

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA



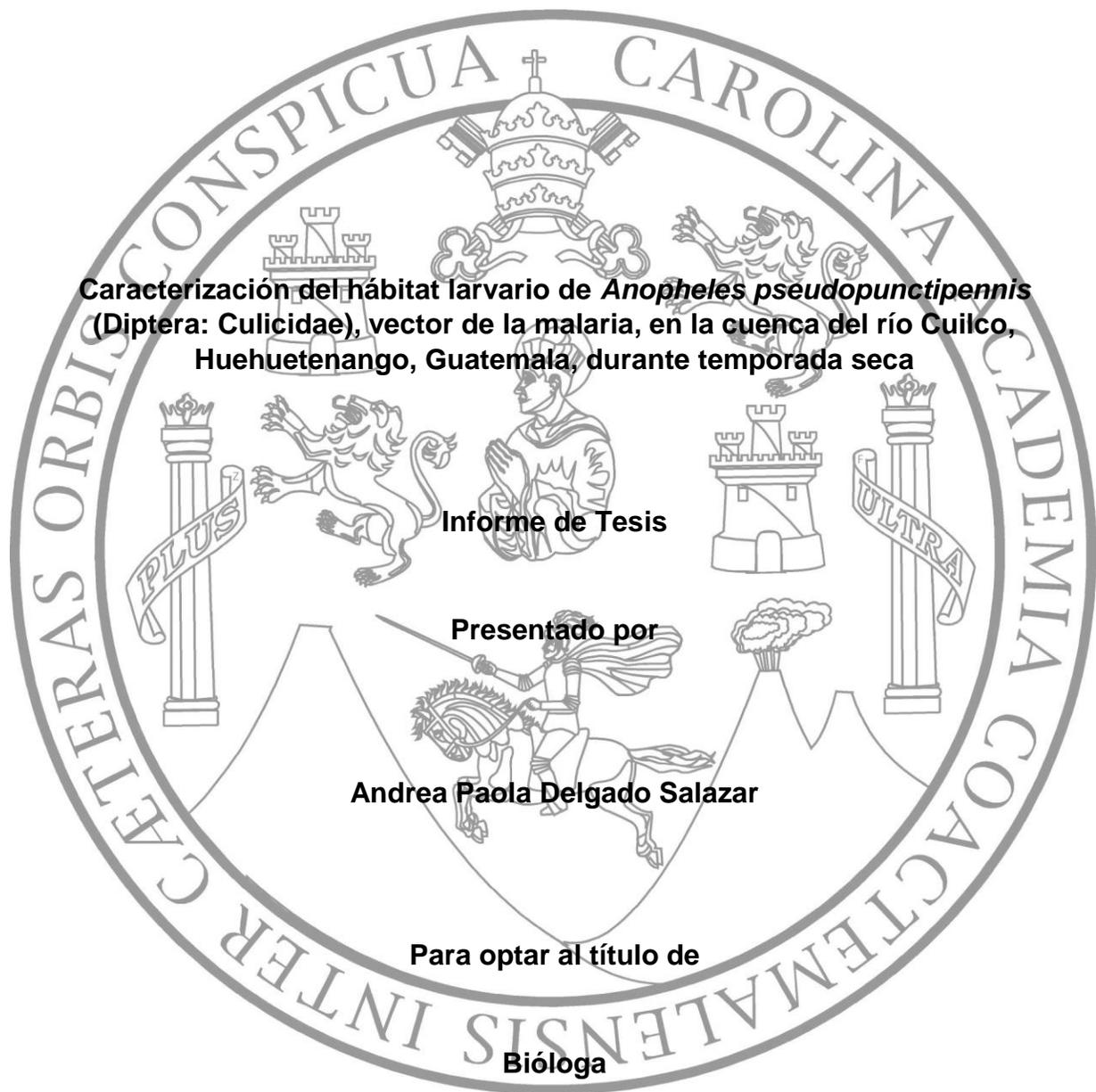
**Caracterización del hábitat larvario de *Anopheles pseudopunctipennis*
(Diptera: Culicidae), vector de la malaria, en la cuenca del río Cuilco,
Huehuetenango, Guatemala, durante temporada seca**

Andrea Paola Delgado Salazar

Bióloga

Guatemala, junio de 2017

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA**



Guatemala, junio de 2017

JUNTA DIRECTIVA

Dr. Rubén Dariel Velásquez Miranda	Decano
Licda. Elsa Julieta Salazar Meléndez de Ariza	Secretaria
M.Sc. Carolina Guzmán Quilo	Vocal I
Dr. Juan Francisco Pérez Sabino	Vocal II
Lic. Carlos Manuel Maldonado Aguilera	Vocal III
Br. Andreina Delia Irene López Hernández	Vocal IV
Br. Carol Andrea Betancourt Herrera	Vocal V

DEDICATORIA

Al Ser Supremo que controla todas las energías y hace que la naturaleza actúe de forma perfecta.

A mi papá, Ángel Delgado, por todo su apoyo que sin eso hubiera sido imposible estar donde estoy, por su amor, y por guiarme siempre por el buen camino.

A mi mamá, Lucrecia Salazar, por TODO, su amor incondicional, por aguantarme en todo momento, momentos de estrés, felicidad extrema, tristezas y por siempre estar allí, animándome y también sin ti no hubiera sido posible alcanzar esta meta.

A mi hermana, Alison Pamela, y mis sobrinos, Fabián, Adrián y Matheo, por creer en mí, y por distraerme siempre en esos momentos de estrés y evitar que colapsara.

A mis abuelitos, Mamá la, Papa Checho, Amandita y Papa Kiko, por SIEMPRE apoyarme y estar pendientes de mí en todo momento.

A mis hermanas de otra madre y de otro padre, Mónica, Melissa, Maura y Daniela por saber que puedo contar con ustedes en todo momento y ser un ejemplo para mí

A mi eterna amiga, Momo, por enseñarme a luchar por lo que quiero sin importar las circunstancias, a ser humilde y hacer las cosas con el corazón, por demostrarme ese amor a la biología y por tu amistad sincera. Un abrazo hasta el cielo. Te extraño.

AGRADECIMIENTO

A mi Alma Mater, Universidad de San Carlos de Guatemala, a la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia y en especial a la Escuela de Biología, por proveerme alimento intelectual.

Al Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Programa de Vectores, por abrirme las puertas de su casa y financiar mi proyecto de investigación.

A Ligia Díaz, por su asesoría y apoyo en el desarrollo de esta investigación.

A todas las personas e instituciones que me abrieron las puertas y me permitieron realizar el trabajo de campo: a LENAP, MSPAS Huehuetenango, Jovani, Noé, Don Roberto, Eleazar, Álvaro. Gracias.

A Ana Fortuny, por revisar mi tesis y animarme a seguir adelante siempre.

A Jorge Jiménez, por ayudarme tanto en estadística y enseñarme el mundo de R.

A Roselvira Barrillas, por su ayuda a la identificación de algas y plantas acuáticas.

Al Gorichu, Eleazar Aguirre, por siempre creer en mí, por apoyarme en TODO momento, por acompañarme a dar TODAS mis vueltas, por ser mi mejor amigo, por confiar en mí, ser mi consejero y por TODO.

A mis fav biofriends, Alecita, Salva, Chiva, Jocy, Panda, por su amistad incondicional y por apoyarme SIEMPRE, son los mejores. Y a todos mis amigos biólogos que hicieron de mi carrera la mejor.

A mis amigos, Andreina, Ale Pinzón, Chofa, Anita, Quebin, Beber, por encargarse de mi recreación y enseñarme la verdadera amistad.

ÍNDICE

1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. ANTECEDENTES	4
3.1 Malaria	4
3.1.1 Malaria en Guatemala.....	6
3.2 Vectores de la malaria	7
3.3 Control de la malaria	7
3.4 <i>Anopheles pseudopunctipennis</i>	9
3.4.1 Clasificación.....	9
3.4.2 Distribución geográfica	9
3.4.3 Biología e importancia epidemiológica.....	11
3.4.4 Estudios previos del hábitat larvario de <i>Anopheles pseudopunctipennis</i>	14
3.6 Descripción del área de estudio	15
3.6.1 San Ildefonso Ixtahuacán, Huehuetenango	15
3.6.2 Clima.....	15
3.6.3 Río Cuilco	16
5.1 Objetivo general	20
5.2 Objetivos específicos	20
6.1 Diseño Experimental	21
6.2 Materiales y equipo	23
6.2.1 Materiales	23
6.2.2 Equipo.....	23
6.3 Recursos humanos	24
6.4 Recursos institucionales	25
6.5 Métodos	25
6.5.1 Trabajo de campo	25
6.5.2 Trabajo de laboratorio.....	26
6.5.3 Análisis estadístico	27
7. RESULTADOS	29
7.1 Normalidad de las variables físicas, químicas y biológicas	29

7.2	Características fisicoquímicas de los sitios de estudio.....	29
7.3	Características biológicas de los sitios de estudio	35
7.4	Pruebas de correlación de Spearman de <i>Anopheles pseudopunctipennis</i> con variables respuesta	38
7.5	Ordenación de los sitios de estudio.....	39
7.6	Relaciones entre las larvas de <i>An. pseudopunctipennis</i> con las comunidades biológicas y la calidad de agua	42
8.	DISCUSIÓN	46
8.1.	Características fisicoquímicas de los sitios de estudio.....	46
8.2.	Composición de las comunidades biológicas en los sitios de estudio.....	48
8.3.	Relaciones entre las larvas de <i>An. pseudopunctipennis</i> con las variables fisicoquímicas y los sitios de estudio.....	50
8.4.	Relaciones entre las larvas de <i>An. pseudopunctipennis</i> con las comunidades biológicas y los sitios de estudio	52
8.4.1.	Relaciones entre las larvas de <i>An. pseudopunctipennis</i> con las comunidades de macroinvertebrados acuáticos y los sitios de estudio	53
8.4.2.	Relaciones entre las larvas de <i>An. pseudopunctipennis</i> con las comunidades de vegetación acuática y los sitios de estudio	55
9.	CONCLUSIONES	57
10.	RECOMENDACIONES	58
11.	REFERENCIAS	59
12.	ANEXOS	66
	Anexo 1. Boleta de campo	66
	Anexo 2. PCA de las variables de calidad de agua.....	68

1. RESUMEN

Anopheles pseudopunctipennis es uno de los vectores de la malaria, la enfermedad vectorial más importante en el mundo (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2014). En Guatemala, el conocimiento sobre la bionomía y ecología larvaria es escaso, lo cual es fundamental para la intervención antivectorial. El objetivo del estudio fue caracterizar el hábitat larvario de *Anopheles pseudopunctipennis*, en el río Cuilco, Huehuetenango, durante temporada seca. Para esto se tomó un transecto de 10 km y se identificaron 7 sitios de estudio, donde se colectaron macroinvertebrados acuáticos y vegetación acuática. Además, se tomaron parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, sólidos disueltos y salinidad) y se llenó una boleta para completar los parámetros físicos.

Con base en los análisis estadísticos, se determinó que el hábitat larvario de *An. pseudopunctipennis* se desarrolla principalmente en pozas a la orilla del río, con agua clara, poco profunda, estancada, expuestas al sol y en época seca. Las larvas de *An. pseudopunctipennis* están correlacionadas positivamente con las larvas del género *Culex* y se encuentran relacionadas con las larvas de las familias *Elmidae*, *Baetidae*, *Gerridae* y *Chironomidae*. Además, se encuentran estrechamente correlacionadas de forma positiva con las algas verdes del género *Cladophora* y *Microspora*.

2. INTRODUCCIÓN

La malaria o paludismo, es un problema de salud pública global y es considerada la enfermedad vectorial más importante en el mundo, incluyendo Guatemala (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2014). Cada año se reportan menos casos de malaria. Esta disminución puede deberse a la participación de los países en iniciativas regionales y proyectos a gran escala para controlar o bien eliminar la malaria. A pesar de eso, en el año 2014 hubo alrededor de 214 millones de casos de paludismo en todo el mundo y unas 438,000 personas murieron a causa de la enfermedad (OMS, 2015a). En Guatemala, para el año 2013, se reportaron 6,214 casos de malaria, disminuyendo 87% con respecto al año 2000 y aun así continúa siendo un problema de salud pública a nivel nacional (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social [MSPAS], 2015).

A Huehuetenango, departamento ubicado en el noroeste de Guatemala, se le considera zona de pre-eliminación, es decir un área en la que las condiciones naturales han limitado la intensidad de la transmisión y los riesgos son bajos (Organización Panamericana de la Salud [OPS] y OMS, 2007), teniendo como objetivo la terminación total y permanente de la transmisión local de la malaria (MSPAS, 2015).

Estudios entomológicos señalan que *Anopheles albimanus* y *An. pseudopunctipennis* son los vectores más importantes en la transmisión, para Mesoamérica (Juárez, 2007), siendo *An. pseudopunctipennis* el más importante para Huehuetenango. Este vector aumenta su densidad en época seca y la actividad de picadura es principalmente intradomiciliar a primeras horas de la madrugada (Fernández, Rodríguez, Roberts y Rodríguez, 1994).

Para el abordaje o intervención antivectorial es de suma importancia intensificar la investigación sobre la biología y ecología de los anofelinos, así como caracterizar y ubicar sus hábitats larvarios. A fin de contribuir al conocimiento de la ecología de los estadios inmaduros de *An. pseudopunctipennis*, del río Cuilco, Huehuetenango, se identificaron y caracterizaron los criaderos, tomando en cuenta los parámetros bióticos y abióticos que determinan la presencia o ausencia de dichos anofelinos.

3. ANTECEDENTES

3.1 Malaria

La malaria, también llamada paludismo, es la enfermedad tropical más prevalente en el mundo, con alta morbilidad y mortalidad y graves repercusiones económicas y sociales (OMS, 2016). Es la enfermedad de mayor impacto a nivel mundial y la enfermedad vectorial más importante (OMS, 2014). Es causada por un parásito del género *Plasmodium* que se transmite a través de la picadura de mosquitos infectivos (OMS, 2015a). Existen 4 especies de *Plasmodium* patógenas para el hombre: *P. falciparum*, *P. vivax*, *P. malariae* y *P. ovale* (López y Molina, 2005), siendo los primeros dos, los principales parásitos. El parásito infecta los tejidos sanguíneos y otros órganos del cuerpo, principalmente el hígado. Los vectores de la enfermedad son mosquitos del género *Anopheles* (Romero, 2007).

La OMS estima que en 2015 hubo 214 millones de casos de paludismo en todo el mundo y que unas 438,000 personas murieron a causa de la enfermedad (OMS, 2015a). Para 2013, habían 3.2 billones de personas en riesgo de contagiarse; ese mismo año la enfermedad causó 584,000 muertes a nivel mundial (OMS, 2015b). Se estima que el 40% de la población mundial (1.6 billones de personas) vive en partes del mundo donde la malaria es endémica (Malaria Mission, 2015). La endemidad de las enfermedades infecciosas está fuertemente influida por factores medioambientales, como la temperatura, la elevación y las condiciones del terreno, la pluviosidad y otros factores meteorológicos (OMS, 2003). La población que se encuentra en áreas endémicas está en riesgo directo de infección vía picadura de mosquito.

Los grupos de población más vulnerables a la malaria son los niños, las embarazadas y los adultos mayores, con altas tasas de mortalidad y efectos

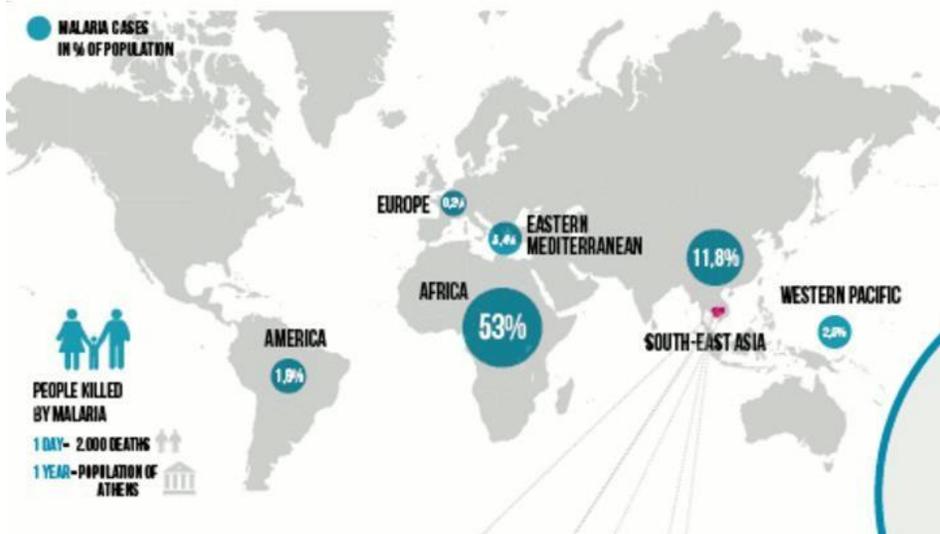
secundarios en los que logran sobrevivir (MSPAS, s.f.). Aparte de los efectos secundarios, deja repercusiones sociales, como jornadas de trabajo perdidas, ausentismo escolar y deterioro en la calidad de vida (MSPAS, s.f.).

La malaria se distribuye principalmente en áreas tropicales húmedas, especialmente en África, Asia, Centro y Sur América (Mapa No. 1 y 2) (Juárez 1992). En esta última región hay transmisión en 9 países que componen la selva amazónica; y de Centro América y el Caribe hay transmisión en 8 países (Menes, García y Rodas, 2009). Dentro de estos ocho países, se encuentra Guatemala, que junto con Honduras y Nicaragua, aportan el 90% de los casos en las Américas (OPS, 2000).



Mapa No. 1: Distribución de malaria a nivel mundial.

Fuente: Malaria Mission, 2015



Mapa No. 2 Porcentaje de casos de malaria en distintas regiones.

Fuente: Malaria Mission, 2015

3.1.1 Malaria en Guatemala

Guatemala es un país endémico para la malaria. Al igual que otros países, tiene diferentes factores que favorecen la transmisión, dentro de los que se encuentran las condiciones ambientales, la migración, los recursos humanos insuficientes, los presupuestos reducidos, la participación comunitaria limitada, la promoción de la salud y educación sanitaria limitada, el presupuesto descentralizado pero insuficiente, así como las amplias zonas ecológicas con condiciones apropiadas (OPS, 2000).

En el año 2005 se reportaron 40,720 casos de malaria; de éstos 39,703 casos correspondían a *P. vivax* y 1,017 casos a *P. falciparum* (MSPAS, 2005). En el 2007

se presentaron 53,292 casos de malaria clínico y 10,184 de malaria confirmado (Centro Nacional de Epidemiología, 2007).

Existen 20 departamentos con reportes de malaria. Únicamente Totonicapán y Sacatepéquez no reportan casos (Centro Nacional de Epidemiología, 2007). Actualmente, sólo en Escuintla se reportan casos por *P. falciparum* (Miranda, 2016). En el año 2015 se reportaron 5,437 casos de malaria en el país, tanto por *P. vivax* como por *P. falciparum* (Tablero de Mando Subvención Malaria, 2015).

3.2 Vectores de la malaria

Los vectores de la malaria son únicamente mosquitos del género *Anopheles*. En el mundo existen aproximadamente 500 especies de anofelinos, que se encuentran en seis diferentes subgéneros. Dentro de éstas hay especies crípticas o morfológicamente indistinguibles (Collin y Paskewitz, 1996). Muchas de estas especies son vectores competentes de malaria, aunque en general la mayoría de especies no transmiten la enfermedad (Mullen & Durden, 2002).

En Guatemala se han reportado 19 especies de anofelinos, de las cuales únicamente 4 están involucradas en la transmisión de dicha enfermedad; siendo estas *An. albimanus*, *An. vestitipennis*, *An. pseudopunctipennis* y *An. darlingi* (Juárez, 2007).

3.3 Control de la malaria

En la mayor parte de las zonas tropicales no es posible la eliminación del paludismo debido a la amplia distribución de las zonas de cría del mosquito, el

número de personas infectadas, la falta de recursos, infraestructura y programas de control (Torrus, 2016), por lo que se debe tomar precauciones para evitar enfermarse.

Entre los medios disponibles para prevenir la malaria destacan los mosquiteros tratados con insecticidas de larga duración (piretroides), el rociamiento residual intradomiciliar y el control biológico (Torrus, 2016). Este último consiste en la acción de parásitos, depredadores o patógenos para mantener la densidad poblacional de anofelinos a un promedio más bajo que el que existiría en su ausencia (Juárez, 2007).

En este caso se puede utilizar bacterias esporogénicas, como *Bacillus sphaericus* y *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis*; también se pueden utilizar peces depredadores, como los peces larvívoros (Juárez, 2007).

Se conoce que los métodos de control biológico son más amigables con el ambiente y con el resto de la biota; sin embargo, el rociamiento de insecticidas y el uso de mosquiteros impregnados, siguen siendo el principal medio para prevenir la malaria. Las experiencias del pasado han demostrado que debe conocerse a fondo la biología de las especies para evitar futuros problemas de reinfestación que pueden llegar a provocar grandes epidemias (Menes y otros, 2009).

3.4 *Anopheles pseudopunctipennis*

3.4.1 Clasificación

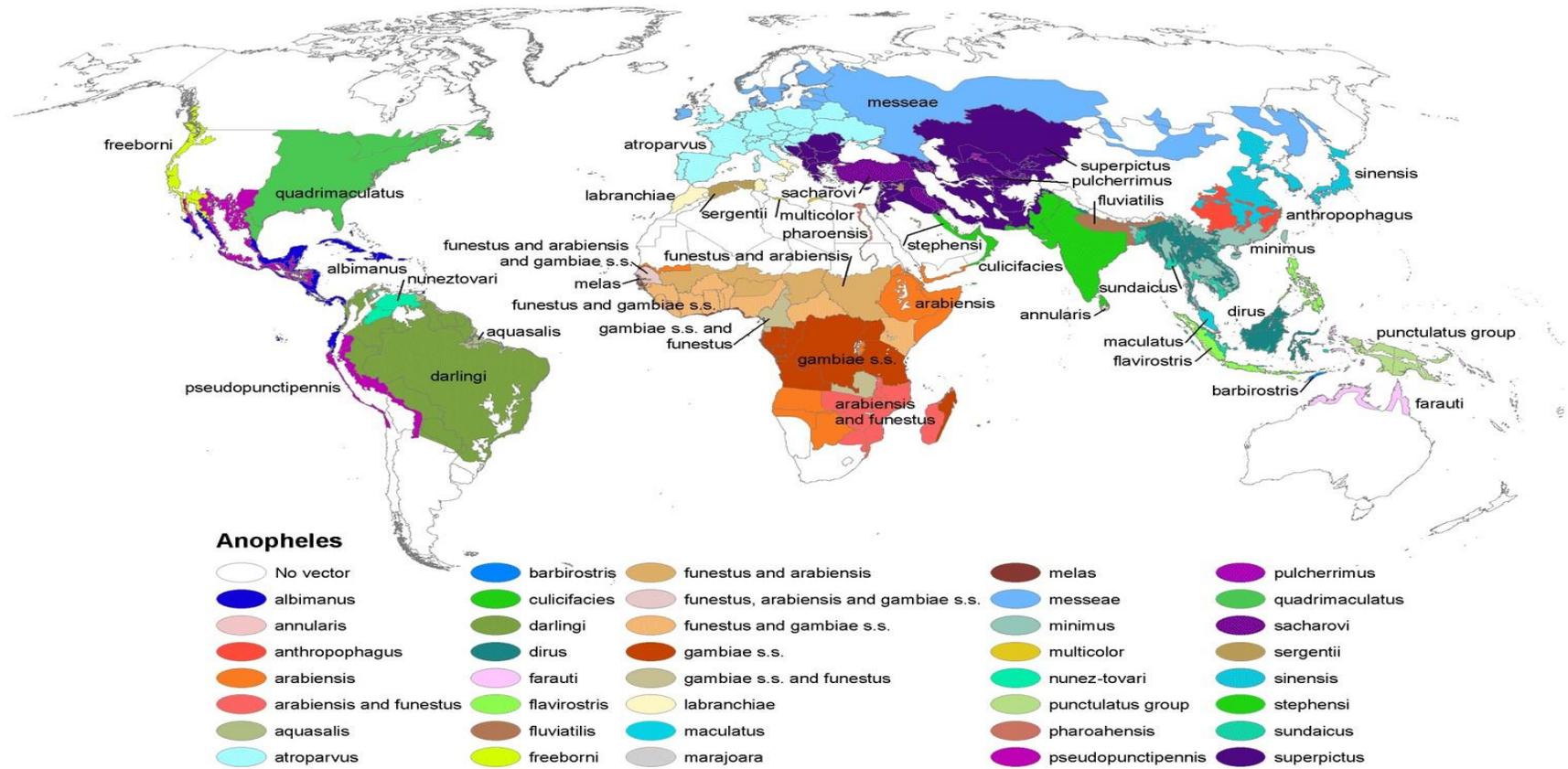
Clase	Insecta
Orden	Díptera
Suborden	Nematocera
Familia	Culicidae
Subfamilia	Anophelinae
Tribu	Anophelini
Género	<i>Anopheles</i>
Especie	<i>Anopheles pseudopunctipennis</i>

(Theobald, 1907)

3.4.2 Distribución geográfica

Anopheles pseudopunctipennis se distribuye en América (Mapa No. 3) principalmente en:

Antigua y Barbuda, Argentina, Belice, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guayana Francesa, Guatemala, Guyana, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Suriname, Estados Unidos y Venezuela (WRBU, s.f.).



Mapa No. 3: Distribución geográfica de *Anopheles*. *An. pseudopunctipennis* se observa de color violeta.

Fuente: Centers for Disease Control and Prevention [CDC], 2008

3.4.3 Biología e importancia epidemiológica

Anopheles pseudopunctipennis pertenece al orden Diptera, por ser insectos con únicamente dos alas. El tamaño de estos mosquitos varía de 5 a 10 milímetros de largo. En la cabeza, el segmento anterior del zancudo, tiene un aparato bucal de tipo chupador o suctopizador, ojos compuestos de tamaño grande, antenas filiformes de 15 segmentos, plumosas para los machos y sin pelo o escasos para las hembras. En el tórax se encuentran los órganos de movilidad, tienen patas largas y alas con nervaduras, cubiertas de escamas. La parte posterior corresponde al abdomen (Romero, 2007; Taylor, 2007).

En su ciclo de vida presentan metamorfosis completa, pasando por las etapas biológicas de huevo, larva, pupa y adulto (Figura 1a); las tres primeras son acuáticas, particularmente en aguas estancadas. Los huevos son depositados por las hembras en la superficie del agua, los cuales flotan mediante la cámara de aire que poseen. Las hembras depositan entre 75 a 150 huevos en cada ovipostura; el desarrollo embrionario se completa después de dos a tres días (Merritt y Cummins, 1996; Romero, 2007).

Las larvas se desarrollan generalmente de 7 a 10 días, cuando las condiciones ambientales son favorables. Al crecer y desarrollarse mudan su exoesqueleto tres veces, pasando por cuatro estadios larvales. En su cuerpo se distinguen tres regiones: cabeza, tórax y abdomen. La cabeza es bien desarrollada y cuenta con cepillos bucales que le sirven para poder alimentarse, principalmente de microorganismos como bacterias, hongos, protozoos y detritos orgánicos que se encuentran en el agua. Las larvas rotan la cabeza 180° de modo que barren la superficie del agua para buscar alimento. La parte torácica de la larva posee cerdas

largas que le permiten romper la tensión superficial del agua y a mantener el equilibrio. El abdomen posee diez segmentos; no poseen sifón respiratorio, por lo que para respirar se colocan en forma paralela a la superficie del agua; poseen un par de espiráculos en el extremo posterior, situados dorsalmente en el octavo segmento del abdomen que les sirve para respirar (Figura 1b). La pupa es móvil, también acuática, y presentan caracteres útiles para la identificación de la especie en los remos natatorios (Merritt y Cummins, 1996; Romero, 2007; Reyes y Sánchez, 2014; Rossi y Almirón, 2004).

Los mosquitos adultos del género *Anopheles*, al descansar sobre una pared, forman una línea recta con la cabeza, tórax y abdomen, trazando un ángulo de 40 a 90 grados con la pared. Las hembras son hematófagas y los machos se alimentan de jugos vegetales (Romero, 2007).

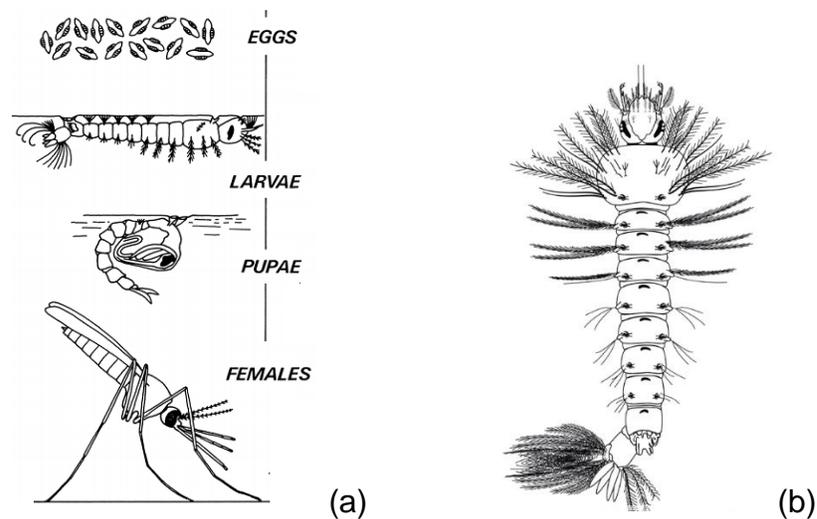


Figura 1. a) Ciclo de vida de *An. pseudopunctipennis*. b) Morfología del cuarto estadio larval de *Anopheles*.

3.4.4 Estudios previos del hábitat larvario de *Anopheles pseudopunctipennis*

Rejmánková, Savage, Rejmanek, Arredondo y Roberts (1991), en su estudio realizado en Chiapas, México, en época de sequía, encuentran que la presencia de las larvas de *An. pseudopunctipennis* está asociada positivamente con las orillas de ríos, las algas verdes filamentosas (*Spirogyra* y *Cladophora*), la altitud y la concentración de nitratos del agua. También presentan una correlación negativa con la conductividad, la turbidez, la profundidad del criadero y la salinidad.

Berti, Gutiérrez, Zimmerman (2004), en su estudio en Venezuela, coinciden con la fuerte asociación de las larvas de *An. pseudopunctipennis* con las algas filamentosas y que está asociada con las orillas de ríos en temporada seca; así también coinciden con su correlación negativa con la salinidad.

Se cree que no se encuentran larvas en temporadas lluviosas, debido a su fuerte asociación con algas verdes presentes a orillas de los ríos y quebradas, las cuales son lavadas al crecer el caudal de los mismos (Rejmánková y otros, 1991).

Berti, González, Vanegas, Guzmán y Amarista (1998), en Venezuela observaron presencia de algas del género *Spirogyra*, en la mayoría de los sitios positivos a larvas de *An. pseudopunctipennis*. En todo caso, la vegetación del criadero es un factor determinante para la presencia o ausencia de las larvas de anofelinos (Savaje, Rejmanková, Arredondo y Roberts, 1990).

3.6 Descripción del área de estudio

3.6.1 San Ildefonso Ixtahuacán, Huehuetenango

El municipio de San Ildefonso Ixtahuacán colinda al norte con los municipios de La Libertad y San Pedro Necta, al este con Colotenango y San Gaspar Ixchil, al oeste con Cuilco y al sur con San José Ojetenam y Concepción Tutuapa, este último pertenece al departamento de San Marcos. Se encuentra a una distancia de 48 kilómetros de la cabecera departamental de Huehuetenango y 298 de la ciudad capital (Gall, 1983).

El municipio presenta una topografía quebrada y con pendientes pronunciadas debido a que se ubica en la Sierra de los Cuchumatanes; cuenta con las montañas de Cuilco, El Retiro y La Peña Blanca; así como los cerros Guiyá, Pix Pix, Serchil y Piedra de Luna. Las condiciones geofísicas corresponden a las tierras metamórficas. El aspecto físico de su orografía muestra la continuación de los Cuchumatanes. Frente a la Sierra se ubica la montaña conocida con el nombre de Cumbre del Papal con una altura aproximada a los 3,000 msnm. También hacia el sur hay una serie de mesetas, en una de las cuales se extiende la llanura donde se ubica la cabecera municipal y las aldeas Ácal y Casaca. De lo alto del terreno se descende al río Cuilco a unos 1,300 msnm y los relieves de altura generan diversidad de climas en el municipio. Hay tres cuencas hidrográficas importantes: Cuilco, Selegua y Gualchinab (Gall, 1983).

3.6.2 Clima

El clima es templado. En la década de los 80s era un poco frío debido a que la cubierta forestal era mayor. En junio 2,003 se identificaron dos zonas bioclimáticas

Holdridge: a) bosque húmedo subtropical templado a una altitud de 1,000 a 1,500 msnm, con clima templado que incluye la cabecera municipal y las aldeas San Miguel, Polajá, Ácal y b) bosque húmedo montano bajo subtropical a una altura de 1,500 a 2,000 msnm, con clima frío, donde se ubican las aldeas Granadillo, La Cumbre, El Papal y Chiquililá. El estudio se realizó en San Miguel, donde el clima es templado. Se marcan dos estaciones al año, el verano abarca los meses de noviembre a abril y el invierno de mayo a octubre. Según las unidades bioclimáticas la temperatura media anual es de 18 a 24 °C en la parte baja y de 12 a 18 °C en la parte alta. La altitud promedio es de 1,580 a 2,400 msnm; la precipitación pluvial anual es de 1,000 a 1,500 milímetros y la humedad relativa del suelo tiene relación con el clima en la parte alta. En la parte baja sólo tiene humedad en la estación de invierno (Insivumeh, s.f; Gall, 1983).

3.6.3 Río Cuilco

El territorio de la República de Guatemala, se divide en tres grandes vertientes, según la hidrología. Estas tres vertientes se dividen en regiones donde desembocan los ríos que atraviesan o nacen en el territorio guatemalteco (Insivumeh, s.f.).

Estas tres vertientes son: El Pacífico, el Atlántico y el Golfo de México. Cuilco pertenece a esta última vertiente. La vertiente del Golfo de México se caracteriza porque las crecidas son de larga duración, los cauces son relativamente estables, los recorridos más sinuosos, las pendientes son relativamente suaves y la precipitación media es de 2,500 mm anuales (Insivumeh, s.f.).

El río Cuilco cuenta con un área de 2,274 km², es afluente del río Grijalva. Nace en la Sierra Madre, en los Altos de Guatemala, al norte de Cajolá, donde se conoce

como río Blanco. El río Blanco se une al río Las Manzanillas, que a su vez se une al río San Isidro, para formar el río Cuilco. En Guatemala el Cuilco recorre los municipios de Cuilco, Colotenango, San Gaspar Ixhil e Ixtahuacán, del departamento de Huehuetenango, y unos municipios del departamento de San Marcos. Desde allí baja hasta la Depresión Central de Chiapas, México. Bordea las faldas del Volcán Tajumulco, Volcán Tacaná, la Sierra Madre del occidente guatemalteco y de Chiapas (García, 2014).

Es el segundo río más caudaloso del sureste mexicano, pero el más importante para Chiapas, ya que nutre las enormes presas La Angostura, Chicoasén y Nezahualcóyotl, antes de internarse en Tabasco (García, 2014).

Tiene sus fuentes en las montañas de los municipios de Tejutla y Comitancillo y penetra en San Miguel Ixtahuacán como río Agua Caliente. Cambia el nombre en San Gaspar Ixichil donde finalmente se le reconoce como río Cuilco (García, 2014).

Las corrientes de Cuilco corren de Este a Oeste por el Sur del municipio de Ixtahuacán y recibe por el lado Oeste las corrientes de Ipala, Chomlá y Coxtón. Después de una trayectoria aproximadamente de 12 kilómetros pasa por el municipio de Colotenango y entra en el municipio de Cuilco (García, 2014).

No hay registros de las características fisicoquímicas y biológicas del río Cuilco en su trayecto por Huehuetenango.

4. JUSTIFICACIÓN

La malaria es la enfermedad vectorial más seria que afecta a los humanos (Banco Mundial, 1993), es una enfermedad endémica en la mayoría de los países tropicales y sub-tropicales, donde vive cerca del 40% de la población mundial. Existen cerca de 400 millones de nuevos casos de malaria anualmente, con 2-3 millones de muertes (OMS, 2010). En América Latina el riesgo de transmisión es mayor por debajo de los 1,500 msnm. El pico de transmisión es al final de la estación de las lluvias (Rodríguez, López, Harter, Vilca y Cárdenas, 2008). En Guatemala la malaria es un problema de salud; para el año 2013 se reportaron 6,214 casos, lo cual indica una disminución del 87% con respecto al año 2000 (MSPAS, 2015).

La epidemiología y la biología de los vectores están fuertemente entrelazadas. Los factores ambientales también juegan un papel importante, afectando el comportamiento del vector, el hospedero vertebrado y el parásito mismo. Consecuentemente, se puede presentar una amplia variedad en cuanto al número de especies o poblaciones de anofelinos que pueden desarrollarse como vectores eficientes en diversos hábitats, cada uno con su propio set único de requerimientos biológicos y ecológicos (Menes y otros, 2009).

Algunas características, como el efecto de factores inherentes al criadero, pueden reflejarse en la reducción o abundancia de una especie de mosquito. Estos factores en las condiciones de ciertos criaderos pueden verse limitados a temperatura, disponibilidad de alimento, relación con patógenos y depredadores y características de la vegetación litoral (González, 2005).

En el 2011 Guatemala aprueba el proyecto “Iniciativa Multisectorial para Implementar y Consolidar las Estrategias de Prevención y Control para la Pre Eliminación de Malaria en Guatemala”, que tiene como objetivo implementar estrategias para el control, pre-eliminación y eliminación de malaria para esta década, y para el año 2025 la certificación como zona libre de malaria (MSPAS, 2015).

El equipo técnico del Programa de Malaria del Ministerio de Salud dividió en tres la zona endémica de malaria, de acuerdo a indicadores epidemiológicos: Zona de control, Zona de pre-eliminación y Zona de eliminación de la malaria por *P. falciparum*. Huehuetenango, es uno de los departamentos pertenecientes a la Zona de Pre-eliminación, es decir, “área donde las condiciones naturales y los esfuerzos de control han limitado la intensidad de la transmisión a un punto marginal en el que el riesgo es bajo y circunscrito a áreas geográficas bien definidas” (OPS y OMS, 2007). En esta zona, el objetivo es reducir el número de casos a niveles manejables, con una prevalencia anual menor a 1 caso por cada 1,000 personas en riesgo.

Para lograr dicho objetivo es necesario realizar estudios en los focos activos, sobre la bionomía de los vectores, lo cual incluye el conocimiento sobre las fases inmaduras. Esto último también ayudará para el abordaje de criaderos productivos, que es una estrategia ecológicamente adecuada, ya que reducirá la dependencia de los insecticidas (MSPAS, 2015) en las zonas en las que esta estrategia sea adecuada.

Por otra parte, actualmente no hay estudios previos de la caracterización del hábitat larvario de *An. pseudopunctipennis* en Guatemala, lo cual es necesario a fin de tener fundamentos para plantear estrategias eficaces de control vectorial y conocer de mejor manera la cadena de transmisión.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Caracterizar el hábitat larvario de *Anopheles pseudopunctipennis* Theobald (1901), vector de la malaria, en el río Cuilco, Huehuetenango, Guatemala, durante temporada seca.

5.2 Objetivos específicos

Determinar la relación ecológica de las larvas de *An. pseudopunctipennis* con la entomofauna del río Cuilco, Huehuetenango.

Determinar la relación ecológica entre las larvas de *An. pseudopunctipennis* con algas y plantas acuáticas que se encuentren en el río Cuilco, Huehuetenango.

Relacionar los parámetros fisicoquímicos del cuerpo de agua con la presencia de larvas de *An. pseudopunctipennis*.

Vincular la estructura del hábitat ribereño con los criaderos de *An. pseudopunctipennis*.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Diseño Experimental

Universo: Está constituido por todas las especies de macroinvertebrados acuáticos, algas y plantas acuáticas, presentes en el río Cuilco, Huehuetenango.

Muestra: Está constituida por todas las especies de macroinvertebrados acuáticos, algas y plantas acuáticas, presentes específicamente en 10 km del río Cuilco, que atraviesan el caserío Chejoj, Agua Caliente, Vega de San Miguel, La Hamaca e Ixcantzei; todas pertenecientes al municipio San Ildefonso Ixtahuacán, Huehuetenango (Cuadro 1). En el cuadro 2 aparece la nomenclatura de los códigos.

Cuadro 1: Nombre y coordenadas de los sitios de muestreo

Nombre	Coordenadas Este	Coordenadas Norte
Caserío Chejoj	91°52'08.7"	15°22'40.4"
Caserío Chejoj	91°51'38.0"	15°24'01.2"
Agua Caliente	91°51'01.8"	15°23'58.1"
Vega de San Miguel	91°50'38"	15°23'29.4"
Vega de San Miguel	91°50'05.4"	15°23'17.7"
Caserío La Hamaca	91°50'04.1"	15°23'17.5"
Caserío Ixcantzei	91°49'14.9"	15°22'51.0"

Cuadro 2: Nomenclatura de códigos

Código	Significado	Código	Significado
S1	Sitio 1	V1	Primer muestreo
S2	Sitio 2	V2	Segundo muestreo
S3	Sitio 3	V3	Tercer muestreo
S4	Sitio 4	V4	Cuarto muestreo
S5	Sitio 5	V5	Quinto muestreo
S6	Sitio 6	V6	Sexto muestreo
S7	Sitio 7	V7	Séptimo muestro

Experimento

Con la finalidad de caracterizar el hábitat larvario de *An. pseudopunctipennis* Theobald, vector de la malaria, se colectaron larvas anofelinas, así como todos los macroinvertebrados que conviven con las mismas. También se colectaron plantas acuáticas y algas que comparten el hábitat con las larvas anofelinas. Se midieron parámetros fisicoquímicos para poder relacionarlos con la presencia de larvas anofelinas. Se tomaron muestras una vez al mes, durante la temporada seca, empezando en el mes de enero y finalizando en el mes de julio del año 2016.

Unidad Experimental: Siete sitios que se distribuyen en 10 km del río Cuilco. Cada sitio tenía 1.4 km de por medio y cada sitio constó de 50 m de longitud, donde se tomaron cinco muestras por sitio. Los sitios se encuentran al borde del río.

Variables independientes: Plantas acuáticas, algas, especies de macroinvertebrados y parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, salinidad, profundidad, turbidez, altitud, sólidos disueltos).

Variables dependientes: Presencia o ausencia de *An. pseudopunctipennis*.

6.2 Materiales y equipo

6.2.1 Materiales

- Bolsas ziploc
- Botes de plástico y vidrio para el almacenamiento de las muestras
- Viales
- Marcador permanente
- Maskin tape
- Tape
- Papel periódico
- Palo de escoba
- Hojas de papel bond
- Hojas de papel algodón para la elaboración de etiquetas
- Alcohol 95%

6.2.2 Equipo

- Estereoscopio
- GPS
- Pinzas entomológicas
- Micropipetas plásticas
- Larvero o cucharón

- Multímetro portátil Hanna
- Cinta métrica
- Prensa botánica
- Claves dicotómicas para la determinación de especies de larvas anofelinas
- Claves dicotómicas para la determinación de macroinvertebrados acuáticos
- Claves dicotómicas para la determinación de algas y plantas acuáticas.
- Computadora portátil.

Cristalería

- Cajas de Petri

6.3 Recursos humanos

- Asesores de tesis: Licda. Ligia Díaz
- Revisora de tesis: Licda. Ana Fortuny
- Tesista: Andrea Delgado
- Asistentes de campo: Personal de Vectores y del Subprograma Malaria del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social
- Ayuda para la identificación de algas y plantas acuáticas: Licda. Roselvira Barrillas
- Ayuda en la parte estadística: Lic. Jorge Jiménez

6.4 Recursos institucionales

- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Programa de Vectores.
- Laboratorio de Entomología Aplicada y Parasitología (LENAP), Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

6.5 Métodos

6.5.1 Trabajo de campo

La colecta se realizó una vez al mes durante seis meses en temporada seca del año 2016, empezando en el mes de enero y finalizando en el mes de julio (en el mes de junio no se tomaron datos). Los parámetros químicos (temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, sólidos disueltos, salinidad) se midieron con el multímetro portátil Hanna; y se llenó una boleta obtenida de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, por sus siglas en inglés), adaptada para la presente investigación, esto para obtener los parámetros físicos (Anexo 1). Lo anterior se realizó para cada una de las unidades experimentales.

Para la colecta de macroinvertebrados acuáticos se utilizó un larvero o cucharón (Figura 3). Cada unidad muestral consistió en un arrastre, donde se descartó el exceso de agua y el resto se depositó en una bolsa ziploc debidamente identificada. Posteriormente, se trasladaron las muestras a frascos plásticos con alcohol al 95%.

La colecta de plantas acuáticas y algas se realizó en cada unidad experimental, éstas se colectaron con la mano directamente y luego se colocaron en papel periódico para absorber el agua. En la noche se cambiaron de papel periódico y se colocaron en una prensa botánica, para su traslado y posterior identificación.



Figura 3: Larvero o Cucharón

6.5.2 Trabajo de laboratorio

Primero se limpiaron y separaron los especímenes de las muestras colectadas. Eso se realizó con la ayuda del estereoscopio; los especímenes se colocaron en frascos plásticos con alcohol al 95%. Posteriormente se identificaron mediante claves taxonómicas hasta el nivel taxonómico posible. Las larvas anofelinas fueron identificadas hasta especie. Luego se almacenaron en viales con alcohol al 95% y se ingresaron a la colección de entomología del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

6.5.3 Análisis estadístico

Se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov corregida por Lilliefors para obtener la normalidad de las variables fisicoquímicas y biológicas.

Se realizaron gráficas de boxplot, como estadística descriptiva para evaluar las variables fisicoquímicas de cada sitio de estudio y para evaluar la riqueza de las especies de macroinvertebrados y vegetación acuática, así como para evaluar la abundancia de *An. pseudopunctipennis* por sitio de estudio.

Se realizó la prueba de Duncan para hacer comparaciones múltiples de los sitios de estudio por cada variable fisicoquímica y biológica.

Se utilizó la prueba de correlación de Spearman para asociar las larvas anofelinas con variables respuestas.

Para la ordenación de los sitios de estudio con base en las variables de calidad de agua se realizó un análisis de componentes principales (PCA por sus siglas en inglés). Para la ordenación de los sitios de estudios con base en las variables de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y vegetación se realizaron dos análisis de coordenadas principales (PCoA por sus siglas en inglés).

Para relacionar las larvas de *An. pseudopunctipennis* con la comunidad de macroinvertebrados acuáticos se elaboró una gráfica de dispersión y se realizó lo

mismo para relacionar las larvas anofelinas con la vegetación acuática y la calidad del agua.

Se utilizó el programa R para todos los análisis.

7. RESULTADOS

7.1 Normalidad de las variables físicas, químicas y biológicas

Para evaluar la normalidad de las variables se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov, corregida por Lilliefors. La mayoría de las variables no presentaron una distribución normal (no normales), únicamente la temperatura del agua y el pH ($p > 0.05$). La variable de interés, "*Anopheles pseudopunctipennis*", tampoco tuvo una distribución normal, por lo que para el resto de los análisis se utilizaron pruebas no paramétricas.

Cuadro 3. Valores de p de la prueba de normalidad y clasificación de normal o no normal, de las variables físicas, químicas y biológicas.

Variables	Valores de p	Normal o No normal
Temperatura del agua	0.8766	Normal
pH	0.9359	Normal
Conductividad	0.0003545	No Normal
Oxígeno Disuelto	5.03E-05	No Normal
Sólidos Disueltos	0.01363	No Normal
Salinidad	0.001469	No Normal
Profundidad	8.49E-07	No Normal
Especies Vegetales	9.93E-05	No Normal
Especies de macroinvertebrados	3.26E-02	No Normal
<i>Culex coronator</i>	4.96E-12	No Normal
<i>Anophles pseudopunctipennis</i>	5.65E-09	No Normal

7.2 Características fisicoquímicas de los sitios de estudio

Al comparar los valores de los parámetros fisicoquímicos entre los sitios de estudio se nota que el pH, conductividad, oxígeno disuelto, salinidad, profundidad,

tienen la mediana muy similar entre los sitios, es decir que no hay diferencia en dichas variables para cada uno de los sitios de estudio. En cambio, la temperatura del agua para el sitio 6 tiene un rango relevante según la mediana. La cantidad de sólidos disueltos del sitio 1 y 2 forman un grupo significativo al igual que los sitios 6 y 7 (Figuras 4 a la 10). De las características físicas se puede notar que la turbidez del agua, la presencia de aceites en la superficie del agua y la contaminación fueron mayores para todos los sitios en los primeros muestreos (meses de enero y febrero) en época seca; los últimos muestreos que se realizaron al empezar la época lluviosa disminuyeron dichas características (Figuras 11 a la 13). Todo esto se terminó de verificar con una prueba de comparaciones múltiples (Test de Duncan), que permitió comparar las medias de las variables de cada sitio y así agrupar a las medias más similares y poder comparar cada sitio (Cuadro 4).

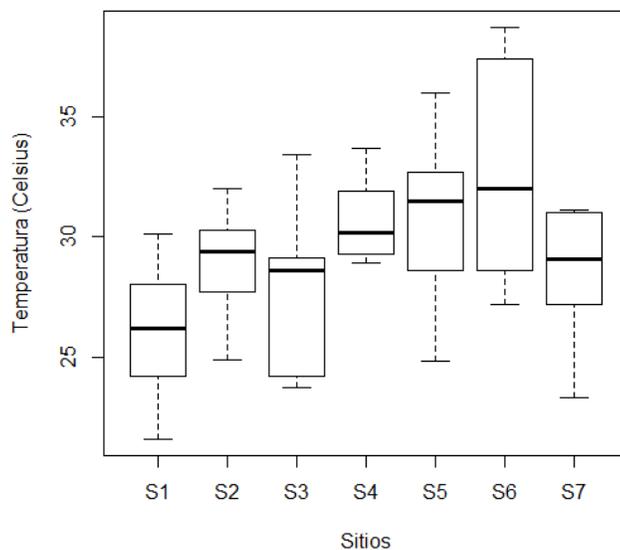


Figura 4. Diagrama de cajas de Tukey para los valores de temperatura en los sitios de estudio.

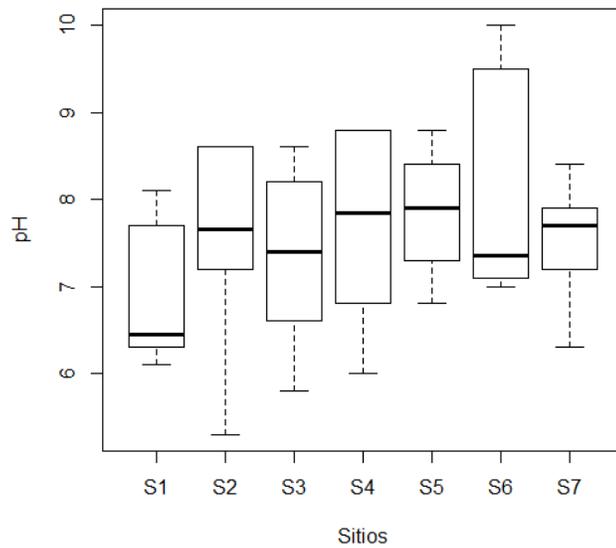


Figura 5. Diagrama de cajas de Tukey para los valores de pH en los sitios de estudio.

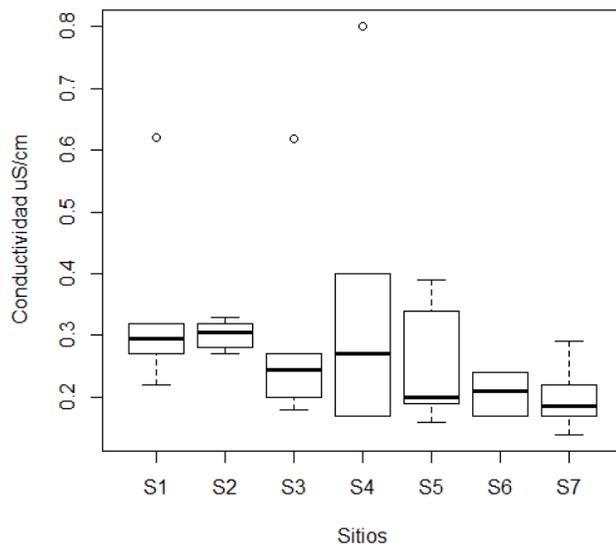


Figura 6. Diagrama de cajas de Tukey para los valores de conductividad en los sitios de estudio.

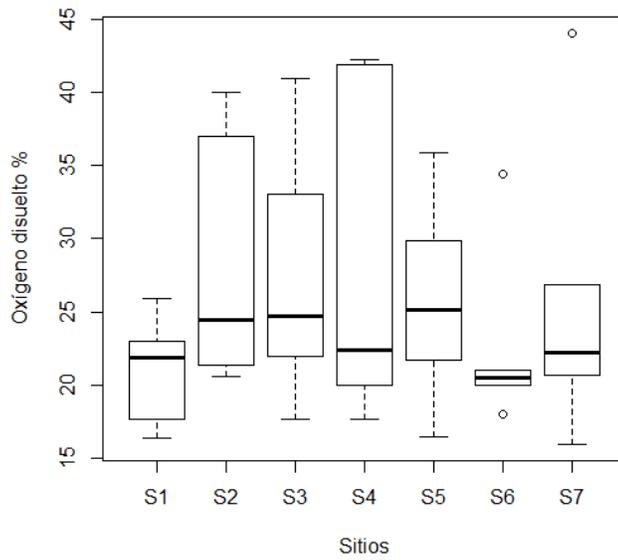


Figura 7. Diagrama de cajas de Tukey para los valores de oxígeno disuelto en los sitios de estudio.

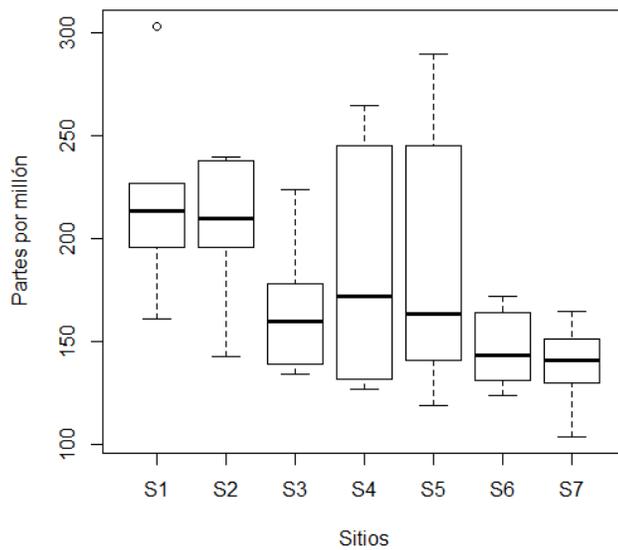


Figura 8. Diagrama de cajas de Tukey para los valores de sólidos disueltos en los sitios de estudio.

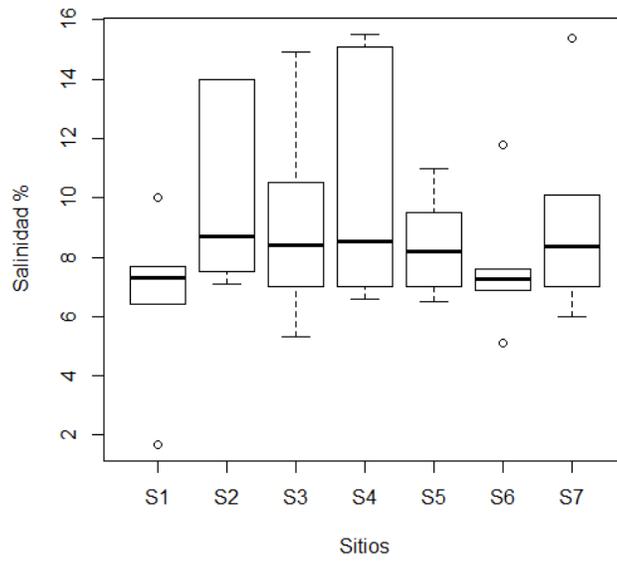


Figura 9. Diagrama de cajas de Tukey para los valores de salinidad en los sitios de estudio.

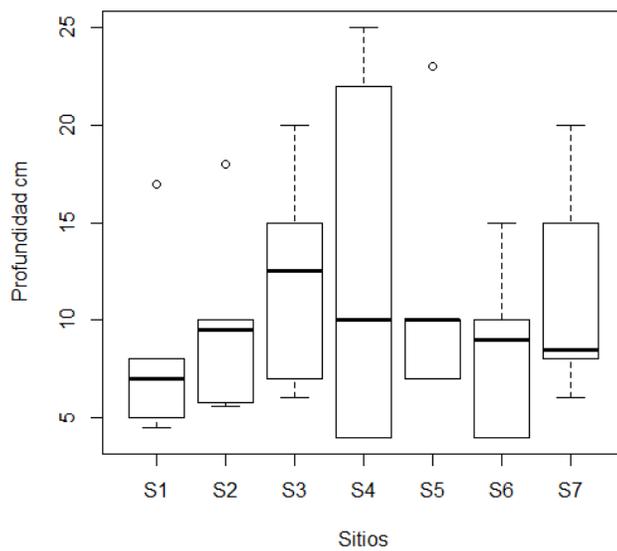


Figura 10. Diagrama de cajas de Tukey para los valores de profundidad en los sitios de estudio.

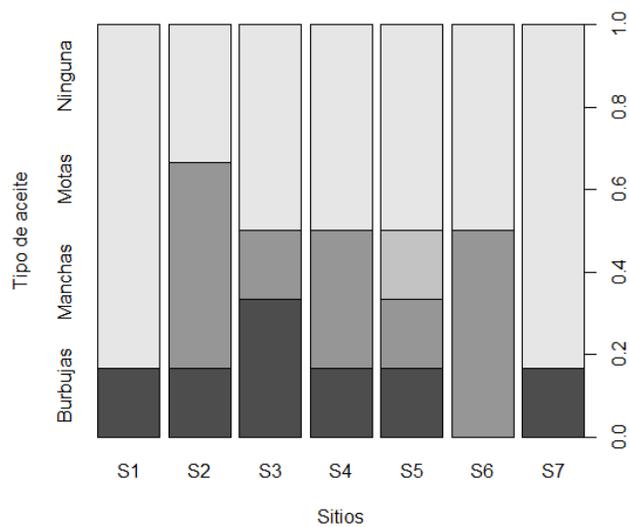


Figura 11. Diagrama de columnas apiladas para los tipos de aceites en las superficies del agua en los sitios de estudio. En la escala de grises, el color más oscuro pertenece a burbujas, luego continúa manchas, motas y por último el color más claro pertenece a ningún tipo de aceite.

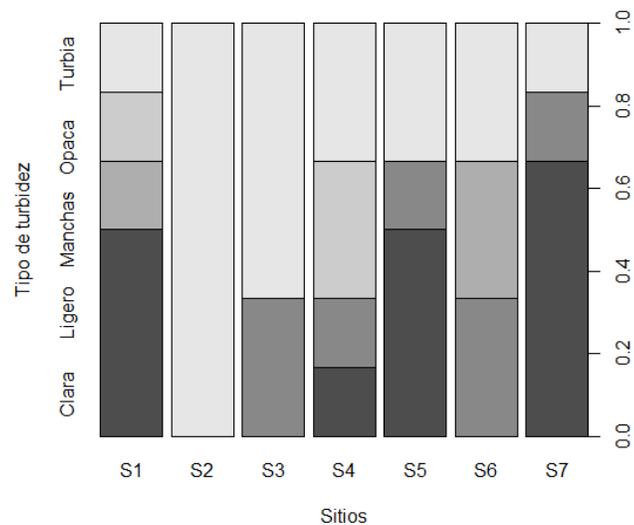


Figura 12. Diagrama de columnas apiladas para los tipos de turbidez del agua en los sitios de estudio. En la escala de grises, el color más oscuro pertenece a clara, luego continúa ligero, manchas, opaca y por último el color más claro pertenece a turbia.

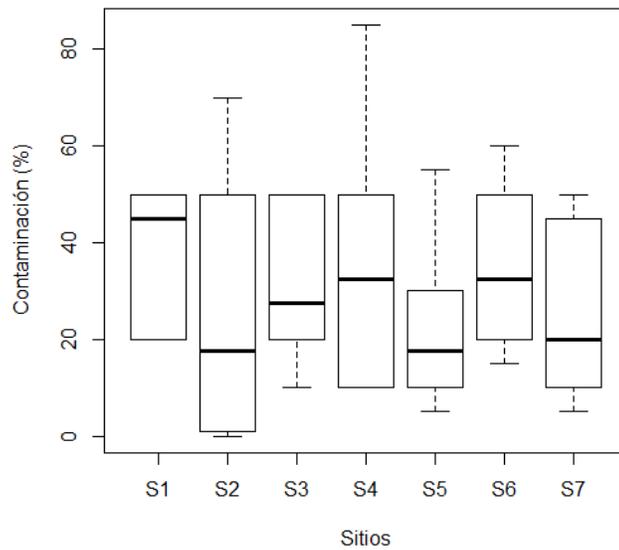


Figura 13. Diagrama de cajas de Tukey para los porcentajes de contaminación en los sitios de estudio.

7.3 Características biológicas de los sitios de estudio

Se puede observar que la riqueza de macroinvertebrados acuáticos conforman un solo grupo por no tener diferencias significativas entre cada sitio. En cambio, la riqueza de la vegetación acuática se observa que es significativamente mayor en el sitio 3 y menor en los sitios 4 y 6. La abundancia de *An. pseudopunctipennis* es mayor en los sitios 2 y 5 y menor en el sitio 7 (Figuras 14 a la 16 y Cuadro 4).

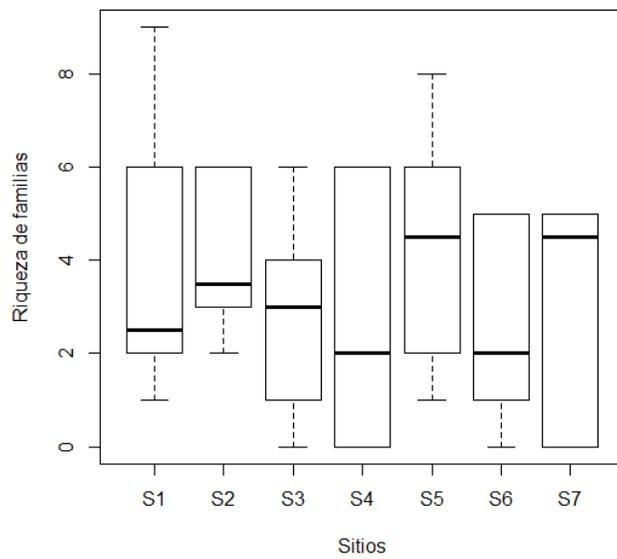


Figura 14. Diagrama de cajas de Tukey para riqueza de familias de macroinvertebrados acuáticos en los sitios de estudio.

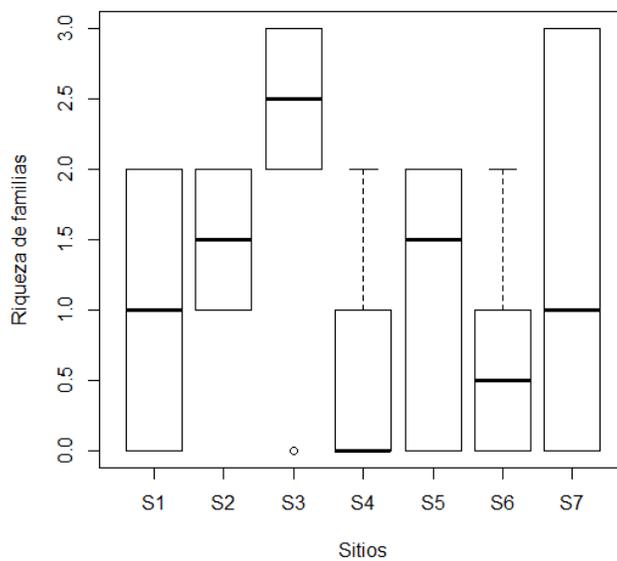


Figura 15. Diagrama de cajas de Tukey para riqueza de familias de vegetación acuática en los sitios de estudio.

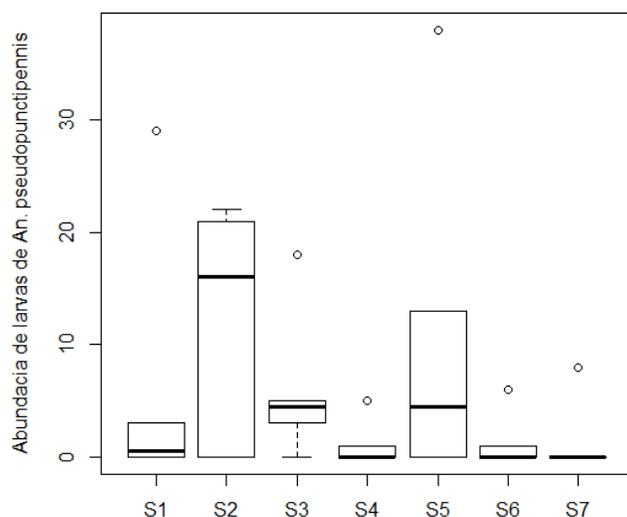


Figura 16. Diagrama de cajas de Tukey para la abundancia de *An. pseudopunctipennis* en los sitios de estudio.

Cuadro 4. Agrupación de los sitios por cada variable, según las comparaciones múltiples, utilizando la prueba de Duncan.

Variable	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo AB	Grupo BC	Grupo ABC
Temperatura del agua	Sitio 6		Sitio 1	Sitio 5 y 4	Sitio 3	Sitio 2 y 7
pH	Sitio 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7					
Conductividad	Sitio 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7					
Oxígeno Disuelto	Sitio 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7					
Sólidos Disueltos	Sitio 1 y 2	Sitio 6 y 7		Sitio 3, 4 y 5		
Salinidad	Sitio 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7					
Profundidad	Sitio 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7					
Especies Vegetales	Sitio 3	Sitio 4 y 6		Sitio 1, 2, 5 y 7		
Especies de macroinvertebrados	Sitio 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7					
<i>Culex coronator</i>	Sitio 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7					
<i>Anopheles</i>		Sitio 4, 6 y 7				
<i>pseudopunctipennis</i>	Sitio 2 y 5			Sitio 1, 3 y 5		

7.4 Pruebas de correlación de Spearman de *Anopheles pseudopunctipennis* con variables respuesta

En el cuadro 5 se observan las asociaciones significativas de *An. pseudopunctipennis* con las variables respuesta; además se observa el coeficiente de correlación que indica si es una asociación directa o indirecta. De las correlaciones bivariadas, las variables biológicas fueron las únicas variables significativas con *An. pseudopunctipennis* y la variable número de especies de vegetación acuática y macroinvertebrados tienen una correlación positiva, es decir que mientras más aumentan dichas variables, hay más larvas anofelinas. Las correlaciones multivariadas tienen correlación negativa.

Cuadro 5. Valores de p y de Coeficientes de correlación de la prueba de correlación de Spearman, asociando *An. pseudopunctipennis* con variables respuesta.

Variables	Valor de P	Coeficiente de Correlación
Número de Especies Vegetales	0.002213	0.459344
Número de Especies de macroinvertebrados	0.0408	0.3170057
<i>Culex coronator</i>	0.03176	0.3319041
Segundo eje de ordenación de la comunidad acuática	0.0002864	-0.5697796
Primer eje de ordenación de la calidad de agua	0.007866	-0.4046139
Primer eje de ordenación de la vegetación acuática	0.01385	-0.4765288
Segundo eje de ordenación de la vegetación acuática	0.002066	0.5761878

7.5 Ordenación de los sitios de estudio

El análisis de componentes principales (PCA) se realizó para la ordenación de los sitios según las variables de calidad de agua, los sitios se agrupan en los 2 primeros ejes de ordenación que representan el 98.5 de la varianza observada; según el coeficiente de correlación únicamente el eje 1 (97.5 de coeficiente de correlación) tiene una asociación significativa con las larvas de *An. pseudopucntipennis* y es de forma indirecta (Figura 17). También se realizaron dos análisis de coordenadas principales (PCoA) para ordenar los sitios según las variables de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y la vegetación acuática; se observa en el PCoA de las comunidades de macroinvertebrados que en los sitios 6 y 4 hay menor distancia ecológica y en los sitios 1, 2, 7 y 5 hay mayor distancia ecológica, es decir, hay menos similitud de los sitios según los macroinvertebrados acuáticos (Figura 18). En cambio en el PCoA según las variables de la vegetación acuática los sitios se ordenan formando 4 grupos claramente visibles; los puntos S2V1, S3V1, S5V1, S6V1, S1V2, S4V2, S5V2, S3V4, S1V5, S2V6, son los sitios con menos distancia ecológica, es decir que son muy parecidos según la vegetación acuática (Figura 19).

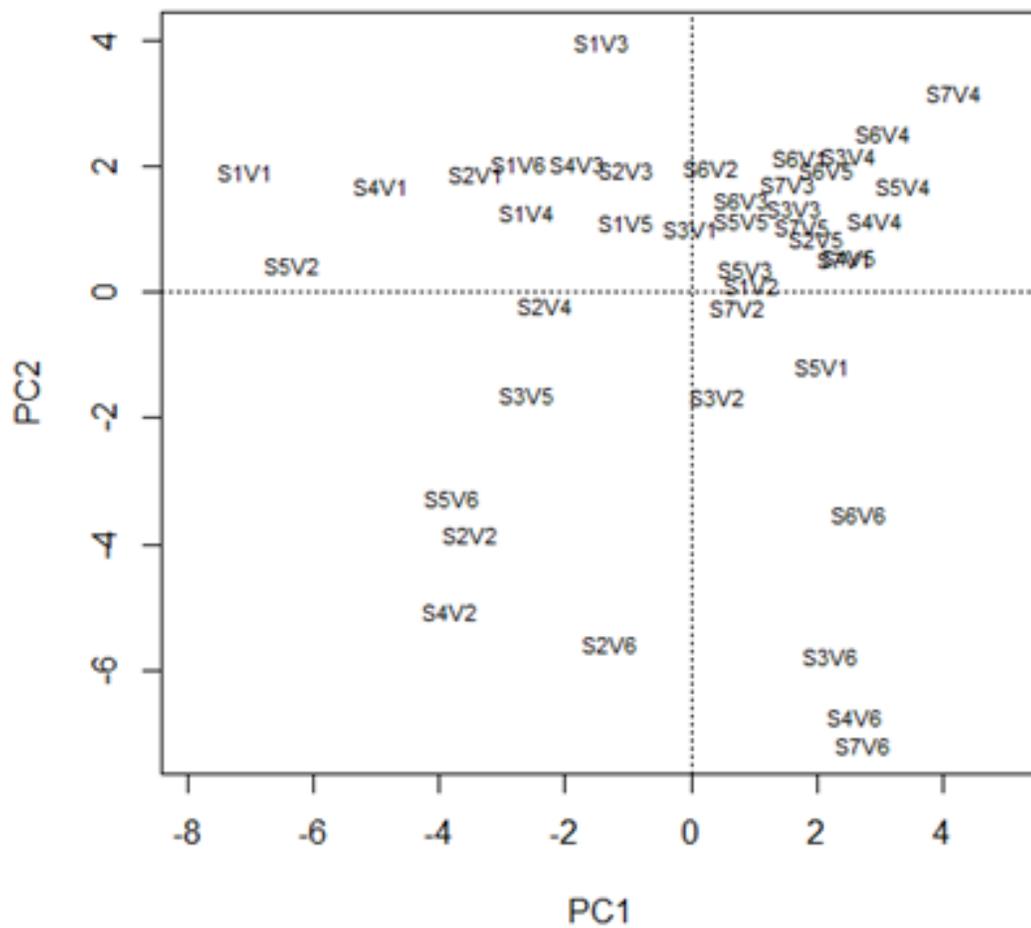


Figura 17. Análisis de componentes principales para la ordenación de los sitios de estudio con base en las variables de calidad de agua.

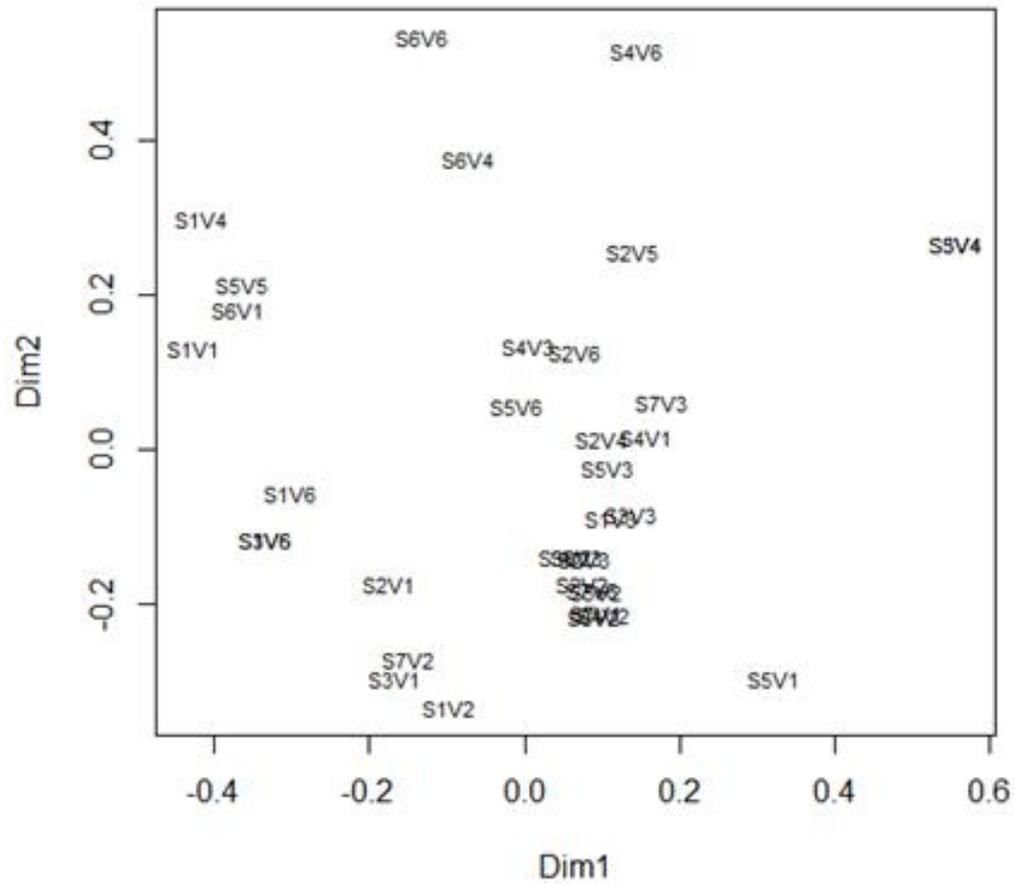


Figura 18. Análisis de coordenadas principales para la ordenación de los sitios de estudio con base en las variables de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos.

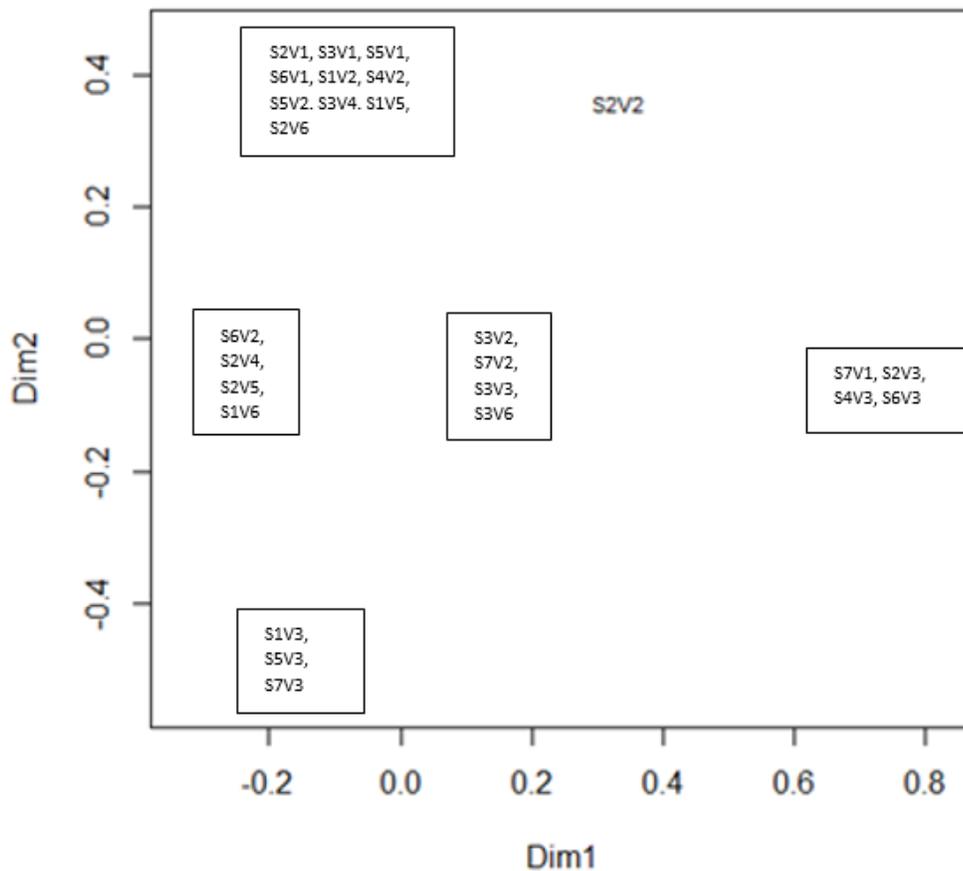


Figura 19. Análisis de coordenadas principales para la ordenación de los sitios de estudio con base en las variables de la comunidad de vegetación acuática.

7.6 Relaciones entre las larvas de *An. pseudopunctipennis* con las comunidades biológicas y la calidad de agua

Se realizaron 3 gráficas de dispersión donde se pueden apreciar las relaciones entre las larvas de *An. pseudopunctipennis* con la comunidad de macroinvertebrados, con la vegetación acuática y con la calidad del agua.

El análisis de dispersión que relaciona las larvas de *An. pseudopunctipennis* y la comunidad de macroinvertebrados muestra que en el sitio 5, 1, 2 y 3 del primer muestreo (mes de enero 2016) y en el sitio 2 y 5 del segundo muestreo (febrero 2016) hay mayor abundancia de larvas anofelinas y éstas están relacionadas con los culícidos y las familias Elmidae, Baetidae, Chironomidae, Ceratopogonidae y Gerridae (Figura 20).

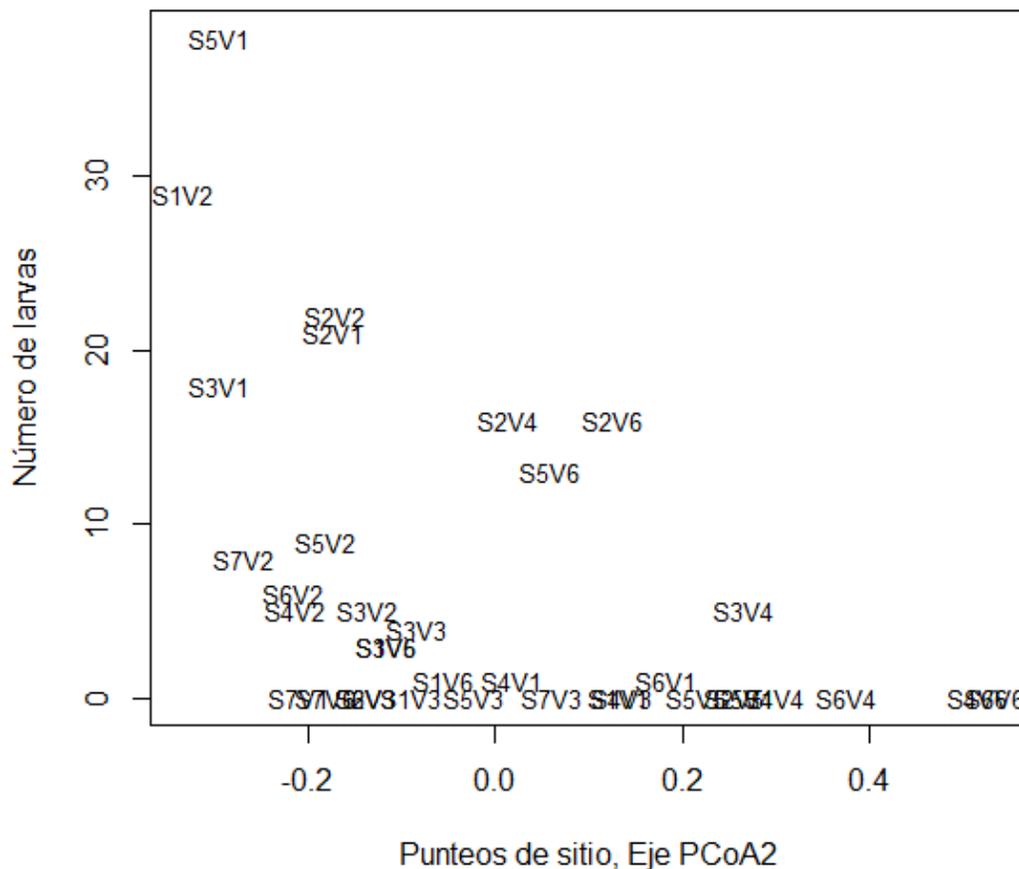


Figura 20. Análisis de dispersión para relacionar las larvas de *An. pseudopunctipennis* y los macroinvertebrados acuáticos.

El análisis de dispersión que relaciona las larvas de *An. pseudopunctipennis* y la vegetación acuática muestra que en el sitio 5, 2 y 3 del primer muestreo (mes de

enero 2016) y en el sitio 1 del segundo muestreo (febrero 2016) hay mayor abundancia de larvas anofelinas y éstas están relacionadas con la presencia de las algas verdes del género *Cladophora* y del género *Microspora* y en la ausencia de la planta acuática del género *Najas* (Figura 21).

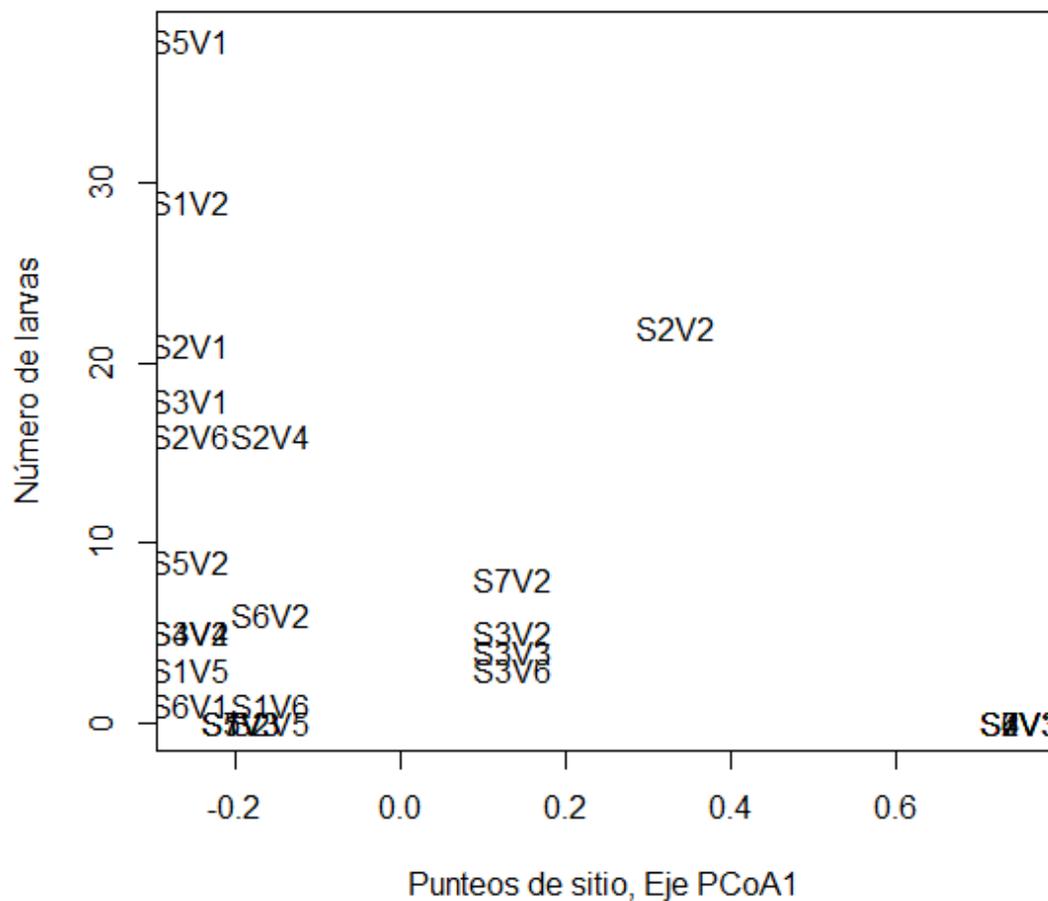


Figura 21. Análisis de dispersión para relacionar las larvas de *An. pseudopunctipennis* y la vegetación acuática.

El análisis de dispersión que relaciona las larvas de *An. pseudopunctipennis* y la calidad del agua muestra que en el sitio 5 del primer muestreo (mes de enero 2016) y en el sitio 1 y 2 del segundo muestreo (febrero 2016) hay mayor abundancia de larvas anofelinas y están relacionadas con la cantidad de sólidos disueltos

presentes en el agua; el resto de las variables fisicoquímicas no están significativamente relacionadas con las larvas de interés (Figura 22 y Anexo 1).

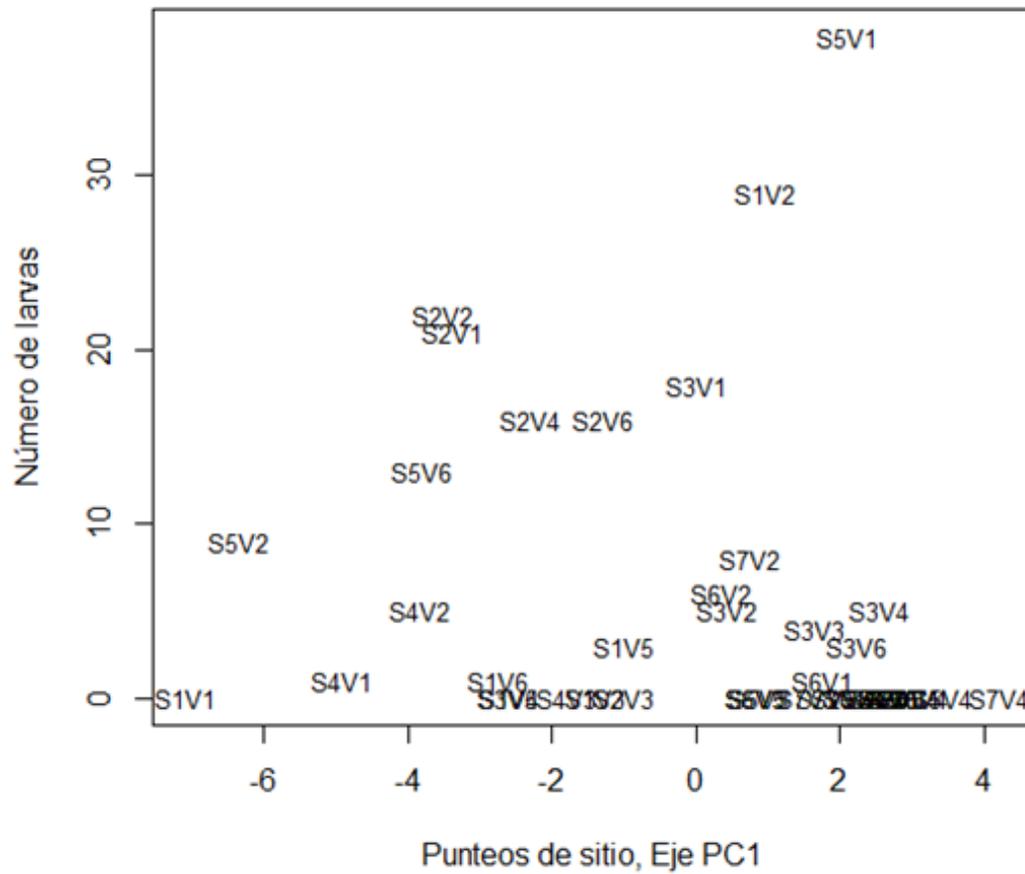


Figura 22. Análisis de dispersión para relacionar las larvas de *An. pseudopunctipennis* y calidad de agua.

8. DISCUSIÓN

8.1. Características fisicoquímicas de los sitios de estudio

Al examinar los valores de conductividad, pH, oxígeno disuelto y salinidad se puede observar que todos los sitios estudiados no diferían en dichas variables; tampoco tuvieron una diferencia significativa en los distintos muestreos, tal como lo muestra el cuadro 4.

Los valores de conductividad fueron menores de $0.5 \mu\text{s}/\text{cm}$ (figura 6), esto puede ser debido a que los parámetros se tomaron de la orilla del río donde se forman las pozas de agua, en virtud de que era el área de interés. Los valores de conductividad ($0.2\text{-}0.4 \mu\text{s}/\text{cm}$) y los valores de salinidad ($0.06\text{-}0.1\%$) en el río Cuilco pueden deberse al origen del mismo, ya que el río Cuilco, es afluente del río Grijalva, que nace de la Sierra Madre, es decir de regiones montañosas (Insivumeh, sf), por lo que muchas partículas de carbonatos, silicatos y otras sales solubles, se derivan por el desgaste y descomposición de las rocas de las áreas donde nace el río (Christensen y Granados, 2002). Las bajas concentraciones de salinidad nos indican que el agua del río Cuilco es dulce (figura 9).

La temperatura del agua tuvo un promedio de 30°C (figura 4) debido a que está expuesta totalmente a la radiación solar, por no contar con cobertura vegetal y tener a su alrededor cultivos, viviendas y pastizales. También es importante recalcar que la toma de medición se realizó en las pozas de agua que se encuentran a la orilla del río y por tener un volumen menor de agua, la temperatura es mayor en comparación a la temperatura del agua que está fluyendo.

Los valores de pH del río Cuilco son en la mayoría básicos, en un rango promedio de 7-8, exceptuando los del sitio 1 (figura 5). Como se mencionó con anterioridad, el río contiene partículas de sales solubles por la descomposición del karst que proviene del nacimiento del río, estas sales conforman el sustrato arenoso del mismo y vuelve el agua alcalina, por lo que el pH es básico (Christensen y Granados, 2002). El sitio 1 tenía un promedio de pH de 6, esto puede ser debido a que las pozas de aguas estaban un poco más retiradas de la orilla del río y se encontraba acumulación de materia vegetal en descomposición debido a lo cual se acumulan los productos ácidos de la fermentación de la materia orgánica (Pavel y Méndez, 2014).

Los valores de oxígeno disuelto estuvieron en un rango de 20-25% (figura 7), estos valores no son altos y tampoco son tan bajos, esto puede deberse a que la temperatura del agua era alta y al incrementar la misma, los valores de oxígeno disuelto disminuyen (Lenntech, 2017). En los sitios 1, 4 y 6, se encuentran los valores más bajos de oxígeno disuelto, esto puede deberse a la cantidad de algas y plantas acuáticas que se encuentran en los sitios y dicha materia vegetal consume el oxígeno disuelto que se encuentra en el agua, por lo que los valores disminuyen.

Los sitios 1 y 2 tienen mayor cantidad de sólidos disueltos, entre un rango de 200-225ppm (figura 8), esto quiere decir alta cantidad de materia disuelta en el agua, este material puede ser carbonatos, fosfatos, nitratos, sulfatos, entre otros compuestos. No se midió la concentración de nutrientes como nitratos y fosfatos, que indican la cantidad de fitoplancton presentes en el agua, por lo que no se tienen datos para saber qué nutrientes o qué componente es el que está elevando el nivel de sólidos disueltos. Los sitios 3, 4, 5, 6 y 7 tienen un promedio de 150ppm de sólidos disueltos.

La profundidad del agua de las pozas que se formaban en la orilla del río se encontró en un rango de 7-15 cm (figura 10), se tomaron todos los parámetros en dichas pozas que es donde hay más probabilidad de encontrar larvas anofelinas (Manguin, Roberts, Peyton, Rejmankova y Pecor, 1996) y por lo tanto algunos parámetros van a ser distintos a los valores del cauce del río.

La contaminación en el río era de un 30% visualmente, ya que en algunos sitios como el 1 y el 7 el agua era turbia y en algunas ocasiones se veían burbujas de jabón (figuras 11-13). En la ribera del río se encontraban pastizales, agricultura y a pocos metros se encontraban algunas viviendas, esto podría ser causa de contaminación, por el uso de fertilizantes químicos e insecticidas; otra fuente directa podría ser que al tener tan cerca el río muchos pobladores se bañan en el mismo.

8.2. Composición de las comunidades biológicas en los sitios de estudio

La información sobre las comunidades biológicas en el río Cuilco es escasa en la parte de Huehuetenango. Aún más escasa es la información sobre los macroinvertebrados acuáticos en el mismo. Estudios de este tipo se han realizados en otros ríos de América, como Bond, 1999, en el Sur de Chiapas, México y Manguí, *et al.*, 1996, en Sur América.

La composición faunística de la comunidad de macroinvertebrados registrados en este estudio está comprendida por 13 familias, esto es un número bajo en familias y es debido a que la colecta se realizó en la orilla del río y en las pozas de agua que se encuentran en la orilla, no fue directamente en el cauce del río; además

el método de colecta no permite conocer los macroinvertebrados bentónicos, más bien los neuston y necton.

La comunidad de macroinvertebrados acuáticos se encuentra dominada por los insectos, estos constituyen el 94.5% de la riqueza total. Los grupos con mayor riqueza fueron *Coleoptera* y *Diptera* (ambos con 5 taxa cada uno). Los sitios con la mayor riqueza de macroinvertebrados acuáticos fueron los sitios 2, 3 y 5, a pesar de que entre sitios no hay una diferencia significativa sobre la riqueza de macroinvertebrados acuáticos (figura 14). Respecto a la abundancia, *Culicidae*, *Baetidae* y *Chironomidae* son las familias con mayor número de especímenes. *Culicidae* y *Chironomidae*, pertenecen al orden Diptera y ambas familias tienen larvas con especiales adaptaciones para colonizar prácticamente cualquier hábitat acuático (ríos, arroyos, lagos, pozos, entre otros), desde aquellos que son temporales o permanentes, con alta cantidad de nutrientes o escasos nutrientes. Las larvas generalmente viven en tubos pegados a piedras, troncos o en la arena. Se adaptan muy bien a los cambios climáticos y medio ambientales. Por ejemplo, la resistencia de sus huevos a la desecación les permite sobrevivir por más de seis meses. Esta característica de su ciclo biológico, les concede la posibilidad de colonizar extensas áreas geográficas (de la Rosa, 1997; González, Reyes y Jercic, 2016).

Las larvas de la familia *Baetidae*, perteneciente al orden Ephemeroptera, generalmente viven en aguas lóxicas, bien oxigenadas, debajo de troncos, rocas, hojas, adheridos a vegetación sumergida y en fondos arenosos; algunas veces se pueden encontrar en aguas lénticas y anóxicas. Son indicadores de aguas limpias o ligeramente contaminadas. Son herbívoras y se alimentan de algas y tejidos de plantas acuáticas (Roldán, 1988). Por tal razón se puede deducir que el río Cuilco no es eutrófico, y puede pertenecer a los ríos mesotróficos de Guatemala, con un

nivel medio de productividad, con plantas acuáticas sumergidas y con aguas claras (Pérez y Restrepo, 2008).

La abundancia de la especie *Anopheles pseudopunctipennis* fue mayor en los sitios 2 y 5 (figura 16). *An. pseudopunctipennis* se encuentra principalmente en pozas de agua dulce estancadas, expuestas al sol y con abundantes algas verdes filamentosas o vegetación acuática (Manguin, Roberts, Peyton, Rejmankova y Pecor, 1996).

Por otro lado, también se obtuvo información de la vegetación acuática y algas verdes. Se encontraron 3 taxas, *Cladophora*, *Najas* y *Microspora*. Los sitios 2 y 5, son los sitios con mayor riqueza (figura 15); siendo los géneros más abundantes *Cladophora* y *Microspora*, ambas pertenecientes a las algas verdes.

Los géneros *Cladophora* y *Microspora* viven tanto en estuarios, en charcos, lagunas y aguas marinas como aguas dulces con un pH mayor a 7. Son capaces de tolerar grandes variaciones de salinidad y ambientes muy variables en los que pocas especies logran sobrevivir gracias a su fácil adaptación (Solomon, Berg y Martin, 2008).

8.3. Relaciones entre las larvas de *An. pseudopunctipennis* con las variables fisicoquímicas y los sitios de estudio

Al evaluar las variables químicas de forma independiente (temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, sólidos disueltos y salinidad) no se encontró una correlación positiva con las larvas de *An. pseudopunctipennis*, tal como lo muestran estudios anteriores como el de Berti, *et al.*, 2004 y Manguin, *et al.*, 1996.

El primer eje de ordenación del PCA (figura 17) tiene una correlación positiva con las larvas de *An. pseudopunctipennis* (cuadro 5), donde se observa claramente que todos los sitios que se realizaron en los cinco primeros muestreos están agrupados en el primer eje de ordenación, es decir que la distancia ecológica entre ellos es menor y únicamente los sitios de la última colecta se encuentran dispersos sobre el segundo eje de ordenación, esto es debido a que el último muestreo se realizó en el mes de julio y ya había comenzado la época lluviosa, en comparación a los primeros muestreos que se realizaron en época seca. Las condiciones fisicoquímicas son similares entre los sitios durante época seca y difieren de las condiciones en la época lluviosa. *An. pseudopunctipennis* fue encontrada únicamente en temporada seca.

An. pseudopunctipennis raramente es encontrada durante la temporada lluviosa, ya que esta especie se encuentra en aguas estancadas para permanecer sobre la superficie por la falta de sifón, por lo que difícilmente puede ser encontrada en aguas con corriente; también las fuertes lluvias hacen que los ríos suban repentinamente, se desbordan y el agua fluye rápidamente. Como consecuencia elimina las pozas y lava las algas verdes presentes en las orillas de los ríos y quebradas que tienen una fuerte asociación con las larvas anofelinas (Berti, *et al.*, 2004; Rejmankova, *et al.*, 1991; Manguin, *et al.*, 1996). Por lo tanto, la época lluviosa tiene una relación inversa con la abundancia de *An. pseudopunctipennis* y se puede clasificar esta especie como especie xerofílica (Hoffman y Samano, 1931).

Hallazgos previos demuestran que el hábitat larvario de *An. pseudopunctipennis* a lo largo de su área geográfica, está constituido por pozas de agua estacada, dulce,

limpia, poco profundas y ambientes secos (Manguin, et al., 1996), coincidiendo con los sitios de estudio de esta investigación.

Otro factor importante para el desarrollo de las larvas anofelinas es la radiación solar (Rejmankova *et al.*, 1993), y como se mencionó en la descripción de los sitios de estudio, el río y las pozas de agua, por no encontrarse en una zona boscosa, no tenían sombra alguna por lo que estaban expuestos totalmente a la luz solar.

La figura 17 muestra que la variable más informativa son los sólidos disueltos (anexo 2), esto puede deberse a que algunos nutrientes o compuestos disueltos en el agua son de importancia para definir la presencia de *An. pseudopunctipennis*; estudios previos han demostrado que la concentración de nitratos tiene una correlación positiva con dichas larvas (Berti, Gutiérrez y Zimmerman, 2004).

Los sitios 2 y 5 del primer muestreo y los sitios 1 y 2 del segundo muestreos, son los sitios donde se encontraron mayor abundancia de larvas anofelinas relacionadas a las variables fisicoquímicas (figura 22), en esos sitios el agua era alcalina, con valores de pH entre 7.7-8.4, esto puede ser debido a que las larvas anofelinas necesitan un ambiente alcalino para poder regular su pH interno (Okech, Boudko, Linser, y Harvey, 2008). Otra variable que coincide en los sitios es la salinidad que demuestra que viven en agua dulce.

8.4. Relaciones entre las larvas de *An. pseudopunctipennis* con las comunidades biológicas y los sitios de estudio

8.4.1. Relaciones entre las larvas de *An. pseudopunctipennis* con las comunidades de macroinvertebrados acuáticos y los sitios de estudio

An. pseudopunctipennis tuvo una correlación positiva con el número de especies de macroinvertebrados acuáticos (cuadro 5). Se encontraron un total de 17 morfoespecies en todo el estudio. En las pozas de agua donde se encontraban las larvas anofelinas compartían hábitat con otras 6 morfoespecies aproximadamente. Este número es relativamente bajo debido a que las pozas de agua donde se encuentran las larvas anofelinas no son mayores a 1m², por lo que los recursos son limitados; si convivieran con más especies sería muy probable que hubiera competencia y no tendrían recursos suficientes para sobrevivir (alimento, espacio) o bien serían el alimento de otra especie. No hay antecedentes científicos que respalden dicha hipótesis.

Las larvas del género *Culex* son el único taxón individual que tiene una correlación significativa con las larvas de *An. pseudopunctipennis* (cuadro 5), esto es debido a que es un género generalista que se desarrolla en depósitos de agua sin corriente y sus criaderos pueden ser variados, constituidos por aguas con un alto grado de contaminación. También pueden vivir en aguas limpias, abundante contenido de materia orgánica o bien en aguas oligotróficas, en ambientes sombreados y expuestos al sol, lénticos o semilóticos (Salazar y Moncada, 2004). Por ser una especie generalista se encontraba en las áreas donde permanecían las larvas de *An. pseudopunctipennis* y en época lluviosa, cuando desaparecían las pozas de aguas, al igual que las larvas anofelinas, éstas desaparecían, porque necesitan desarrollarse en depósitos de agua sin corriente.

Las larvas de *An. pseudopunctipennis* se correlacionaron positivamente con el segundo eje de ordenación de la comunidad acuática (cuadro 5 y figura 18), el cual coincide con el análisis de dispersión para relacionar las larvas de *An. pseudopunctipennis* y los macroinvertebrados acuáticos (figura 20), donde se observa que hay mayor abundancia de larvas anofelinas en los sitios 2 y 5 del primer muestreo y en los sitios 1 y 2 del segundo muestreo. Dichos análisis coinciden en que las larvas anofelinas comparten hábitat con las larvas de las familias *Elmidae*, *Baetidae*, *Gerridae* y *Chironomidae*.

Lo anterior es debido a que las larvas de *An. pseudopunctipennis* comparten ciertas características con las larvas de la familia *Elmidae*, *Baetidae*, *Gerridae* y *Chironomidae*. Las larvas anofelinas al igual que las larvas de *Gerridae* y *Chironomidae* viven en aguas estancadas y lénticas. En los tiempos de lluvia dichas larvas desaparecen al igual que las anofelinas. *Gerridae* es una familia depredadora acuática y se alimenta de insectos sobre la superficie del agua y algunas veces recurre al canibalismo. No se ha comprobado que se alimente de larvas anofelinas, pero es muy probable. El estudio de Berti, et al. 2010, coincide con la correlación positiva de la larvas de *Gerridae* y *An. pseudopunctipennis*.

Las larvas de la familia *Chironomidae*, al igual que el género *Culex*, pertenecen al orden Diptera, son generalistas y pueden vivir tanto en aguas eutróficas como oligotróficas. Las larvas anofelinas coinciden con las larvas de la familia *Baetidae* y *Elmidae* al necesitar agua bien oxigenada, radiación solar, al vivir debajo de troncos, rocas, hojas, adheridos a vegetación sumergida y en fondos arenosos y alimentarse de algas y tejidos de plantas acuáticas (Roldán, 1988; Solís, s.f.), por tal razón comparten hábitat porque es muy probable que se alimenten de las mismas algas verdes y plantas acuáticas.

8.4.2. Relaciones entre las larvas de *An. pseudopunctipennis* con las comunidades de vegetación acuática y los sitios de estudio

Se han descrito y se han relacionado a lo largo de la distribución geográfica la estrecha relación de las larvas *An. pseudopunctipennis* y las algas verdes filamentosas (Berti, et al., 2004; Rejmankova, et al., 1991; Manguin, et al., 1996). En este estudio dos géneros de algas se correlacionaron significativamente con las larvas de *An. pseudopunctipennis*, *Cladophora* y *Microspora*, representado en el primer y segundo eje de ordenación del análisis de coordenadas principales de la figura 19, siendo *Cladophora* la más abundante y también correlacionada positivamente en el estudio de Bond, 1999, en el Sur de Chiapas, México. *Najas* tuvo una correlación negativa para las larvas de *An. pseudopunctipennis*.

En la figura 19 se observa que los sitios se ordenan en cinco grupos, siendo el grupo más grande el que se encuentra en la parte superior izquierda (sitios 2, 3, 5 y 6 del primer muestreo; sitios 1, 4 y 5 del segundo muestreo; sitio 3 del cuarto muestreo; sitio 1 del quinto muestreo; y sitio 2 del sexto muestreo) y relaciona la presencia de larvas anofelinas con la presencia estricta de los dos taxos de algas verdes encontrados en este estudio. La figura 21 complementa dicho análisis al relacionar la abundancia de las larvas anofelinas con la presencia de algas verdes y vegetación acuática. Se observa que el sitio 5 del primer muestreo es el sitio con mayor cantidad de larvas encontradas, seguido por el sitio 1 del segundo muestreo y sitio 2 del primer muestreo, respectivamente. Los tres sitios corresponden al grupo antes mencionado.

El crecimiento de las algas es un factor clave para la presencia de las larvas anofelinas. Las algas *Cladophora* y *Microspora* proporcionan muchos beneficios a las larvas de *An. pseudopunctipennis*, como fuente de alimento, refugio contra los

depredadores y la corriente de agua, ya que las larvas se mueven sobre la superficie superior y se adhieren parcialmente a las hojas de las macrófitas. Además se cree que la vegetación acuática y las algas verdes tienen una influencia directa en la estimulación de las hembras de *An. pseudopunctipennis* para la ovoposición (Hoffmann y Samano, 1938). En el estudio, las larvas nunca fueron encontradas en hábitats sin algas o vegetación acuática.

La presencia de vegetación acuática juega un papel muy importante en la regulación de la abundancia larvaria.

9. CONCLUSIONES

El hábitat larvario de *Anopheles pseudopunctipennis* se desarrolla principalmente en pozas a la orilla del río, con agua clara, poco profunda, estancada, expuestas al sol y en época seca.

Las larvas de *An. pseudopunctipennis* están correlacionadas positivamente con las larvas del género *Culex* y se encuentran relacionadas con las larvas de las familias *Elmidae*, *Baetidae*, *Gerridae* y *Chironomidae*.

Las larvas de *An. pseudopunctipennis* se encuentran estrechamente correlacionadas de forma positiva con las algas verdes del género *Cladophora* y *Microspora*.

Los parámetros químicos tienen una correlación negativa con las larvas de *An. pseudopunctipennis*, aun cuando su hábitat es un medio alcalino, con salinidad baja y temperaturas altas.

10. RECOMENDACIONES

En la presente investigación solo se tomó en cuenta el valor de sólidos disueltos. Se recomienda que para los estudios próximos se tome en cuenta las concentraciones de nutrientes como nitratos y fosfatos para ver si tienen una relación significativa con las larvas de *Anopheles pseudopunctipennis*, en vista de que en estudios previos han encontrado una correlación positiva entre nitratos y larvas anofelinas, con el fin de obtener mayor conocimiento de la biología larvaria de *Anopheles pseudopunctipennis*, para poder desarrollar estrategias potenciales para el control de este importante vector de la malaria.

El larvero o cucharón es un instrumento de colecta de macroinvertebrados acuáticos que se ha implementado para evaluar la abundancia de *Anopheles pseudopunctipennis* de forma cualitativa. Se recomienda estandarizar los arrastres bajo el mismo esfuerzo para mantener un bajo grado de error.

En estudios posteriores, al coleccionar las pupas, debe permitirse su desarrollo hasta la fase adulta para su identificación taxonómica.

11. REFERENCIAS

- Berti, J., González, J., Navarro-Bueno, E., Zoppi, E., Gordon, E., & Delgado, L. (2010). Estacionalidad de la densidad larval del mosquito *Anopheles aquasalis* (Diptera: Culicidae) y otros insectos asociados a su hábitat en Sucre, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 58(2), 777-787.
- Berti, J., González, J., Vanegas, C., Guzmán, H., & Amarista, J. (1998). Fluctuaciones estacionales de la densidad larvaria de *Anopheles pseudopunctipennis* (Diptera: Culicidae) en dos ríos de Santa Fe, estado Sucre. *Bol Entomol Venez*, 13(1), 1-15.
- Berti, J., Gutiérrez, A., & Zimmerman, R. H. (2007). Relaciones entre tipos de hábitat, algunas variables químicas y la presencia de larvas de *Anopheles aquasalis* Curry y *Anopheles pseudopunctipennis* Theobald en un área costera del Estado Sucre, Venezuela. *Entomotropica*, 19(2), 79-84.
- Bond, J. (1999). Dinámica de criaderos larvarios de *Anopheles pseudopunctipennis* Theobald (Diptera: Culicidae) en el Sur de Chiapas, México. Universidad Autónoma de Nuevo León: México.
- Centers for Disease Control and Prevention [CDC]. (2008). *Anopheles* mosquito range map. Estados Unidos.
- Centers for Disease Control and Prevention –CDC-. (s.f.). Malaria. Recuperado de: <https://www.cdc.gov/malaria/>

- Christensen M y Granados P. (2002). Caracterización limnológica preliminar de la Laguna Lachuá, Cobán, Alta Verapaz. Guatemala
- de la Rosa, C. (1997). Chironomidae. *Las Familias de insectos de Costa Rica*. INBio. <http://www.inbio.ac.cr/papers/insectoscr/Texto197.html>.
- Factors and Occurrence of Anopheline Mosquito Larvae, *Anopheles albimanus* and *A. pseudopunctipennis* in Southern Chiapas, Mexico. *Journal of Applied Ecology* 827-841
- Fernández Salas, I., Rodríguez, M. H., Roberts, D. R., Rodríguez, M. D. C., & Wirtz, R. A. (1994). Bionomics of adult *Anopheles pseudopunctipennis* (Diptera: Culicidae) in the Tapachula foothills area of southern Mexico. *Journal of medical entomology*, 31(5), 663-670.
- Gall, F. (1983). Diccionario geográfico de Guatemala. 2ª ed. Instituto Geográfico Nacional: Guatemala.
- García, P., & Méndez, C. (2014). Análisis de la distribución de macroinvertebrados acuáticos a escala detallada en la ecorregion Lachuá, Cobán, Alta Verapaz. *Revista Científica*, (20).
- García, R. (2014). Rio Cuilco, Huhuetenango. Recuperado de: <http://www.deguate.com/artman/publish/geo-rios/rio-cuilcohuhuetenango.shtml#.VxegOPnhDIU>
- González, C., Reyes, C. y Jercic, M. (2016). Manual de Culícidos (Diptera: Culicidae) de la zona norte y centro de Chile, incluyendo Isla de Pascua. 2ª ed. Ministerio de Salud: Chile.

- González, R. (2005). Efecto del criadero sobre la duración del ciclo de vida y productividad de *Anopheles albimanus* Wiedemann (Diptera: Culicidae). *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle*. 6(1):1-6.
- Guatemala. Centro Nacional de Epidemiología. (2007). Semana Epidemiológica en Guatemala, No. 7. MSPAS, 474.
- Guatemala. Centro Nacional de Epidemiología. (2008). Semana Epidemiológica en Guatemala, No. 4. MSPAS, 509.
- Hoffmann, C. C., & Sámano, B. A. (1938). Los criaderos invernales de *Anopheles pseudopunctipennis* en el estado de Oaxaca. *An Inst Biol Univ Nac Auton Mex*, 9, 182-192.
- Insivumeh. (s.f.). Programa de Hidrología. Recuperado de: <http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/rios%20de%20guate.html>
- Juárez, J. (1992). Incriminación de especies Anofelinas transmisoras de Malaria en la región norte de Guatemala. USAC, Guatemala.
- Juárez, J. (2007). Manual Operativo para la Vigilancia y Control de las Fases Inmaduras de los Vectores de Malaria en Guatemala. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Guatemala.
- Lenntech. (2014). ¿Por qué es importante el oxígeno disuelto en el agua? Recuperado <http://www.lenntech.es/por-que-es-importante-el-oxigeno-disuelto-en-el-agua.htm#ixzz4ZtOffSp2>

- Malaria Mission. (2015). Bite them back. Recuperado de: http://www.malariamission.org/index.php?en_index
- Manguin, S., Roberts, D. R., Peyton, E. L., Rejmankova, E., & Pecor, J. (1996). *Characterization of Anopheles pseudopunctipennis larval habitats*. UNIFORMED SERVICES UNIV OF THE HEALTH SCIENCES BETHESDA MD DEPT OF PREVENTIVE MEDICINE AND BIOMETRICS.
- Menes, M., García, M. y Rodas, A. (2009). Variación Métrica inter e intraespecífica en mosquitos del género *Anopheles* vectores de la Malaria en Guatemala. Informe Final. DIGI.
- Merrit, R. y Cummins, K. (1996). *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. 3ª ed. Kendall/Hunt: Estados Unidos.
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social [MSPAS]. (2005). Situación de la Malaria. Informe Anual del Programa de Vectores. Guatemala.
- Ministerios de Salud Pública y Asistencia Social [MSPAS]. (2015). *Manejo Integrado de Vectores. Guía operativa de manejo integrado de vectores con énfasis en malaria en Guatemala*. Guatemala.
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social [MSPAS]. (s.f.). Protocolos Nacionales de Vigilancia de Salud Pública. Guatemala.
- Miranda, A. (2016). Sala situacional de malaria Guatemala 2015. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Guatemala.
- Mullen, G. R., & Durden, L. A. (Eds.). (2002). *Medical and veterinary entomology*. Academic Press.

- Mundial, B. (1993). *World development report 1993; investing in health*. Oxford University Press.
- Okech, B. A., Boudko, D. Y., Linser, P. J., & Harvey, W. R. (2008). Cationic pathway of pH regulation in larvae of *Anopheles gambiae*. *Journal of Experimental Biology*, 211(6), 957-968.
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2010). *Estadísticas sanitarias mundiales 2010*. World Health Organization.
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2014). *World malaria report 2014*. World Health Organization.
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2015a). Paludismo: Información para viajeros. Recuperado de: <http://www.who.int/malaria/travellers/es/>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2015b). Global technical strategy for malaria 2016-2030. Reino Unido.
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2016). Paludismo. Recuperado de: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs094/es/>
- Organización Panamericana de la Salud [OPS] y Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2007). Eliminación de la Malaria: Manual de campo para países endémicos moderados y bajos.
- Rejmankova, E., Savage, H. M., Rejmanek, M., Arredondo, J. I. y Roberts, D. R. (1991). Multivariate Analysis of Relationships Between Habitats, Environmental

- Rejmankova, E., Savage, H. M., Rejmanek, M., Arredondo-Jimenez, J. I., & Roberts, D. R. (1991). Multivariate analysis of relationships between habitats, environmental factors and occurrence of anopheline mosquito larvae *Anopheles albimanus* and *A. pseudopunctipennis* in southern Chiapas, Mexico. *Journal of Applied Ecology*, 827-841.
- Reyes, G. y Sánchez, R. (2014). Manual técnico de entomología para el programa de paludismo. Secretaría de Salud. México
- Rodríguez, A., López, M., Harter, R., Vilca, L. y Cárdenas R. (2008). Aspectos sociales de la malaria importada en Latinoamérica. *Rev. Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 25(2).
- Roldán Pérez, G. R., & Ramírez Restrepo, J. J. R. (2008). *Fundamentos de Limnología Neotropical* (Vol. 15). Universidad de Antioquia.
- Roldán, G. (1988). Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. *Universidad de Antioquia, Fondo FEN, Medellín*.
- Romero, R. (2007). *Microbiología y parasitología humana: bases etiológicas de las enfermedades infecciosas y parasitarias*. 3ª ed. México: Médica Panamericana.
- Rossi, G. C., & Almirón, W. R. (2004). Clave ilustrada para la identificación de larvas de mosquitos de interés sanitario encontradas en criaderos artificiales en la Argentina. *Publicaciones Mundo Sano, Serie Enfermedades Transmisibles*, 5, 53.

- Salazar, M. J., & Moncada, L. I. (2004). Ciclo de vida de *Culex quinquefasciatus* Say, 1826 (Diptera: Culicidae) bajo condiciones no controladas en Bogotá. *Biomédica*, 24(4), 385-92.
- Savage, H. M., Rejmankova, E., Arredondo-Jiménez, J. I., Roberts, D. R., & Rodríguez, M. H. (1990). Limnological and botanical characterization of larval habitats for two primary malarial vectors, *Anopheles albimanus* and *Anopheles pseudopunctipennis*, in coastal areas of Chiapas State, Mexico. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 6(4), 612-620.
- Solís, A. (s.f.). Elmidae. Instituto de Biodiversidad Nacional: Costa Rica. Recuperado de: <http://www.inbio.ac.cr/papers/insectoscr/Texto270.html>
- Solomon, E. P., Berg, L. R., & Martin, D. W. (2008). *Biología*. McGraw Hill.
- Tablero de mando de la Subvención Malaria. (2015). MSPAS. Guatemala.
- Taylor, B. (2007). *Insectos*. 2ª ed. Edilupa: España.
- Theobald, F. V. (1907). *A monograph of the Culicidae, or mosquitoes* (Vol. 4). Longmans & Co.
- Torrús, D. (2016). Malaria. Medicus Mundi-Comunidad. Recuperado de: <http://www.webconsultas.com/malaria/metodos-de-control-de-la-malaria-4044> .
- Walter Reed Biosystematics Unit (WRBU). (s.f.). Recuperado de: http://www.wrbu.org/speciespages_ano/ano_a-hab/anppp_hab.html

12. ANEXOS

Anexo 1. Boleta de campo

DATOS GENERALES

Nombre Sitio _____ Punto _____
 Localidad _____
 Fecha ____/____/____ Hora ____ am pm Institución _____
 Colectores _____
 Coordenadas N _____ W _____ Altitud _____
 Proyecto _____

CALIDAD DE AGUA

T° _____ Agua _____ Ambi. Hum/Rel _____ % pH _____ Cond. _____ $\mu\text{S}/\text{cm}$
 O₂ _____ mg/L % TDS _____ mg/L Sal. _____ % Profundidad _____

Water Odors

___ Normal/None ___ Sewage ___ Petroleum ___ Chemical ___ Fishy
 ___ Other: _____.

Water Surface Oils

___ None ___ Slick ___ Globs ___ Flecks ___ Sheen ___ Other: _____.

Turbidity

___ Clear ___ Slightly ___ Turbid ___ Opaque ___ Stained ___ Other: _____.

WATERSHED FEATURES

Predominant Surrounding Land use

___ Forest ___ Commercial ___ Pasture ___ Industrial ___ Agricultural ___ Residential ___ Other

Local Watershed Pollution

___ No evidence ___ Some potential sources ___ Obvious sources

SEDIMENT/SUSTRATE

Odor

___ Normal ___ Sewage ___ Petroleum ___ Chemical ___ Anaerobic ___ None

Deposit

___ Sludge ___ Relict Shells ___ Sand ___ Other: _____.

Oils

___ Absent ___ Slight ___ Moderate ___ Profuse

RIPARIAN VEGETATION

___ Trees ___ Shrub ___ Grasses ___ Herbaceous

Dominant species Present: _____.

AQUATIC VEGETATION

___ Rooted emergent ___ Rooted floating ___ Free floating ___ Floating algae ___ Attached algae

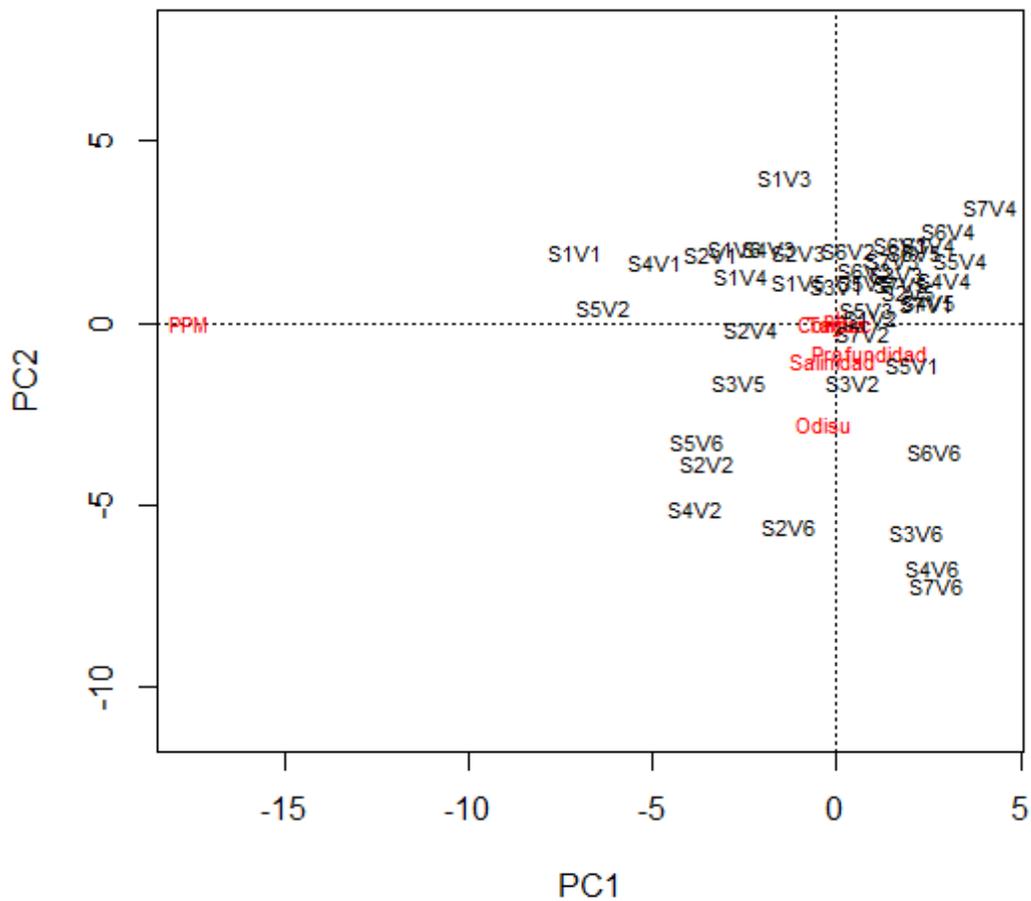
Dominant species present: _____.

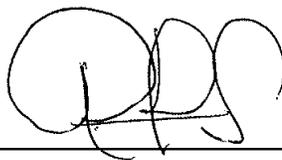
% Shadow: _____.

% Pollution: _____.

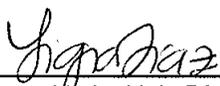
Anexo 2. Análisis de componentes principales para la ordenación de los sitios con base en las variables de calidad del agua. Los primeros dos ejes representan el 98.5% de la varianza observada.

PCA de las variables de calidad del agua

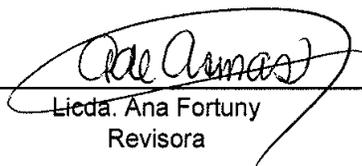




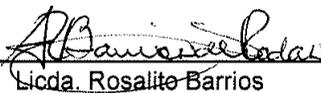
Andrea Paola Delgado Salazar
Tesisista



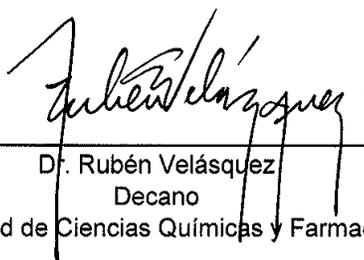
Licda. Ligia Díaz
Asesora



Licda. Ana Fortuny
Revisora



Licda. Rosalite Barrios
Directora
Escuela de Biología



Dr. Rubén Velásquez
Decano
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia