche buscan un lugar seguro para descansar, dicho lugar generalmente es una flor la cual, puede ser usada al mismo tiempo por toda una congregación de machos (Alford, 1975). Los jóvenes machos empiezan a volar en rutas específicas, de esta forma registran su territorio de apareamiento, el cual sobrevuelan constantemente y haciendo pausas en este patrón de vuelo para posarse sobre hojas, rocas o en algún lugar dentro de su territorio. Los machos aseguran su área por medio de marcas, es decir sustancias químicas emitidas por estos sobre flores que se encuentran dentro de su ruta de vuelo. Dichas sustancias son ácidos grasos, alcoholes y esteroides (Heinrich, 2000). Los machos establecen su área para el apareamiento, por lo tanto las reinas jóvenes deben llegar hasta dicha zona en busca de un macho; esto no es un trabajo difícil ya que identifican el área de interés siguiendo las fragancias de marcaje y al entrar al territorio del macho inicia el apareamiento.

El macho monta a la hembra, la sujeta con sus patas e inicia la fertilización, para esto la reina debe manipular su aguijón, para no lastimar al macho, que dando unidos únicamente por sus partes genitales. El proceso de fertilización lleva poco tiempo, pero el macho permanece más tiempo sobre la hembra para fabricar una especie de tapón mucoso que cubren los genitales de la reina, evitando hacia que otro macho la fertilice (Heinrich, 2000).

El esperma dado por el macho es depositado en la espermateca, lugar donde permanece hasta que la reina decida usarlo, dicho momento llega cuando la reina ha fundado su propia colonia y empieza a producir sus propias obreras y posteriormente para generar nuevas reinas; donde ambos casos los individuos son diploides ($2n$). En el caso de los machos, la reina no utiliza esperma pues los zánganos son productos de huevos no fertilizados, por lo que son haploides (n) (Heinrich, 2000; Baer *et al.*, 2000).

Grado de sociabilidad

Podemos entender por sociedad, un grupo de individuos de la misma especie que viven bajo algún tipo de organización; donde se aprecia una dependencia mutua entre los individuos y una división tanto de los recursos como de las obligaciones. Los insectos sociales evolucionaron a partir de formas que eran solitarias y poco a poco fueron surgiendo organizaciones complejas. Existen diferentes tipos de sociabilidad: especies solitarias, presociales y eusociales. A este último grupo pertenecen la mayoría de las Himenópteras. Los abejorros *bombus* son insectos eusociales, por lo que presentan cooperación en el cuidado de la prole y división del trabajo entre las castas de individuos femeninos (Curtis *et al.*, 1993).

Se ha visto que de acuerdo al tamaño corporal de los individuos de la colonia se reparten las obligaciones, los abejorros que presentan un mayor tamaño son los que por lo general salen a forrajear, mientras los más pequeños se quedan dentro de manera de “reserva de trabajo” así cuando las obreras grandes mueren y no se cuenta con nuevas, la línea de reserva sale entonces a suplirlas (Heinrich, 2000).

Los abejorros *Bombus*, cuentan con un comportamiento de defensa que no ha sido observado en otros géneros de insectos sociales. Ante la presencia de algún peligro se tornan boca arriba elevando sus patas traseras y tomando una posición en corbada donde resalta su aguijón, preparado para el ataque. Además estos abejorros no se desprenden de su aguijón una vez que han picado pudiendo utilizar las veces que quieran sin arriesgar su vida (Heinrich, 2000).

Importancia comercial de los abejorros del genero *Bombus*

Desde tiempos pasados, la agricultura ha sido una de las principales fuentes de ingresos en las diferentes regiones, pero a pesar de ser una actividad muy productiva los agricultores se encontraron con un problema, ya que muchos cultivos requerían de polinización cruzada, por lo que se encontró que los abejorros en general eran los indicados para este trabajo (Thorp, 2003).

Los abejorros *Bombus* son excelentes polinizadores tanto de flores silvestres como de diferentes cultivos. Estos abejorros se caracterizan por tener zumbidos con alta frecuencia posándose sobre las anteras y comienzan a vibrar para desprender el polen (Smith, 2004). El utilizar abejorros en cultivos de invernadero ha sido una gran estrategia a nivel comercial ya que han sustituido técnicas como el uso de vibradores eléctricos, o la aplicación de fitohormonas para estimular el crecimiento de los frutos. Dichos métodos resultan caros y agotadores (Thorp, 2003; INFOAGRO, 2004).

En 1989 fue la primera vez que se destituyo la técnica de vibración por abejorros *Bombus*, esto fue específicamente en el cultivo de jitomate en invernadero. Estos abejorros desde ese entonces has sido circulado por diferentes países, para fines comerciales. El uso de estos abejorros se extiende por más de 30 países y para ser usados alrededor de 25 diferentes cultivos (Cameron y Jost, 1998).

Polinización cruzada

Root (1976) la define como la transferencia del polen desde la flor de un cultivar, a otra planta de un cultivar diferente. Es decir, cuando la procedencia del polen a una flor es de otro pie de planta genéticamente diferente.

Las plantas que requieren de polinización cruzada deben presentar uno o más factores de atracción que la hagan ser visitada por los insectos polinizadores, tales como la abundancia de néctar, polen o ambos (Rallo, 1986), además de poseer medios llamativos (color, olor, etc.) y polen viscoso que asegure su adherencia al visitante logrando llegar al estigma de otras flores

Señalando que el atractivo que ejerce un cultivo sobre los insectos estaría basado en el color de las flores, aroma, volumen del néctar, concentración y tipo de sus azúcares. Además es importante la cantidad de flores disponibles durante el período de floración (McGregor, 1976).

Importancia de los abejorros en la polinización

El uso de abejorros (*Bombus*) se ha intensificado, en primer lugar por su adaptación al nuevo sistema de cultivos protegidos o invernaderos. La luz solar cuando se filtra a través del techo plástico de los invernaderos, crea una luz difusa que dificulta a los insectos la visualización de los colores. Las abejas se ven seriamente afectadas en ésta situación, sin embargo los abejorros pueden visualizar mejor los colores y orientarse hacia las flores. Se ha comprobado científicamente, que los abejorros visitan un mayor número de flores por vuelo que las abejas. Se tiene estipulado que los abejorros visitan de 18 a 30 flores por minuto, en cambio las abejas no llegan a la docena.

Los abejorros tienen la potestad de generar calor a través de su metabolismo, lo cual les permite resistir las bajas temperaturas. Las abejas cuando la temperatura baja a 10 grados Centígrados, no salen de sus colmenas por temor al frío. Los abejorros por la condición natural señalada, permanecen recolectando polen y néctar hasta los 5 grados Centígrados de temperatura ambiental. Cuando estos insectos realizan su búsqueda de polen y néctar, producen una fuerte vibración en la flor lo que ocasiona la caída de los gránulos de polen y por consiguiente la polinización del estigma de la flor, lo cual es reforzado por la acción directa del cuerpo del abejorro y su efecto directo en la superficie del estigma (INFOAGRO, 2004).

Uso de abejorros en la polinización de cultivo de invernadero

Gran parte de las colonias de abejorros solicitadas para polinizar cultivos de invernaderos, son destinadas para el cultivo de jitomate. Por lo general la colonia es solicitada cuando tiene unas cuatro semanas de edad, donde generalmente ya cuenta con unas 60 obreras. Una colonia con este número de obreras tiene la capacidad de polinizar una área mínima de 10000 m² (INFOAGRO, 2004).

Se han hecho estudios que relevan que tanto la cantidad como la calidad de dicho, fruto se ve beneficiada con la polinización de *Bombus*, ya que en estudios realizados en Israel, en un cultivo donde la polinización se llevó a cabo con vibradores electrónicos la producción total fue de 10 – 11 kg / m² mientras que al usar abejorros este aumento la producción total a 15 kg / m² (INFOAGRO, 2004).

Para poder determinar la efectividad de la polinización se deben revisar las flores, las cuales si han sido visitadas por un abejorro mostrarán en el estigma una pequeña mancha café, la intensidad de dichas marcas, va a variar dependiendo de la estación del año, ya que en invierno como los días son más cortos y la intensidad luminosa es menor, las flores solo permanecen abiertas un corto tiempo y el polen es más difícil de obtenerlo. Por otra parte en primavera cuando las flores permanecen abiertas por más tiempo y el polen es muy accesible, el abejorro permanecerá por muy poco tiempo sobre estigma de la flor y por tanto la marca será muy notable (Griffiths y Robberts, 1996).

El éxito de la polinización también depende de la calidad del cultivo, es decir de acuerdo a factores como la humedad, temperatura, irrigación, la aplicación de pesticidas, la producción y la calidad del polen se pueden ver afectadas, por lo que puede resultar poco interesante para el abejorro. La temperatura óptima para mantener el cultivo es de 17 – 25 °C, aproximadamente ya que una temperatura menor ocasionaría que el polen no este lo suficiente mente maduro y estaría pegajoso, cosa que no facilita su recolección y por lo contrario si la temperatura estuviera por encima de la ya mencionada, provocaría que el polen fuera estéril, por lo que no germinaría.

Otro factor importante es la humedad, ya que si hay un exceso o por lo contrario una deficiencia, el polen estaría muy seco o muy húmedo situación no conveniente por lo que se recomienda mantenerla entre 60 % y 80 %.

Por otra parte, la irrigación de los cultivos es sumamente importante, ya que si la planta llega a presentar un estrés hídrico, esta como estrategia ahorraría el agua lo más posible, así que no invertiría casi nada para el mantenimiento de las flores, donde estas lucirían un poco atractivas y el abejorro las discriminaría. Además de todas estas precauciones, se debe de tomar en cuenta que al estar utilizando insectos como vectores de polinización, se debe de tener mucho cuidado con toda clase de insecticidas que se utilicen (Corbet, 1996).

Características de un buen polinizador

Debe de ser capaz de abarcar una gran extensión de terreno, la colonia debe de ser grande y tener una gran duración, se debe de poder criar en cautiverio, debe de contar con características ventajosas para desprender el polen. De acuerdo a estos criterios se debe de empezar a probar a las diferentes especies polinizadoras (INFOAGRO, 2004).

Ventajas de la polinización de *Bombus* vs *Apis mellífera*

De acuerdo a diferentes estudios, se ha determinado que los abejorros *Bombus* tienen la capacidad de forrajear mucho más tiempo que una abeja *Apis*, visitando de dos a tres veces más flores por unidad de tiempo. Además los abejorros tienen la capacidad de regular su temperatura corporal de una forma muy efectiva, lo que les permite volar a bajas temperaturas sin disminuir su eficiencia, cosa que una abeja normal no puede lograr. Por esta misma razón, tiene la capacidad de volar a grandes altitudes, además cuenta con la capacidad de iniciar sus actividades a muy tempranas horas y continuarlas hasta muy tarde, donde otras abejas ya no han podido continuar.

Los abejorros *Bombus* cuentan con sacos muy densos de pelos que en comparación de una abeja normal, se trata de pelos largos lo que facilita que el polen se le quede pegado, además y en comparación con otras abejas, *Bombus* cuentan con lenguas muy largas haciendo que visiten flores que para abejas de lengua corta están restringidas. El tamaño corporal de los abejorros hace que depositen en sus patas mayores cantidades de polen (Batra, 2003).

Para muchos cultivos, la polinización con *Bombus* ha sido muy exitosa, pero hablando en términos comerciales tiene una desventaja; (el precio). Las colonias de *Bombus* no son tan grandes como las de *Apis*, ya que una colonia de *Bombus* al ser trasladada al invernadero cuenta alrededor con 60 – 100 obreras y conforme pasa el tiempo puede llegar a hacer de 300 – 500. En el caso de *Apis mellifera*, se está hablando de colonias de 30,000 a 60,000 obreras lo que vuelve las colonias de *Bombus* más caras (De Grandi-Hoffman, 2003).

Desventajas al utilizar *Apis mellifera* en cultivos de invernadero:

- No son tan eficientes en cultivos cerrados como los invernaderos o en túneles, además cuando se alcanza una temperatura de 15 °C son pocos eficientes.
- Los abejorros llevan un mejor contacto con la antera y el estigma, asegurando casi por completo la polinización, además como visitan más flores por unidad de tiempo.
- El clima tiene efectos muy bajos sobre la actividad, de los abejorros mientras que en *Apis*, la lluvia, el viento, una alta nubosidad, temperaturas por debajo de los 10 °C la mantienen dentro de su colmena.
- Los abejorros no cuentan con un sistema de comunicación; así que si un abejorro llegara a encontrar otro tipo de planta que no fuera del cultivo y se distrajera con ella no va a llamar a sus compañeros, mientras que *Apis* empezaría a bailar para llamar a más obreras, abandonando la polinización de ciertas plantas para las cuales fueron traídas.
- Los abejorros Poseen lenguas más largas, lo que les permite abordar flores de coloras profundas y tubulares (INFOAGRO, 2004).
- Los pelos de los abejorros son más largos y gruesos, además a la energía que generan para volar, se crea en su cuerpo peludo una energía electromagnética con carga positiva, atrayendo de manera de imán los granos de polen, ya que la antera de flor cuenta con un tipo de energía con carga negativa.
- Tiene una mayor capacidad de almacenamiento en sus estómagos de miel, el cual varía de acuerdo al tamaño del animal.
- Los abejorros cuentan con un poderoso zumbido capaz de desprender los granos de polen de flores tubulares como el jitomate
- Tiene la capacidad de distinguir cuando la flor tiene el polen en su etapa más fértil, haciendo muy eficiente la polinización.
- Dentro del invernadero son menos propensos a escapar no se estrellan contra ventanas. (INFOAGRO, 2004).

Efecto de los Pesticidas sobre Polinizadores

Resulta evidente que la intensificación agrícola ha incrementado el uso de agroquímicos, cuyo resultado es una potencial degradación del hábitat dentro de esas áreas agrícolas. Los insecticidas pueden causar mortalidad por intoxicación directa y repercutir en cambios locales en la diversidad y abundancia de los polinizadores, tanto silvestres como domésticos, mientras que herbicidas y fertilizantes pueden afectar a los polinizadores indirectamente al disminuir la disponibilidad de recursos florales.

La combinación de abejorros con el uso de enemigos naturales no presenta ningunos problemas. Los productos químicos utilizados en agricultura tienen efectos directos o indirectos en los abejorros. Los efectos directos ocurren en las obreras y en estado larvario como resultado del contacto o digestión de un producto químico, y los efectos indirectos ocurren cuando el abejorro realiza su visita a las flores tratadas y contacta con la materia activa a través del olfato.

Es importante que se realicen los tratamientos en el momento oportuno y en la dosis recomendada por el fabricante del producto. Se debe consultar la lista de efectos secundarios de pesticidas en abejorros en invernadero. Estas listas presentan la materia activa, el nombre comercial, el método de aplicación y la peligrosidad para los abejorros.

La persistencia de los pesticidas es otro factor a considerar para evitar posibles toxicidades en los abejorros. Es importante que las colmenas estén fuera del invernadero durante el periodo de persistencia del producto aplicado. En los cultivos bajo plástico esta persistencia se ve incrementada debido a que el plástico absorbe el producto y lo desprende poco a poco. Nunca se deben usar insecticidas con efectos residuales largos o con grandes espectros de actuación ya que son mortales para los abejorros. Es importante nunca usar insecticidas con efectos residuales largos o con grandes espectros de actuación ya que son mortales para los abejorros. Algunos insecticidas con corto efecto residual se pueden aplicar en casos extremos. En este caso es importante sacar los abejorros del invernadero por un corto o largo periodo de tiempo. (Biobest Biological Systems, 1997).

Descripción de los insecticidas

Organoclorados

Los organoclorados conforman un grupo de pesticidas artificiales desarrollados principalmente para controlar las poblaciones de insectos plaga. Su origen se remonta a la fabricación del DDT (Diclorodifeniltricloroetano) en 1943. De ahí en adelante y por muchas décadas, dicho clorado fue un arma importante en la lucha química del mosquito *Anopheles* transmisor de la malaria.

Su acción, como casi todos los insecticidas, es a nivel del sistema nervioso, generando alteraciones de la transmisión del impulso nervioso. Los organoclorados son, en esencia, hidrocarburos con alto contenido de átomos de cloro y fueron los insecticidas más criticados por los grupos ecologistas (Hayes, 1975).

Endosulfán

El endosulfán es un insecticida neurotóxico que pertenece al grupo de los Organoclorados. Es un Insecticida con propiedades de acaricida, actúa de contacto e ingestión. Introducido en la década de 1950, emergió como uno de los más importantes productos químicos usados contra una amplia variedad de insectos y ácaros en la agricultura y sectores relacionados (DEAQ, 2004).

Modo de acción

Bloquean la transmisión del impulso nervioso a nivel neuromuscular, es decir, bloquean el flujo clorinado dependiente del ácido gamaaminibúrico (GABA) hacia el complejo acarreador de iones del receptor clorinado de GABA, este ácido es el encargado de realizar la transmisión nerviosa entre la célula nerviosa activadora y los músculos receptores de la orden de contracción (D.M. Soderlund *et al.*, 1989).

Piretroides

El piretro natural fue descubierto hace muchos años el cual es un extracto de las cabezas florales del crisantemo (*Chrysanthemum cinerariaefolium*). Los piretroides representaron un importante avance en la química de síntesis del análogo de la versión natural que se encuentra en la piretrina. Su actividad insecticida tiene toxicidad relativamente baja para los mamíferos y una biodegradación inusualmente rápida. Los piretroides son esencialmente formas químicamente estabilizadas de piretrina natural y pertenecen al grupo 3 de IRAC (que interfieren con el transporte de sodio en las células nerviosas de insectos), (DEAQ, 2004).

Bifentrina

No sistémico con actividad insecticida por contacto e ingestión. Posee buen efecto de choque y alta persistencia. Permanece Adherida a las moléculas del suelo, alta efectividad en control de plagas de suelo y por otra parte. Es un producto con actividad sobre numerosas plagas de insectos de la parte aérea de los cultivos (Robert, 2002).

Modo de acción

No sistémico con actividad insecticida por contacto e ingestión. Posee buen efecto de choque y alta persistencia: 3 semanas o superior. La bifentrina afecta el equilibrio de los iones de sodio, alargando los impulsos en la membrana de las células. Esta influencia afecta la transmisión normal de los impulsos nerviosos causando repetidas descargas en los nervios de los insectos, lo cual resulta en parálisis y por último la muerte del insecto (Robert, 2002).

Neonicotinoides

Los neonicotinoides son una clase de insecticidas neuro-activas químicamente relacionados a la nicotina. El desarrollo de esta clase de insecticidas comenzó con el trabajo en la década de 1980 por Shell y la década de 1990 por Bayer. Los neonicotinoides se desarrollaron en gran parte debido a que muestran una toxicidad reducida en comparación con organofosforado utilizado anteriormente y carbamatos.

La mayoría de los neonicotinoides muestran mucha menor toxicidad en los mamíferos que los insectos, pero algunos productos de degradación son tóxicos. Los neonicotinoides son la primera nueva clase de insecticidas introducidos en los últimos 50 años, y el imidacloprid neonicotinoides está en el insecticida más utilizado en el mundo.

Imidacloprid

El imidacloprid es un insecticida relativamente nuevo, Es un insecticida sistémico, relacionado químicamente con la toxina del tabaco, la nicotina. Actúa bloqueando los elementos del sistema nervioso de los insectos, que son más susceptibles a los efectos tóxicos del imidacloprid que los de los animales de sangre caliente. Puede ser fitotóxico (tóxico para las plantas) si no se utiliza de acuerdo con las instrucciones de los fabricantes, y tiene la tendencia a reducir la aparición de nuevas plantas y el vigor de los cultivos.

Modo de acción

El ingrediente activo Imidacloprid imita la acción de la acetil-colina, la cual es uno de los principales neurotransmisores en el sistema nervioso central de los insectos. Después de que la acetilcolina es liberada por la célula presináptica se fija al receptor nicotínico postsináptico acetilcolina .Esta activación persistente lleva a una sobre estimulación y resulta en hiperexcitación convulsiones, parálisis y muerte del insecto (Bayer, 2005).

Avermectina

Las avermectinas son una serie de 16 miembros derivados macro cíclicos de la lactona con propiedades insecticidas, acaricidas y antihelmínticas. Estos compuestos naturales se generan como productos de la fermentación de *Streptomyces avermitilis*, un actinomiceto del suelo.

Abamectina

Es un acaricida e insecticida selectivo, con efecto sistémico local y translaminar, de residualidad media, que actúa sobre formas móviles (larvas, y adultos), para control preventivo a curativo temprano, en el manejo de ácaros en cultivos de rosa. La abamectina se utiliza en control de insectos y ácaros que pueden ser plagas en vegetales y animales. En cultivos de frutas, hortalizas y plantas ornamentales, también se usa en los hogares en el control de hormigas. En veterinaria se utiliza como antihelmíntico. La resistencia a los productos de abamectina utilizados como antihelmínticos aunque va en aumento no es tan importante como la resistencia a otros antihelmínticos veterinarios.

Modo de acción

La molécula de Abamectina actúa sobre el sistema nervioso de las plagas a través de dos vías:

- 1) Por contacto contra las plagas en el exterior de la hoja.
- 2) Por ingestión contra las plagas que se alimentan de la savia como es el caso de los ácaros y minadores de la hoja.

La Abamectina dentro del cuerpo del acaro o insecto estimula la liberación de Acido Gamma-amino Butírico (GABA) represor de señales nerviosas, que provoca la parálisis muscular del insecto dos horas después de la aplicación, por lo que el insecto no se alimenta, y no se reproduce evitando así el daño al cultivo. La máxima mortalidad se logra de 3 a 5 días después de la aplicación, (de acuerdo a condiciones ambientales) aunque el insecto deja de alimentarse 2 horas después de la aplicación (Tradecorp 2002).

Buprofezin

Buprofezin es un insecticida selectivo con actividad de regulación del crecimiento de los insectos. Se puede utilizar eficazmente, actúa por contacto, ingestión y fase gaseosa; controla los instares ninfa les de varias familias de insectos chupadores entre los que destacan diversas especies de moscas blancas, psílidos, piojos harinosos, escamas, chicharritas y ácaros. No controla adultos, pero reduce la ovoposición de éstos y la fertilidad de sus huevecillos. Es selectivo a la mayor parte de las familias de insectos benéficos, incluyendo las avispa parasitoides.

Modo de acción

Actúan como insecticidas por inhibir la síntesis de quitina o, es el principal constituyente del exosqueleto de los insectos, que les confiere protección física y, además, desempeña funciones fisiológicas. El metabolismo de estos compuestos consiste en la rotura del puente fenil-urea (reacción que también realizan algunas bacterias del suelo), dando lugar a benzoato y a un residuo de anilina. Este último puede sufrir posteriormente las reacciones de fase I y II del metabolismo, pero además puede unirse también a la hemoglobina o la albúmina (Beitia, F y Garrido, A., 1990).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación donde se llevó a cabo el experimento

El trabajo experimental se estableció en el Laboratorio de Toxicología del Departamento de Parasitología que se encuentra dentro de las instalaciones de la Universidad Agraria Autónoma Antonio Narro, unidad Saltillo, Coahuila, México (Figura 2). Al sur de la ciudad con domicilio en Calzada Antonio Narro # 1923 Buenavista C.P 25315, durante los meses de Abril y Mayo del año 2013.



Figura 2. Localización de la UAAAN en Saltillo Coahuila, México

Obtención del material biológico

Para la realización de los bioensayos se adquirieron 20 reinas de *Bombus ephippiatus*. En la empresa BIOINSECTUM ubicada en el municipio de Torreón, Coahuila. Las reinas fueron adquiridas en el mes de febrero, dichas reinas pasaron a una de las cámaras de reproducción del departamento de parasitología, donde fueron colocadas de manera individual en cajas de madera, a una temperatura promedio de 35 °C. Donde también se les proporcionó su alimento que fue una mezcla de jarabe y polen al 50 %, utilizando como proteína para las reinas y para su futura descendencia.



Figura 3. Localización de la empresa BIOINSECTUM donde se obtuvieron las Reinas.

Plaguicidas utilizados

Los plaguicidas evaluados fueron seleccionados de acuerdo a visitas previas a los productores dueños de invernaderos, quienes mencionaron cuales productos eran los más utilizados. Una vez obtenida esta información se procedió a seleccionar los productos Agrimec 1.8 CE[®] (Abamectina), Picador 70.0 PH[®] (Imidacloprid), Agro sulfan³⁵ C.E[®] (Endosulfan), Applaud 40 SC[®] (Buprofezin) y Brigadier[®] 20 Sd (Bifentrina).



Figura 4. Plaguicidas utilizados en el bioensayo

Método de bioensayo de dieta envenenada (OECD, 1998)

Para la realización del bioensayo de dieta envenenada, primero se ubicaron las concentraciones las cuales se obtuvieron mediante un estudio previo denominado ventana biológica, que nos proporcionó información para partir de una concentración adecuada. Para la obtención de las soluciones a diferentes concentraciones se partió de una solución madre de 1000 ppm (Cuadro 1), que fue diluida en la dieta del abejorro, la cual consistió en preparar un litro de solución al 50% de fructosa para obtener las concentraciones deseadas. Dichas diluciones se hicieron justo en el momento de realizar el bioensayo con el fin de evitar la fermentación.

El recipiente utilizado fue un frasco de plástico transparente con una capacidad de un 1 litro, evaluando para cada producto, seis concentraciones más un testigo y cinco repeticiones, dando un total de 35 unidades experimentales.

El bioensayo se realizó con abejorros, utilizando obreras adultas, realizándose la técnica conocida como dieta envenenada, que consistió en colocar discos de papel filtro de 4 cm de diámetro con 3 ml de la concentración deseada de la dieta del abejorro a cada frasco, una vez que se tenía en cada uno de los frascos las diferentes concentraciones se introdujeron 30 obreras adultas. Posteriormente los frascos tratados fueron tapados con tela organza, para facilitar el intercambio de aire dentro del frasco. El tratamiento del testigo solamente fue alimentado con dieta sin plaguicida. Las observaciones de mortalidad se realizaron a las 3, 6, 12 y 24 horas. Se consideró como individuo muerto aquel que no presentara movilidad alguna. Utilizando solamente el movimiento del frasco para incitar el movimiento de los insectos.

Con los datos obtenidos se determinó los porcentajes de mortalidad de cada concentración, para posteriormente determinar los valores de CL_{50} mediante el análisis probitt.

Cuadro 1.-Productos y concentraciones evaluadas en los tratamientos, en el experimento de *Bombus ephippiatus* con los dos diferentes plaguicidas.

Producto				
Bifentrina*	Buprofezin*	Endosulfan*	Imidacloprid*	Abamectina*
1	2,500	50	0.1	1
50	5,000	100	0.5	5
100	7,500	250	1	10
150	10,000	500	10	20
300	12,000	750	50	50
500	15,000	1000	100	100

Datos expresados en ppm.*

Análisis estadístico

Con los resultados de los bioensayos se realizaron los análisis probitt, donde se obtuvo la CL₅₀, CL₉₅, Ecuación de predicción, línea de respuesta Dosis-Mortalidad que se graficaron en papel logaritmo-probitt.

RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se muestra la descripción de los resultados obtenidos por el método de bioensayo realizado. Presentando los siguientes resultados: valores de CL_{50} y CL_{95} , además también se muestran las líneas de regresión Dosis-Mortalidad y tendencia.

Resultados del bioensayo obtenidos a 12 horas

Con respecto a la concentración letal media (CL_{50}) del bioensayo para los diferentes insecticidas a las 12 horas, podemos observar (cuadro 2), los siguientes resultados: para el producto Buprofezin la CL_{50} fue de 2872 ppm, bifentrina 371.861ppm, Imidacloprid 151.088, endosulfan 1160 y Abamectina con 54.563 ppm respectivamente. Al respecto con estos resultados nos muestran que el insecticida abacmectina es el más toxico al obtener un valor de CL_{50} menor, ya que se requieren de concentraciones muy pequeñas para poder llegar a matar el 50% de la población. A diferencia del producto buprofezin, quien mostro ser más selectivo, lo que nos indica, que necesita de dosis muy altas para poder matar el 50% de la población.

Cuadro 2.- CL_{50} , CL_{95} y ecuación de predicción de los productos evaluados sobre Obreras Adultas (*Bombus ephippiatus*) a 12 horas de exposición.

Plaguicida	#	* CL_{50}	* CL_{95}	Ecuación de predicción
Buprofesin	180	2872	26488	Y= 0.3313070417 -2.470990924
Bifetrina	180	371.861	1878	Y= 2.3389844206 -6.01208295
Imidacloprid	180	151.088	16417	Y= 0.8078638081 -1.760521884
Endosulfan	180	1160	19776	Y= 0.5090140219 -2.578007007
Abamectina	180	54.563	475.892	Y= 1.7487148939 -3.037346351

#: Número de individuos de prueba*: Datos expresados en ppm

Resultados del bioensayo obtenidos a 24 horas

Para la concentración letal media (CL₅₀), obtenida a las 24 horas de exposición, en el (cuadro 3). Podemos observar que el producto buprofezin la CL₅₀ fue de 10264 ppm, bifetrina 47.671, imidacloprid 3.048, endosulfan 415.273 y abamectina con 15.052 ppm respectivamente. Al respecto con estos resultados obtenidos nos muestra que el insecticida Imidacloprid es el más toxico ya que con tan solo 3.048 ppm mata al 50% de la población, mientras que Buprofezin necesita 10264 ppm para llegar a una concentración letal media

Cuadro 3.- CL₅₀, CL₉₅ y ecuación de predicción de los productos evaluados sobre Obreras Adultas (*Bombus ephippiatus*) a 24 horas de exposición.

Plaguicida	#	*CL ₅₀	*CL ₉₅	Ecuación de predicción
Buprofesin	180	10264	60059	Y= 2.1438102982 -8.599518029
Bifetrina	180	47.671	1764	Y= 1.0487921813 -1.760144853
Imidacloprid	180	3.048	302.214	Y = 0.8239606128 -0.39882876
Endosulfan	180	423.273	4858	Y= 1.5004684517 -3.928727842
Abamectina	180	15.052	235.726	Y= 1.3766850574 -1.62120643

#: Número de individuos de prueba*: Datos expresados en ppm

En cuanto a los resultados obtenidos de la CL₅₀ por el método de dieta envenenada a las 24 horas, el Imidacloprid, mostro los valores más bajos (3.048 ppm), en comparación con Rortais y Halm *et al.* (2005), quienes reportan una CL₅₀ 3.4 ppm, en la especie *Bombus terrestris*, siendo estos resultados similares a los reportados en esta investigación. Por otro lado después del imidacloprid el producto abamectina también presento valores bajos de CL₅₀ (15.052 ppm). Al respecto Besard y Mommaerts (2010), reportan un valor de 1.17 ppm para el producto abamectina en *B. terrestris*.

Siendo un resultado inferior a lo encontrado en esta investigación. Por otro lado el producto bifentrina presento un valor en la CL₅₀ de 47.671 ppm. Al respecto Ahmad *et al.*, (2003), reportan un valor de 13.7 ppm para este producto, siendo el resultado inferior a lo encontrado en esta investigación, posteriormente para el producto endosulfan los valores que presento de CL₅₀ fueron de 423.273 ppm, al respecto Ahmad *et al.*, (2003), reportaron un valor de 19.3ppm para este producto, siendo el resultado inferior a lo encontrado en esta investigación. Por último el producto buprofezin presento el valor más alto en la CL₅₀ con 10264 ppm, al respecto Mommaerts V *et al.*, (2006), mencionan que este producto al ser un regulador de crecimiento no representa riesgo para las abejas adultas, sin embargo se debe de tener cuidado al momento que las abejas llegan al núcleo porque pueden afectar a las crías si estas llevan producto en su cuerpo. Finalmente podemos mencionar que el producto buprofezin está considerado como compatible, mientras que bifentrina, endosulfan e imidacloprid están considerados como incompatibles, mientras que la Abamectina está considerada como medianamente compatible (Cuadro 4). Sin embargo nuestros resultados muestran un efecto negativo por parte de la Abamectina, mientras que el producto endosulfan resulto más inocua. Para bifentrina e imidacloprid los resultados coinciden con la clasificación antes mencionada; al igual que para el producto buprofezin.

Cuadro 4.-Efectos secundarios de los insecticidas en (*Bombus ephippiatus*).

	Abamectina		Bifentrina		Buprofezin		Endosulfan	Imidacloprid	
	AV	TMX	AV	TMX	AV	TMX	AV	AV	RG
Población									
Colonia	←		×		∧		×	×	×
Larva									
Adulto									
Persistencia	1 ^{1/2}		7		0		14	30	30

○ Sin acción ∧ Cubrir ← Quitar × Incompatible ? Efecto desconocido

Líneas de Respuesta Concentración-Mortalidad

En la figura 1 se exponen las líneas de respuesta dosis-mortalidad, bajo la metodología de dieta envenenada en referencia a la recta correspondiente para cada producto, podemos mencionar que se obtuvo más rápidamente una CL_{50} de Abamectina de 15.052 ppm a 12 horas; así mismo se obtuvo una CL_{95} con el mismo producto de 475.892 ppm, a 12 horas de exposición. Por lo anterior se concluye que en base a la respuesta de las líneas dosis-mortalidad de Abejorros obreras adultas, en el producto Abamectina a 12 horas de exposición presentan una relación más estrecha entre concentración y mortalidad en relación a los demás productos donde la relación es más amplia.

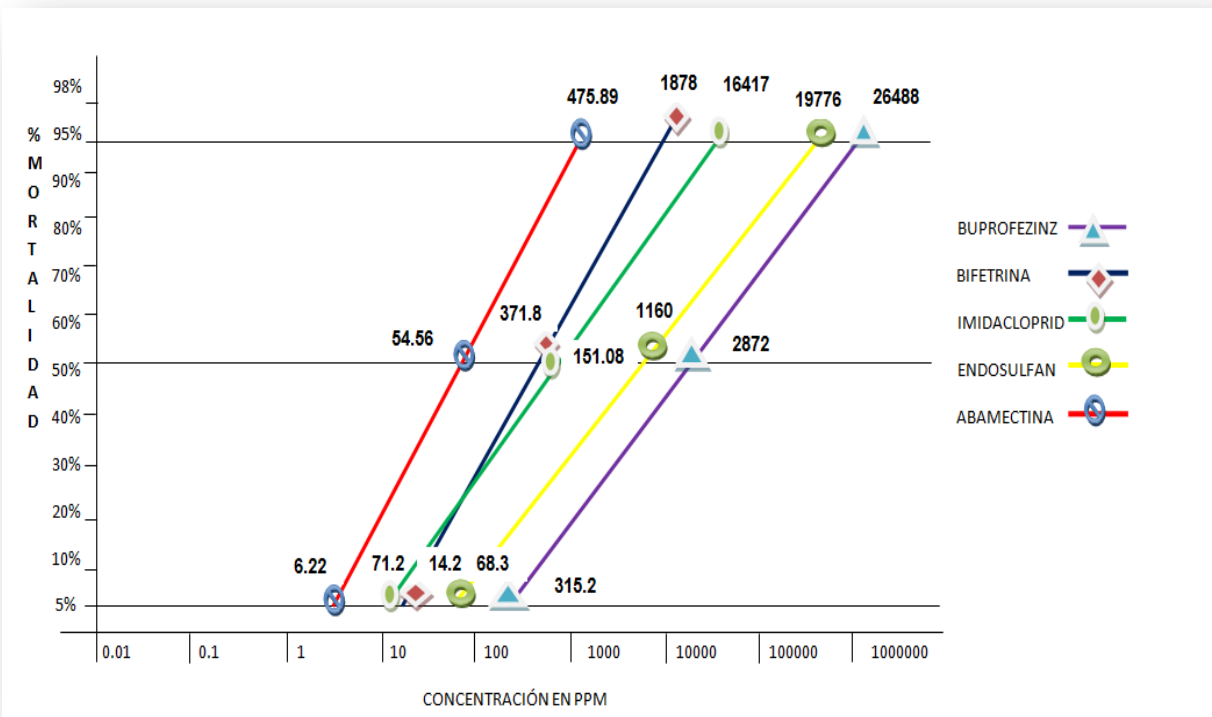


Figura 5.- Líneas de respuesta dosis mortalidad por el método de dieta envenenada sobre obreras adultas (*Bombus ephippiatus*) a 12 horas.

Podemos mencionar que ahora se obtuvo una CL_{50} de 3.048 ppm a 24 horas de exposición pero ahora en el producto Imidacloprid; así mismo se obtuvo una CL_{95} de 235.7 ppm a 24 horas de exposición pero del producto Bifetrina, por lo anterior se concluye que en base a la respuesta de las líneas dosis – mortalidad de abejorros obreras adultas, en el producto Bifetrina a 24 horas de exposición. Presenta una relación menos estrecha entre concentración y mortalidad en relación, ya que necesita de una dosis mayor. En contraste el producto Bifetrina presento una CL_{50} de 47.67 ppm a 24 horas de exposición, concluyéndose que en base a la respuesta de las líneas dosis – mortalidad en referencia a la recta correspondiente, presenta una relación muy estrecha entre concentración y mortalidad en relación, ya que necesita una dosis menor, por lo contrario el producto Endosulfan obtuvo una CL_{50} de 423.27 ppm y el producto Buprofezin 10264 ppm.

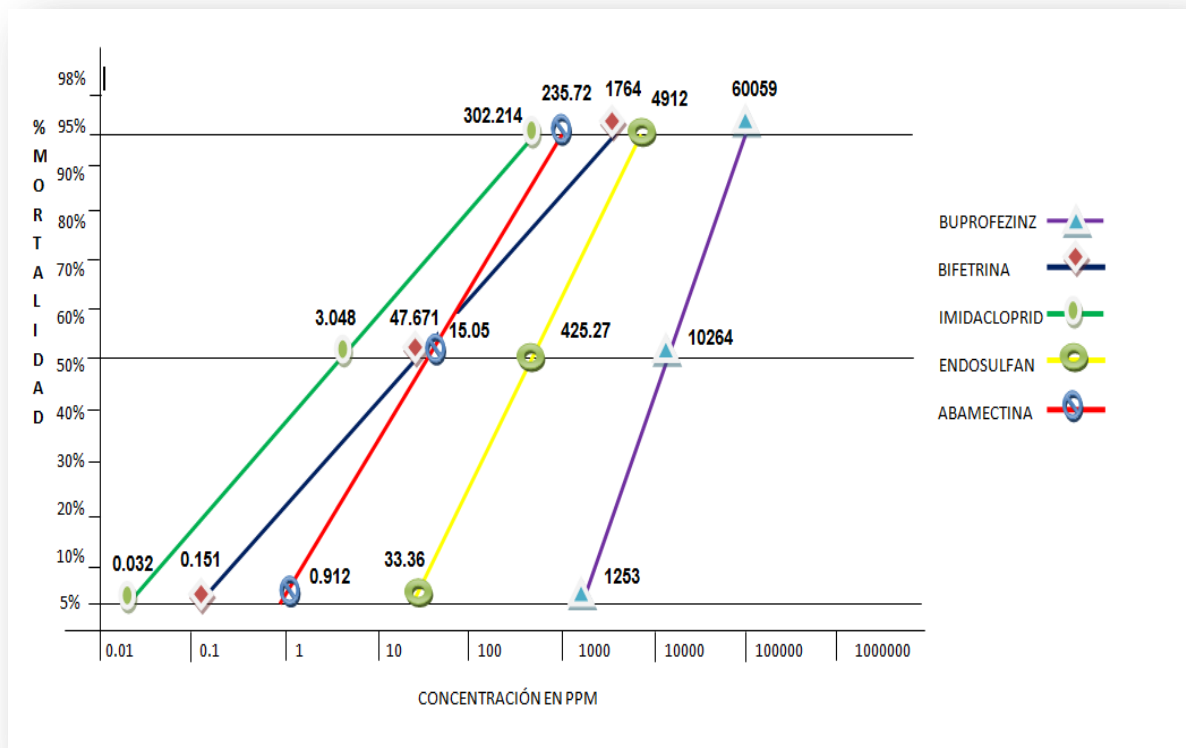


Figura 6.- Líneas de respuesta dosis mortalidad sobre obreras adultas (*Bombus ephippiatus*) a 24 horas de exposición.

CONCLUSIONES

En base a las condiciones en los que se llevó el experimento podemos concluir:

- 1) El producto que presento los valores más bajos de CL_{50} a las 12 horas fue la Abamectina siendo el más toxico.
- 2) El producto que presento los valores más bajo de CL_{50} a 24 horas de exposición fue el imidacloprid.
- 3) Mientras que Los productos Endosulfan y Buprofezin son los que presentaron valores altos de CL_{50} . Siendo los productos más selectivos a esta especie

LITERATURA CITADA

Alford, D. W. 1975. Bumblebees. Davis – Poynter. England.

Ahmad M, Iqbal AM, Ahmad Z (2003) Susceptibility of *Helioverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) to new chemistries in Pakistan. *Crop Protection* 22: 539–544

Baer, B., J. Schmid-Hempel, & J. Boomsma. Sperm Length, sperm storage and mating system characteristics in bumblebees. *Insectes Sociaux*, 50: 101 – 108.

Batra, S. W. Bee Introductions to Pollinate Our Crops. *En For Nonnative Crops, Whence Pollinators of the Future?*. 2003. Edited by Strickler, K., & J. H. Cane. Thomas Say Publications in Entomology. Pp.85-94.

Beitia, F. y Garrido, A., 1990. Mortalidad producida por Buprofezin en laboratorio. *Bol. San Veg.* 16: 525- 527.

Besard L, Mommaerts V, Vandeven J, Cuvelier X, Sterk G, Smagghe G. *Pest Manag Sci.* 2010.

BIOBEST BIOLOGICAL SYSTEMS.1997. Efectos secundarios de pesticidas en abejorros. Westerlo, Bélgica. 9 pp.

Bloch, G. & A. Hefetz, 1999. Regulation by dominant workers in bumblebee (*Bombus terrestris*) queenright colonies. *Behav. Ecol. Sociobiology*, 45: 125 – 135.

Bloch, G., W. Borst, Y. Huang, & G. Robinson, 1996. Effect of social conditions on juvenile hormone mediated reproductive development in *Bombus terrestris* workers. *Physiological Entomology*, 21: 257 – 267.

Cameron, S., & M. Jost. 1998. Mediators of dominance and reproductive success among queens in the cyclically polygynous Neotropical bumblebee *Bombus antratus* Franklin. *Insectes Sociaux*, 45: 135 – 149.

Corbet, S. A. Why Bumble bees are special. En *Bumble Bees For Pleasure and Profit*. 1996. Editado por Matheson, A. IBRA. Pp. 2-10.

Curtis, H. & N. S. Barnes, 1993. *Biología*. Editorial Médica Panamericana. España.

Cnani, J, R Schmid – Hempel. & J. Schmid, 2002. Colony development, larval development and worker reproduction in *Bombus impatiens*, Cresson. *Insectes Sociaux*, 49: 164- 170.

DEAQ, 2004, Diccionario de especialidades agroquímicas vol.1

DeGrandi – Hoffman, G. Honey Bees in U. S Agriculture: Past, Present, and Future. *En For Nonnative Crops, Whence pollinators of the Future?*. 2003. EditadoporStrickler, K., & J. H. Cane. Thomas Say Publication is Entomology. Pp. 11 – 18.

Díaz, N., & A., Brahamovich. 2004. Distributional patterns of Neotropical and Andean Species of the genus *Bombus* (Hymenóptera, Apidae). *Actazoológica Mexicana*. (n.s). 20(1): 99 – 117.

D.M. Soderlund, et al., "Mecanismos de neurotoxicidad de piretroides: implications for cumulative risk assessment", *Toxicology* 2002 171, 3-59.

Fuentes – Montemayor, E.,& A. Madrid - cuevas, 2003, "Biología de *Bombusephippiatus*Say (Hymenóptera, Apidae)". Tesis de licenciatura. Departamento de Química y Biología de la Universidad de las Américas – Puebla.

Griffiths, D., & E. J. Robberts. Bumble bees as pollinators of glasshouse crops. *En Bumble Bees For pleasure and profit*. 1996. Editadopor Matheson, A. IBRA. Pp. 33 – 37.

Gouloson, D. 2003. Effects of Introduced Bees on Native Ecosystems. *Annu. Rev. Ecol. Syst*, 34: 1 – 26.

HAYES, W.J. Jr. 1975.- *Toxicology of pesticides*. The Williams and Wilkins Company, USA.

Heinrich, B. 2000. *Bumblebees Economic*. Harvard College. United States of America.

Hernández, M. (2004). CSUS, 2004 *Department of Geography en:* < www.Csus.edu/indiv/g/gervalsh/Biogeography/Student%20Papers/2004/Hernandez/DCIM/BIOGEOGRAPHY2.htm>

INFOAGRO. (2004). Infoagro en:

<www.Infoagro.com/agricultura_ecologica/polinizacion_abejorros.asp>

Me GREGOR, S. 1976. Insect pollinators of cultivated crop plants. Washington Department of Agriculture United States. 441 p.

Michener, CH. D. PCAM: an international study of the bees of Mexico. *En The conservation of bees*. 1996. Editado por Matheson, A., L. Buchmann, Ch. O`toole, P. Westrich, & I.H. Williams. Linnean Society of London and the Internacional Bee Resarch Association by Academia Press. Pp. 233 – 244.

Mussen E. y Brandi G., 2010. Interacciones Abejas-Pesticidas. (1) Dr. Eric C. Mussen, Extension Apiculturist, UC Davis, Gene Brandi, Commercial Beekeeper, Los Banos, CA. U.C Apiaries Newsletter, University of California Department of Entomology, p. 1 Busqueda realizada, 25 de Septiembre, 2012.

Mommaerts V, Sterk G, Smagghe G. *Pest Manag Ciencia* . 26 de Aug, 2006.

Natural History Museum. (2004). *Natural History Museum of England en:* < www.Nhm.ac.uk/entomogy/bombus/pr/mg_pr.htm>

Prys-Jones, O., & S.A Corbet. 1991. *Bumblebees. Richmond Publishing Co. England.*

RALLO, J. 1986. Frutales y abejas.Madrid, Publicaciones de Extensión Agraria.231.

Ritter, 2001. Enfermedades de las bajas, editorial: ACRIBIA, S. A. Royo, 23-50006 Zaragoza (España) págs. VII, 1, 2, 3, 4, 12.

ROOT, A.1976. ABC y XYZ de la Apicultura. Enciclopedia de la cría científica y práctica de las abejas. 15a.ed.Buenos Aires, Argentina, Hachette.670p.

Robert L. Metcalf “Control de insectos” en Ullmann’sEncyclopedia of Industrial Chemistry” Wiley-VCH, Weinheim, 2002.

Rortais A, Arnold G, Halm MP, TouffetBriens-F (2005) Modos de exposición de las abejas insecticidas sistémicos: Los montos estimados de polen y néctar contaminado consumido por las diferentes categorías de las abejas. *Apidologie* 36:. 71-

Thorp, R. W. Bumble Bees (Hymenóptera, Apidae): Commercial Use and Environmental Concer. En *for Nonnative Crops, Whence Pollinators of Future?*. 2003. Edited by Strickler, K., & J. H. Cane. Thomas Say Publications in Entomology. Pp. 21 – 34.

Smith, L. (2004). *Bumblebee en*: < www.bumblebees.org/terr.htm>

Bayercropscience. (2005): www.press.com.

[www.tradecorp\(2002\).es/download/products/prod_sds_193](http://www.tradecorp(2002).es/download/products/prod_sds_193).