

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LAS COMUNIDADES DE
INSECTOS ACUÁTICOS Y CONTROL LARVARIO DE *Culex* spp.
(Diptera: Culicidae) EN EL RÍO PESQUERÍA, SANTA ROSA,
APODACA, NUEVO LEÓN

Por

BIÓL. MARA IVONNE GARZA RODRÍGUEZ

Como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS CON ACENTUACIÓN EN
ENTOMOLOGÍA MÉDICA

FEBRERO, 2019

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LAS COMUNIDADES DE INSECTOS
ACUÁTICOS Y CONTROL LARVARIO DE *Culex* spp. (Diptera: Culicidae)
EN EL RÍO PESQUERÍA, SANTA ROSA, APODACA, NUEVO LEÓN

Comité de Tesis

Dra. Violeta Ariadna Rodríguez Castro

Directora

Dra. Adriana Elizabeth Flores Suárez

Secretario

Dr. Humberto Quiroz Martínez

Vocal 1

Dra. María Guadalupe Maldonado Blanco

Vocal 2

Dr. Carlos Solís Rojas

Vocal 3

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Violeta Ariadna Rodríguez Castro por su apoyo incondicional y asesoría durante el periodo de la realización de esta investigación. Por creer siempre en mí y guiar mis pasos para alcanzar esta meta en mi vida.

Al Dr. Humberto Quiroz Martínez por permitirme entrar al laboratorio de Entomología hace casi diez años donde en todo momento me he sentido parte de un excelente equipo de trabajo y sus valiosos consejos me han servido para seguir adelante cumpliendo mis objetivos.

A la Dra. Adriana Elizabeth Flores Suárez por sus consejos y sugerencias durante la realización de esta investigación.

A la Dra. María Guadalupe Maldonado Blanco por sus comentarios y sugerencias sumamente importantes durante el avance de este proyecto mejorando de gran manera la calidad de este.

Al Dr. Carlos Solís Rojas por haber mostrado gran interés sobre este trabajo durante su realización, contando con sus importantes apuntes.

Al gran grupo de trabajo del Laboratorio de Entomología y Artrópodos de la Facultad de Ciencias Biológicas. Gracias por sus consejos, por su ayuda en las colectas, en el procesamiento de las muestras, así como su apoyo moral incansable que me permitió mantenerme enfocada. Gracias Antonio Carmona, Marylin Saucedo, Marco Cardoza, Karla Guajardo, Gerardo Flores, Ian Quiroz, Gary Hernández, Juan Pablo Hernández, Emilio Flores, Cony Jordán, Isaura Aguilar, David Hernández, Daniel Moreno y Sheila Sabori.

Así como a Dulce y Verito de la Torre por su gran amistad y apoyo inmensurable a lo largo de estos años.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo en el financiamiento otorgado mediante el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) con número de becario/CVU: 296358/ 557663.

DEDICATORIA

A Dios

Por permitirme vivir cada una de las experiencias que me han formado como persona y profesionista. Por nunca soltarme de Su mano en cada nueva etapa de mi vida y darme la fuerza y valor para enfrentarme al reto que se me ponga en el camino.

A mis padres

Eufemia Rodríguez Ortega y Manuel Fernando Garza Villarreal por nunca dejarme sola, por creer en mí más de lo que yo misma lo hago. Los amo infinitamente y agradezco a Dios cada día por haberme permitido ser su hija. Mi respeto y cariño hacia ustedes es incondicional e infinito. Esto es por y gracias a ustedes, cada abrazo, cada palabra de aliento se quedarán en mí por siempre.

A mi familia

Por siempre tener una palabra de apoyo hacía mí, haciéndome sentir valiosa y capaz de alcanzar mis metas. Gracias por caminar a mi lado.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. ANTECEDENTES | 3 |
| 2.1 Servicios ecosistémicos | 3 |
| 2.2 Generalidades de los mosquitos | 5 |
| 2.2.1 Aspectos ecológicos del género <i>Culex</i> | 6 |
| 2.2.2 Importancia de <i>Culex</i> como transmisor de enfermedades | 6 |
| 2.3 Control y manejo integrado de <i>Culex</i> | 10 |
| 2.3.1 Uso de insecticidas convencionales | 10 |
| 2.3.2 <i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>israelensis</i> | 12 |
| 2.3.3 Spinosad..... | 15 |
| 3. JUSTIFICACIÓN | 17 |
| 4. HIPÓTESIS | 18 |
| 5. OBJETIVOS | 19 |
| 6. MATERIAL Y MÉTODOS..... | 20 |
| 6.1 Área de estudio | 20 |
| 6.2 Metodología..... | 20 |
| 6.2.1 Estructura y función de las comunidades..... | 20 |
| 6.2.2 Dinámica de colonización | 22 |
| 6.2.3 Efectividad de larvicidas biorracionales | 24 |
| 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 26 |
| 7.1 Estructura de las comunidades | 26 |
| 7.2 Función de las comunidades..... | 35 |
| 7.3 Dinámica de colonización | 37 |

| | |
|---|----|
| 7.4 Efectividad de larvicidas biorracionales..... | 40 |
| 8. CONCLUSIONES..... | 43 |
| 9. BIBLIOGRAFÍA..... | 44 |
| 10. ANEXOS..... | 54 |
| 11. RESUMEN BIOGRÁFICO..... | 85 |

ÍNDICE DE TABLAS

| Tabla | Página |
|--|---------------|
| Tabla 1. <i>Culex</i> spp. colectados de octubre de 2014 a septiembre de 2015..... | 37 |
| Tabla 2. Estructura de la comunidad de insectos asociados a hábitats larvarios de <i>Culex</i> spp. colectados de octubre de 2014 a septiembre de 2015. (*Presencia)..... | 38 |
| Tabla 2 (cont.) Estructura de la comunidad de insectos asociados a hábitats larvarios de <i>Culex</i> spp. colectados de octubre de 2014 a septiembre de 2015. (*Presencia).... | 39 |
| Tabla 3. Densidad de insectos correspondientes a cada grupo funcional colectados durante octubre de 2014 a septiembre de 2015..... | 46 |
| Tabla 4. Especies de insectos colonizadores de charcas durante la temporada de lluvias del 28 de octubre al 2 de diciembre de 2015 en el Río Pesquería en Santa Rosa, Apodaca, Nuevo León. *G.P.= Grupo funcional. D= Depredador; T= Triturador; R= Raspador; F/C= Filtrador/Colector; C= Colector. | 50 |
| Tabla 5. Prueba de Kolmogorov-Smirnov de los datos obtenidos durante las pruebas con larvicidas realizadas en el Río Pesquería..... | 52 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura | Página |
|--|---------------|
| Figura 1. Etapas de la colonización de las comunidades según Krebs, 1985..... | 35 |
| Figura 2. Índice de Shannon- Wiener en hábitats larvarios de <i>Culex</i> spp. de octubre de 2014 a septiembre de 2015 (C1=Charca temporal 1, C2=Charca temporal 2, M1=Margen del río 1, M2=Margen del río 2, M3=Margen del río 3, M4=Margen del río 4)..... | 40 |
| Figura 3. Promedio de valores por estación del año del índice de Shannon-Wiener de los insectos asociados a hábitats larvarios de <i>Culex</i> spp. colectados de octubre de 2014 a septiembre de 2015..... | 41 |
| Figura 4. Índice de Simpson en hábitats larvarios de <i>Culex</i> spp. de octubre de 2014 a septiembre de 2015 (C1=Charca temporal 1, C2=Charca temporal 2, M1=Margen del río 1, M2=Margen del río 2, M3=Margen del río 3, M4=Margen del río 4)..... | 42 |
| Figura 5. Promedio de valores por estación del año del índice de Simpson de los insectos asociados a hábitats larvarios de <i>Culex</i> spp. colectados de octubre de 2014 a septiembre de 2015..... | 43 |
| Figura 6. Índice de Margalef en hábitats larvarios de <i>Culex</i> spp. de octubre de 2014 a septiembre de 2015 (C1=Charca temporal 1, C2=Charca temporal 2, M1=Margen del río 1, M2=Margen del río 2, M3=Margen del río 3, M4=Margen del río 4)..... | 44 |
| Figura 7. Promedio de valores por estación del año del índice de Margalef de los insectos asociados a hábitats larvarios de <i>Culex</i> spp. colectados de octubre de 2014 a septiembre de 2015..... | 45 |
| Figura 8. Curva de acumulación de especies de los insectos asociados a hábitats larvarios de <i>Culex</i> spp. colectados de octubre de 2014 a septiembre de 2015..... | 45 |

| | |
|---|----|
| Figura 9. Porcentaje de grupos funcionales en las charcas durante octubre de 2014 a septiembre de 2015..... | 47 |
| Figura 10. Porcentaje de grupos funcionales en el margen durante octubre de 2014 a septiembre de 2015..... | 48 |
| Figura 11. Número de especies colectadas del 28 de octubre al 2 de diciembre de 2015..... | 51 |
| Figura 12. Media de población de <i>Culex</i> spp. Expuesta a dos tratamientos en Santa Rosa, Apodaca, Nuevo León..... | 53 |
| Figura 13. Porcentaje de Reducción de poblaciones de <i>Culex</i> spp. expuestas a dos tratamientos en Santa Rosa, Apodaca, Nuevo León..... | 53 |

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

| | |
|-------------|--|
| °C | grados centígrados |
| C | colector |
| CDC | Centro para el Control y Prevención de Enfermedades (por sus siglas en inglés) |
| D | depredador |
| EDA | Agencia de Protección Ambiental (por sus siglas en inglés) |
| F/C | filtrador/colector |
| G.F. | grupo funcional |
| GABA | neurotransmisor ácido gamma-aminobutírico |
| IMM | Manejo Integral de Mosquitos (por sus siglas en inglés) |
| kDa | kiloDalton |
| mm | milímetros |
| msnm | metros sobre el nivel del mar |
| OMS | Organización Mundial de la Salud |
| pH | potencial de hidrógeno |
| R | raspador |
| sp. | especie |
| spp. | especies |
| T | tritador |
| <i>var.</i> | variedad |

RESUMEN

Las enfermedades transmitidas por insectos vectores representan el mayor desafío para la salud humana. La presente propuesta consistió en analizar los servicios ecosistémicos que ofrecen las comunidades de insectos acuáticos asociados a hábitats larvarios de especies de *Culex*, así como la evaluación de alternativas amigables al ambiente en el Río Pesquería, Santa Rosa, Apodaca, Nuevo León.

Fueron colectados un total de 25,571 insectos en 19 muestreos realizados de octubre de 2014 a septiembre de 2015 con un total de siete órdenes, 25 familias y 56 géneros y/o especies. En el análisis funcional se encontraron los grupos denominados filtradores, colectores, depredadores, trituradores, raspadores, perforadores y omnívoros; siendo los primeros dos los más abundantes dentro de los sistemas acuáticos.

Con respecto a la dinámica de colonización de hábitats larvarios de *Culex* spp., fueron colectados un total de 4,835 insectos del 28 de octubre al 2 de diciembre de 2015 en un total de 13 muestreos, éstos organismos pertenecientes a cuatro órdenes: Odonata, Lepidoptera, Coleoptera y Diptera; se observó que los sitios muestreados solo llegan a la etapa uno de colonización ya que, aunque se conoce que en la etapa dos es cuando existe competencia y depredación entre los individuos y en el estudio si fueron encontrados depredadores de los órdenes Odonata y Coleoptera, el número de especies no disminuyó a lo largo de los muestreos.

Con respecto a la evaluación de la efectividad del formulado local de *Bacillus thuringiensis israelensis* y del Spinosad; la media de población de *Culex* spp. colectados en *Bti* fue de 269 en promedio a las 24 h, de 518.3 a las 48h y 290.1 a las 72h post-tratamiento; mientras que el Spinosad a las 24h tuvo un promedio de 2 individuos, de 1.1 a las 48h y 0 a las 72h. El *Bti* mostró una efectividad del 35.5% para el control de *Culex* en sus hábitats larvarios mientras que en Spinosad fue de 100% a las 72 horas post-tratamiento.

ABSTRACT

Diseases transmitted by insect vectors represent the greatest challenge for human health. The present proposal consisted of analyzing the ecosystem services offered by aquatic insect communities associated with larval habitats of *Culex* species, as well as the evaluation of environmentally friendly alternatives in the Pesquería River, Santa Rosa, Apodaca, Nuevo León.

A total of 25,571 insects were collected in 19 samplings from October 2014 to September 2015 with a total of seven orders, 25 families and 56 genera and / or species. In the functional analysis, the groups called filtrators, collectors, predators, crushers, scrapers, perforators and omnivores were found; the first two being the most abundant within aquatic systems.

With regard to the dynamics of colonization, a total of 4,835 insects were collected from October 28 to December 2 of 2015 in a total of 13 samplings, these organisms belonging to four orders: Odonata, Lepidoptera, Coleoptera and Diptera; it was observed that the sites only reach stage one of colonization since although it is known that in stage two is when there is competition and predation among the individuals and in the study if predators of the Odonata and Coleoptera orders were found, the number of species did not decrease throughout the samplings.

With regard to the evaluation of the effectiveness of local *Bacillus thuringiensis israelensis* formulation and Spinosad; the population mean of *Culex* spp. collected in *Bti* was 269 on average at 24 h, from 518.3 at 48h and 290.1 at 72h post-treatment; while the Spinosad at 24h had an average of 2 individuals, from 1.1 to 48h and 0 to 72h. The Bti showed a 35.5% effectiveness for the control of *Culex* in its larval habitats while in Spinosad it was 100% at 72 hours post-treatment.

1. INTRODUCCIÓN

Los servicios ecosistémicos son los beneficios que se derivan de la naturaleza para provecho del ser humano. Los insectos han representado un papel clave en el desarrollo de la biología de la conservación por su abundancia y diversidad en la mayoría de los ecosistemas tanto terrestres como acuáticos además de la rapidez de respuesta a los cambios ambientales, estas características los hace un modelo atractivo de organismos para la investigación.

En una época donde existen impactos humanos sin precedentes en entornos naturales, la biología de la conservación de insectos tiene un rol transcendental debido al cometido que representan en las evaluaciones y en el mejoramiento o modificación de los hábitats y el cambio climático antropogénico (Stewart *et al.*, 2007).

En lo que se refiere como agentes de regulación de la población y control de plagas innumerables casos exitosos han sido descritos en la historia de la entomología, abarcando programas en el área agrícola, así como algunos artrópodos de importancia médica. La entomología juega un papel importante en el desarrollo de las civilizaciones humanas debido a que los brotes de enfermedades transmitidas por insectos han influenciado la historia, la emergencia y el resurgimiento de éstos son reconocidos como una preocupación creciente (Wilson y Spielman 1994; Walker *et al.* 1996; Gubler 1998; Winch 1998; Gratz 1999).

Dentro del orden Diptera encontramos varias familias con la capacidad de producir daño al humano, pero sin duda la de mayor relevancia es Culicidae, donde las hembras de varias especies al alimentarse del hospedero tienen la posibilidad de transmitir patógenos y causar enfermedades tales como malaria, dengue, fiebre amarilla, encefalitis y virus del oeste del Nilo entre otras.

Existen varias especies pertenecientes al género *Culex*, donde *Cx. pipiens*, *Cx. quinquefasciatus* y *Cx. tarsalis* son las más frecuentes de encontrar en los ríos, arroyos y sistemas artificiales que funcionan como criaderos de mosquitos. En la década de los años 70's apareció un brote de encefalitis equina en el municipio de Escobedo, causando fuertes estragos en la población equina del municipio; posteriormente con la aparición del virus del oeste del Nilo estos mosquitos representaron un foco de atención

para las autoridades sanitarias, enfermedad que ha sido detectada sobre todo en equinos.

Históricamente en México, como en muchas partes, el control de mosquitos se ha realizado a través del uso de productos químicos en calidad de larvicidas y adulticidas, las formas de aplicación y los grupos toxicológicos igualmente han sido muy variadas. La corriente mundial de sustentabilidad y el pensamiento ecologista han incrementado las críticas y al uso de insecticidas; por lo cual las instancias oficiales del sector salud han considerado importante la búsqueda y utilización de herramientas alternativas amigables al ambiente para el control de mosquitos; no sólo el uso de depredadores acuáticos, también la manipulación ambiental y análisis de comunidades, formulaciones de bacterias entomopatógenas, extractos de hongos y plantas con actividad tóxica a los mosquitos (Quiroz-Martínez *et al.* 2014).

2. ANTECEDENTES

2.1 Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos son usualmente definidos como contribuciones directas e indirectas de los ecosistemas a un beneficio humano, los cuales pueden ser de diferentes tipos (de Groot *et al.* 2002; TEEB 2010). Los servicios ecosistémicos de 1.- Soporte incluyen, por ejemplo, producción primaria (básica para redes alimenticias) y formación de hábitat de otras especies, como arrecifes de coral. 2.- Reguladores incluyen, por ejemplo, polinización, secuestro de carbono, control de alimento y control biológico de plagas. de 3.- Suministro incluyen, por ejemplo, peces, madera y recursos de pastoreo. 4.- Culturales, también se llaman servicios de experiencia y conocimiento, incluyen recreación al aire libre, tranquilidad, silencio y conocimiento de la naturaleza y conocimiento de la naturaleza (Aslaksen *et al.* 2005).

La biodiversidad es crucial en la estructura del ecosistema y sus procesos con complejas contribuciones a las funciones del sistema. Un ecosistema puede dar lugar a muchos servicios ecosistémicos diferentes, sin correspondencia uno-a-uno entre componentes y los servicios ecosistémicos. Un componente de la biodiversidad puede contribuirá varios servicios ecosistémicos. Los cuales son aportes cruciales en la producción de valores económicos. La sistemática se enfoca en expresar que los servicios ecosistémicos son necesarios para hacer visibles estos valores a los responsables políticos y el público. Actualmente no hay deducciones económicas en las cuentas nacionales por pérdida de naturaleza, aunque hay esfuerzos considerables en la búsqueda y las estadísticas toman lugar a considerar estos servicios (Aslaksen *et al.* 2005).

Los insectos son la clase de animales más extensa, con cerca de un millón de especies descritas y probablemente varias veces este número aún por descubrirse, diagnosticarse y describirse (Grimaldi y Engel 2005). Sus papeles en el funcionamiento dentro de los ecosistemas son enormes. Juegan roles mayores en casi todos los ecosistemas terrestres y de agua dulce. La conservación de insectos tiene una importancia significativa en el mantenimiento de la diversidad de los procesos

ecológicos en los cuales toda la vida fundamentalmente depende (Samways *et al.* 2010).

El gran número de especies de insectos, tanto descritas como no descritas, asegura su participación en un gran número de interacciones en redes alimenticias (Memmott 2000). La falta de conocimiento detallado de la biología de la participación de la mayoría a tales escenarios integrales es muy difícil de evaluar. Para asegurar la integridad ecológica, se requiere minimizar las pérdidas. Este enfoque está basado en el principio preventivo, que significa conservar tanto como sea posible para en caso de que exista un valor imprevisto en genes, poblaciones, especies o en sus interacciones (Samways *et al.* 2010).

Los insectos acuáticos están entre los organismos más afectados directamente y vulnerables con respecto a la contaminación del agua y constituyen un componente importante de la biodiversidad de sistemas lóticos (Verneaux *et al.* 2003). ¿Podrían los insectos regular los procesos ecosistémicos, en términos de proveer reacción estabilizadora? La hipótesis que los insectos estabilizan las propiedades del ecosistema a través de respuestas de regulación es uno de los conceptos de los más importantes y revolucionarios apareciendo de la integración de la ecología de los insectos y la ecología del ecosistema y debe ser considerada para la realización de decisiones para el control en ecosistemas naturales (Schowalter, 2016). Un buen entendimiento de la biología, ecología y comportamiento de los principales vectores es determinante para desarrollar estrategias de control efectivas, (Bown y Nelson 1993; Walker 2002).

Los dípteros son un orden que incluye más de 250,000 especies en aproximadamente 120 familias. Miles de especies son conocidas por ser de importancia médica y veterinaria, la mayoría de ellas pertenecientes al suborden Nematocera. Las familias Culicidae (mosquitos) Ceratopogonidae (jejenes), Psychodidae (Phebotominae, moscas de arena) y Simuliidae (moscas negras) tienen una fase larval acuática o semi-acuática. Forman un grupo monofilético, el infraorden Culicomorpha (Henning 1973; Wood y Borkent 1989; Miller *et al.* 1997). Las hembras que se alimentan de sangre de Culicidae, Ceratopogonidae, Psychodidae (Phebotominae) y

Sumuliidae generalmente tienen aparatos bucales similares, pero difieren en profundidad de penetración (Kondratieff, 2005).

2.2 Generalidades de los mosquitos

Los mosquitos son el grupo más importante de artrópodos de importancia médica y veterinaria. Hay más de 3,500 especies y subespecies de mosquitos en el mundo. Están clasificados en la familia Culicidae del orden Diptera y caen dentro del suborden Nematocera, así relacionados con los jejenes (Ceratopogonidae, Simuliidae) y moscas de arena (Psychodidae). La mayoría de las especies de mosquitos caen dentro de tres grupos comúnmente conocidos como los anofelinos, los culícidos y los aedinos. Estos nombres derivan los mayores grupos taxonómicos dentro de Culicidae. Los mosquitos se encuentran en todo el mundo donde se encuentra agua, que es necesaria para el desarrollo de sus estadios inmaduros. Están en cada continente excepto la Antártida y del nivel del mar a la línea de árboles a elevación de 3,000 metros o más (Eldridge, 2005).

Los mosquitos adultos comparten características que la mayoría de los dípteros tienen como un solo par de alas y son relativamente voladores fuertes. Además, en el caso de varios grupos, las hembras adultas de mosquitos tienen aparatos bucales perforadoras-chupadoras adaptadas para succionar la sangre de animales vertebrados. Es este hábito de chupar sangre lo que explica su importancia como vectores de enfermedades. Capaces de transmitir patógenos que causan la enfermedad de malaria, fiebre amarilla y dengue.

Todos los estadios inmaduros de mosquitos son acuáticos. Algunas especies tienen larvas que se encuentran solamente en un hábitat de rancho estrecho, mientras que otros tienen larvas que se desarrollan en un amplio rango de situaciones. Algunos de los hábitats que han sido explotados por mosquitos son los bordes de los arroyos, estanques, zanjas, charcos de agua de lluvia, marismas, pantanos, pozos de árboles, piscinas rocosas, piscinas de nieve y varios tipos de contenedores artificiales llenos de agua, tales como llantas y latas. En vista de la aparente larga asociación de humanos y mosquitos, es remarcable que nuestro entendimiento del rol que los mosquitos juegan en la transmisión de patógenos humanos se desarrolló solo en la parte tardía del siglo

19. El primer patógeno descubierto que era transmitido por mosquitos fue el nemátodo filarial causando la filariasis linfática humana (Eldridge, 2005).

2.2.1 Aspectos ecológicos del género *Culex*

El principal mosquito vector de periodicidad nocturna en áreas urbanas es *Culex quinquefasciatus* (Say, 1823). Se alimenta de manera oportunista por la noche de tanto aves como mamíferos. Este díptero se encuentra abundantemente en áreas con pobre higiene, alcantarillas abiertas, aguas residuales no tratadas y letrinas de pozo, que proveen un gran contenido orgánico y bajas cantidades de oxígeno que es característico del hábitat larval. Por esta razón *Cx. quinquefasciatus* es frecuentemente más abundante durante las partes del año donde el agua se estanca por falta de lluvia (Mullen y Durden 2009).

2.2.2 Importancia de *Culex* como transmisor de enfermedades

La filariasis linfática, conocida generalmente como elefantiasis, es una enfermedad tropical desatendida. La infección humana se produce por la transmisión de unos parásitos denominados filarias a través de los mosquitos. La infección se contrae generalmente en la infancia y provoca daños no manifiestos en el sistema linfático. Las larvas infecciosas son transmitidas por los mosquitos que pican infectados durante la alimentación de sangre. Las larvas migran a los vasos y ganglios linfáticos, donde se convierten en microfilarias adultos. Los adultos viven en los vasos y los ganglios linfáticos donde pueden vivir por varios años. Las hembras producen microfilarias que circulan en la sangre, éstas infectan a los mosquitos que pican. En el interior del mosquito, las microfilarias se desarrollan en una a dos semanas en larvas filariformes infecciosas. Durante una comida de sangre posterior por el mosquito, las larvas infectan el huésped humano. Migran a los vasos linfáticos y los ganglios linfáticos del huésped humano, donde se convierten en adultos (CDC 2013).

Otra enfermedad en la que *Cx. quinquefasciatus* participa en su transmisión es en la fiebre del Nilo Occidental puede causar una enfermedad mortal del sistema nervioso en los seres humanos y se transmite a las personas principalmente por la

picadura de mosquitos infectados. El virus se aisló por vez primera en 1937 de una mujer del distrito del Nilo Occidental en Uganda. En 1953 se identificó en aves (cuervos y palomas) del delta del Nilo. Antes de 1997 no se consideraba patógeno para las aves, pero en esa fecha una cepa más virulenta causó la muerte de diferentes especies de pájaros que presentaban signos de encefalitis y parálisis. A lo largo de 50 años se han notificado casos de infección humana en muchos países del mundo (OMS 2017).

La infección del ser humano suele ser el resultado de las picaduras de mosquitos que se infectan cuando pican a aves infectadas, en cuya sangre circula el virus durante algunos días. El virus pasa a las glándulas salivales del mosquito, que cuando pica puede inyectar el virus a los seres humanos y los animales, en los que luego se multiplica y puede causar enfermedad. El virus se transmite también por el contacto con otros animales infectados o con su sangre u otros tejidos. Se han producido unos pocos casos de infección en seres humanos por trasplantes de órganos, transfusiones sanguíneas y la leche materna. Se ha notificado un caso de transmisión transplacentaria de la madre al hijo. Hasta la fecha no se ha confirmado ningún caso de transmisión de persona a persona por el contacto social ordinario; tampoco se ha producido la transmisión del virus al personal sanitario cuando se toman las precauciones ordinarias de control de infecciones (OMS 2017).

El virus del Nilo Occidental se mantiene en la naturaleza mediante un ciclo de transmisión mosquito-ave-mosquito. Generalmente, se considera que los vectores principales son los mosquitos del género *Culex* en particular *Cx. pipiens*. El virus se mantiene en las poblaciones de mosquitos gracias a la transmisión vertical (de los adultos a los huevecillos). La prevención eficaz de las infecciones humanas por el virus del Nilo Occidental depende de la creación de programas completos e integrados de vigilancia y control de los mosquitos en las zonas donde se asienta el virus. Se deben efectuar estudios para reconocer las especies locales de mosquitos que intervienen en la transmisión, en particular las que pudieran servir de «puente» entre las aves y las personas. Hay que hacer hincapié en las medidas de control integradas, como son la reducción de las fuentes (con la participación de la comunidad), la gestión de los

recursos hídricos, y la aplicación de productos químicos o el uso de métodos biológicos (OMS 2017).

La descarga intensiva de nutrientes y contaminantes de áreas asociadas a asentamientos humanos, combinadas con el incremento de superficies impermeables después de las expansiones, pueden conducir a un considerable decline en la salud de los ecosistemas acuáticos, una condición usualmente referida como el síndrome de corrientes urbanas (Askarizadeh *et al.* 2015). Estudios han mostrado que las ciudades y procesos de urbanización modifican ambientes, a menudo causando problemas de ecología en zonas riparias, afectando el clima local y regional y conduciendo a la pérdida de biodiversidad nativa y un incremento de las especies no nativas (Muller *et al.* 2010; Elmqvist *et al.* 2013). Las modificaciones conducidas por la urbanización degradan las funciones de los ecosistemas y además incrementa los impactos de peligros naturales y cambios climáticos en estos ecosistemas, pueden tener impactos en todos los otros dominios de sus sistemas. (Bai *et al.* 2017).

La hipótesis que los insectos estabilizan las propiedades del ecosistema a través de respuestas de regulación es uno de los conceptos de los más importantes y revolucionarios apareciendo de la integración de la ecología de los insectos y la ecología del ecosistema y debe ser considerada para la realización de decisiones para el control en ecosistemas naturales (Schowalter, 2016).

Los insectos acuáticos están entre los organismos más afectados directamente y vulnerables con respecto a la contaminación del agua, constituyen un componente importante de la biodiversidad de sistemas lóticos (Verneaux *et al.* 2003). Son bioindicadores de la calidad del agua. Su estructura y composición de las especies se utiliza para la evaluación de la integridad ecológica de corrientes y ríos (Arimoro e Ikomi, 2009). Éste estudio es vital para el monitoreo de los cambios de la calidad del agua y la integridad de las corrientes y ríos. La integridad ecológica puede ser expresada como el mantenimiento de todos los procesos y atributos tanto internos, como externos de la comunidad así que un valor alto corresponde a un estado natural y donde la comunidad natural es preservada por la regulación y resistencia a estrés ambiental (Karr, 1991).

Los insectos acuáticos son importantes componentes para la biodiversidad en sus ambientes, llevando a cabo una variedad de funciones en el ecosistema (por ejemplo, ciclado de nutrientes, transferencia de energía, producción secundaria, control de niveles tróficos inferiores y superiores (Baptista *et al.* 2007; Resh, 2008). Generalmente tienen una gran plasticidad fenotípica y por esta razón, sus roles funcionales están principalmente relacionados a su modo trófico en vez de a su taxonomía (Cummins *et al.* 2005). Otros grupos relevantes, por ejemplo, los peces y algas, tienen dinámicas de población relacionadas con comunidades de insectos acuáticos por interacciones bióticas como competencia (Merritt *et al.* 2008).

Cuando los hábitats efímeros son considerados en el contexto de la teoría de la metacomunidad, el balance entre una colonización rápida y competencia por espacio limitado puede llevar a la diversidad local. Por lo tanto, la sucesión ecológica en hábitats temporales puede ser altamente dependiente de la dispersión entre las comunidades, en contraste con un ambiente más estable, donde los patrones de sucesión están ampliamente relacionados con interacciones biológicas locales (Murrell *et al.* 2014). La dispersión es importante para la estructura de la comunidad en hábitats como estos, ya que determina las especies iniciales para asentarse. La habilidad de las especies para migrar y colonizar nuevos sitios es clave para la organización de la comunidad en hábitats provisionales debido a que las especies en sus comunidades difícilmente alcanzan la estabilidad en su dinámica de población (Altermatt y Ebert, 2010; Travis y Dytham, 1999).

Especies con gran habilidad de dispersión pueden colonizar hábitats creados recientemente o remotos, causando que la ocupación de especies se convierta en un proceso dinámico en las comunidades biológicas (Hanski y Ovaskainen, 2000). El estudio del proceso de colonización y patrones ha ganado prominencia dentro del campo de la ecología de las comunidades en décadas recientes (Vellend, 2010). Corrientes temporales pueden ser utilizadas como sitios controlados para evaluar patrones de sucesión originados de la colonización temprana. Estos atributos únicos (disponibilidad de hábitats efímeros y dependencia de la dispersión) hacen a los sitios temporales y las comunidades de insectos acuáticos asociadas, buenas herramientas

para probar el concepto de metacomunidad, particularmente respecto a los patrones de sucesión y los procesos (Godoy *et al.* 2016).

Las comunidades que viven en hábitats efímeros están casi completamente compuestas por especies oportunistas, que toman ventaja del nuevo hábitat disponible, ya que hay un número restrictivo de taxones especializados en hábitats temporales (Kavazos y Wallman, 2012). La sucesión de los insectos en sitios de agua dulce es afectada por la edad del hábitat y por otros factores extrínsecos como la colonización y la temporada de año (Ruhí *et al.* 2012).

2.3 Control y manejo integrado de *Culex*

Una premisa central del control biológico es que las poblaciones sean reducidas por enemigos para establecer niveles que estén a la vez por debajo del nivel de equilibrio pre-control y muy por debajo del nivel de producción de efectos perjudiciales. La meta principal de las estrategias actuales de manejo integral de mosquitos (IMM, por sus siglas en inglés) es reducir la densidad de las poblaciones de mosquitos a niveles a los cuales la actividad pestífera sea minimizada o la transmisión de la enfermedad sea reducida o interrumpida con efectos ambientales negativos mínimos (Floore 2006). Idealmente, los programas de manejo integral de mosquitos deberán comprender las intervenciones más efectivas, complementarias y ambientalmente compatibles (Becnel y Floore 2007).

2.3.1 Uso de insecticidas convencionales

A través de la historia del control de mosquitos antes de la década de 1940, las actividades estaban dirigidas al sistema acuático donde las medidas de combate fueron enfocadas a eliminar las larvas; la inquietud por conocer y evaluar la capacidad de regulación que tenían muchos organismos acuáticos depredadores fue latente en todo el mundo. Entre 1920 y 1930, se desarrolló una serie de estudios con distintos entomófagos que incluían a la planta acuática insectívora *Utricularia vulgaris* L (Clarke 1938).

Diversos organismos fueron considerados como depredadores efectivos de larvas y adultos de mosquitos, los insectos como el culícido *Muscidus scatophagoides* Theobald, el muscido *Lispe uliginosa* Fallen, varias especies no identificadas de chinches acuáticas, el ditiscido *Eretes dytiscus* L., asimismo el culícido *Toxorhynchites* registrado por aquellos años bajo el género *Megarhinus* y uno de los agentes de control biológico más estudiados a nivel mundial; los registros incluían hasta murciélagos para el combate de adultos (Clarke 1938).

Las evaluaciones durante la década de 1930 comprendían el número de larvas de las cuales se alimentaban o bien la cantidad de adultos que lograban emerger; *U. vulgaris* de 1,800 larvas a las que fue expuesta sólo emergieron tres adultos; el notonectido *Notonecta undulata* Say depredó 4,000 larvas en dos días; el hidrófilido *Hydrophilus triangularis* Say y el ditiscido *Dytiscus hybridus* Aube de 3,500 larvas que fueron expuestas emergieron 20 mosquitos; el gínido *Dineutus assimilis* Kirby consumió 300 larvas de *Anopheles* en dos días; una combinación de *Dineutus*, *Notonecta* y ninfas de una libélula expuestas a 7,500 larvas de mosquitos permitieron la emergencia de sólo 12 adultos (Clarke 1938).

Después de un periodo de tiempo algunos investigadores reiniciaron las actividades dentro del control biológico de mosquitos, ante la corriente ecologista y la cultura de desarrollo sustentable, la búsqueda de alternativas ecológicas de control de plagas se ha incrementado; los principales enemigos naturales de larvas de mosquitos son una variedad de organismos tales como insectos, arañas, hidras, planarias, copépodos y peces; de los cuales existen reportes de que el complejo de invertebrados anteriormente citados puede ser la causa de más del 90 % de mortalidad de los estados inmaduros de los mosquitos (Service 1976; Lacey y Lacey 1990).

La EPA (Environmental Protection Agency) consideró que los pesticidas biorracionales tienen diferentes modos de acción que los pesticidas comerciales o tradicionales, con una mayor selectividad y riesgos considerablemente menores para los humanos, la fauna y el ambiente. El término “control biorracional” es definido en un sentido amplio como una estrategia del empleo de agentes patógenos de origen natural de los mosquitos, parásitos y depredadores, así como análogos químicos de

bioquímicos que existen en la naturaleza tal que el control deseado del mosquito se obtenga con el menor impacto en organismos no-blancos y el ambiente (Becnel y Floore 2007).

2.3.2 *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis*

Cuando se usan en condiciones apropiadas, los agentes biorracionales pueden ser un importante acompañamiento para los programas de manejo integral de mosquitos, eliminando mosquitos inmaduros en algunas situaciones, reduciendo el uso de pesticidas (Becnel y Floore 2007).

Dentro de los agentes microbianos más usados para el control de larvas de mosquitos destacan *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) Berliner, *Bacillus sphaericus* Neide (*Bs*). Las propiedades insecticidas de *Bt* fueron reconocidas muchos años antes de que la bacteria fuera identificada, ya que esporas de *Bt* pudieron haber sido utilizadas en el viejo Egipto. En la era moderna, este microorganismo fue aislado por Ishiwata en una colonia de gusano de seda que padeció una enfermedad denominada como “lechoza”. El nombre de la especie le fue asignado diez años después ya que fue aislado de otra enfermedad que padeció la palomilla del mediterráneo *Ephestia kueniella* (Zeller) en la provincia alemana de Thuringia (Sanahuja *et al.* 2011).

Hasta 1976 solamente se conocía su actividad contra insectos lepidópteros plagas de varios cultivos; sin embargo, en ese año descubrieron una nueva serovariedad que tenía efecto de larvicida sobre especies de mosquitos y moscas negras, a la cual le llamaron *Bacillus thuringiensis* subespecie *israelensis* (*Bti*) (Goldberg y Margalit 1977; Sanahuja *et al.* 2011).

Bacillus thuringiensis subespecie *israelensis* produce un cristal o cuerpo parasporal (protoxina) que contiene 4 proteínas tóxicas: Cry 4A (135kDa), Cry 4B (125kDa), Cry 11A (65kDa) y Cyt 1Aa (28KDa) (Höfte y Whiteley, 1989); las tres primeras producen daños a nivel de las células del epitelio del intestino medio de los insectos susceptibles, mientras que la toxina Cyt es responsable de una actividad citolítica no específica (Maldonado-Blanco *et al.* 2008).

Para ejercer su acción, *Bti* debe ingerirse por la larva susceptible, posteriormente esta protoxina se disuelve en el pH alcalino del intestino medio del insecto, se activa mediante proteasas que descubren la fracción toxica y posteriormente esta se une a receptores específicos localizados en la superficie de las membranas epiteliales del intestino medio, se forma el poro y como consecuencia, las células se destruyen, la larva cesa de alimentarse y muere a causa de una septicemia en su hemocele (Maldonado-Blanco *et al.* 2008).

Además de *Bti*, existen otros serotipos que presentan actividad toxica hacia larvas de dípteros como lo son *Bt morrisoni* PG-14, *Bt fukuokaensis*, *Bt darmstadiensis*, *Bt kyushuensis*, *Bt medellin* y *Bt jegathesan* (Thiéry *et al.* 1999); sin embargo, solo *Bti* es la más toxica e importante, según numerosos estudios y reportes resulta muy activa contra las larvas de mosquitos (72 especies) y moscas negras (22 especies). En cuanto se refiere a la susceptibilidad a *Bti*, *Ae. aegypti* es más susceptible que las especies pertenecientes al género *Culex* y éste a su vez mayor que las que son incluidas en *Anopheles* (Maldonado-Blanco *et al.* 2008).

Una amplia variedad de evaluaciones de polvo técnico, formulados locales y presentaciones comerciales de *Bti* se han realizado para la búsqueda de las cepas más toxicas para el control de mosquitos, algunos formulados han incluido mezclas de *Bti* con *Bs*, con otros larvicidas y depredadores (Neri-Barbosa *et al.* 1997; Chansang *et al.* 2004; Giraldo-Calderón *et al.* 2008). *Bti* puede ser encontrado de forma comercial en formulados del tipo líquido, polvos, gránulos, pellets, micropellets, gránulos dispersables en agua (Maldonado-Blanco *et al.* 2008).

En México existen varias instituciones que han desarrollado investigación básica y aplicada para la búsqueda de acción toxica, formulados de diferentes cepas de *Bt* y manipulación genética de microorganismos para incorporar el gen que produce la toxina. Destacando los grupos de trabajo dirigido por el Dr. Jorge Ibarra-Rendón, del CINVESTAV-Irapuato (Ibarra *et al.* 2003); asimismo el grupo de la Dra. María Guadalupe Maldonado-Blanco y Dr. Luis J. Galán-Wong, de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), que han realizado estudios para la elaboración de formulados (Maldonado-Blanco *et al.* 2002, 2007, 2008); el Dr. Mario Soberón, de la Universidad

Nacional Autónoma de México, así como en el Centro Regional de Investigación en Salud Pública del Instituto Nacional de Salud Pública en Tapachula Chiapas, México.

Los hongos entomopatógenos son un grupo de microorganismos ampliamente estudiados, existen más de 700 especies reunidas en 100 géneros; algunos de ellos pueden jugar un papel importante en salud pública ya que son virulentas para moscas y mosquitos (Berlanga 1997). Normalmente son de acción lenta, aun y cuando existen centenares de especies que infectan a los insectos, sólo algunas han sido desarrolladas para el control de mosquitos; entre las de mayor interés cabe mencionar a *Coelomomyces*, *Lagenidium giganteum* (Couch) y *Saccharopolyspora spinosa* Mertz y Yao.

Inician su ataque cuando la espora se pone en contacto con el cuerpo del insecto, al germinar la espora emite un tubo germinativo que atraviesa la pared corporal e invade el interior del cuerpo, colonizando los diversos órganos y la muerte por una infección; el cuerpo se endurece y después de varios días se observa su crecimiento sobre el cadáver.

Coelomomyces spp. es un patógeno específico de larvas de mosquitos, mosca negra y posiblemente de tábanos; las especies de este género se caracterizan por presentar esporas móviles uniflageladas y gametos, ramas o lóbulos, hifas cenocíticas y varios ornamentos. La infección es más común encontrarla en las larvas tardías. Su ciclo reproductivo es muy complejo por lo cual es difícil reproducirlo en condiciones de laboratorio (Federici *et al.* 1985).

Lagenidium giganteum tiene un gran potencial como agente de control biológico de larvas de mosquitos en hábitats acuáticos no contaminados (Federici 1981; Axtell *et al.* 1982). La parasitación inicia con una zoospora biflagelada (unidad infectiva) que ataca la cutícula de la larva, posteriormente introduce su contenido celular y se ramifica por todo el cuerpo hasta causar la muerte. Cada célula forma un tubo de salida a través del exoesqueleto formando un esporangio con esporas sexuales. Este hongo ha sido utilizado sobre larvas de *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762), *Anopheles freeborni* (Aitken, 1939) *Culex quinquefasciatus* y *Culex tarsalis* (Kerwin y Washino 1987; Suh y Axtell 1999; Maldonado-Blanco *et al.* 2011)

2.3.3 Spinosad

A principios de la década de los 80's, los laboratorios Lilly Research (LRL, Indianápolis, IN) iniciaron un programa de investigación dirigido a encontrar nuevos productos naturales utilizables en las industrias farmacéutica y agrícola. Para ello, se colectaron y analizaron en una gran variedad de sistemas de ensayos, muestras de suelo de diversas partes del mundo. Durante el transcurso de este programa de investigación, extractos de la fermentación de una muestra (designada como A83543) colectada en 1982 en el Caribe fueron activos sobre larvas del mosquito *Ae. aegypti*.

Debido a su alto potencial insecticida, esta misma muestra fue bioensayada contra larvas del gusano soldado *Spodoptera eridiana* Cramer, demostrando actividad por contacto y propiedades antialimentarias (Thompson *et al.* 1997). Esta observación permitió a los investigadores de LRL enfocar toda la atención a la muestra A83543 para realizar la identificación y caracterización del microorganismo responsable de esta actividad insecticida. Finalmente, el microorganismo fue identificado como una nueva especie de actinomiceto, *Saccharopolyspora spinosa* (Mertz y Yao 1990).

El Spinosad es una lactona macrocíclica debido a que está compuesta de cuatro anillos cíclicos, a los cuales se adhieren dos moléculas de azúcares en sus extremos. Seguido de la fermentación, Spinosad es extraído y procesado para formar un concentrado acuoso de fácil uso y distribución. El compuesto es sólido cristalino de apariencia blanquecina y con un olor similar al de tierra mojada (Thompson *et al.*, 2000), altamente tóxico para larvas de *Ae. aegypti* y otros mosquitos en experimentos de laboratorio y campo (Hertlein *et al.* 2010).

El actinomiceto *Saccharopolyspora spinosa* genera un metabolito natural con toxicidad muy baja para mamíferos, compuesto por una mezcla de las spinisinas A y D que ha mostrado actividad tóxica contra especies de los órdenes Lepidoptera, Thysanoptera y Diptera (DeAmicis *et al.* 1997; Bond *et al.* 2004; Huseyin *et al.* 2005). Spinosad actúa como un veneno estomacal y de contacto que se degrada rápidamente en el ambiente; después de su ingestión cesa la alimentación y 24 horas más tarde causa la muerte; es un neurotóxico cuyo modo de acción está en los receptores acetilcolina nicotínico y GABA (Salgado 1997, 1998; Cisneros, 2002).

El producto actúa a nivel del sistema nervioso, pero de una forma nueva, ya que activa los receptores nicotínicos postsinápticos lo que origina una permanente excitación de las neuronas motoras. Extractos y formulados a base de spinosad han sido evaluados contra varias especies de larvas de mosquitos de los géneros *Aedes* spp., *Anopheles* spp., *Culex* spp. y *Psorophora* spp., en diferentes condiciones con resultados muy prometedores por lo cual lo han considerado con buen potencial de uso para controlar larvas de mosquitos (Bond *et al.* 2004; Huseyin *et al.* 2005; Jiang y Mulla 2009, Hertlein *et al.* 2010, Allen *et al.* 2010).

La efectividad del Spinosad para el control de larvas de mosquitos fue evaluada en un cementerio de llantas en Allende, Nuevo León, México. En las condiciones en que se llevó a cabo el estudio demostró una efectividad por un tiempo de 12 semanas postaplicación (84 días). Además, permitió el establecimiento del mosquito depredador *Toxorhynchites* sp. (Garza-Robledo *et al.* 2011). Un hallazgo fue que las hembras grávidas de *Ae. aegypti* prefirieron ovipositar en los depósitos donde fue aplicado el larvicida, lo que representa un doble efecto del bioinsecticida ya que atrae y mata al mosquito (Quiroz-Martínez *et al.* 2012).

3. JUSTIFICACIÓN

Los diversos sistemas acuáticos que se encuentran en el estado de Nuevo León se han visto amenazadas por la incorporación de agentes externos que han causado serios problemas de contaminación; ríos y arroyos que en el pasado presentaban agua limpia y clara, hoy en día se ha tornado como agua sucia y oscura; así como la contaminación del agua se ha incrementado con el paso del tiempo, los hábitats larvarios potenciales de mosquitos también.

Las condiciones antes mencionadas crean los medios ideales para el desarrollo de mosquitos pertenecientes al género *Culex* lo cual puede ser un factor de riesgo a la salud de la población por la posible transmisión del virus del oeste del Nilo. Las enfermedades transmitidas por vectores representan el mayor desafío para la salud humana.

Con la presente propuesta se pretende generar información relacionada con la ecología larvaria en hábitats larvarios que permita conocer la estructura y función de las comunidades de insectos acuáticos asociada a los hábitats larvarios de *Culex*, su dinámica de colonización y efectividad de productos biorracionales para el control de especies pertenecientes al género *Culex*.

4. HIPÓTESIS

Hipótesis general

Los servicios ecosistémicos que ofrecen los insectos acuáticos del Río Pesquería son insuficientes para la regulación de las poblaciones de *Culex* spp., siendo los agentes biorracionales *Bacillus thuringiensis israelensis* y Spinosad una posibilidad de sinergismo para su control.

Hipótesis específicas

El análisis estructural de las comunidades acuáticas asociadas a hábitats larvarios de *Culex* spp. (Diptera: Culicidae) reflejará una baja diversidad de insectos en el Río Pesquería en Santa Rosa, Apodaca, Nuevo León.

El análisis funcional de las comunidades acuáticas asociadas a hábitats larvarios de *Culex* spp. (Diptera: Culicidae) está formada solo por insectos filtradores en el Río Pesquería en Santa Rosa, Apodaca, Nuevo León.

La dinámica de colonización de las comunidades de insectos acuáticos asociados a hábitats larvarios de *Culex* spp. (Diptera: Culicidae) solo permite el establecimiento de la primera fase en el Río Pesquería en Santa Rosa, Apodaca, Nuevo León.

Los formulados de los insecticidas biorracionales *Bacillus thuringiensis israelensis* y Spinosad pueden representar una opción de sinergismo para el control larvario de *Culex* spp. (Diptera: Culicidae) en el Río Pesquería en Santa Rosa, Apodaca, Nuevo León.

5. OBJETIVOS

Objetivo General

Analizar los servicios ecosistémicos de los insectos acuáticos y control larvario de *Culex* spp. (Diptera: Culicidae) del Río Pesquería en Santa Rosa, Apodaca, Nuevo León.

Objetivos específicos

Análisis estructural de las comunidades de insectos acuáticos asociados a hábitats larvarios de *Culex* spp. (Diptera: Culicidae) en el Río Pesquería en Santa Rosa, Apodaca, Nuevo León.

Análisis funcional de las comunidades de insectos acuáticos asociados a hábitats larvarios de *Culex* spp. (Diptera: Culicidae) en el Río Pesquería en Santa Rosa, Apodaca, Nuevo León.

Analizar la dinámica de colonización de hábitats larvarios de *Culex* spp. (Diptera: Culicidae) en el Río Pesquería en Santa Rosa, Apodaca, Nuevo León.

Evaluar la efectividad de un formulado local de *Bacillus thuringiensis israelensis* y Spinosad en hábitats larvarios *Culex* spp. (Diptera: Culicidae) en el Río Pesquería en Santa Rosa, Apodaca, Nuevo León.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 Área de estudio

El área de estudio está localizada en un transecto de Río Pesquería, Santa Rosa, Apodaca, Nuevo León, localizado en las coordenadas 25°49'30.63'' N y 100°13'21.41'' O a una altitud de 420 msnm donde la temperatura media mensual es de 28°C se tiene en los meses de junio y julio, teniendo días calurosos de entre los 35 y 40 grados centígrados; su precipitación total mensual se da en los meses de mayo a agosto, de 58 a 71 mm (Garza Villarreal *et al* 2001).

6.2 Metodología

6.2.1 Estructura y función de las comunidades

Para la realización del análisis de la estructura y función de las comunidades de insectos acuáticos asociados a hábitats larvarios de *Culex* spp. (Diptera: Culicidae) se llevó a cabo un recorrido inicial en el área para identificar los sitios potenciales para la investigación, identificándose seis zonas de muestreo donde fueron localizados hábitats larvarios del mosquito, dos correspondientes a charcas temporales formadas en las lajas presentes y cuatro más en el margen del río; ya ubicados se procedió a tomar muestras cada 15 días de los insectos acuáticos presentes mediante el uso de un calador de plástico de color blanco de 350 ml con un total de cinco caladas por sitio de muestreo. Los insectos capturados fueron depositados en bolsas Whirl-pack® previamente etiquetadas para su posterior transporte e identificación en el laboratorio.

Con un potenciómetro Checker® de HANNA instruments se tomaron lecturas del pH del agua y con un termómetro de mercurio se midió la temperatura de los cuerpos de agua. Por otro lado, se consideraron los registros de temperatura y humedad relativa por una estación meteorológica 4000 Pocket Weather Tracker marca Kestrel®; estos datos mencionados anteriormente se registraron en una hoja de campo. Posteriormente el material obtenido fue transportado al Laboratorio de Entomología y Artrópodos dentro de las instalaciones de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL donde fue separado, cuantificado y registrado según los sitios de colecta; la

identificación del material se efectuó mediante las claves de Peckarsky *et al.*, 1990; Darsie y Ward, 2005; Merrit *et al.*, 2008 y Brinkhurst *et al.*, 2009. El proceso curatorial se realizó con alcohol etílico al 96% con el objetivo de establecer dichos organismos como material de referencia dentro de la Colección de Entomología Acuática de la Facultad de Ciencias Biológicas en la UANL.

Después de la identificación hasta el nivel de género y/o especie fue elaborada una base de datos Excel con información recabada; con los campos relativos a las categorías taxonómicas de los insectos orden, familia, género, especie, densidad, etapa de desarrollo y hábito alimenticio; además de los parámetros de pH y temperatura.

El análisis de datos para el primer objetivo de la investigación con respecto a la estructura de las comunidades de insectos asociados a hábitats larvarios de *Culex* spp. se realizó mediante los modelos de ecología cuantitativa aplicados para obtener la diversidad y riqueza de especies para cada fecha de muestreo mediante el programa PAST versión 1.82b.

- Índice de la diversidad de especies Shannon- Wiener (1996). Este índice está basado en la abundancia proporcional de las especies $H' = - \sum P_i \log P_i$
- Índice de diversidad de Simpson (1949). Este índice está basado en una medida de dominancia $D = \sum P_i^2$
- Índice de Riqueza de especies de Margalef (1958). Este índice está basado en la abundancia proporcional de las especies $D_{Mg} = (S-1) \ln N$

Para el análisis del segundo objetivo, el análisis funcional de las comunidades de insectos asociados a hábitats larvarios de *Culex* spp., de cada uno de los taxa de insectos acuáticos que fueron identificados anteriormente, se obtuvo su grupo funcional, el cual consiste en la identificación de los hábitos alimenticios de cada categoría taxonómica según Merrit *et al.*, 2008 y Brinkhurst *et. al.*, 2009 entendiéndose que pueden ser filtradores, colectores, depredadores, trituradores, raspadores, perforadores u omnívoros. Así mismo se utilizó el programa EstimateS9 versión 9.1.0 para la obtención de los siguientes parámetros:

- Chao 1: Basado en el número de especies en una muestra que están representados por un individuo (singletons) o por dos individuos (doubletons). Es un estimador basado en la abundancia (Chao, 1984).
- Chao 2: Basado en las especies que aparecen solo en una muestra (uniques) o en dos muestras (duplicates). Es un estimador basado en la incidencia (Chao 1984, 1987).
- ICE: (Incidence-based Coverage Estimator of species richness). Basado en el número de incidencias (ocurrencias) de las especies “infrecuentes”. El nivel de incidencia para el cual una especie se considera “infrecuente” debe ser definido por el investigador (se suele recomendar usar 10 como valor umbral) (Chao *et al.* 2000; Chazdon *et al.* 1998).
- ACE: (Abundance-based Coverage Estimator of species richness). Basado en el número de individuos de las especies “raras”. El nivel de abundancia para el cual una especie se considera “rara” debe ser definido por el investigador (se suele recomendar usar 10 como valor umbral) (Chao *et al.* 2000; Chazdon *et al.* 1998).

Para posteriormente mediante el programa Excel versión 1803 realizar una curva de acumulación de especies ya que en esta se representa el número de especies acumulado en el inventario frente al esfuerzo de muestreo empleado, son una potente metodología para estandarizar las estimas de riqueza obtenidas en distintos trabajos de inventariado. Además, permiten obtener resultados más fiables en análisis posteriores y comparar inventarios en los que se han empleado distintas metodologías y/o diferentes niveles de esfuerzo (Valverde y Hortal, 2003).

6.2.2 Dinámica de colonización

Con respecto al tercer objetivo que consistió en el análisis de la dinámica de colonización de criaderos de *Culex* spp.; se llevó a cabo un recorrido previo en la zona de estudio para la selección de las charcas que serían monitoreadas que contaran con las características deseadas que era de naturaleza temporal, lo que quiere decir que eran

cuerpos de agua que al ocurrir una lluvia tuvieran la formación de hábitats nuevos para los mosquitos del género *Culex* spp. Una vez asentados los sitios de muestreo, y después de una lluvia torrencial en el sitio. las colectas se llevaron a cabo de octubre 28 a diciembre 2 de 2015 con una periodicidad de cada tercer día siendo un total de 12 muestreos (M1 al M8) donde una vez seleccionadas las 11 charcas formadas después de la lluvia del día 26 de octubre (C1 a C11), se realizó el primer muestreo a las 48 horas, donde se registró la pérdida de siete charcas debido a la evaporación del agua quedando las charcas, las cuales denominamos como C1, C2, C3, C4 y C11; durante el resto de los muestreos las charcas que permanecieron fueron las cuatro antes mencionadas excepto durante el muestreo del 16 de noviembre (M8) ya que se presentó un lluvia el día anterior lo que ocasionó la presencia de C5, C6 y C10 aparte de las charcas constantes. La toma de ejemplares se realizó el uso de un calador de plástico de color blanco de 350 ml con un total de tres caladas por sitio de muestreo. Los insectos capturados fueron depositados en bolsas Whirl-pack® previamente etiquetadas para su posterior transporte e identificación en el laboratorio.

En cada fecha de colecta se tomaron los parámetros fisicoquímicos de temperatura mediante el uso de un termómetro de mercurio y el pH del agua con el potenciómetro Checker® de HANNA instruments, así como la medición de dimensiones de las charcas con una cinta métrica. De igual forma se obtuvo un registro de los parámetros ambientales de temperatura y humedad relativa mediante el 4000 Pocket Weather Tracker marca Kestrel® junto con el registro fotográfico para poder observar los cambios sufridos en las charcas a lo largo del tiempo.

Posteriormente el material obtenido fue transportado al Laboratorio de Entomología y Artrópodos dentro de las instalaciones de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL donde fue separado, cuantificado y registrado según los sitios de colecta; la identificación del material se efectuó mediante las claves de Peckarsky *et al.*, 1990; Darsie y Ward, 2005 y Merrit *et al.*, 2008. El proceso curatorial se realizó con alcohol etílico al 96% en tubos de ensayo con el objetivo de establecer dichos organismos como material de referencia dentro de la Colección de Entomología Acuática de la Facultad de Ciencias Biológicas en la UANL.

Después de la identificación hasta el nivel de género y/o especie fue elaborada una base de datos Excel con información recabada; con los campos relativos a las categorías taxonómicas de los insectos orden, familia, género, especie, densidad, etapa de desarrollo y hábito alimenticio; además de los parámetros de pH y temperatura. Por último, se realizó la identificación de la etapa de colonización de los sitios de muestreo según Krebs, 1985 (Figura 1).

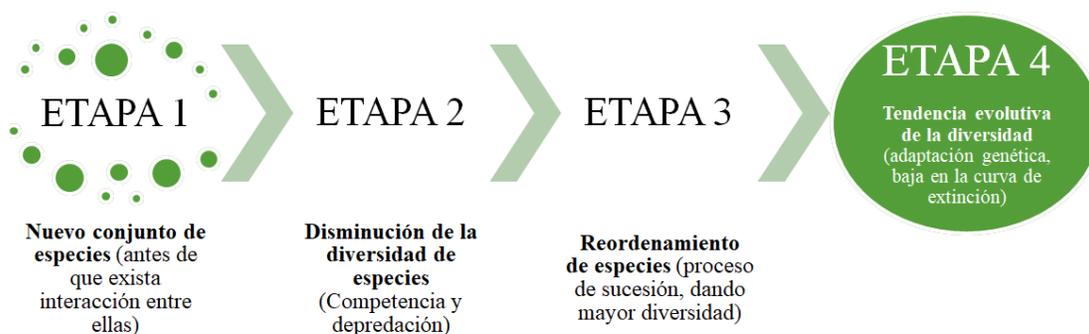


Figura 1. Etapas de la colonización de las comunidades según Krebs, 1985

6.2.3 Efectividad de larvicidas biorracionales

Para el cuarto objetivo que consistió en la evaluación de la efectividad de un formulado local de *Bacillus thuringiensis israelensis* (*Bti*) y Spinosad en hábitats larvarios *Culex* spp.; fueron seleccionadas tres charcas con una dimensión aproximada de 11 metros cuadrados de espejo de agua cada una, una para el formulado local de *Bti* (C1), una para Spinosad (C2) y otra como control (C). Después se realizó un muestreo pre-tratamiento el 19 de abril de 2017, tomando lecturas de pH con Checker® de HANNA instruments y temperatura de las charcas con un termómetro de mercurio. La toma de muestras se realizó de nuevo con ayuda del calador de plástico de 350ml con tres caladas por sitio y depositadas en sus bolsas Whirl-pack® correspondientes. También se realizó el registro de los parámetros ambientales de temperatura y humedad relativa con la estación meteorológica 4000 Pocket Weather Tracker marca Kestrel®. Al material transportado al laboratorio se le realizó el correspondiente proceso curatorial y preservación.

Al siguiente día, 20 de abril de 2017, se aplicó un formulado de *Bti* con una dosis de 3.55 gr/m² (Maldonado-Blanco, Comunicación personal) y de Spinosad con dosis de 1 tableta/ 200L en los cuerpos de agua correspondientes al tratamiento. Los muestreos post-aplicación se realizaron a las 24, 48 y 72 horas considerando siete caladas como repetición para cada tratamiento. El material fue transportado al laboratorio e identificado mediante el uso de claves taxonómicas de Darsie y Ward, 2005 para posteriormente llevar a cabo el análisis estadístico mediante un análisis ANOVA en el programa SPSS. De igual manera se llevó a cabo la fórmula de Porcentaje de Reducción Larval (Mulla *et al.*, 1971) para evaluar la mortalidad de los mosquitos en cada uno de los tratamientos a los que fueron expuestos comparados con

$$\% \text{ Reducción} = 100 - \left(\frac{C_1}{T_1} \times \frac{T_2}{C_2} \right) 100$$

el control.

Donde:

C1 = promedio de larvas, pretratamiento en charcas control

T1 = promedio de larvas, pretratamiento en charcas tratadas

C2 = promedio de larvas, postratamiento en charcas control

T2 = promedio de larvas, postratamiento en charcas tratadas

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Estructura de las comunidades

Fueron colectados un total de 25,571 insectos en 19 muestreos realizados de octubre de 2014 a septiembre de 2015 con un total de siete órdenes, 25 familias y 56 géneros y/o especies. La temperatura ambiental promedió 23.1°C (\pm 6.6) con una humedad relativa del 66% (\pm 13.8). El promedio de organismos en las charcas fue de 273.9 (\pm 522.8) donde la temperatura tuvo un promedio de 25.3°C (\pm 5.2) y un pH de 8.3 (\pm 0.7), mientras que en el margen del río fue 1071.9 (\pm 1101.4) insectos por muestreo donde la media de la temperatura fue de 24.7°C (\pm 4.1) y pH de 7.7 (\pm 0.5).

Para el análisis estructural de las comunidades de insectos acuáticos asociados a hábitats larvarios de *Culex* spp. La mayor densidad de insectos fue representada por el orden Diptera (98.9% en charcas y 99.1% en el margen), siendo las familias más abundantes Chironomidae con *Chironomus plumosus* como especie dominante y Culicidae con el género *Culex* predominando durante los muestreos realizados. Con respecto a las comunidades de *Culex* encontradas durante los muestreos, se pudo observar que hubo cinco especies representadas: *Cx. interrogator*, *Cx. thriambus*, *Cx. coronator*, *Cx. tarsalis* y *Cx. quinquefasciatus* siendo *Cx. coronator* la más abundante con 918 individuos colectados en las charcas y 1441 en el margen del río (Tabla 1). Grech *et al.* (2013) realizaron la caracterización de hábitats larvarios de *Cx. quinquefasciatus* en Argentina donde un 99.64% de los mosquitos fueron identificados como la especie objetivo.

Tabla 1. *Culex* spp. colectados de octubre de 2014 a septiembre de 2015.

| | OTOÑO | | INVIERNO | | PRIMAVERA | | VERANO | |
|-----------------------------|---------|--------|----------|--------|-----------|--------|---------|--------|
| | Charcas | Margen | Charcas | Margen | Charcas | Margen | Charcas | Margen |
| <i>Culex</i> spp. | 16 | 138 | - | 25 | 441 | 1426 | 1967 | 1848 |
| <i>Cx. interrogator</i> | - | 106 | - | - | - | 1 | 3 | 244 |
| <i>Cx. thriambus</i> | - | - | - | - | - | 205 | 9 | 1 |
| <i>Cx. coronator</i> | 19 | 118 | - | - | 19 | 820 | 880 | 503 |
| <i>Cx. tarsalis</i> | - | - | 1 | 33 | - | 2046 | - | 9 |
| <i>Cx. quinquefasciatus</i> | - | 30 | 1 | - | 2 | 16 | 9 | 9 |

Con respecto a los demás insectos que fueron colectados compartiendo el hábitat larvario de *Culex* tenemos a los órdenes Collembola con las familias Hypogastruridae e Isotomidae; Ephemeroptera con Baetidae; Odonata con Coenagrionidae, Gomphidae, Aeshnidae, Corduliidae y Libellulidae; Hemiptera con Belostomatidae y Nepidae; Lepidoptera con Crambidae; Coleoptera con Haliplidae, Dytiscidae, Staphyllinidae, Hydrophilidae y Dryopidae; por último Diptera con otros representantes de la familia Culicidae, Ceratopogonidae, Chironomidae, Psychodidae, Stratiomyidae, Tabanidae, Syrphidae y Ephydridae (ver Anexo 1).

Al observar la Tabla 2 donde se muestra la presencia de cada uno de los grupos taxonómicos, se destaca la mayor cantidad de estos grupos en el margen del río a diferencia de aquellos encontrados en las charcas, esto debido a que el margen es de una naturaleza más estable debido a las condiciones de mayor tamaño, profundidad y alimento disponible que las charcas donde al ser de menor tamaño, el alimento se encuentra limitado y a su vez están expuestas a las condiciones atmosféricas donde un aumento en la temperatura podrá evaporarlas, teniendo que empezar de nuevo la colonización hasta que la llegada de una nueva lluvia o filtraciones del mismo río.

Tabla 2. Estructura de la comunidad de insectos asociados a hábitats larvarios de *Culex* spp. colectados de octubre de 2014 a septiembre de 2015. (*Presencia)

| Orden | Familia | Género/especie | Charca | Margen | |
|---|----------------------|--|--------|--------|---|
| Collembola | Hypogastruridae | - | * | * | |
| | Isotomidae | <i>Axelsonia</i> sp. <i>Agrenia</i> sp. | | * * | |
| Ephemeroptera | Baetidae | <i>Callibaetis</i> sp. | * | * | |
| Odonata | Coenagrionidae | <i>Argia</i> sp. | * | * | |
| | | <i>Telebasis</i> sp. | | * | |
| | | <i>Enallagma</i> sp. | | * | |
| | | <i>Ischnura</i> sp. | | * | |
| | Suborden: Anisoptera | - | * | * | |
| | Gomphidae | - | | * | |
| | Aeshnidae | <i>Gynacantha</i> sp. | | * | |
| | Corduliidae | <i>Cordulia</i> sp. | * | | |
| | Libellulidae | - | | * | * |
| | | <i>Libellula</i> sp. | | * | * |
| <i>Orthemis</i> sp. <i>Pantala</i> sp. | | | | * * | |
| Hemiptera | Belostomatidae | <i>Abedus</i> sp. <i>Belostoma</i> sp. | | * * | |
| | | <i>Ranatra fusca</i> | | * | |
| Lepidoptera | Crambidae | - | | * | |

Tabla 2 (cont.) Estructura de la comunidad de insectos asociados a hábitats larvarios de *Culex* spp. colectados de octubre de 2014 a septiembre de 2015. (*Presencia)

| Orden | Familia | Género/especie | Charca | Margen | |
|------------|-----------------------|-------------------------------|--------|--------|---|
| Coleoptera | Halipidae | <i>Halipilus</i> sp. | | * | |
| | Dytiscidae | <i>Laccophilus</i> sp. | * | * | |
| | | <i>Laccodytes</i> sp. | * | * | |
| | | <i>Hydaticus</i> sp. | * | | |
| | | <i>Copelatus</i> sp. | * | | |
| | | <i>Hoperius</i> sp. | * | | |
| | | - | | | * |
| | Staphylinidae | - | | * | |
| | Hydrophilidae | <i>Berosus</i> sp. | | | * |
| | | <i>Laccobius</i> sp. | | | * |
| | | <i>Paracymus</i> sp. | * | * | |
| | | <i>Enochrus</i> sp. | | * | |
| | | <i>Helochares</i> sp. | * | * | |
| | | <i>Cymbiodyta</i> sp. | | * | |
| | | <i>Hydrophilus</i> sp. | | * | |
| | | <i>Tropisternus</i> sp. | * | * | |
| | | <i>Tropisternus lateralis</i> | | * | |
| | | <i>Hydrobius</i> sp. | * | * | |
| | | <i>Helichus</i> sp. | | * | |
| Dryopidae | | <i>Helichus</i> sp. | | * | |
| Diptera | Culicidae | <i>Anopheles</i> sp. | * | * | |
| | | <i>Ochlerotatus</i> sp. | | * | |
| | Ceratopogonidae | <i>Sphaeromias</i> sp. | * | * | |
| | Chironomidae | Subfam: Tanyodinae | * | * | |
| | | Subfam: Orthoclaadiinae | * | * | |
| | | <i>Chironomus plumosus</i> | * | * | |
| | Psychodidae | - | * | * | |
| | | <i>Pericoma</i> sp. | * | * | |
| | | <i>Psychoda</i> sp. | * | * | |
| | Suborden: Cyclorhapha | - | | * | |
| | Stratiomyidae | <i>Stratiomys</i> sp. | | * | |
| | | <i>Odontomyia</i> sp. | | * | |
| | Tabanidae | <i>Chrysops</i> sp. | | * | |
| | Syrphidae | <i>Chrysogaster</i> sp. | | * | |
| | | <i>Eristalis</i> sp. | | * | |
| | Ephydriidae | <i>Ephydra</i> sp. | * | | |
| | | <i>Setacera</i> sp. | | * | |
| | | <i>Brachydeutera</i> sp. | * | * | |
| | | <i>Parydra</i> sp. | | * | |
| | | <i>Ochtera</i> sp. | * | * | |

En contraste con el estudio realizado en el Río Níger por Arimoro y Ikomi en 2009 donde los autores reportaron las familias Plecoptera y Trichoptera aparte de Ephemeroptera en mayores cantidades, las cuales han sido reportadas como indicadoras de buena calidad del agua debido a que son sensibles a las perturbaciones humanas (Alonso y Camargo, 2005) y el orden Diptera formó un componente menor de la fauna, esto debido a que el agua en la que se desarrolla no presenta signos de contaminación a diferencia del Río Pesquería, zona del presente estudio.

Los resultados obtenidos del índice de riqueza de Shannon-Wiener muestran que el margen del río 4 (M4) presentó los valores mayores destacando en la segunda fecha de muestreo, el 31 de octubre de 2014, el más alto ($H'=1.55$); mientras que los valores más bajos ($H'=0$), mayormente durante la primavera, representan la presencia de solo una especie durante la colecta (Figura 2).

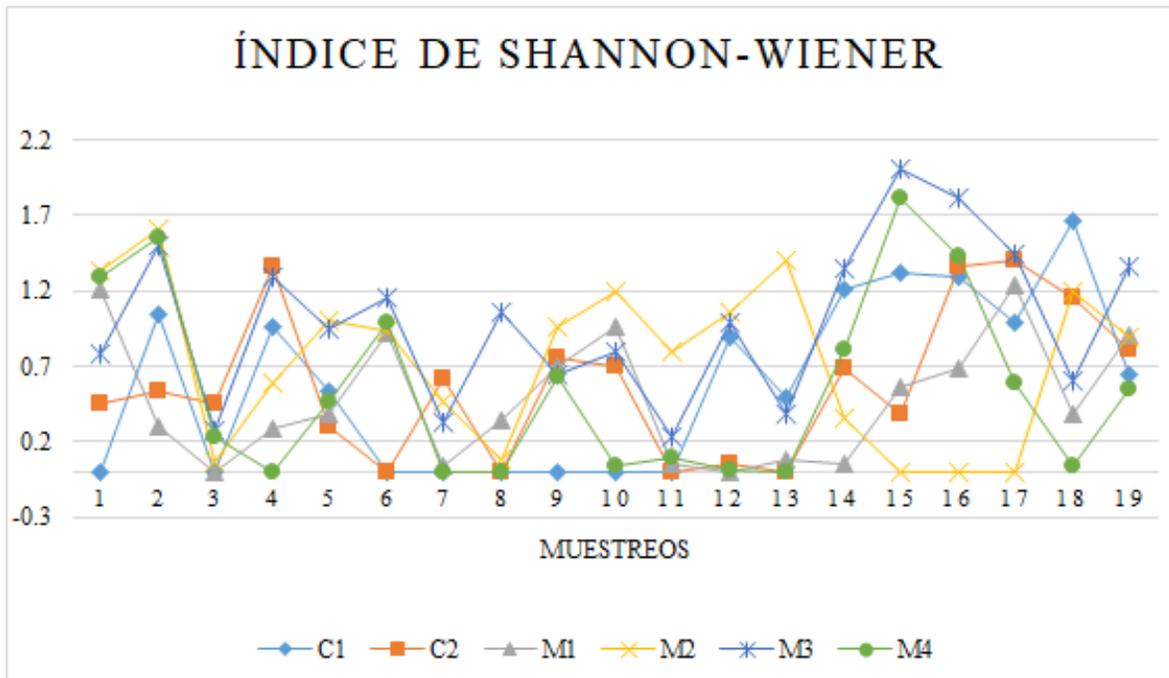


Figura 2. Índice de Shannon- Wiener en hábitats larvarios de *Culex* spp. de octubre de 2014 a septiembre de 2015 (C1=Charca temporal 1, C2=Charca temporal 2, M1=Margen del río 1, M2=Margen del río 2, M3=Margen del río 3, M4=Margen del río 4).

Mientras que los valores promedios por tipo de muestreo por estación del año nos muestran que el valor más bajo en las charcas fue durante el otoño ($H'=0.63$) y el mayor durante verano ($H'=1.26$); al igual que en las charcas, el valor menor en el margen del río se presentó en el otoño ($H'=0.87$) pero el valor mayor fue en primavera ($H'=1.559$) (Figura 3).

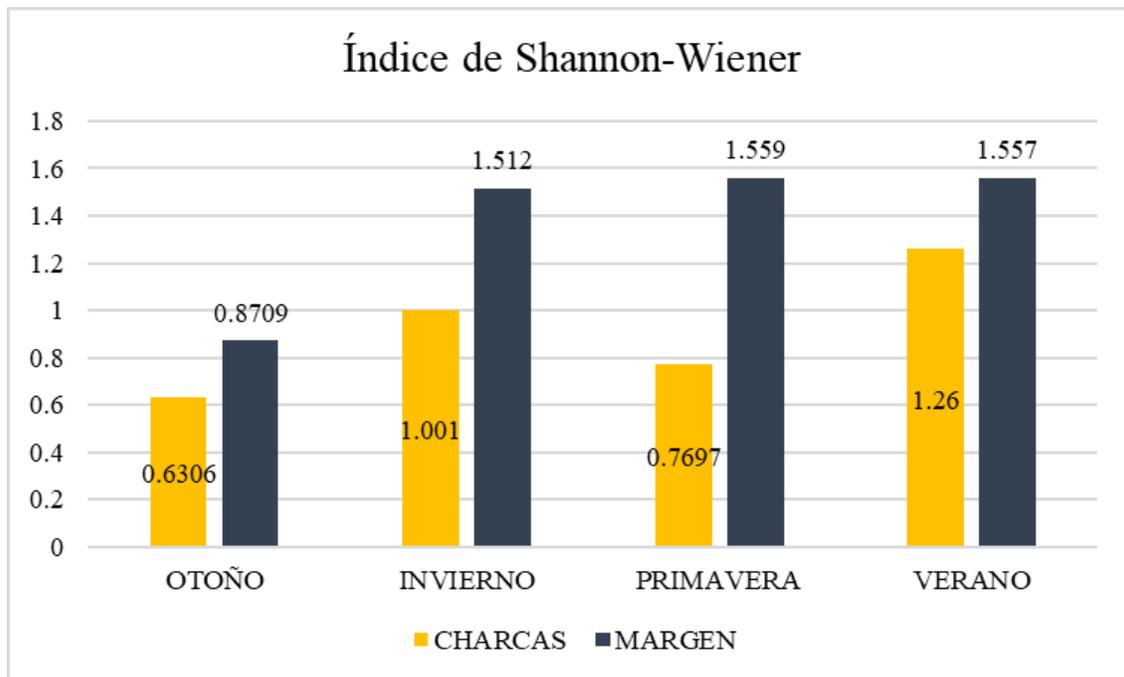


Figura 3. Promedio de valores por estación del año del índice de Shannon-Wiener de los insectos asociados a hábitats larvarios de *Culex* spp. colectados de octubre de 2014 a septiembre de 2015

Con respecto al índice de dominancia de Simpson, el margen del río 4 (M4) presentó los valores mayores destacando el 31 de octubre de 2014 y 5 de agosto de 2015 ($\lambda=0.72$); mientras que los valores más bajos ($\lambda=0$), mayormente durante la primavera, representan la presencia de solo una especie durante la colecta (Figura 4).

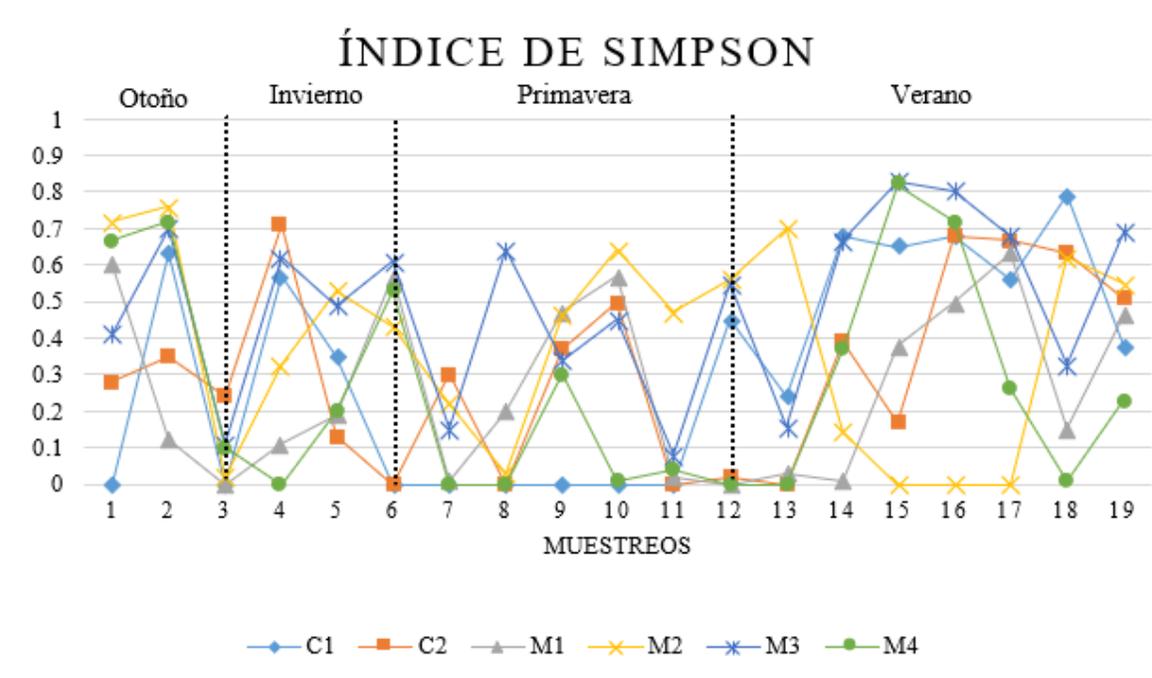


Figura 4. Índice de Simpson en hábitats larvarios de *Culex* spp. de octubre de 2014 a septiembre de 2015 (C1=Charca temporal 1, C2=Charca temporal 2, M1=Margen del río 1, M2=Margen del río 2, M3=Margen del río 3, M4=Margen del río 4).

Mientras que los valores promedios por tipo de muestreo por estación del año nos muestran que el valor más bajo en las charcas fue durante el otoño ($\lambda=0.3111$) y el mayor durante verano ($\lambda=0.618$); al igual que en las charcas, el valor menor en el margen del río se presentó en el otoño ($\lambda=0.3441$) pero el valor mayor fue en primavera ($\lambda=0.7368$) (Figura 5).

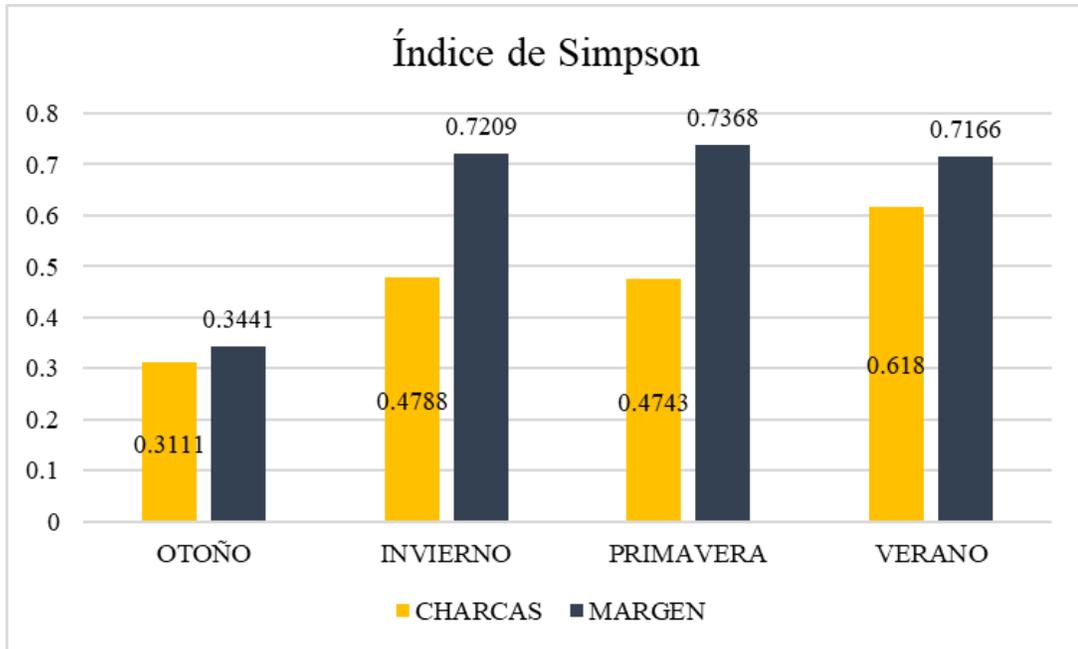


Figura 5. Promedio de valores por estación del año del índice de Simpson de los insectos asociados a hábitats larvarios de *Culex* spp. colectados de octubre de 2014 a septiembre de 2015

En el análisis del índice de riqueza de Margalef, el margen del río 4 (M4) presentó los valores mayores como los dos índices anteriores, destacando el 21 de julio de 2014 ($D_{MG}=2.34$); mientras que los valores más bajos ($D_{MG}=0$), especialmente en la charca temporal 1 (C1) mayormente durante la primavera, donde se representan la presencia de solo una especie durante la colecta (Figura 6).

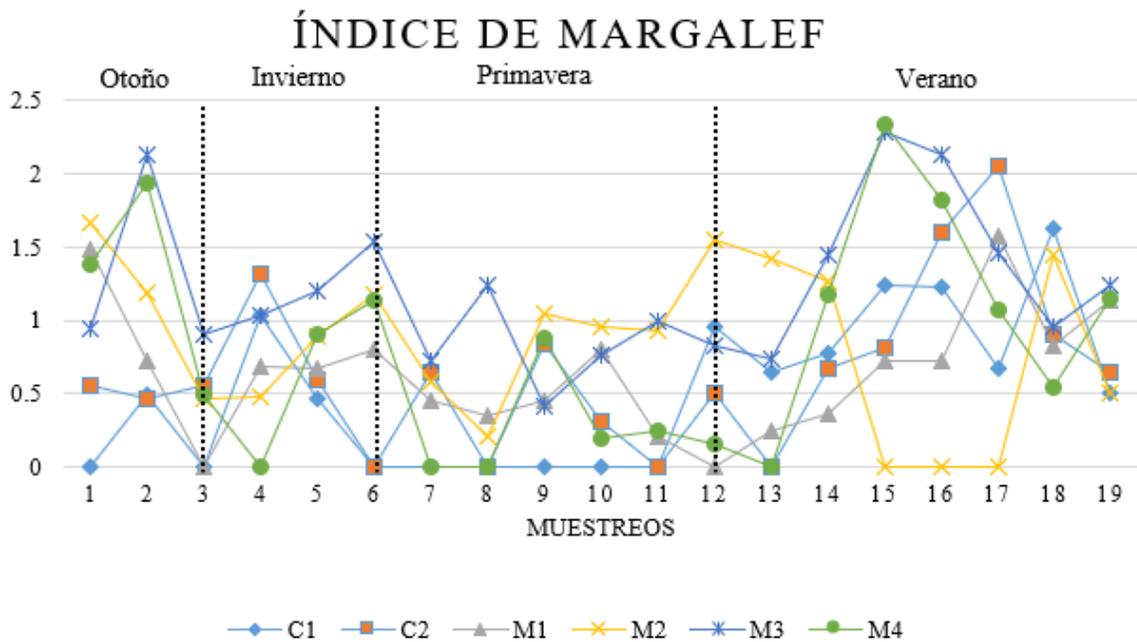


Figura 6. Índice de Margalef en hábitats larvarios de *Culex* spp. de octubre de 2014 a septiembre de 2015 (C1=Charca temporal 1, C2=Charca temporal 2, M1=Margen del río 1, M2=Margen del río 2, M3=Margen del río 3, M4=Margen del río 4).

Por otra parte, los valores promedios por tipo de muestreo por estación del año nos muestran que el valor más bajo en las charcas fue durante el otoño ($D_{MG}=0.7501$) y el mayor durante verano ($D_{MG}=4.21$); el valor menor en el margen del río se presentó en invierno ($D_{MG}=1.257$) pero el valor mayor fue en verano ($D_{MG}=3.298$) (Figura 7).

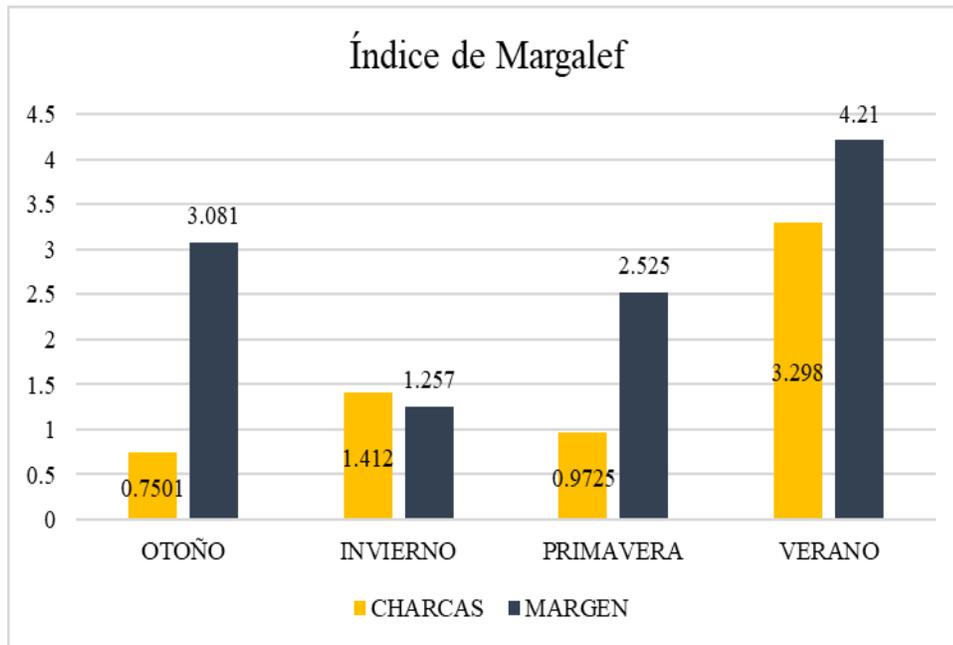


Figura 7. Promedio de valores por estación del año del índice de Margalef de los insectos asociados a hábitats larvarios de *Culex* spp. colectados de octubre de 2014 a septiembre de 2015

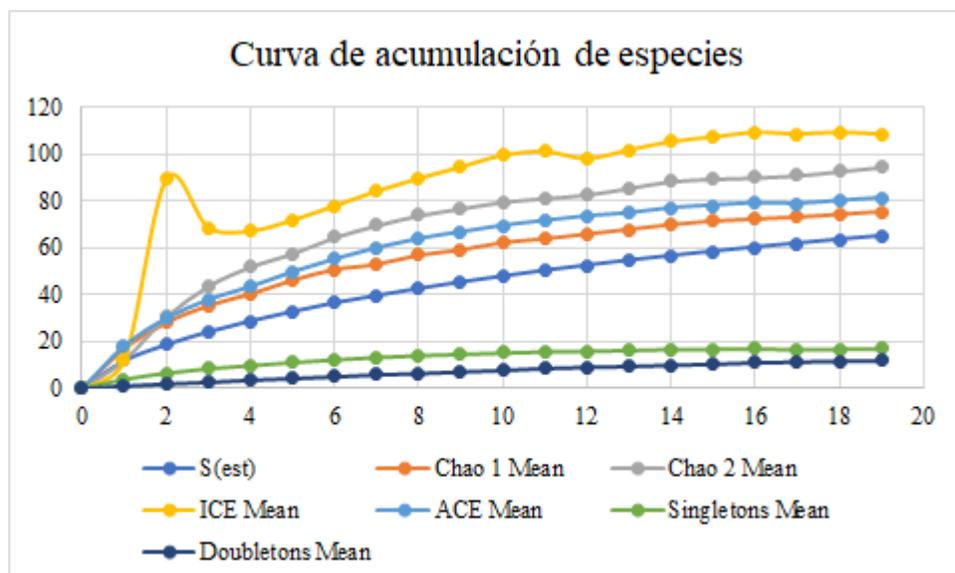


Figura 8. Curva de acumulación de especies de los insectos asociados a hábitats larvarios de *Culex* spp. colectados de octubre de 2014 a septiembre de 2015

Por medio de la realización de la curva de acumulación de especies mediante los programas Excel y EstimatesS se comprobó la eficiencia del esfuerzo de muestreo (Figura 8).

7.2 Función de las comunidades

En el análisis funcional de las comunidades en el Río Pesquería se encontraron los grupos filtradores, colectores, depredadores, trituradores, raspadores, perforadores y omnívoros (Tabla 3); siendo los primeros dos los más abundantes dentro de los sistemas acuáticos, tanto los filtradores representados en su totalidad por insectos de la familia Culicidae como los colectores con la familia Chironomidae como la de mayor abundancia se alimentan de partículas de materia orgánica en descomposición, los primeros de aquella que se encuentra suspendida en el agua usando adaptaciones como sifones o aparatos bucales filtradores y los segundos de materia depositada en el sustrato. Aspectos como la disposición del alimento, es decir, las partículas de material orgánica suspendidas en el sistema y la baja cantidad de depredadores pueden ser los factores relevantes de que se presenten estos grupos asociados.

Tabla 3. Densidad de insectos correspondientes a cada grupo funcional colectados durante octubre de 2014 a septiembre de 2015.

| GRUPO FUNCIONAL | CHARCAS | MARGEN |
|-----------------|---------------|---------------|
| FILTRADOR | 3,370* | 7,582* |
| COLECTOR | 1,753 | 12,282 |
| DEPREDADOR | 74 | 465 |
| TRITURADOR | 5 | 8 |
| RASPADOR | 0 | 6 |
| PERFORADOR | 1 | 4 |
| OMNÍVORO | 2 | 19 |

*99.9% pertenecientes al género *Culex* spp.

Se realizó una clasificación trófica en Colombia donde el taxón más abundante fue Chironomidae que pertenece al grupo de colectores con un 55% (Chará-Serna, 2010), en cambio lo encontramos en un 54.9%, mientras que los filtradores fueron reportados en un 31% en el estudio contra el 42.8% obtenido en el presente. Se observó

que los insectos filtradores predominaron con un porcentaje de 64.52% con *Culex coronator*, *Cx. quinquefasciatus*, *Cx. thriambus*, *Cx. interrogator* y *Cx. tarsalis* como representantes de este grupo y teniendo como competidor por alimento a *Anopheles* sp.; en segundo lugar, los colectores con un 33.93% con *Chironomus plumosus* como el más abundante; depredadores a continuación con 1.40%, el género *Sphaeromias* como el mayor representante, quedando con un porcentaje muy reducido los correspondientes a trituradores como *Ephydra* sp. con 0.10%, omnívoros como *Helochares* sp. con 0.04% y perforadores como *Copelatus* sp. con 0.02% (Figura 9).

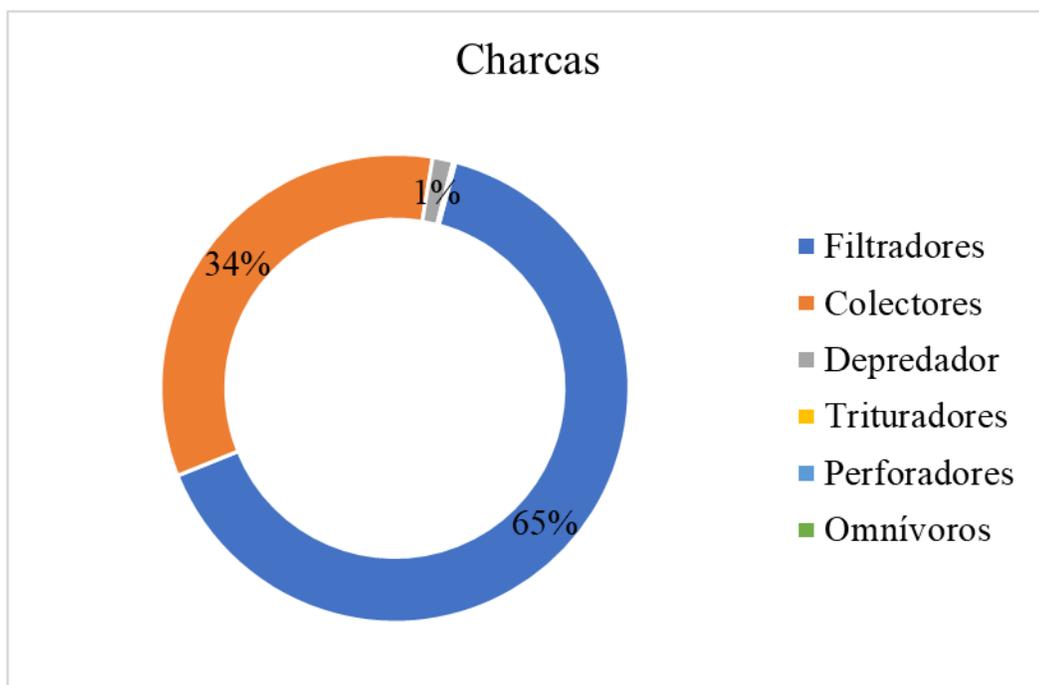


Figura 9. Porcentaje de grupos funcionales en las charcas durante octubre de 2014 a septiembre de 2015.

En el margen predominaron los insectos colectores con un porcentaje de 60.55% con *Chironomus plumosus* como el más abundante; en segundo lugar, con 37.24% los filtradores con *Cx. tarsalis*, *Cx. coronator*, *Cx. interrogator*, *Cx. thriambus* y *Cx. quinquefasciatus* como representantes con *Anopheles* sp. como competidor por alimento; depredadores a continuación con 2.04% con el género *Sphaeromias* como el mayor representante, quedando con porcentaje de 0.09% de omnívoros como *Helochares* sp., 0.04% de trituradores como *Setacera* sp., y 0.02% de perforadores como *Berosus* sp. (Figura 10).

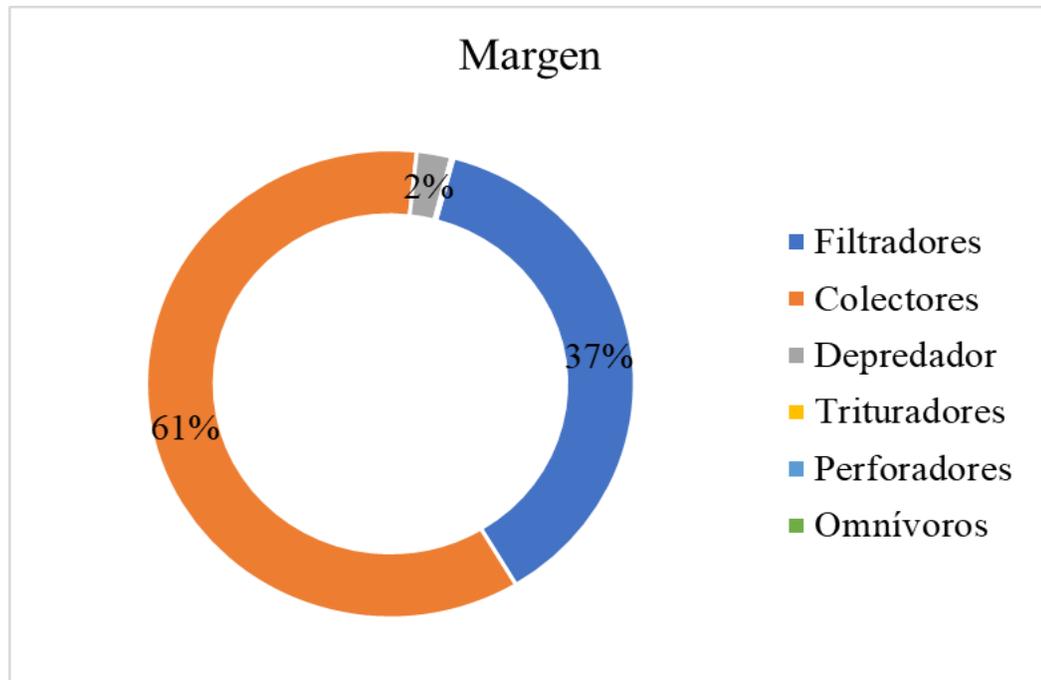


Figura 10. Porcentaje de grupos funcionales en el margen durante octubre de 2014 a septiembre de 2015.

7.3 Dinámica de colonización

Con respecto a la dinámica de colonización de hábitats larvarios de *Culex* spp., fueron colectados un total de 4,835 insectos del 28 de octubre al 2 de diciembre de 2015 en un total de 13 muestreos, éstos organismos pertenecientes a cuatro órdenes: Odonata, Lepidoptera, Coleoptera y Diptera y la temperatura ambiental tuvo un promedio de 23.7 ± 4.9 y una Humedad Relativa de $61.7\% (\pm 15.4)$ mientras que la temperatura en las charcas fue de $23.8^\circ\text{C} (\pm 1.7)$ y un pH de $8.01 (\pm 0.4)$.

La etapa uno de colonización estuvo formada por el orden Diptera, con representantes de la familia Culicidae con *Culex tarsalis* (L1 y L3) y familia Chironomidae con *Chironomus plumosus* (L1, L3, L4) presentes dos días posteriores a la precipitación seguido de insectos también de la familia Culicidae como son *Anopheles*, *Culiseta inornata*, *Cx. interrogator*, *Cx. thriambus*, *Cx. coronator*, *Cx. quinquefasciatus* y *Cx. nigripalpus*; Posteriormente aparecen los siguientes dos órdenes: Odonatos con *Argia*, *Hesperagrion*, *Telebasis*, *Enallagma* de la familia

Coenagrionidae y *Erythemis* de la familia Libellulidae como representantes incorporándose a los cinco días del inicio del muestreo, seguidos por Coleópteros con la familia Staphylinidae, Hydrophilidae con *Paracymus*, *Tropisternus* e *Hydrobiomorpha* y con la familia Hydraenidae con *Hydraena* a partir del día siete del inicio del estudio; el sistema no llegó a las etapas dos, tres y cuatro. Por último, Lepidoptera con las familias Noctuidae y Crambidae apareciendo hasta el día 16 (Tabla 4).

La principal característica de la etapa uno de la dinámica de colonización es la presencia de un nuevo conjunto de especies donde llegan los insectos colonizadores (Krebs, 1985). En el primer día de muestreo se identificaron tres especies, mientras que, para las siguientes colectas, el número fluctuó entre 11 a 15 especies (Figura 11). Estudios realizados mencionaron que el cambio más notable la dinámica de la comunidad con respecto al tiempo de la sucesión es la disminución en la acumulación de nuevos taxones (Godoy *et al.* 2016) como se observó durante la investigación ya que no hubo un aumento significativo del número de taxones presentes en las charcas después del segundo muestreo.

Godoy *et al.* 2016 agregaron que, en su experimento, se mostró un volumen constante de taxones en las corrientes en lugar de acumulación de éstos. Reportan una alta tasa de acumulaciones en el principio del experimento, seguido de un rápido declive de esta tasa y un subsecuente aumento en el volumen de la comunidad. Este patrón indica que la comunidad de insectos acuáticos está posiblemente compuesta de altamente dispersivos y adaptables. Ellos mencionaron que, en su caso, Odonata fue el principal depredador, lo cual también sucedió en nuestro estudio con los géneros *Argia*, *Hesperagrion*, *Telebasis*, *Enallagma* y *Erythemis* como representantes de este grupo funcional.

Las libélulas tienen una alta capacidad de dispersión que pueden permitir una rápida colonización de nuevos hábitats (Mendes *et al.* 2015); lo que ocurrió en nuestra investigación donde desde el muestro número dos se identificaron organismos de este orden. En Brasil al realizar un análisis de la colonización de macroinvertebrados, la comunidad estuvo compuesta básicamente por Diptera y Ephemeroptera, dos grupos

con alta tasa de colonización (Carvalho y Uieda, 2006; Murrell *et al.* 2014) siendo diferente a nuestros resultados donde solo Diptera estuvo presente junto con Odonata.

En este estudio se observó que los sitios muestreados solo llegan a esta etapa ya que, aunque se conoce que en la etapa dos es cuando existe competencia y depredación entre los individuos y en el estudio si fueron encontrados depredadores de los órdenes Odonata y Coleoptera, el número de especies no disminuyó a lo largo de los muestreos.

Tabla 4. Especies de insectos colonizadores de charcas durante la temporada de lluvias del 28 de octubre al 2 de diciembre de 2015 en el Río Pesquería en Santa Rosa, Apodaca, Nuevo León. *G.P.= Grupo funcional. D= Depredador; T= Triturador; R= Raspador; F/C= Filtrador/Colector; C= Colector

| Orden | Familia | Género/especie | G.F. | MUESTREO | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|---|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | |
| Odonata | Suborden: Zygoptera | - | D | | | | | * | * | * | * | * | * | | | | |
| | Coenagrionidae | <i>Argia</i> sp. | D | | | | * | | | | | | | * | * | * | |
| | | <i>Hesperagrion</i> sp. | D | * | * | | | | | | | | | | | | |
| | | <i>Telebasis</i> sp. | D | * | * | | | * | | * | * | * | * | * | * | * | |
| | | <i>Enallagma</i> sp. | D | * | * | * | | | | | | | | | * | | |
| | Libellulidae | <i>Erythemis</i> sp. | D | | | | | * | | | | | | | | | |
| Lepidoptera | Noctuidae | - | T | | | | | * | | | | | | | | | |
| | Crambidae | - | T | | | | | * | | | | | | | | | |
| Coleoptera | Staphylinidae | - | D | | | | | | * | | | | | | | | |
| | Hydrophilidae | <i>Paracymus</i> sp. | D | | | | * | | | | | | | | | | |
| | | <i>Tropisternus</i> sp. | D | * | * | | * | | | | | | | | | | |
| | | <i>Hydrobiomorpha</i> sp. | T | | | | | * | | | | | | | | | |
| | Hydraenidae | <i>Hydraena</i> sp. | R | | | | | | * | | | | | | | | |
| Diptera | Culicidae | <i>Anopheles</i> sp. | F | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| | | <i>Culiseta inornata</i> | F | | | | | | | | | | | * | | | |
| | | <i>Culex</i> sp. | F | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | | <i>Culex interrogator</i> | F | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | | <i>Culex thriambus</i> | F | | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | | <i>Culex coronator</i> | F | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | | <i>Culex tarsalis</i> | F | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | | <i>Culex quinquefasciatus</i> | F | * | | | | | | | | | | | | | |
| | | | <i>Culex nigripalpus</i> | F | | * | | | | | | | | | | | |
| | | Ceratopogonidae | <i>Sphaeromyia</i> sp. | D | | | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | Chironomidae | Subfam: Tanypodinae | D | | * | * | | | | | | | * | | | | |
| | | <i>Chironomus plumosus</i> | C | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | Psychodidae | - | C | | * | | | | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | | <i>Psychoda</i> sp. | C | | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | Stratiomyidae | <i>Stratiomys</i> sp. | C | | * | | | | | | | | | | | | |
| | | <i>Odontomyia</i> sp. | C | | | | | | | * | | | | * | | * | |
| | Syrphidae | <i>Eristalis</i> sp. | C | | | | | | | | * | * | * | * | * | * | |
| Ephydriidae | <i>Brachydeutera</i> sp. | C | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| Muscidae | - | C | | | | | | | | | | | | | | * | |



Figura 11. Número de especies colectadas del 28 de octubre al 2 de diciembre de 2015.

Se realizaron los análisis de Riqueza de Margalef y Diversidad de Shannon-Wiener y se obtuvo como resultado que el quinto muestreo (9 de noviembre de 2015) presentó los mayores índices con valores de 1.75 y 1.48 respectivamente; mientras que el muestreo con menor valor fue el primer muestreo (28 de octubre de 2015) con valor de 0.49 de riqueza y 0.44 de diversidad que se realizó posterior a una lluvia cuando ocurrió una creciente del río en la zona de inundación y la corriente del agua se llevó consigo todo lo que se encontraba en los sitios de muestreo, lo que ocasionó una baja en el número de especies presentes en las charcas.

Los bajos índices de Riqueza y Diversidad obtenidos en las charcas temporales dan motivo para considerar que se mantuvieron en la primera etapa de colonización, siendo los Dípteros con *Ch. plumosus* de la familia Chironomidae y *Culex* spp. de la familia Culicidae como los principales colonizadores acompañados de Odonatos, Coleópteros y Lepidópteros en cantidades menores.

7.4 Efectividad de larvicidas biorracionales

Con respecto a la evaluación de la efectividad del formulado local de *Bacillus thuringiensis israelensis* y del Spinosad en hábitats larvarios de *Culex* spp. Las charcas presentaron un promedio de pH de 8.1 (\pm 0.07) y una temperatura media de 23.4°C

(± 0.9). La media de población de *Culex* spp. colectados en *Bti* fue de 269 en promedio a las 24 h, de 518.3 a las 48h y 290.1 a las 72h post-tratamiento; mientras que el Spinosad a las 24h tuvo un promedio de 2 individuos, de 1.1 a las 48h y 0 a las 72h (Figura 12).

En las primeras 24 horas post-aplicación, el formulado de *Bti* mostró una reducción del 3.2% en *Culex* sp. encontrados; mientras que en el sitio tratado con Spinosad disminuyó en un 98.3% reduciendo la población de mosquitos en relación al control donde fue de 7.1% menos respecto a los encontrados pre-tratamiento. A los dos días siguientes, el sitio tratado con *Bti* mostró un aumento en los mosquitos encontrados en contraste con aquel donde se utilizó Spinosad ya que mostró una disminución del 97.7% a las 48 h y de un 100% después de 72 h de la aplicación (Figura 13).

Con un diseño de bloques al azar mediante un análisis en SPSS con una prueba de Kolmogorov-Smirnov para la normalidad y posteriormente un análisis ANOVA, se obtuvo que existe diferencia significativa entre los tratamientos de *Bti* y Spinosad con respecto al control (Tabla 5).

Tabla 5. Prueba de Kolmogorov-Smirnov de los datos obtenidos durante las pruebas con larvicidas realizadas en el Río Pesquería.

| | | Tratamiento | Densidad |
|------------------------------------|-------------------|-------------|-----------|
| N | | 12 | 12 |
| Parámetros normales ^{a,b} | Media | 2.00 | 175.0833 |
| | Desviación típica | .853 | 150.71707 |
| Diferencias más extremas | Absoluta | .213 | .139 |
| | Positiva | .213 | .139 |
| | Negativa | -.213 | -.123 |
| Z de Kolmogorov-Smirnov | | .737 | .483 |
| Sig. asintót. (bilateral) | | .648 | .974 |

a. La distribución de contraste es la Normal.

b. Se han calculado a partir de los datos.

Descriptivos

| | N | Media | Desviación típica | Error típico | Intervalo de confianza para la media al 95% | | Mínimo | Máximo |
|----------|----|----------|-------------------|--------------|---|-----------------|--------|--------|
| | | | | | Límite inferior | Límite superior | | |
| | | | | | Bti | 4 | | |
| Spinosad | 4 | 30.1000 | 58.13909 | 29.06954 | -62.4123 | 122.6123 | .00 | 117.30 |
| Control | 4 | 156.3000 | 35.59448 | 17.79724 | 99.6612 | 212.9388 | 116.90 | 189.00 |
| Total | 12 | 175.0833 | 150.71707 | 43.50827 | 79.3223 | 270.8444 | .00 | 518.30 |

ANOVA de un factor

| | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|--------------|-------------------|----|------------------|--------|------|
| Inter-grupos | 192770.007 | 2 | 96385.003 | 15.192 | .001 |
| Intra-grupos | 57101.970 | 9 | 6344.663 | | |
| Total | 249871.977 | 11 | | | |

En un estudio de Marina *et al*, 2014, Spinosad mostró un poder absoluto donde la abundancia de *Culex* spp. tuvo una reducción significativa comparada con el control, resultado también encontrado por Jiang y Mulla, 2009 donde mencionaron que la formulación de Spinosad tuvo un alto nivel de eficacia contra *Culex* spp. con respecto al control.

Con respecto a *Bti*, Marina *et al.*, 2014 encontró una reducción de *Culex* spp. comparado con el control en puntos intermitentes como se observó en nuestro estudio.

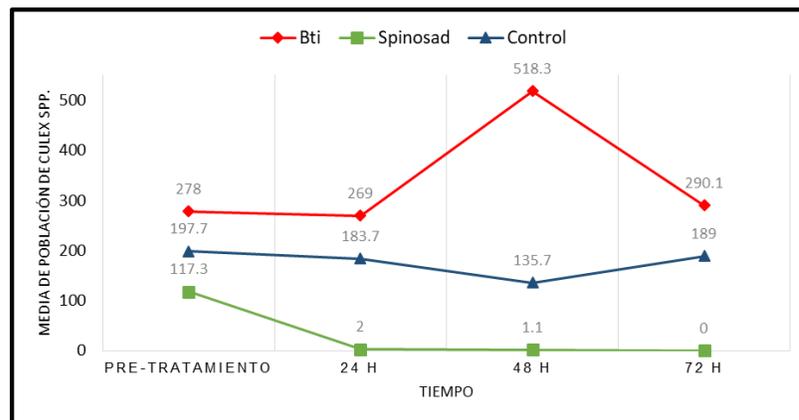


Figura 12. Media de población de *Culex* spp. Expuesta a dos tratamientos en Santa Rosa, Apodaca, Nuevo León.

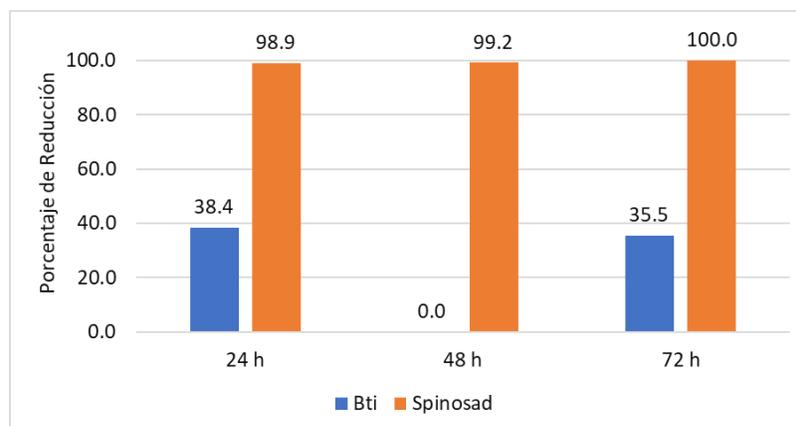


Figura 13. Porcentaje de Reducción de poblaciones de *Culex* spp. expuestas a dos tratamientos en Santa Rosa, Apodaca, Nuevo León.

8. CONCLUSIONES

- La estructura de las comunidades de insectos acuáticos asociados a hábitats larvarios de *Culex spp.* (Diptera:Culicidae) en el Río Pesquería en Santa Rosa, Apodaca, N.L., estuvo integrada por siete órdenes, 25 familias y 56 géneros y/o especies.
- En el análisis funcional de las comunidades de insectos acuáticos asociados a hábitats larvarios de *Culex spp.* (Diptera:Culicidae) en el Río Pesquería en Santa Rosa, Apodaca, N.L. se encontró que en las charcas el grupo funcional predominante fueron los filtradores, mientras que en el margen del río fueron los colectores.
- En la dinámica de colonización, las comunidades de insectos acuáticos asociados a hábitats larvarios de *Culex spp.* (Diptera:Culicidae) en el Río Pesquería en Santa Rosa, Apodaca, N.L., solo llegaron a la primera etapa al presentar mayor abundancia de insectos colectores y filtradores.
- El *Bti* mostró una efectividad del 35.5% para el control de *Culex* en sus hábitats larvarios mientras que en Spinosad fue de 100% a las 72 horas post-tratamiento.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R.A. C.N. Lewis y MV Meisch. 2010. Residual efficacy of three Spinosad formulations against *Psorophora columbiae* larvae in small rice plots. *J Am Mosq Control Assoc* 26:116-118
- Alonso A. y Camarago J.A. 2005. Evaluating the effectiveness of five mineral artificial substrates for the sampling of benthic macroinvertebrates. *Journal of Freshwater Ecology* no. 20: 311-320
- Altermatt F y Ebert D. 2010. Populations in small, ephemeral habitat patches may drive dynamics in a *Daphnia magna* metapopulation. *Ecology*, 91(10). pp. 2975–2982.
- Arimoro FO e Ikomi RB. 2009. Ecological integrity of upper Warri River, Niger Delta using aquatic insects as bioindicators. *Ecological Indicators*. 455-461
- Askarizadeh A, Rippey MA, Fletcher TD, Feldman D, Pend J, Bowler P, Mehring A, Winfrey B, Vrugt J, AghaKouchak A, Jiang S, Sanders BF, Levin LA, Taylor S y Grant SB. 2015. From rain tanks to catchments: Use of low-impact development to address hydrologic symptoms of the urban stream syndrome. *Environmental Science and Technology*. 49 (19), pp 11264–11280 DOI: 10.1021/acs.est.5b01635.
- Aslaksen I, Nybo S, Framstad E, Garnåsjordet PA y Skarpaas O. 2015. Biodiversity and ecosystem services: The Nature Index for Norway. *Ecosystem Services*. 12: 108-116. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.11.002>
- Axtell, R.C., S. Jaronski, y T. Merriam. 1982. Efficacy of the mosquito fungal pathogen *Lagenidium giganteum* (Oomycetes: Lagenidiales). *Proc papers Calif Mosq Vector Contr Assoc* 50:41-42.
- Bai X, McPhearson T, Cleugh H, Nagendra H, Tong X, Zhu T y Zhu Y. 2017. Linking Urbanization and the Environmental: Conceptual and Empirical Advances. *Annual Review of Environmental and Resources*. 42:215-40.
- Baptista DF, Buss DF, Egler M, Giovanelli A, Silveira MP y Nessimian JL. 2007. A multimetric index based on benthic macroinvertebrates for evaluation of

- Atlantic Forest streams at Rio de Janeiro State, Brazil. *Hydrobiologia*. 575:83–94. DOI 10.1007/s10750-006-0286-x
- Becnel J.J. y T.G. Floore. 2007. Biorational Control of Mosquitoes. Bulletin No. 7. The American Mosquito Control Association, Inc. Vol. 23.
- Bond, J.G., C.F. Marina y T. Williams. 2004. The naturally-derived insecticide spinosad is highly toxic to *Aedes* and *Anopheles* larvae. *Med Vet Entomol* 18:50-56.
- Bown, D. and M. Nelson. 1993. Anopheline vectors of human plasmodia. En: *Parasitic Protozoa*, Volumen 5. Pp 267-328. Academic Press, Inc.
- Carvalho EM y Uieda VS. 2006. Colonization routes of benthic macroinvertebrates in a stream in southeast Brazil. *Acta Limnol. Bras.*, 18(4):367-376
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). 2013. Lymphatic Filariasis. In <http://www.cdc.gov/>
- Chansang, U., A. Bhumiratana y P. Kittayapong. 2004. Combination of *Mesocyclops thermocyclopoides* and *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis*: A better approach for the control of *Aedes aegypti* larvae in water containers. *J Vec Ecol* 29:218-226.
- Chao A. 1984. Non-parametric estimation of the number of classes in a population. *Scandinavian Journal of Statistics* 11:265-270
- Chao A. 1987. Estimating the population size for capture-recapture data with unequal catchability. *Biometrics* 43:783-791
- Chao A, Hwang WH, Chen YC y Kuo CY. 2000. Estimating the number of shared species in two communities. *Statistica Sinica* 10:227-246
- Chará-Serna AM, Chará JD, Zuñiga MC, Pedraza GX y Giraldo L. 2010. Clasificación trófica de insectos acuáticos en ocho quebradas protegidas de la ecorregión cafetera colombiana. *Universitas Scientiarum*. Vol. 15 N° 1: 27-36
- Chazdon RL, Colwell RK, Denslow JS y Guaricuata MR. 1998. Statistical methods for estimating species richness of woody regeneration in primary and secondary rain forests of NE Costa Rica. Pp. 285-309 en: DALLMEIER F & COMISKEY

- JA (eds) Forest biodiversity research, monitoring and modeling: conceptual background and Old World case studies. Parthenon Publishing, París
- Cisneros, J., D. Goulson, L.C. Derwent, D.I. Penagos, O. Hernandez y T. Williams. 2002. Toxic effects of spinosad on predatory insects. *Biol Contr* 23:156-163.
- Clarke, J.L. 1938. Mosquito control as related to marsh conservation. *Proc Twenty-fifth Ann Meeting New Jersey Mosq Exter Assoc* 139-147.
- Cummins KW, Merritt RW y Andrade P. 2005. The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in south Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*. 40(1): 69 – 89
- Darsie, R.F. and R.A. Ward. 2005. Identification and Geographical Distribution of the Mosquitoes of North America, North of Mexico. University Press of Florida. USA.
- DeAmicis, C.V., J.E. Dripps, C.J. Hatton y L.L. Karr. 1997. Physical and biological properties of the spinosyns: Novel macrolide pest control agents from fermentation. In P. A. Hedin, R. M. Hollingworth, E. P. Masler, J. Miyamoto and D. G. Thompson (eds.) *Phytochemicals for Pest Control*, Symposium Series American Chemical Society, Washington DC 658 pp.
- de Groot, R.S., Wilson, M.A., Boumans, R.M.J.. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecol. Econ.* 41,393–408.
- Eldridge, B. F. 1993. Patrick Manson and the discovery age of vector biology. *J. Am. Mosquito Control Assoc.* 8: 215–218.
- Elmqvist T, Goodness J, Marcotullio PJ, Parnell S, Senstad M. 2013. *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Oportunities: A global Assesment*. Dordrecht, Neth: Springer.
- Federici, B.A. 1981. Fungi: mosquito control by *Culicinomyces*, *Lagenidium* and *Coelomomyces*. In *Microbial Control of Pest and Plant Diseases*, H.D. Burges (Ed.). Academic Press London pp 555-572.

- Federici, A.B., P.W. Tsao y Ch.J. Lucarotti. 1985. *Coelomomyces* (Fungi). In Biological Control of Mosquitoes, H. C. Chapman (Ed.) Am Mosq Control Assoc Bull 6, pp 75-86
- Floore, T.G. 2006. Mosquito larval control practices: past and present. J am Mosq Assoc. 22: 527-533.
- Garza-Robledo, A.A., J.F. Martínez-Perales, V.A. Rodríguez-Castro y H. Quiroz-Martínez. 2011. Effectiveness of spinosad and temephos for the control of mosquito larvae at tire dump in Allende, Nuevo Leon, Mexico. J Am Mosq Control Assoc 27:404-407.
- Garza Villarreal C, García Villarreal JR, Elizondo Garza JA, Martínez Guajardo JH, Hernández Hernández J, Lozano García LH, Guajardo Garza JH, Flores Vázquez JA, Benavides Gámez S, Rivera González MR, Cruz Medina MC, Ríos Castro E, Morales Cisneros OL, Estrada Rascón R, Hernández Torres C y Álvarez Alejandro JA. 2001. Plan Municipal de Desarrollo Urbano Apodaca 2020. Periódico Oficial del Estado. Número 108 vol. 38
- Giraldo-Calderón, G.I., M. Pérez, C.A. Morales y C.B. Ocampo. 2008. Evaluation of the triflumuron and the mixture of *Bacillus thuringiensis* plus *Bacillus sphaericus* for control of the immature stages of *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) in catch basins. Biomedica: 28: 224-233.
- Godoy BS, Lopes Queiroz L, Lodi S, Nascimento de Jesus JD y Oliveira LG. 2016. Successional colonization of temporary streams: An experimental approach using aquatic insects. Acta Oecologica 77:43-49.
- Goldberg, L. y J. Margalit. 1977. A bacterial spore demonstrating rapid larvicidal activity against *Anopheles sargentii*, *Uranotaenia unguiculata*, *Culex univittatus*, *Aedes aegypti* and *Culex pipiens*. Mosq News 10.
- Gratz, N.G. 1999. Emerging and resurging vector-borne diseases. Annual Review of Entomology. 44: 51-75.
- Grech M, Sartir P, Estallo E, Ludueña-Almeida F y Almirón W. 2013. Characterisation of *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) larval habitats at ground level

- and temporal fluctuations of larval abundance in Córdoba, Argentina. Mem Inst Oswaldo Cruz. 108(6):772-7. doi: 10.1590/0074-0276108062013014.
- Grimaldi, D. y M.S. Engel. 2005. Evolution of the Insects. Cambridge University Press, Cambridge.
- Gubler, D.J. 1998. Resurgent vector-borne diseases as a global health problem. Emerging Inf Dis. 4: 442–450.
- Hanski I y Ovaskainen O. 2000. The metapopulation capacity of a fragmented landscape. Nature. 404: 755-758
- Hennig, W. 1973. Ordnung Diptera (Zweiflugler). Handb. Zool. 4(2) 2/31 (Lfg. 20): 1–337.
- Hertlein, M., C. Mavrotas, C. Jousseume, M. Lysan-Drou, G. Thompson, W. Jany y S. Ritchie. 2010. A review of spinosad as a natural product for larval mosquito control. Journal of the American Mosquito Control Association. 26 (1):67-87.
- Höfte, H. y H.R. Whiteley. 1989. Insecticidal cristal proteins of *Bacillus thuringiensis* Microbiol Reviews 53: 242- 255.
- Huseyin, C., A. Yanikoglu y J.E. Cilek. 2005. Evaluation of the naturally-derived insecticide spinosad against *Culex pipiens* L. (Diptera: Culicidae) larvae in septic tank water in Antalya, Turkey. J Vec Ecol 30:151-154.
- Ibarra, J. E., M. C. del Rincón, S. Ordúa, D. Noriega, G. Benintende, R. Monnerat, L. Regis, C. M. F. de Oliveira, H. Lena, M. H. Rodríguez, J. Sánchez, G. Peña y A. Bravo. 2003. Diversity of *Bacillus thuringiensis* strains from Latin America with insecticidal activity against different mosquito species. App. & Environ. Microbiology 69:5269.5274.
- Jiang Y. y M. Mulla. 2009. Laboratory and field evaluation of Spinosad, a biorational natural product, against larvae of *Culex mosquito*s. J Am Mosq Control Assoc 25:456-466.
- Karr, J.R., 1991. Biological integrity: a long-neglected aspect of water resource management. Ecol. Appl. 166–184.

- Kavazos CRJ y Wallman JF. 2012. Community composition of carrion-breeding blowflies (Diptera: Calliphoridae) along an urban gradient in south-eastern Australia. *Landscape and Urban Planning* 106:183– 190
- Kerwin, J.L. y R.K. Washino. 1987. Ground and aerial application of the sexual stage of *Lagenidium giganteum* for control of mosquitoes associated with rice culture in cCentral Valley of California. *J Am Mosq Control Assoc* 3:59-64.
- Kondratieff BC. 2005. Introduction to the Diptera. In: *Biology of disease vectors*. Marquardt W (eds.). Elsevier Academic Press. Pp 93-111.
- Lacey, L.A. y C.M. Lacey. 1990. The medical importance of riceland mosquitoes and their control using alternatives to chemical insecticides. *Mosq News* 6:1-93.
- Maldonado-Blanco, M.G., L.J. Galán-Wong, C. Rodríguez-Padilla y H. Quiroz-Martínez. 2002. Evaluation of polymer-based granular formulations of *Bacillus thuringiensis israelensis* against larval *Aedes aegypti* in the laboratory. *J Am Mosq Control Assoc* 18:352-358.
- Maldonado- Blanco, M.G., S.A. Martínez Rodríguez, L.J. Galán Wong y H. Quiroz-Martínez. 2007. Evaluación en Campo de Formulaciones de *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* Preparadas con Polímeros. *Southwest Entomol* 32:181-184.
- Maldonado-Blanco, M.G., E.I. Meléndez-López, L.J. Galán-Wong, H. Quiroz-Martínez, V.A. Rodríguez-Castro y M. Elías-Santos. 2008. Evaluación en campo de nuevos formulados de *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* y polímeros naturales contra larvas de mosquitos. *Folia Entomol Mex* 47:1-8
- Maldonado-Blanco, M.G., E.Y. Leal-Lopez, O.A. Ochoa-Salazar, M. Elias-Santos, L.J. Galán-Wong y H. Quiroz-Martínez. 2011. Effects of culture medium and formulation on the larvicidal activity of the mosquito pathogen *Lagenidium giganteum* (Oomycetes: Lagenidiales) against *Aedes aegypti*. *Acta Tropica* 117:114-118.
- Marina CF, Bond G, Muñoz J, Valle J, Novelo-Gutiérrez R y Williams T. 2014. Efficacy and non-target impact of spinosad, *Bti* and temephos larvicides for

- control of *Anopheles* spp. in an endemic malaria region of southern Mexico. *Parasites & Vectors* 7:55
- Memmott, J. 2000. Food webs as a tool for studying nontarget effects in biological control. In: Follett, P.A. and Duan, J.J. (eds). *Nontarget Effects of Biological Control*, pp. 147-163. Kluwer, Boston, MA.
- Mendes TP, Cabette H.R y Juen L. 2015. Setting boundaries: Environmental and spatial effects on Odonata larvae distribution (Insecta). *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 87(1): 239-248
- Merritt, R.W., K.W. Cummins y M.B. Berg. 2008. *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. Fourth Edition, Kendall/Hunt Publishing Co. Iowa, USA.
- Mertz P. y C. Yao 1990. *Saccharopolyspora spinosa* sp. nov. isolated from soil collected in a sugar mill rum still. *International Journal of Systematic Bacteriology*. 40:34-39.
- Miller, B. R., Crabtree, M. B., and Savage, H. M. 1997. Phylogenetic relationships of the Culicomorpha inferred from 18S and 5.8S ribosomal DNA sequence (Diptera: Nematocera). *Insect Mol. Biol.* 6: 105–114.
- Mullen, G.R. y L.A. Durden. 2009. *Medical and Veterinary Entomology*. American Press. 221-222
- Muller F, de Groot R y Willemsen L. 2010. Ecosystem services at the landscape scale: the need for integrative approaches. *Landscape Online*. 23:1-11
- Murell EG, Ives AR y Juliano SA. 2014. Intrinsic and extrinsic drivers of succession: effects of habitat age and season on an aquatic insect community. *Ecological Entomology*. 39, 316–324. DOI: 10.1111/een.12103
- Murrell EG, Ives AR y Juliano SA. 2014. Intrinsic and extrinsic drivers of succession: effects of habitat age and season on an aquatic insect community. *Ecological Entomology* 39, 316–324. DOI: 10.1111/een.12103
- Neri-Barbosa J.F., H. Quiroz-Martínez, M.L. Rodríguez-Tovar, L.O. Tejada y M.H. Badii. 1997. Use of Bactimos® Briquets (B. t. i. Formulation) combined with

- the backswimmer *Notonecta irrorata* (Hemiptera: Notonectidae) for control of mosquito larvae. *J Am Mosq Control Assoc* 13:87-89.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2017. Infección por el virus del Nilo Occidental. Carta descriptiva.
- Peckarsky, B.L., P.R. Fraissinet, M.A. Penton y D.J. Conklin Jr. 1990. *Freshwater Macroinvertebrates of Northeastern North America*. Cornell University Press. USA.
- Quiroz-Martínez, H., M.I. Garza-Rodríguez, M.I. Trujillo-González, I.G. Zepeda-Cavazos, I. Siller-Aguillon, JF. Martínez-Perales y V.A. Rodríguez-Castro. 2012. Selection of oviposition sites by female *Aedes aegypti* exposed to two larvicides. *J Am Mosq Control Assoc* 28:47-49
- Quiroz-Martínez, H.; V.A. Rodríguez-Castro y J.G. Bond-Compeán. 2014. Mosquitos vectores de enfermedades (Diptera: Culicidae). *Sociedad Mexicana de Control Biológico* (En prensa).
- Resh VH. 2008. Which group is best? Attributes of different biological assemblages used in freshwater biomonitoring programs. *Environ Monit Asses*. 138:131-138. DOI 10.1007/s10661-007-9749-4
- Ruhí A, Herrmann J, Gascón S, Sala J y Boix D. 2012. How do early successional patterns in man-made wetlands differ between cold temperate and Mediterranean regions?. *Limnologica* 42: 328– 339
- Salgado, V.L. 1997. The mode of action of spinosad and other insect control products. *Down to Earth* 52:35-44.
- Salgado, V.L. 1998. Studies on the mode of action of spinosad: insect symptoms and physiology correlates. *Pest Biochem Physiol* 60:91-102.
- Samways, M.J., M.A. McGeoch y T.R. New. 2010. *Insect Conservation. A handbook of Approaches and Methods*. Techniques in Ecology & Conservation Series.
- Sanahuja G., R. Banakar, R.M. Twyman, T. Capell y P. Christou. 2011. *Bacillus thuringiensis: a century of research*. Development & commercial applications. *Plan Biotechnology Journal* 9:283-300.
- Service, M.W. 1976. *Mosquito ecology: Field Sampling Methods*. Wiley & Sons N. Y.

- Schowalter T. 2016. Insects as Regulators of Ecosystem Process. In: Insect Ecology 4th Edition. Academic Press pp. 511-537
- Suh, C.P. y R.C. Axtell. 1999. *Lagenidium giganteum* zoospores: effects of concentration, movement, light and temperature on infection of mosquito larvae. Biol Control 15:33-38.
- Stewart, A., T. New y O. Lewis. 2007. Insect Conservation Biology. The Royal Entomological Society. CABI.
- TEEB, 2010. The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations. Earthscan, London and Washington, D.C..
- Thompson G. D., K. H. Michel, R. C. Yao, J. S. Mynderse, C. T. Mosburg, T. V. Worden, E. H. Chio, T. C. Sparks y S. H. Hutchins. 1997. The discovery of *Saccharopolyspora spinosa* and a new class of insect control products. Down to Earth 52:1-5.
- Thompson, D., R. Dutton y T. Sparks. 2000. Spinosad – a case study: an example from a natural products discovery programme. Pest Management Science. 56: 696-702.
- Thiéry, I., F. Fouque, B. Gaven y C. Lagneu. 1999. Residual activity of *Bacillus thuringiensis* serovars *medellin* and *jegathesan* on *Culex pipiens* and *Aedes aegypti* larvae. J. Am. Mosq. Control Assoc. 15:371-379.
- Travis JMJ y Dytham C. 1999. Habitat persistence, habitat availability and the evolution of dispersal. Proc. R. Soc. Lond. B. 266, 723-728
- Valverde AJ y Hortal J. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. Revista Ibérica de Aracnología. 8: 151-161
- Vellend M. 2010. Conceptual Synthesis in Community Ecology. The Quarterly Review of Biology. 85(2): 183-206
- Verneaux, J., Schmitt, V., Verneaux, V., Prouteau, C., 2003. Benthic insects and fish of the Doubs River systems: typological traits and the development of a species continuum in a theoretically extrapolated watercourse. Hydrobiologia 490, 63–74.

- Walker, K. 2002. A review of control methods for African malaria vectors. Office of Health, infectious Diseases and Nutrition, Bureau for Global Health, U.S. Agency for International Development, under EHP project 26568/CESH.OPR.MAL.LIT. Environmental Health Project. Activity Report 108.
- Walker, D.H., A.G. Barbour, J.H. Oliver, R.S. Lane, J.S. Dumler and D.T. Dennis. 1996. Emerging bacterial zoonotic and vector-borne diseases. *Journal of American Medical Association*. 275, 463–469.
- Wilson, M.E., y A. Spielman. 1994. Vector-borne terrestrial diseases. In *Disease in evolution: Global changes and emergence of infectious diseases*. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 740, 1–503.
- Winch, P. 1998. Social and cultural responses to emerging vector-borne diseases. *Journal of Vector Ecology*. 23, 47–53.
- Wood, D. M., and Borkent, A. 1989. Phylogeny and classification of the Nematocera. In *Manual of Nearctic Diptera*, Vol. 3 (J. F. McAlpine and D. M. Wood, eds.). Res. Board Agri. Canada. Monogr. 32: 1333–1370.

10. ANEXOS

ANEXO 1: FOTOGRAFÍAS DE EJEMPLARES ENCONTRADOS

Orden: Collembola



Hypogastruridae



Agrenia sp. (Isotomidae)

Orden: Ephemeroptera



Callibaetis sp. (Baetidae)

Orden: Odonata



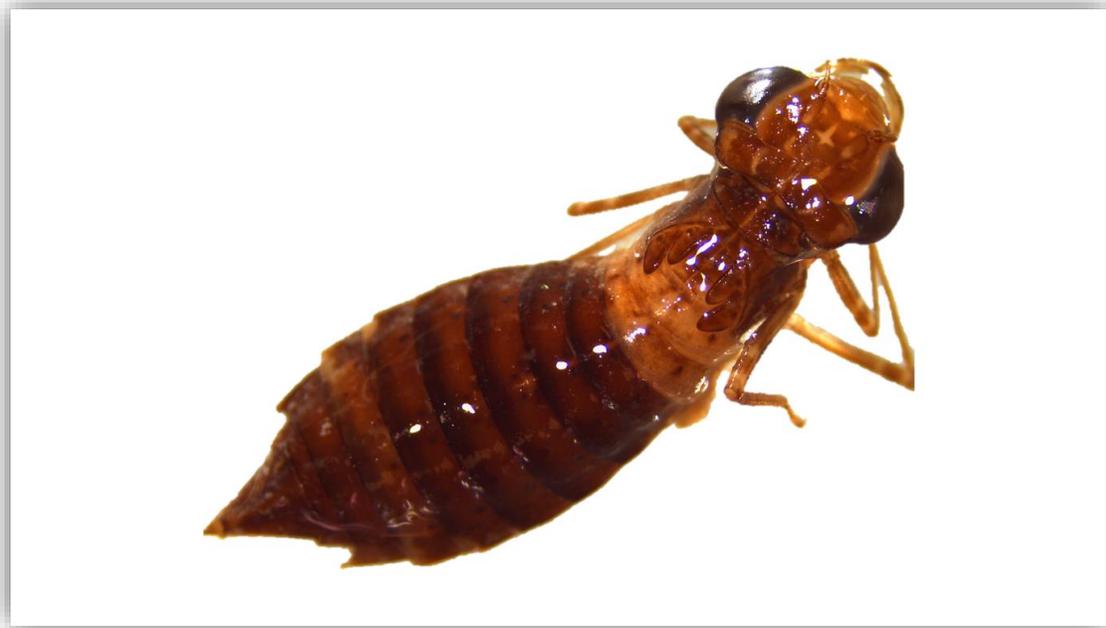
Argia sp. (Coenagrionidae)



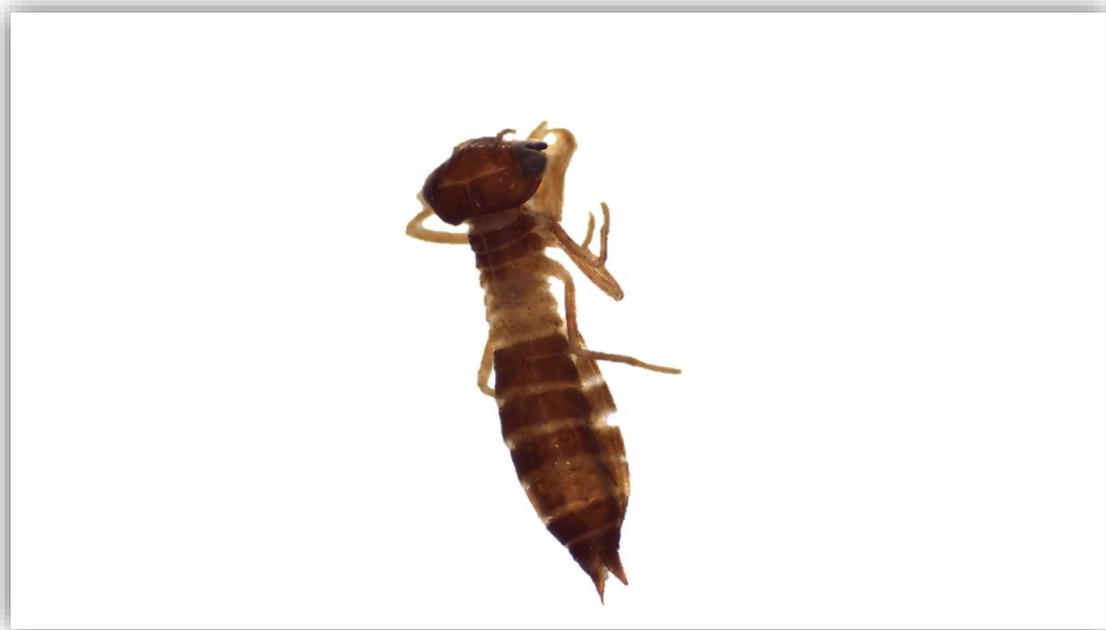
Enallagma sp. (Coenagrionidae)



Ischnura sp. (Coenagrionidae)



Gynacantha sp. (Aeshnidae)



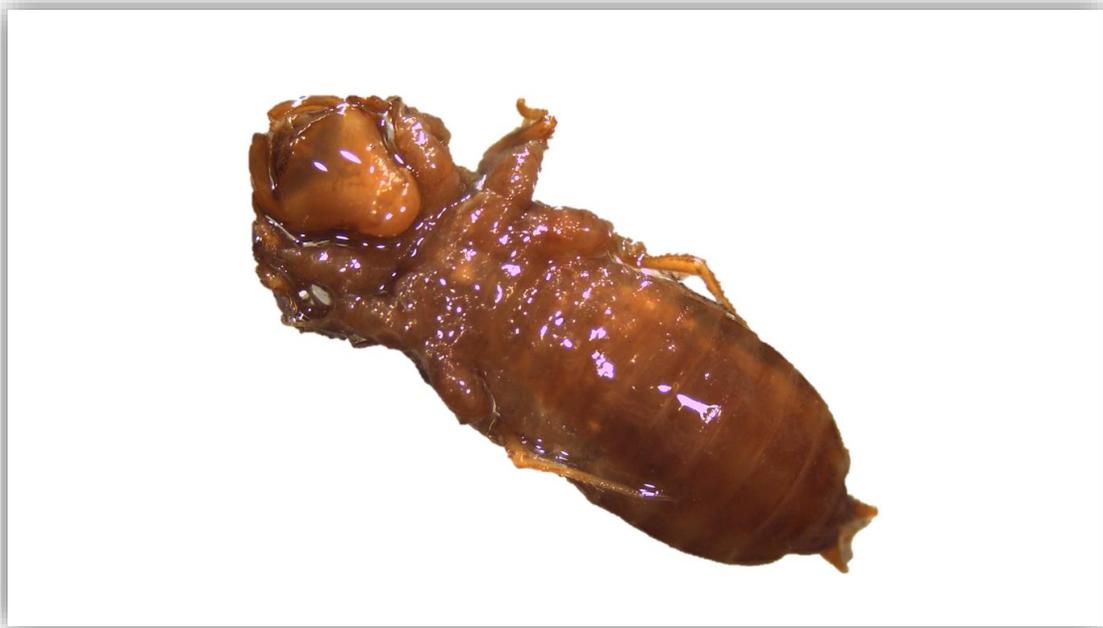
Gomphidae



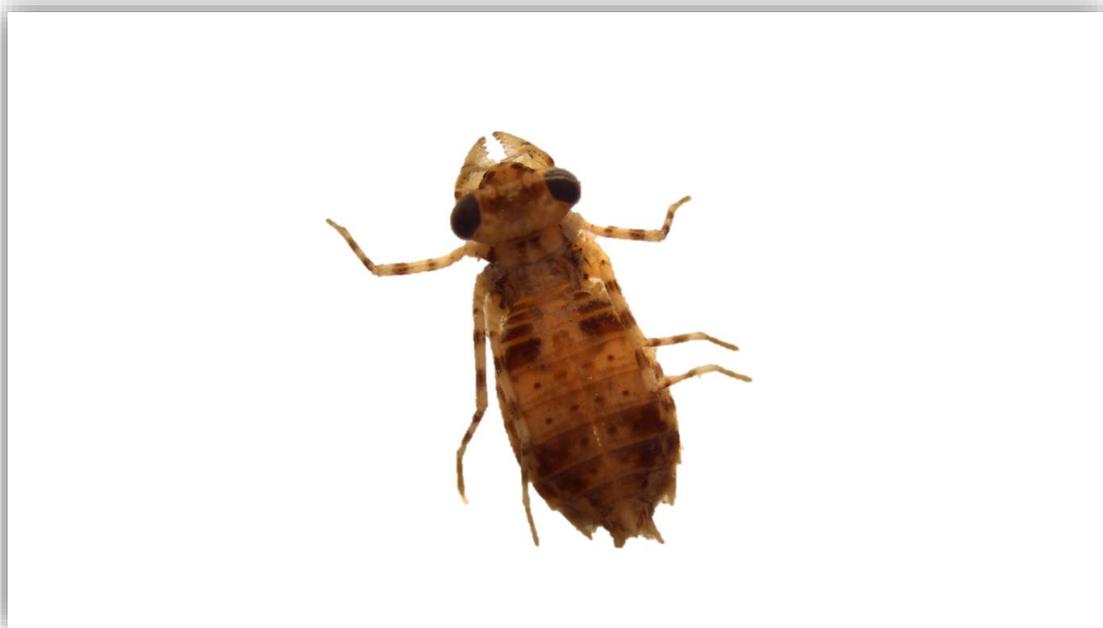
Corduliidae



***Libellula* sp. (Libellulidae)**



Orthemis sp. (Libellulidae)



Pantala sp. (Libellulidae)



Tramea sp. (Libellulidae)

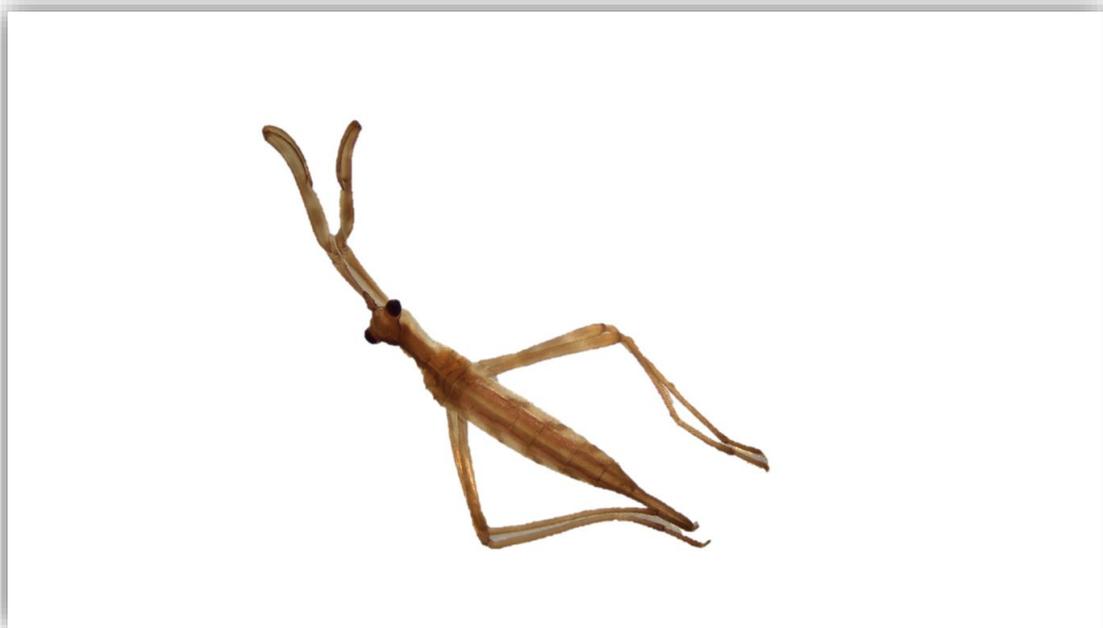
Orden: Hemiptera



Abedus sp. (Belostomatidae)



Belostoma sp. (Belostomatidae)



Ranatra fusca (Nepidae)

Orden: Lepidoptera



Orden: Coleoptera



Hydaticus sp. (Dytiscidae)



Copelatus sp. (Dytiscidae)



Laccophilus sp. (Dytiscidae)



Hoperius sp. (Dytiscidae)



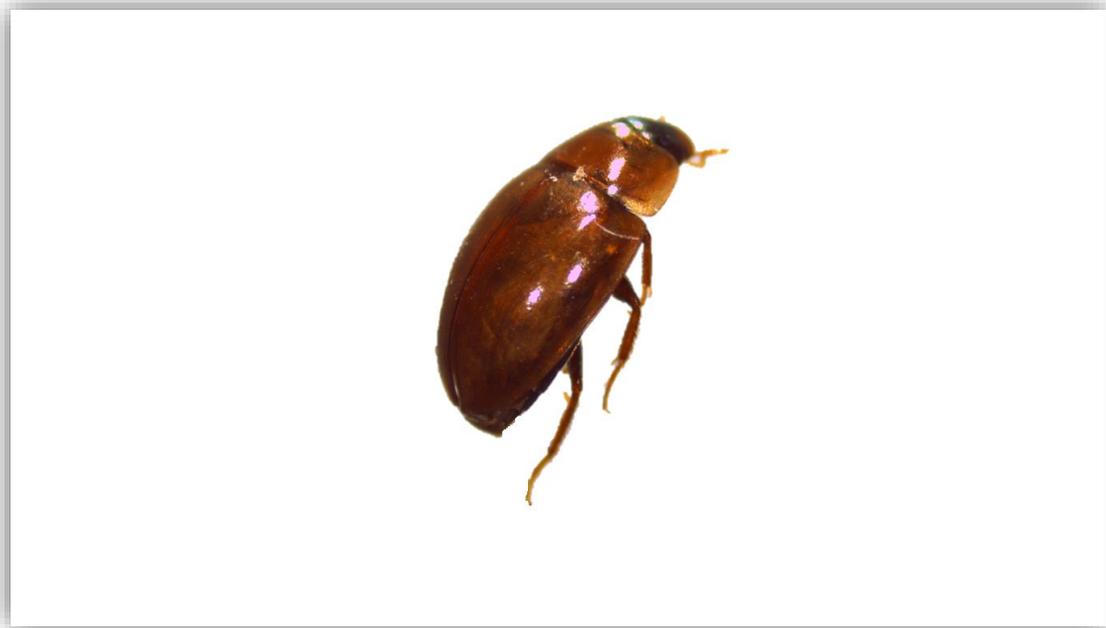
Laccodytes sp. (Dytiscidae)



Larva de *Berosus* sp. (Hydrophilidae)



Adulto de *Berosus* sp. (Hydrophilidae)



Laccobius sp. (Hydrophilidae)



Paracymus sp. (Hydrophilidae)



Larva de *Enochrus* sp. (Hydrophilidae)



Adulto de *Enochrus* sp. (Hydrophilidae)



Helochaers sp. (Hydrophilidae)



Cymbiodyta sp. (Hydrophilidae)



Hydrophilus sp. (Hydrophilidae)



Larva de *Tropisternus* sp. (Hydrophilidae)



Larva de *Hydrobius* sp. (Hydrophilidae)



Adulto de *Hydrobius* sp. (Hydrophilidae)

Orden: Diptera



***Anopheles* sp. (Culicidae)**



Larva de *Culex* sp. (Culicidae)



Pupa de *Culex* sp. (Culicidae)



***Culex interrogator* (Culicidae)**



Culex interrogator (Culicidae). Sifón



Culex thriambus (Culicidae)



Culex coronator (Culicidae)



Culex coronator (Culicidae). Sifón



Culex tarsalis (Culicidae)



Culex tarsalis (Culicidae). Sifón



Culex quinquefasciatus (Culicidae)



Sphaeromias sp. (Ceratopogonidae)



Chironomus plumosus (Chironomidae). Larva



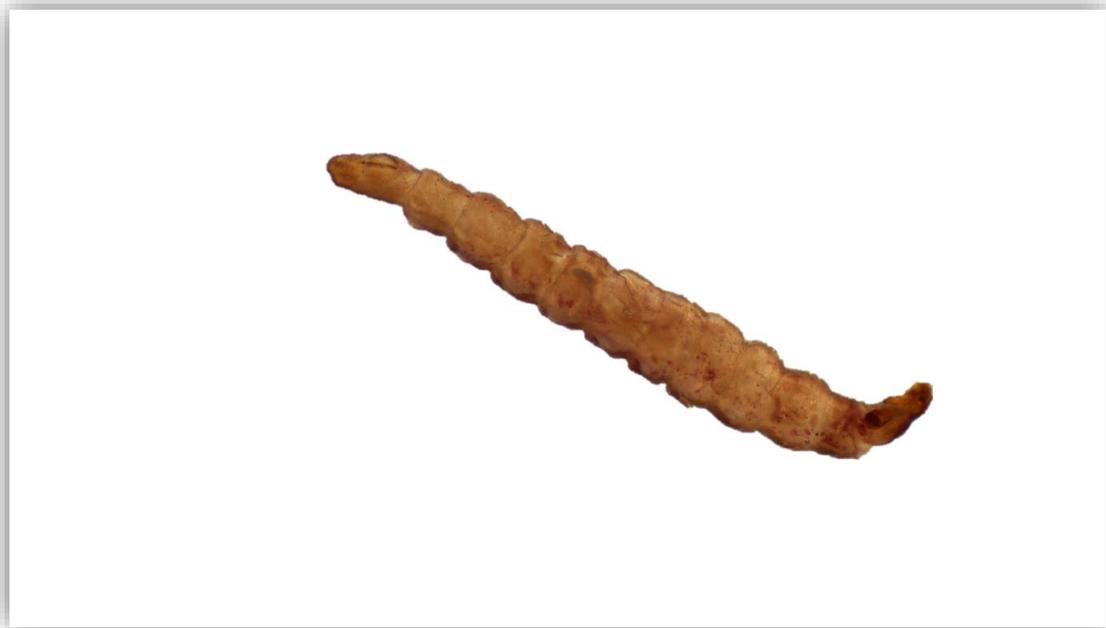
Chironomus plumosus (Chironomidae). Pupa



Subfamilia: Orthocladiinae (Chironomidae)



***Pericoma* sp. (Psychodidae)**



Stratiomys sp. (Stratiomyidae)



Odontomyia sp. (Stratiomyidae)



Chrysops sp. (Tabanidae)



Eristalis sp. (Syrphidae)



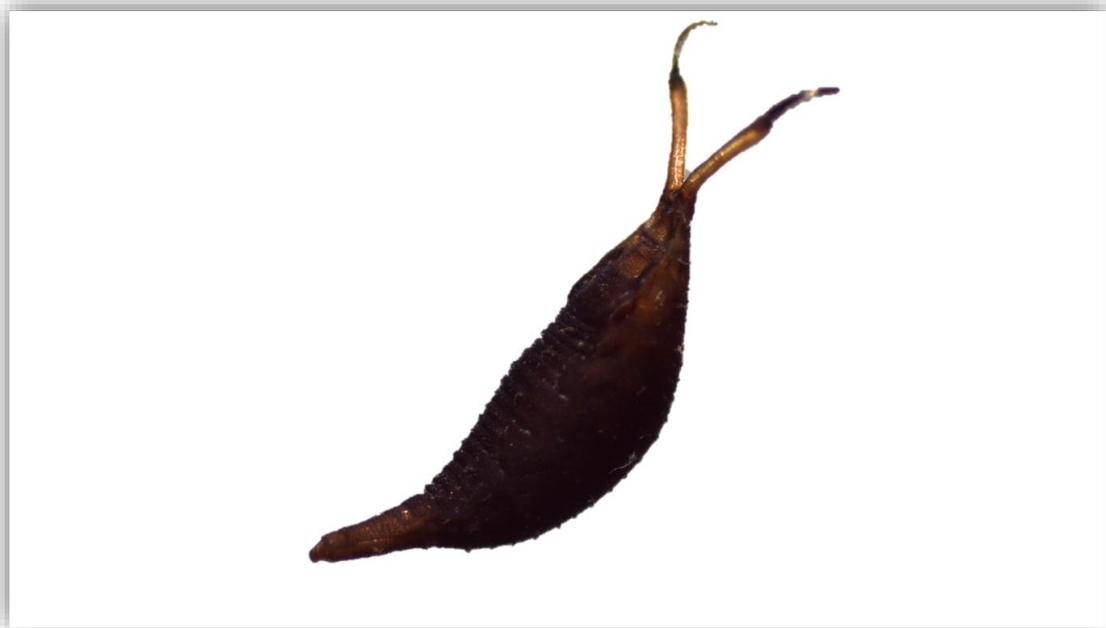
Ephydra sp. (Ephydriidae)



Setacera sp. (Ephydriidae)



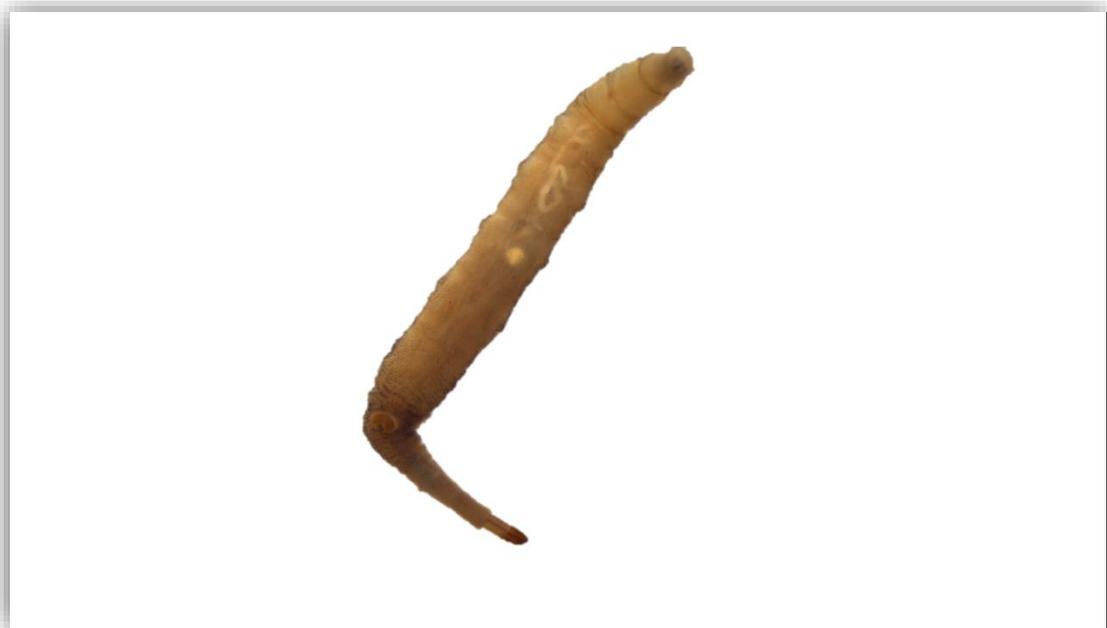
Brachydeutera sp. (Ephydriidae). Larva



Brachydeutera sp. (Ephydriidae). Pupa



Parydra sp. (Ephydriidae)



Ochthera sp. (Ephydriidae). Larva



***Ochthera* sp. (Ephydriidae). Pupa**

11. RESUMEN BIOGRÁFICO

Mara Ivonne Garza Rodríguez

Candidato para el Grado de

Doctor en Ciencias con Acentuación en Entomología Médica

Tesis: SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LAS COMUNIDADES DE INSECTOS ACUÁTICOS Y CONTROL LARVARIO DE *Culex* spp. (Diptera: Culicidae) EN EL RÍO PESQUERÍA, SANTA ROSA, APODACA, NUEVO LEÓN

Campo de Estudio: Ciencias de la Salud

Datos Personales: Nacida en Monterrey, Nuevo León, el 10 de marzo de 1990, hija de Manuel Fernando Garza Villarreal y Eufemia Rodríguez Ortega

Educación: Egresada de la Universidad Autónoma de Nuevo León, grado obtenido Biólogo en 2013.

Experiencia Profesional:

Ayudante en el Laboratorio de Entomología y Artrópodos dentro de la Facultad de Ciencias Biológicas en la UANL.

Profesora en la Unidad de Aprendizaje Fisiografía y Climas y Profesora del Laboratorio de la unidad de aprendizaje: Histología Comparada ambas impartidas en la carrera de Biólogo en la UANL.

Profesora de las materias Biología I, II, Medio Ambiente y Metodología de la Investigación en la Universidad José Vasconcelos Calderón.