# I. INTRODUCCIÓN

El paludismo, la enfermedad parasitaria más importante transmitida por insectos y responsable de la muerte de 1-3 millones de personas al año, no ha podido ser efectivamente controlada, especialmente en países del África sub-sahariana donde ocurre el 90% de las infecciones. Varios factores contribuyen al problema, entre los que destacan la resistencia de los parásitos y los vectores hacia las drogas antipalúdicas y los insecticidas; las diferencias en la biología y el comportamiento de los vectores imposibilitan el desarrollo de las estrategias aplicables universalmente para el control de la enfermedad y el vector; los costos que frecuentemente exceden los presupuestos de salud pública en las partes más palúdicas del mundo. Por lo que la búsqueda de nuevas herramientas para su control se hacen necesarias (Collins y Paskewitz 1995).

En México, el paludismo se considera como un importante problema de salud pública, ya que más del 50 % de la población se encuentra en riesgo de contraerlo (Rodríguez y Loyola 1989). Durante los últimos siete años (1991-1997) en los estados de Chiapas, Oaxaca y Sinaloa se reportaron el 65 % de los casos de todo el país, siendo catalogados como estados permanentemente palúdicos durante este mismo periodo (D.G.E. 1998). Así mismo, el Sistema Único de Información Epidemiológica reporta que para 1996 y 1997, el estado de Chiapas ocupo el primer lugar en número de casos reportados, con un total de 1401 y 1587 casos respectivamente, que representan el 25 y el 36 % del total registrado para el país en ese mismo periodo. Recientemente hasta la semana epidemiológica número 31 en todo el país se reportan 13,146 casos de paludismo, de los cuales 10,970 se presentaron en Oaxaca y 1500 en Chiapas (Sistema Único de Información para la Vigilancia Epidemiológica. Información preliminar 1998), estas cifras representan un porcentaje de cambio del 424.79 % de incremento en los casos presentados durante 1997 a nivel nacional, 50.45 % para Chiapas y 1772 % para Oaxaca.

De las 26 especies de anofelinos reportadas en México (Vargas 1976, Wilkerson y Strickman 1990), sólo *Anopheles albimanus* Wiedemann, *An. pseudopunctipennis* y *An. vestitipennis* Dyar & Knab, han sido incriminados como vectores de paludismo (Rodríguez y Loyola 1989, Loyola *et al.* 1991 y Fernández-Salas *et al.* 1994a).

*Anopheles* (*Anopheles*) *pseudopunctipennis* Theobald (1901) (Diptera: Culicidae) es el vector de paludismo más ampliamente distribuido en México y un importante vector responsable de la transmisión de paludismo endémico en varios países de América, incluyendo Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá, Ecuador, Perú, Venezuela, Bolivia, Colombia, Paraguay, Antillas, Trinidad y Tobago y Brasil (Sasse y Hackett 1950, Darsie y López 1980, Fleming 1986, Pan American Health Organization 1991, Berti *et al.* 1993, Estrada-Franco *et al.* 1993, Fernández-Salas *et al.* 1994b). Su distribución incluye desde Kansas en Estados Unidos hasta el norte de Argentina (Córdoba y San Luis) y en la Provincia de Tarapacá en Chile (Shannon *et al.* 1927, Darsie y López 1980, Darsie y Ward 1981).

*Anopheles pseudopunctipennis* habita áreas con altitudes desde 0 a 3,200 m.s.n.m, sin embargo ha sido asociado con transmisión de paludismo hasta los 2,600 m.s.n.m. en Bolivia (Fleming 1986, Rubio-Palis y Zimmerman 1997) y su abundancia poblacional es mayor durante la estación seca en altitudes por arriba de los 200 m. s. n. m.(Hackett 1945) donde las larvas abundan en charcas formadas durante niveles bajos de aguas en los ríos (Darsie y López 1980, Savage *et al.* 1990, Berti *et al.* 1993 y Fernández-Salas *et al.* 1994b). La formación de los sitos de crianza de larvas en los ríos es regulada por los patrones anuales de lluvias. A finales de la estación de lluvias los criaderos están formados por charcas, estanques y lagunas desarrolladas a los márgenes de arroyos y de ríos. Manchones de algas filamentosas y plantas flotantes son características de esos hábitats larvarios (Hoffmann y Samano 1938, Levi-Castillo 1945, Darsie y López 1980, Savage *et al.* 1990, Berti *et al.* 1993, Fernández-Salas *et al.* 1994b, Manguin *et al.* 1996). La abundancia de *An. pseudopunctipennis* durante la estación seca es un factor importante en el mantenimiento de la transmisión en casi dos terceras partes de las áreas palúdicas de México, donde esta especie es considerada como vector primario de *Plasmodium vivax* (Shannon y Davis 1927, Aitken 1945, Hoffmann 1929, Hoffmann y Samano 1938, Rodríguez y Loyola 1989, Fernández-Salas *et al.* 1993 y 1994a).

Los hábitats larvarios de *An. pseudopunctipennis,* descritos por numerosos investigadores, que son más productivos y abundantes, en su mayoría son las charcas de río y arroyos que ocurren en hábitats soleados durante la estación seca, en brazos muertos y en remanentes de la disminución del volumen de agua de los ríos. Ahí, las larvas han sido asociadas positivamente con parches o manchones de algas filamentosas (en su mayoría del

género *Spirogyra*) (Shannon y Davis 1927, Hoffmann 1929, Shannon 1930, Hoffmann y Sámano 1938, Aitken 1945, Levi-Castillo 1945, Darsie y López 1980, Savage *et al.* 1990, Fernández-Salas *et al.* 1994b, Manguin *et al.* 1996). En la presente década se han realizado estudios recientes sobre las características de los hábitats larvarios de *An. pseudopunctipennis* dentro de su área de distribución, en los cuales se describen variables ambientales y físico-químicas asociadas positivamente con la presencia de esta especie (Savage *et al.* 1990, Rejmankova *et al.* 1991, Fernández-Salas *et al.* 1994b, Manguin *et al.* 1996 y Rubio-Palis y Zimmerman 1997).

La fuerte asociación de las larvas de *An. pseudopunctipennis* con los hábitats formados en su mayoría por algas filamentosas, así como su tamaño pequeño y su distribución focalizada a lo largo de los márgenes de ríos y arroyos son factores que proveen un potencial para su control a través de la manipulación o reducción de su vegetación, manejo por drenado, llenado y nivelado, o manejo intermitente de flujos de agua, así como también mediante el empleo de herbicidas y algas genéticamente manipuladas con cristales tóxicos de bacterias (ej. *Bacillus thuringiensis israelensis* y *B. sphaericus*) o algas no digestibles (World Health Organization 1987, Marten 1984, 1987, Fernández-Salas *et al.* 1994b, Legner 1995, Collins y Paskewitz 1995, Wilkerson *et al.* 1990, Sangthongpitag *et al.* 1996 y Vázquez 1997).

Pese a lo ineficiente de las medidas directas de control sobre las larvas de los vectores de paludismo como vía de ataque a la transmisión, la mayoría de los programas de control mundialmente se basan en el uso de insecticidas residuales para el control de los mosquitos (Service 1993). El control de las larvas de vectores por larvicidas es implementado en circunstancias especiales, cuando el uso de los insecticidas residuales no fue efectivo o fue muy costoso. Sin embargo, cuando una gran proporción de los hábitats larvarios pueden ser fácilmente identificados y tratados, el control larvario puede ser muy efectivo (Service 1989, Collins y Paskewitz 1995). Desde luego que la ecología, biología y el comportamiento de los vectores determinan la eficacia de las medidas de control.

## II. ANTECEDENTES

Debido a las dificultades encontradas en muchas partes del mundo en el control del paludismo, existe un interés reciente en la biología y ecología de los anofelinos vectores. Se conoce relativamente poco acerca de las relaciones entre las larvas de mosquitos y su ecosistema acuático, la dinámica de las poblaciones larvarias y que factores regulan su tamaño de población (ej.: competencia inter e intraespecíficas), así como su relación con los factores abióticos y bióticos en general (Service 1989).

Muchos de los vectores importantes en la transmisión de paludismo pasan sus estadios acuáticos asociados con diferentes tipos de vegetación. Esta asociación es importante en su relación con los anofelinos por que favorece su producción, debido a que las larvas encuentran alimento, refugio contra sus depredadores y perturbaciones físicas de su medio, así como los adultos obtienen sitios entre la vegetación favorables para su oviposición. (Hess y Hall 1943, Hall 1972, Hobbs y Molina 1983, Hess 1984, Orr y Resh 1989, 1992, Rejmankova *et al.* 1992, Fernández-Salas *et al.* 1994b).

En base a lo anterior y debido a la importancia del conocimiento de la biología y ecología de los vectores de paludismo para su control, en el presente estudio se pretende evaluar la dinámica de los criaderos de *An. pseudopunctipennis*, cuantificar experimentalmente las relaciones fitoecológicas entre las algas filamentosas y las densidades larvarias (alimentación, refugio y sitios para oviposición), y el impacto de la manipulación de las algas sobre las densidades de larvas, como primer paso para el desarrollo de una estrategia de manejo de algas como herramienta de control.

En lo referente a trabajos específicos con larvas de mosquitos se hace mención de los siguientes estudios realizados: Hoffmann (1929), incriminó a dos especies de *Anopheles* como transmisores de paludismo en el Valle de México, *An. pseudopunctipennis* y *An. quadrimaculatus* Say. Además, describió los criaderos de *An. pseudopunctipennis* como cuerpos de agua limpia y con presencia de microflora de algas verdes (*Spirogyra* sp.) y en menor cantidad zacatales, lirios acuáticos, lemnáceas, etc. En este trabajo menciona que la descomposición de la vegetación durante las heladas provoca cambios en la composición del agua, fatales para el crecimiento y desarrollo de las larvas, por lo tanto la desaparición de ellas. Este mismo autor en 1938, presentó un trabajo titulado

"Los criaderos invernales de *An. pseudopunctipennis* en el estado de Oaxaca", en el que describió los criaderos de esta especie en las regiones secas durante la estación invernal, en donde las necesidades biológicas de las larvas de *An. pseudopunctipennis* exigen, criaderos de aguas limpias expuestos al sol y con abundante vegetación de algas verdes. Describe los criaderos invernales como ojos de agua, lechos de río de regiones altas que al bajar sus niveles forman charcas separadas, que se llenan de algas y microfauna que favorecen el establecimiento y desarrollo de las larvas.

Hoffmann y Samano (1938), describieron los criaderos invernales de *An. pseudopunctipennis* en el Estado de Oaxaca, haciendo referencia de su importancia como vector primario. Mencionaron que las actividades humanas mal planeadas están propiciando que se amplíe su distribución. Hicieron una descripción de sus criaderos caracterizados por estancamientos de aguas limpias, expuestas al sol y con abundante vegetación de algas verdes. En este trabajo refirieron a los criaderos de la estación invernal como "criaderos de concentración" y realizaron una descripción de los principales géneros y especies de vegetación acuática asociados a los criaderos en diferentes localidades del Estado.

Hess y Hall (1943), citaron que la producción de *Anopheles quadrimaculatus* está estrechamente asociada con la presencia de vegetación flotante y emergente. Por esta razón, las densidades larvarias de *Anopheles* pueden ser correlacionadas con la densidad de la cobertura vegetativa. En este reporte se sugirió que el porcentaje de cobertura actualmente en contacto con la superficie del agua es más importante que el total de la cobertura de dicha vegetación. Posteriormente basados en esta idea y el trabajo propuesto por Penfound (1941, citado por Hess y Hall 1943), presentaron una gráfica exponiendo la relación teórica entre las densidades de larvas, cobertura de plantas y la línea de intersección (definida como "la línea de intersección entre las tres interfaces, agua-aire, agua-planta y planta-aire"). Durante 1941, se realizó un estudio usando al loto (*Nelumbo lutea*) como la planta de prueba, en el que encontraron una correlación positiva entre las larvas de mosquito y la línea de intersección de esta planta.

Levi-Castillo (1945), realizó un trabajo en el cual describió los criaderos de *An. pseudopunctipennis* como charcas soleadas situadas en pequeños ríos durante la estación seca, pequeños cuerpo de agua, canales de riego, huellas de ganado, piscinas, etc. En

dichos criaderos los mosquitos fueron encontrados siempre en charcas con gran cantidad de *Spirogyra* sp. En el mismo trabajo realizó una observación en la que cuando las algas fueron removidas de las charcas, los mosquitos desaparecieron completamente; sin embargo, este hecho no fue fundamentado experimentalmente ya que no existen datos al respecto.

Hall (1972), llevó a cabo un estudio en el que reportó la influencia de las plantas sobre los criaderos de anofelinos, haciendo referencia acerca de la importancia de la vegetación en la influencia que ejerce sobre larvas de mosquitos que se desarrollan en asociación a ella y su efecto sobre las actividades humanas. Así mismo mencionó que la mayoría de los vectores de paludismo humano pasan sus estadios acuáticos en asociación con algún tipo de vegetación, que nuevamente la línea de intersección (interfase aire-planta-agua) es de gran importancia para los anofelinos, por que es ahí donde las larvas obtienen alimento, refugio y los adultos encuentran sitios favorables para su oviposición. También mencionó la importancia del manejo de niveles de agua para el control de la vegetación y las larvas asociadas a ella, haciendo énfasis sobre la manipulación del hábitat como la herramienta más efectiva y económica para minimizar el área de crianza de larvas de anofelinos.

Orr y Resh (1989), propusieron una prueba experimental para explicar la influencia de las macrofitas acuáticas sobre la sobrevivencia y oviposición de *Anopheles*. En este estudio reportaron que las macrofitas sumergidas y emergentes pueden favorecer la sobrevivencia de larvas de *Anopheles* proporcionando un hábitat favorable y refugio contra la depredación. Además, en otro estudio (1992) encontraron una correlación positiva entre el número de huevecillos, larvas de *Anopheles* y la cobertura de *Myriophyllum*. Las relaciones entre la cantidad de cobertura de macrofita acuática, la densidad de *Gambusia affinis* y la sobrevivencia de *An. freeborni* fueron probadas experimentalmente en su primer estudio, reportando que la sobrevivencia de las larvas estuvo relacionada positivamente con la cantidad de cobertura de plantas y negativamente relacionada para la densidad de *Gambusia*. También mencionaron que la sobrevivencia de las larvas fue menor en el tratamiento con baja cobertura y alta densidad de peces (41-76% sobrevivencia). Encontraron también que había patrones similares de sobrevivencia de larvas, en un experimento controlado llevado a cabo en tres sitios en el que se usaron tres especies de macrofitas acuáticas (*Potamogeton pectinatus, Myriophyllum aquaticum* y *M. spicatum*).

Savage *et al.*(1990), realizaron un trabajo sobre caracterización botánica y limnológica de hábitats larvarios de *An. albimanus* y *An. pseudopunctipennis*, en la costa de Chiapas. En dicho estudio, llevaron a cabo un monitoreo de criaderos durante las estaciones de lluvias y secas de 1988. En cada sitio o hábitat larvario, midieron y estimaron variables ambientales, presencia y cobertura de la vegetación acuática, tomaron muestras de agua y realizaron de 10-30 calados por criadero para la estimación de las densidades larvarias. Este estudio reveló que la ocurrencia de larvas de *An. albimanus* en ambas estaciones estuvo positivamente asociada con algas planctónicas y plantas emergentes, negativamente asociadas con la altitud y las algas filamentosas. Las larvas de *An. pseudopunctipennis* estuvieron asociadas positivamente con las algas filamentosas, latitud y presencia de *Heteranthera*, mientras que fueron negativamente asociadas con la profundidad del hábitat. Durante la estación de lluvias las larvas de *An. pseudopunctipennis* fueron raramente encontradas.

Rejmánková *et al.* (1991 y 1992), presentaron sus trabajos sobre vegetación acuática como base para la clasificación de hábitats larvarios de *An. albimanus* Weideman (Diptera: Culicidae) y análisis de las relaciones entre hábitats, factores ambientales y la ocurrencia de larvas de *An. albimanus* y *An. pseudopunctipennis* en el sur de Chiapas, México. En dichos estudios se colectaron larvas de *An. albimanus* del plano costero de Chiapas, muestreando sitios que representaron diferentes hábitats larvarios. Para cada hábitat se registró el porcentaje de cobertura total de plantas flotantes, emergentes y sumergidas, parámetros físico-químicos, ambientales y el número de larvas colectadas en 30 calados. Los hábitats individuales fueron clasificados en unidades superiores (categorías), o tipos de hábitat, por análisis cluster y análisis de correspondencia canónico combinado con una prueba de permutación de Monte Carlo, basado en 37 variables medio ambientales. Dieciséis grupos, de tipos de hábitat, fueron distinguidos y definidos por las especies de plantas dominantes. Los tipos de hábitat fueron ordenadas por densidades larvarias y categorizadas como productores bajos, medios y altos de *An. albimanus*. En la estación seca, la abundancia de fitoplancton y la cobertura de las macrofitas flotantes estuvo significativamente correlacionada con larvas de *An. albimanus* y *An. pseudopunctipennis* y las concentraciones de K, Ca y $PO_4$ fueron significativamente altas para larvas de *An. albimanus* y las algas filamentosas fueron asociadas negativamente para esta especie y positivamente para larvas de *An. pseudopunctipennis* durante la estación seca.

Estos mismos autores (Rejmankova *et al.*1996) realizaron un estudio sobre la influencia de cianobacterias en la selección del hábitat de *An. albimanus* en zonas pantanosas de Belice, encontrando que existía una preferencia significativa de las hembras de mosquito por ovipositar en criaderos con matas de algas que en criaderos con agua abierta.

Fernández-Salas *et al.*(1994b), realizaron monitoreos sistemáticos de los hábitats larvarios de *An. pseudopunctipennis* durante las estaciones de lluvias y secas entre 1990-1991, encontrando que durante la estación de lluvias las larvas fueron más abundantes en hábitats temporales tales como arroyos, charcas de lluvia y charcas a los márgenes del río. Estos hábitats son menos productivos en cuanto a densidades larvarias y desaparecen durante la estación seca. En la estación de secas ocurre un incremento de las densidades larvarias en los hábitats a lo largo del Río Coatán. Aparece una gran abundancia en criaderos y larvas como son, charcas pequeñas con algas filamentosas, resulta en una asociación positiva con el incremento de las densidades de adultos en las localidades cercanas al río. Durante ambas estaciones, se observó una asociación positiva entre la presencia y abundancia de larvas, con hábitats conteniendo algas filamentosas. También mencionaron que hubo una correlación significativa entre el número promedio de larvas por hábitat y el número promedio de criaderos por transecto. Las larvas de *An. pseudopunctipennis* fueron muy abundantes durante la estación seca y relativamente poco comunes durante la estación de lluvias.

Manguin *et al.* (1996), caracterizaron los hábitats larvarios de *An. pseudopunctipennis* a lo largo de su rango de distribución geográfica en 10 países. Describieron once variables que fueron claves para la caracterización de los criaderos de *An. pseudopunctipennis*, dentro de las que destacan las relaciones fitoecológicas entre larvas y algas verdes-filamentosas. En el mismo trabajo describieron 5 géneros de algas asociadas significativamente con los hábitats larvarios, *Spirogyra*, *Oedogonium*, *Chladophora*, *Closterium* y *Enteromorpha*. Mencionaron también que la vegetación emergente y flotante de los criaderos larvarios probablemente tienen un papel directo o indirecto para estimular a la hembras de *An. pseudopunctipennis* para seleccionar sitios particulares de oviposición.

# III. JUSTIFICACIÓN

A pesar de que *An. pseudopunctipennis* es el principal y más ampliamente distribuido vector de paludismo en México, existen pocos estudios recientes sobre su ecología larvaria. Dichos estudios, básicamente descriptivos, no pueden explicar acerca de la dinámica de los sitios de crianza de larvas de mosquitos y sus relaciones ecológicas con los manchones de algas filamentosas característicos de sus hábitats. El presente estudio intentará explicar mediante estudios observacionales y experimentales la dinámica de los criaderos de mosquitos y cuál es la importancia de las algas filamentosas en cuanto a proveer alimento y refugio contra depredadores a las larvas y sitios favorables para la oviposición de los adultos, además de evaluar el impacto de los peces sobre la sobrevivencia de larvas y su efecto sobre su desarrollo y tamaño. No existe ningún estudio previo que se enfoque a contestar estas preguntas específicas. El presente estudio, además, explicará la factibilidad del control naturalista de extracción /eliminación de las algas en los criaderos de larvas de mosquitos, como herramienta complementaria al los programas de control.

## IV. OBJETIVO GENERAL

Estudiar la dinámica de las matas de algas verdes filamentosas (*Spirogyra* y *Cladophora*) en pozas del río Coatán, Chiapas, en relación a su papel como hábitats de las poblaciones larvarias de *Anopheles pseudopunctipennis* Theobald (Diptera: Culicidae).

## OBJETIVOS PARTICULARES

1) Estudiar la dinámica de las algas verdes filamentosas en pozas de río como hábitats larvarios de *An. pseudopunctipennis.*

2) Estimar el tiempo de regeneración de las algas filamentosas después de haber sido extraídas mecánicamente y evaluar el potencial de la eliminación de algas como medida de control de larvas de *An. pseudopunctipennis.*

3) Determinar el efecto de las algas en la bionomía de larvas de *An. pseudopunctipennis* en relación a:

a) su papel en la alimentación de las larvas.
b) su influencia sobre las tasas de sobrevivencia y refugio contra la depredación.
c) sus efectos sobre el tiempo de pupación y tamaño de los adultos en presencia de depredadores
d) el efecto sobre la selección de sitios favorables para la oviposición de adultos.

4) Realizar un listado de los principales géneros de algas e insectos acuáticos asociados a los criaderos de *An. pseudopunctipennis.*

# V. MATERIALES Y MÉTODOS

## V. I. Descripción del área de estudio:

El trabajo de campo se realizó durante la estación seca de finales de noviembre de 1996 a finales de junio de 1997. El área de estudio se localiza en un segmento del cauce del Río Coatán, en el piedemonte de la Sierra Madre de Chiapas, entre las localidades de El Plan, El Retiro y la Boquilla, ubicadas entre los 15°03' 81" N, 92°12' 40" W y 15°03' 52" N 92°13' 10" W a una altitud de 297 y 675 m.s.n.m y cubriendo una extención aproximada de 5.5 km de largo y 50-100 m de ancho (Fig. 1). La vegetación predominante en la zona es de bosque tropical deciduo (Miranda 1952, Breedlove 1981), con vegetación riparia y clima cálido-subhúmedo tipo Am (tropical lluvioso con lluvias en verano) (Köppen modificado por García 1973). En la zona se presentan dos estaciones bien marcadas, la de secas que se presenta de finales de noviembre a finales de abril y la de lluvias que comprende el resto del año. La precipitación pluvial media anual en el área es de 3,800 mm, la temperatura media anual es de 25°C y la humedad relativa es de 80-100% la mayor parte del año.

## V. 2. Dinámica de criaderos y abundancia larvaria de *Anopheles pseudopunctipennis.*

Con la finalidad de dar seguimiento a la dinámica de los criaderos y las densidades larvarias de *An. pseudopunctipennis*, a finales de noviembre de 1996 se realizó un reconocimiento del área de estudio, mediante el cual se seleccionó un área de 5.5 km ubicada a lo largo del cauce del río Coatán (franja del río en la cuál la CFE retiene el agua mediante una represa para su uso en la hidroeléctrica "Cecilio del Valle"), zona en la que anteriormente se habían mapeados y caracterizados algunos criaderos de *An. pseudopunctipennis*, por Savage *et al.* (1990), Rejmánková *et al.* (1991, 1992) y Fernández-Salas *et al.* (1994b). En esta franja del río, se midieron 11 transectos de 500 m c/u (abarcando ambos lados del río), seleccionándose 6 de ellos al azar para la realización del presente estudio, en cada uno de los cuales fueron registradas todos las matas de algas filamentosas encontrados para su seguimiento o monitoreo.

Como el hábitat larvario de *An. pseudopunctipennis* es predominantemente caracterizado por la presencia de algas verdes filamentosas (Fernández-Salas *et al.*1994b), cada manchon de algas se considera un "criadero" de larvas de mosquitos en potenica. La

longitud y latitud de cada transecto fue registrada con un sistema de posicionador geográfico (GARMIN, GPS 12 XL) referenciado al menos por 7 satélites. Cada transecto se visitó a intervalos de 10 días, realizando monitoreos de las densidades larvarias en todas las matas de algas presentes y estimando el número de larvas por calado, usando caladores estándar de 850 ml con un borde plano (CIP). El número máximo de calados a tomar en cada muestreo, fue definido en estudios previos en base a la abundancia larvaria (Savage *et al.* 1990, Arredondo-Jimenez 1990 y Fernández-Salas *et al.* 1994b) y modificado para el presente estudio mediante la aplicación de la ley de poder de Taylor (Southwood 1978, Taylor 1979, Taylor 1984). En base a lo anterior, el número de larvas en los primeros 5 calados fue usado para determinar el tamaño de muestra, de tal forma que: si el número de larvas capturadas en los primeros 5 calados fue de 0-5 larvas/calado se tomaron un máximo de 20 calados; si fue de 5-20 larvas/calado se tomaron 15 calados; de 20-50 larvas/calado se tomaron 10 y >50 larvas/calado indicó un tamaño de muestra de 5 calados.

Además se realizó un inventario de los insectos acuáticos que cohabitan con los criaderos de los anofelinos, usando caladores estándar y redes entomológicas (en algunos casos), posteriormente fueron identificados usando las claves de Merritt y Cummins (1996) y con la colaboración del Laboratorio de Entomología Acuática de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL. Estos insectos se cuantificaron y correlacionaron para determinar cual de estos grupos es el de mayor asociación con las densidades larvarias de *An. pseudopunctipennis*.

V. 3. Extracción de algas filamentosas de los criaderos de *An. pseudopunctipennis*.

Dentro del área de 5.5 km antes mencionada, se seleccionaron 6 transectos al azar para la realización del presente estudio (Fig. 2), 3 de los cuales se usaron para el seguimiento de la dinámica normal de las matas de algas filamentosas y sus densidades larvarias (como controles) y los 3 restantes, fueron manipulados (tratamientos) mediante la extracción de todas las matas de algas filamentosas encontradas, con la finalidad de evaluar su efecto sobre las poblaciones larvarias y determinar el tiempo de duración de esta medida como una probable estrategia de control. La extracción de las algas se realizó de forma manual, mediante el empleo de rastrillos para jardín (arañas) y telas de mosquitero de malla fina, con los cuales se removieron todas las algas presentes en los diferentes criaderos de los transectos de extracción (Fig. 3).

También se evaluó el efecto de la eliminación de las algas por acción del río (apertura de la compuerta de la represa de "La Boquilla" por la CFE), tomando como control las matas de algas del transecto XI, ubicado en la parte superior de la zona de estudio, el cual permaneció sin que se afectaran sus algas por la acción de la corriente del río, permitiendo hacer el seguimiento normal de sus poblaciones larvarias y sus coberturas de algas filamentosas. Los hábitats larvarios del transecto XI fueron comparados en cuanto a sus densidades larvarias, contra los criaderos de los cinco transectos restantes (I, III, V, VI y VIII), los cuales fueron barridos en sus coberturas de algas y densidades larvarias por la acción de la corriente del río permitiendo medir el efecto de esta medida de manejo de flujo de agua sobre las densidades larvarias y determinando también su duración.

Los cambios en las densidades larvarias de los diferentes transectos (controles y de extracción) fueron estimados en función de las variaciones en el número promedio de larvas por calado. Los valores de abundancia larvaria fueron transformados a log (x + 1) y/o ajustados a una distribución normal mediante la siguiente ecuación: $Z = (x - \mu) / s$; en donde x corresponde a los valores del número de larvas por caldo; $\mu$ es la media poblacional; y s es la desviación estándar. Para determinar el efecto de la extracción de las algas sobre las poblaciones larvarias, los valores de abundancia larvaria de los diferentes transectos fueron examinados por análisis de varianza (ANOVA) y mediante Pruebas de Tukey (prueba de las diferencias honestamente significativas) para comparaciones múltiples de medias (Zar 1984).

V. 4. Determinación de los parámetros físico-químicos de los diferentes criaderos:

En cada muestreo se tomaron 60 matas de algas (las primeras 10 matas de cada transecto) a las que se les determinaron los siguientes parámetros físico-químicos:

*La temperatura.* Fue estimada introduciendo un termómetro de -10 a 110°C al agua de los criaderos y dejándolo estabilizarse durante 5 minutos.

*La profundidad.* Se midió introduciendo el mango de los caladores, graduado en cm con un rango de 0-150 cm.

*El área de las matas de algas y su cobertura.* Se determinaron mediante el empleo de un flexómetro con escala de 0-50 m.

*El % de cobertura de algas.* Se estimó mediante el área ocupada por las algas en relación al área total de los manchones y también mediante la Escala de Braun-Blanquet (Vázquez 1991).

Para las siguientes determinaciones, se colectaron 500 ml de agua de las primeras 10 matas de lagas de cada transecto, para hacer un total de 60 muestras de agua de igual número de algas analizadas por colecta.

*El pH.* Se determinó con un potenciómetro marca Digital pH meter. Para cada lectura el aparato se calibró previamente con una solución patrón de pH 7.0.

*Conductividad eléctrica.* Se obtuvo mediante el empleo de un conductivimetro portátil marca HANNA® Instruments DiST WP3, mismo que se introdujo en los diferentes criaderos por espacio de 2-3 minutos hasta estabilizar su lectura dada en µS.

*Fosfatos.* Fueron determinados por el método de hidrólisis ácida de muestras sin filtrar (Goldman 1974), tomando 10 muestras de agua por duplicado, agregandoles 100 µl de solución de molibdato de amonio al 10% ácido sulfúrico al 50%. Una vez homogeneizadas las fueron adicionadas con 50 µl de solución de cloruro de estaño al 10% y agitadas. Se esperó unos 5 minutos y se midió la reacción al espectrofotómetro (Spectronic 20D, Milton Roy Company®) a 675 nm de absorbancia, comparandola con la curva de calibración usando 10 ml de cada solución de referencia (20, 100, 200 y 500 mg/l) y un blanco de agua tridestilada, a los que se les dió el mismo tratamiento que a las muestras problema.

*Nitratos.* Fueron determinados para cada muestra de agua por duplicado mediante la técnica de reducción de la hidracina (Kamphane 1967). Se tomaron muestras de 10 ml por duplicado de cada criadero, mismas que fueron filtradas previamente con papel filtro Whatman® GF/C o filtros Microporos de 0.45 µ. Esta técnica utiliza una solución reductora de hidrazina al 0.48% y de cobre al 0.04%, la cual reduce los nitratos a nitritos produciendo una reacción de cambio de coloración y una reacción acoplada de disociación.

La técnica asume una reducción estequiométrica 1:1 de nitrato a nitrito. El nitrito presente en dicha reacción fue medido con un espectrofotómetro (Spectronic 20D, Milton Roy Company) a 543 nm de absorbancia, comparandola con una curva de calibración obtenida mediante el empleo de 10 ml de cada solución patrón de referencia y un blanco de agua tridestilada.

*Materia Orgánica.* Para estimar el contenido de materia orgánica de las muestras de agua de los diferentes criaderos se utilizó la técnica de determinación aproximada de Janik y Byron (1987). El procedimiento consistió en tomar 10 ml de muestra de agua de los criaderos y agregar 5 gotas de ácido sulfúrico al 20% y 3 gotas de solución de permanganato de potasio 0.01 N. Posteriormente las muestras se agitaron con ayuda de un vórtex y se dejaron reposar algunos segundos, para después calentarlas hasta ebullición. El contenido de materia orgánica de las diferentes muestras fue estimado en base a los siguientes criterios: (1) Si la muestra decoloró sin calentar, la concentración de materia orgánica fue > 50 mg/l; (2) si decoloró sin hervir calentando sólo unos minutos, su concentración fue >30 mg/l; (3) cuando la muestra se decoloró después de hervir, su contenido fue de 20-30 mg/l; (4) si decoloró después de hervir y reposar por algunos minutos, su contenido de materia orgánica fue de 12-20 mg/l; y (5) cuando la solución no decoloró aunque se hirvió y se dejó reposar, su concentración fue < 12 mg/l.

*Oxígeno Disuelto.* Esté parámetro fue determinado mediante la técnica de Winkler 1888 (Golterm 1969). El procedimiento en campo consistió en tomar muestras de 100 ml de agua de los diferentes criaderos en botellas de vidrio color ámbar con tapón esmerilado, posteriormente se agregó a cada muestra 1 ml de sulfato de manganeso al 36.5% y 1 ml de solución alcalina de yoduro de potasio (dilución de hidróxido de potasio al 100% y yoduro de potasio al 66.6% en agua destilada). Después el frasco se tapó y se agitó por inversión evitando la formación de burbujas, dejándolo reposar posteriormente hasta que el precipitado formado descendiera hasta 1/3 del volumen del frasco, momento en el cual se agregó 1 ml de ácido sulfúrico concentrado; se tapó de nuevo, y se agitó por inversión hasta que los grumos desaparecieran. Una vez realizado lo anterior, las muestras se transportaron a laboratorio en hieleras. Se tomaron alicuotas de 60 ml de cada muestra y se depositaron en vasos de precipitado de 100 ml para su titulación con tiosulfato de sodio 0.01 N, agregándolo gota a gota mediante el empleo de una bureta de 50 ml, hasta que la muestra viró del color amarillo a incolora; después se agregaron 100 µl de solución indicadora de

almidón y se siguió titulando hasta que el color azul desapareció. La concentración de oxígeno disuelto en cada muestra de agua fue determinada mediante la siguiente formula:

$$\textbf{ml } O_2/l \textbf{ de } H_2O = [B / (B - 2)]\ [VNf / 50]\ [1000]\ [8g / eq]\ [22.41 / 32g]\ [1000] = \\ = (112000)\ (BVf) / (B - 2).$$

B = Volumen del frasco(100 ml);
V = Volumen utilizado de la solución de Tiosulfato sódico(en litros);
N = Normalidad de la solución de Tiosulfato sódico
f = factor de corrección para N.

Para establecer las asociaciones entre las densidades larvarias, las coberturas y tipos de algas, así como las relaciones entre las densidades larvarias con los parámetros físico-químicos e insectos acuáticos, se efectuaron correlaciones de Pearson y análisis de regresión múltiple.

V. 5. Relaciones fitoecológicas entre las larvas de *An. pseudopunctipennis* y las algas.

V. 5. 1. *Papel de las algas sobre la alimentación de las larvas* (Análisis del contenido estomacal).

Se colectaron 1600 larvas de 4° estadio de *An. pseudopunctipennis* de 80 sitios de crianza (20 larvas/por sitio) seleccionados al azar de los 138 sitios ubicados en los seis transectos de la zona de estudio. Las larvas fueron muertas y preservadas en formalina al 4%. El bolo alimenticio fue extraído con agujas de disección y se transfirió a viales de plástico con 2 ml de agua tridestilada estéril. Después se sonicó a 15 micrones de amplitud por un tiempo de 3-5 segundos en un ultrasonicador para dispersar las partículas. Para la tinción se añadió a continaución la solución DAPI (4'6-diamidino-2-phenylindole. Sigma Chemical), adicionandola gota a gota dentro de cada vial con la muestra de estómagos (hasta alcanzar una concentración final de 2 μg/ml) y los viales se guardaron en obscuridad a 4 °C durante 25 min., pasando este tiempo el contenido de los viales se removió con pipetas Pasteur y se pasó a través de un filtro negro de 0.22 μm de diámetro (black polycarbonate nucleopore filters) con la ayuda de una jeringa. Después de filtrar las muestras, se retiraron los filtros negros y se colocaron en un portaobjetos previamente

untado con aceite de inmersión, colocando otras gotas de aceite sobre el filtro y poniéndole el cubreobjetos. Una vez realizado lo anterior las muestras o láminillas se guardaron horizontalmente en la obscuridad a 4 °C. Para la lectura de los filtros se utilizó un microscopio Reichert-Jung Diastar con luz epifluorescente, lámpara de mercurio de 50 w y objetivos de 40x, se contaron las partículas teñidas en 50 campos de cada laminilla. Las partículas teñidas se pudieron diferenciar posteriormente en base a su coloración en cuatro categorías: 1) bacterias, tiñen de azul; 2) protozoarios, de azul pero con núcleos distintivos de diferente coloración; 3) detritus orgánico, fluorece de amarillo y 4) las algas, cuya clorofila se tiñe de rojo con núcleos de color azul. Los resultados se expresaron cuantitativamente en base al número de partículas contenidas en los estómagos mediante la fórmula (Walker *et al.* 1988a):

$$\frac{\text{Total de partículas contadas x (No. De campos contados x 1,600 } \mu m^2 \text{ por campo)}^{-1} \text{ x área interior del filtro}}{\text{Factor de dilución}}$$

en la cual el área del filtro es el área del círculo (17 mm) y el factor de dilución es el número de estómagos utilizados (20 estómagos/laminilla).

También se tomaron muestras de 10 criaderos de cada transecto (20 estómagos de larvas por criadero y del agua de los mismos) con la finalidad de determinar la presencia de cianobacterias asociadas a ellos, para ello se utilizó el medio de cultivo BG-11, específico para el desarrollo de dichas cianobacterias.

La determinaciones taxonómicas de las cianobacterias y algunas algas se llevaron a cabo mediante el empleo de claves estándar de Prescott (1972) y el sistema computarizado C. A. A. R. (Computer Assisted Algal Recognition) para la identificación rápida de algas dulceacuícolas (Knuston y Sterk 1996). Las identificaciones fueron confirmadas por la M. en C. Michel Gold Morgan del Laboratorio de Ficología de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

V. 5. 2. *Relaciones Ecológicas de Refugio* (Experimentos de depredación).

Para determinar la condición de refugio que proveen las algas filamentosas (*Spirogyra* sp.) a las larvas de *Anopheles pseudopunctipennis,* se evaluó el efecto de la

cobertura de las algas y la densidad de peces (*Poecilia sphenops*) sobre la tasa de sobrevivencia y depredación de larvas de este mosquito, mediante una serie de experimentos con encierros flotantes. Los encierros flotantes se construyeron con tubos de PVC de 25 cm de diámetro por 37.5 cm de altura, a los cuales se les abrieron un par de ventanas en ambos lados de 5x20 cm, con la finalidad de permitir el intercambio de agua del interior y el exterior del tubo. Los tubos se hicieron flotar mediante el empleo de tiras de hielo seco de 20 cm de largo por 10 cm de ancho, de tal forma que permitieran a los tubos salir 10 cm de la superficie del agua (Fig. 4). Para evitar la salida de las larvas y los peces de los tubos, se colocó malla de nylon tricot® de 200 μm, en la superficie, el fondo y las ventanas de cada uno.

Se elaboró un diseño experimental de tipo factorial combinando 4 niveles de cobertura de algas (0, 33, 66 y 99%) con 4 niveles de densidad de peces (0, 1, 2 y 4 peces), con lo que se obtuvo un total de 16 tratamientos para cada experimento, se realizaron 4 repeticiones para cada tratamiento. Las coberturas de algas se eligieron en base a las observadas en los criaderos naturales de este mosquito ubicados sobre el Río Coatán y la densidades de peces se determinaron de acuerdo a un estudio previo y al criterio descrito por Orr y Resh (1989).

Los tratamientos fueron designados al azar y los tubos se colocaron por grupos de 4 en un estanque ubicado en la localidad de El Plan-Las Palmas, Mpio. de Cacahoatán, en donde se había reportado previamente la presencia de larvas de *An. Pseudopunctipennis* (Fernández-Salas *et al*, 1994b) y las condiciones físico-químicas del agua (pH, oxígeno, conductividad, temperatura, etc.) fueron similares a las de los criaderos del Río Coatán, en donde se desarrolló gran parte del presente estudio.

Las algas *Spirogyra* sp. se obtuvieron de los criaderos del Río Coatán y se transportaron al estanque de El Plan-Las Palmas en donde se lavaron y sacudieron cuidadosamente para eliminar la presencia de depredadores u otros invertebrados, posteriormente, se colocaron en charolas perforadas y cubiertas con tul dentro de los estanques, con la finalidad de permitir su crecimiento y recuperación al disturbio causado por su manipulación. Una vez establecidas las algas en el estanque, se procedió a determinar las coberturas de 33, 66 y 99% en cada tubo de PVC, para ello se tomo la cantidad de algas que proporcionaban cada cobertura en los diferentes tubos y se pesaron

para estandarizar la cantidad de ellas a tomar para cada cobertura, con lo que se obtuvieron 10 mediciones para cada cobertura y mediante su promedio se determinaron los siguientes pesos: 80 g, 170 g y 250 g en peso húmedo de algas para las coberturas de 33, 66 y 99% respectivamente.

Los peces (*Poecilia sphenops*) utilizados para los experimentos fueron tomados del mismo estanque y tuvieron una talla promedio de 4-6 cm y se adicionaron a densidades de 0, 1, 2 y 4 peces por tratamiento, dejándose aclimatar por 24 h.

Una vez aclimatados los peces y las algas se agregaron 100 larvas de primer estadio de *An. pseudopunctipennis* de 24-48 hrs (de haber eclosionado) en cada recipiente para comenzar los experimentos. Se utilizaron 100 larvas/tratamiento y 1600 por experimento, haciendo un total de 6,400 larvas para las 4 repeticiones. Todas las larvas utilizadas provinieron de la colonia de *Anopheles pseudopunctipennis* de laboratorio, generación filial 15 a la 17, criadas en el Insectario del Centro de Investigación de Paludismo de Tapachula, Chiapas (Villarreal *et al.* 1998).

Cada experimento se corrió por espacio de 10 a 20 días, tiempo en el cual se obtuvieron las pupas de cada tratamiento, mismas que se transportaron a laboratorio para la obtención de los adultos en cámaras de emergencia. También durante el desarrollo del presente estudio, se registró el tiempo de pupación, y el tamaño de cuando menos 10 adultos por cada tratamiento, con la finalidad de determinar si existió algún efecto de la presencia de los depredadores sobre el tiempo de pupación y el tamaño de los mosquitos adultos, ya que en un estudio previo, Hechtel y Juliano (1997) demostraron que las larvas de *Aedes triseriatus* bajo presión del depredador *Toxorhynchites rutilus*, aumentan su tiempo de pupación y disminuye el tamaño de los adultos.

*Análisis de Datos*: Las fórmulas utilizadas para el cálculo de la sobrevivencia, y la depredación fueron tomadas de Orr y Resh (1989). La sobrevivencia (S) fue calculada como el porcentaje del número inicial de larvas que sobrevivieron al final de cada experimento. Considerando que como el número inicial de larvas fue de 100 en todos los tratamientos, el porcentaje de sobrevivencia fue igual al número de sobrevivientes. Por lo tanto, la mortalidad total se estimó como: $M = 100 - S$; sin embargo este no es un buen estimador de la tasa de depredación , ya que existe mortalidad natural de larvas en los

tratamientos testigo (0 peces). Por lo que para el cálculo de la tasa de depredación se uso la siguiente ecuación (Orr y Resh, 1989):

$$P = (M - C) / (100 - C)$$

en donde P = proporción de larvas muertas por los peces, M = mortalidad total y C = mortalidad debida a factores diferentes a la depredación por los peces (número de larvas muertas en el respectivo tratamiento control). El valor de C se calculo para cada experimento, en cada uno de los niveles de los diferentes tratamientos.

Las medias y errores estándar para S y P se calcularon para los datos transformados y no transformados. Se aplico un análisis estadístico mediante pruebas de Análisis de Varianzas de 2 vías (ANOVA bifactorial) y comparaciones múltiples de Tukey (prueba de las diferencias honestamente significativas) usando transformaciones angulares (Zar 1984) mediante el arcoseno de la raíz cuadrada de la proporción de larvas que sobrevivieron (S /100) y de la proporción de larvas muertas por el depredador (P).

V. 5. 3. *Experimentos de Oviposición.*

Con la finalidad de establecer si existió alguna influencia de las algas sobre la selección de los sitios de oviposición de los mosquitos *An. pseudopunctipennis*, se llevaron a cabo una serie de experimentos de oviposición. Se utilizaron círculos de PVC de 25 cm de diámetro y 10 cm de altura con fondo de tela de nylon de malla fina. A cada círculo se le colocó una lámina de stryrofoam para que flotara sobre el agua, amarrándolo de un extremo para evitar que fuera arrastrado.

Se seleccionó un estanque en la localidad de El Plan-Las Palmas con condiciones similares a las de los criaderos del Río Coatán, en cuanto a temperatura, pH, conductividad, oxígeno, etc. en donde en estudios previos ya habían sido registradas larvas de *An. pseudopunctipennis.* En el estanque, cada experimento consistió de 10 círculos de PVC, 5 que contenían algas y 5 con agua abierta (sin algas) como primer factor. También se probaron como segundo factor dos géneros de algas: *Spirogyra* sp. y *Cladophora* sp. como sustratos de oviposición. Se realizaron 5 repeticiones de cada experimento para cada género de algas, con lo que se obtuvieron un total de 25 repeticiones para cada género de

algas y 50 de agua abierta. En cada experimento los sustratos se expusieron durante 72 horas y después se retiraron para su revisión durante los siguientes tres días. El número de huevos ovipositados en cada recipiente y para cada tratamiento sirvió para definir el número de larvas de primer estadio que eclosionaron en los mismos (Rejmankova *et al.* 1996).

Para el análisis de los resultados se realizaron análisis de varianzas de 2 vias y comparaciones múltiples de Tukey (prueba de las diferencias honestamente significativas) (Zar 1984).

# VI. RESULTADOS

## VI. 1. Dinámica de criaderos y abundancia larvaria de *Anopheles pseudopunctipennis*.

### VI. 1. 1. *Dinámica de criaderos larvarios de An. pseudopunctipennis.*

Para finales de noviembre de 1996 los niveles de agua del Río Coatán bajaron y las algas filamentosas ya se habían establecido en el fondo rocoso de algunas zonas del área de estudio formando los criaderos de *An. pseudopunctipennis*. En la Fig. 5 se muestra el número de criaderos registrados en el presente estudio, observándose que durante los meses de noviembre a diciembre se registraron 8 y 23 criaderos respectivamente, que representaron los primeros sitios de crianza de *An. pseudopunctipennis* y cuyas densidades larvarias se oscilaron entre 0.05-0.76 larvas/calado. Para el mes de enero ya se habían localizado 124 criaderos con una densidad que fluctuaba entre 0.93-2.66 larvas/ calado, siendo en el mes de febrero cuando se registraron 138 criaderos, mismos que permanecieron constantes en número y ubicación hasta el mes de marzo, con una abundancia larvaria promedio que osciló entre 4.6-15.41 larvas/calado. Posteriormente, para el mes de abril se registró una ligera disminución en el número de criaderos, a consecuencia de la desecación de algunos de ellos, sin embargo, fue hasta mediados del mes de mayo cuando se dio una disminución mayor, siendo a finales de este mes y principios de junio cuando desaparecieron como consecuencia del establecimiento de la temporada de lluvias que trajo con sigo el aumento de los niveles de agua del río y por tanto el arrastre de los criaderos.

Los criaderos de *An. pseudopunctipennis* en el presente estudio fueron registrados como charcas de río (100%), con aguas claras en 914 de los 955 hábitats positivos registrados (95.71%), sólo 34 criaderos fueron registrados con aguas coloreadas (3.56%) y 7 presentaron aguas turbias (0.73%). El movimiento del agua en 104(10.89%) de los hábitats registrados fue lenta y moderada en 849 (88.90%) y únicamente se presentaron 2 (0.21%) criaderos con aguas estancadas. El fondo más frecuente de los criaderos fue arenoso-rocosos en 949 (99.37%) de los hábitat positivos y únicamente 10 (0.63%) registros de criaderos con fondo limo-arcilloso (Tabla 1). La mayoría de los criaderos positivos a larvas (94%) fueron asociados positivamente a manchones de algas filamentosas ($r = 0.66$, $P = 0.0001$) principalmente de los géneros *Spirogyra* y *Cladophora*.

La producción potencial o productividad de larvas de *An. pseudopunctipennis* por $m^2$ de algas filamentosas y otras macrofitas se muestran en la Tabla 2. En general se observó que en los hábitats larvarios las algas filamentosas ocupan los tres primeros lugares en productividad larvaria en comparación con el grupo de *Heteranthera limosa*, siendo el género *Spirogyra* el que representa el hábitat larvario más productivo con una abundancia larvaria de 55.61 larvas/$m^2$, mientras que las algas del género *Cladophora* presentaron una productividad de 36.14 larvas/$m^2$ ocupando el segundo lugar.

VI. 1 .2. *Caracterización físico-química de los criaderos larvarios de An. pseudopunctipennis.*

La estadística descriptiva de los principales parámetros físico-químicos de los criaderos de *An. pseudopunctipennis* se presenta en la Tabla 3.

El nivel de agua de los criaderos de *An. pseudopunctipennis* fluctúo entre 6-70 cm, con un valor promedio de 18.30 cm (DE = 7.46 cm), sin embargo el 94% (897) de los criaderos presentaron una profundidad de entre 6-30 cm, 4% (39) estuvieron ubicados entre el rango de 30-40 cm y el 1.69 (16) presentaron profundidades en el rango de 40-70 cm (Tabla 4).

El área promedio observada de los criaderos fue de 12.45 $m^2$ (DE =12.05 $m^2$), con un rango de 1.19-75.86 $m^2$, sin embargo, el 81% de los criaderos presentaron un área de entre 1-20 $m^2$, 13% entre 20-40 $m^2$ y el 6% restante se encuentran en la categoría de 40-76 $m^2$ (Tabla 5).

La temperatura del agua en los criaderos presentó un valor promedio de 25.40 °C (DE= 1.94 °C) que osciló dentro del rango de 16-35 °C.

La conductividad eléctrica promedio fue de 11.43 µS/cm (DE =31.84 µS/cm) con un rango de valores entre 87-183 µS/cm.

La concentración media de sólidos totales en los criaderos fue de 48.5 ppm (DE=13.03 ppm) con un valor mínimo de 39 ppm y un máximo de 82 ppm.

El pH promedio presentado en el agua de los criaderos fue de 7.33 (DE =0.64) con un rango de 4.42-10.35.

La concentración de oxígeno disuelto en los criaderos alcanzó un valor promedio de 6.99 mg/l de agua (DE =2.93 mg/l de agua) y un rango de valores de 0.60-31.16 mg/l de agua.

Los nitratos estuvieron presentes con una concentración promedio de 66.25 ppb (DE =107.42 ppb) y un rango de 0-761.79 ppb.

El contenido de fosfato de las muestras de agua de los criaderos fue de 46.05 ppb (DE =174.94 ppb).

El contenido de materia orgánica en los criaderos fluctúo entre las categorías de <12 mg/l y > 50 mg/l, sin embargo se observó que el 88% (643) de las muestras contenían <12 mg/l de materia orgánica, 4% (29) estaban dentro de la categoría de 12-20 mg/l, 3.5% (26) en el rango de 20-30 mg/l, 3.4% (25) contenían > 30 mg/l y < 1% (7) presentaron > de 50 mg/l (Tabla 6).

El análisis de regresión múltiple sugiere que de las variables determinadas para los criaderos larvarios de *An. pseudopunctipennis* en el Río Coatán, Chiapas, la cobertura de algas (r =0.64, *P* =0.0001), la concentración de oxígeno disuelto (r =0.64, *P* =0.0001), el contenido de nitratos(r =0.64, *P* =0.0008) y la profundidad o nivel del agua (r =0.64, *P* =0.0368), presentaron una asociación positiva con la abundancia larvaria de *An. pseudopunctipennis*. Mientras que el contenido de materia orgánica fue asociada negativamente (r =0.64, *P* =0.0369) con la presencia de larvas de este mosquito (Tabla 7).

VI. 1. 3. Listado de los principales géneros y especies de algas encontradas en los criaderos y estómagos de las larvas de *An. pseudopunctipennis*.

Se determinaron un total de 5 especies y 20 géneros de algas pertenecientes a 16 familias, 12 ordenes y 3 divisiones, mismas que fueron aisladas de estómagos (*) y muestras de agua de los criaderos de *An. pseudopunctipennis* en el Río Coatán, Chiapas (Tabla 8).

Reino Procaryotae

División: Cyanophyceae (Cianobacterias o algas verde-azules)

Orden: Chroococcales

Familia: Chroococcaceae

Géneros: *Chroococcus* (*), *Microcystis* (*)

Orden: Oscillatoriales

Familia: Oscillatoriaceae

Géneros: *Lyngbya* (*), *Oscillatoria* (*)

Orden: Nostocales

Familia: Nostocaceae

Géneros: *Anabaena*

Especie: *Anabaena doliolum* (*)

Reino Protista

División: Chlorophyceae (Algas verdes)

Orden: Tetrasporales

Familia: Gleocystaceae

Géneros: *Gleocystis*

Orden: Chlorococcales

Familia: Ocystaceae

Géneros: *Chlorella* (*), *Zoochlorella*

Familia: Scenedesmaceae

Géneros: *Scenedesmus*

Orden: Ulotrichales

Familia: Ulotrichaceae

Géneros: *Uronema*

Especie: *Uronema confervicolum*

Orden: Oedogoniales

Familia: Oedogoniaceae

Géneros: *Oedogonium*

Orden: Siphonocladales

Familia: Cladophoraceae

Géneros: *Cladophora*

Especie: *Cladophora glomerata*

Orden: Zygnematales

Familia: Zygnemataceae

Géneros: *Spirogyra* (*), *Zygnema*

Familia: Desmidiaceae

Géneros: *Closterium*

División: Chrysophyceae

Subdivisión: Xanthophyceae (Algas pardo-amarillas)

Orden: Tribonematales

Familia: Tribonemataceae

Género: *Tribonema*

Orden: Vaucheriales

Familia: Vaucheriaceae

Género: *Vaucheria*

Subdivisión: Bacillariophyceae (Diatomeas)

Orden: Pennales

Familia: Fragilariaceae

Género: *Fragilaria, Synedra*

Especie: *Synedra ulna*

Familia: Cymbellaceae

Género: *Cymbella*

Familia: Gomphonemaceae

Género: *Gomphonema*

Familia: Epithemiaceae

Género: *Rhopalodia*

Especie: *Rhopalodia gibberula*

VI. 1 4. *Principales ordenes, familias y géneros de insectos acuáticos y peces asociados a los criaderos de An. pseudopunctipennis.*

En la Tabla 9 se presentan los resultados obtenidos de la estadística descriptiva de los principales ordenes de insectos acuáticos asociados a los criaderos de *An. pseudopunctipennis*. En lo referente a la abundancia se observó que el Orden Hemiptera fue el más abundante, ya que se obtuvieron un total de 36,549 individuos con una densidad promedio de 22.18 hemípteros/criadero que representa el 83.31% del total registrado. El Orden Ephemeroptera fue el segundo lugar en abundancia con una densidad de 3.07 efemeropteros/criadero y un total de 5,066 individuos colectados que representan el 11.55%; los Ordenes Coleoptera y Odonata estuvieron representados con densidades de 0.92 y 0.43 insectos/criadero, con un total de 1510 y 709 insectos que representan el 3.44% y 1.62% respectivamente. Los grupos menos representados fueron los Ordenes Plecoptera y Trichoptera con densidades de 0.01 individuos/criadero para ambos grupos y un total de 21 y 15 individuos que representaron el 0.05% y 0.03% respectivamente.

Los resultados de la determinación taxonómica de los principales grupos de insectos acuáticos asociados a los criaderos de *Anopheles pseudopunctipennis* se muestran en la Tabla 10. Se lograron determinar 16 géneros de insectos acuáticos comprendidos en 15 familias y 6 ordenes pertenecientes a la Clase Insecta.

Los peces encontrados en el Río Coatán pertenecen a la Clase Osteichthyes, Orden Cyprinodontiformes, familia Poecilidae y al género *Poecilia* y la especie *Poeclila sphenops*, comúnmente conocidos como pupos. En la Tabla 9 se observa que los peces presentaron una densidad promedio de 1.48 peces/criadero y un total de 2,447 peces fueron registrados a lo largo de todo el estudio en los diferentes criaderos.

VI. 1. 5. *Dinámica de la abundancia larvaria de An. pseudopunctipennis.*

A finales de noviembre de 1996 se realizaron las primeras visitas a la zona de estudio, en las cuales se registraron las primeras larvas de *An. pseudopunctipennis* con un valor de 0.05 larvas/ calado, cuya poblaciones fueron incrementándose gradualmente durante los primeros meses, alcanzando su punto máximo para finales de febrero con una densidad de 15.41 larvas/calado, posteriormente las poblaciones larvarias fluctuaron con

valores de entre 11.00-12.00 larvas/calado hasta mediados de marzo, posteriormente decreciendo drásticamente a principios de abril hasta su desaparición para mediados del mes de mayo (Fig. 6). La abundancia larvaria en el área de estudio fue asociada negativamente con los patrones de lluvia ($r = 0.71$, $\beta = -0.035$, $P = 0.009$), siendo en los meses de secas y específicamente a finales de febrero cuando ocurrieron las abundancias larvarias más altas.

VI. 2. Extracción de algas filamentosas de los criaderos de *An. pseudopunctipennis* .

En la Tabla 11 y Figura 7 se presentan los resultados del efecto de la extracción manual de las algas filamentosas sobre las densidades larvarias de *An. pseudopunctipennis* en los criaderos de los diferentes transectos seleccionados como de extracción y en los transectos seleccionados como controles dentro de la zona de estudio en el Río Coatán. En ellas se muestra claramente que los transectos en donde se aplicaron las medida de extracción de las algas a todos sus criaderos, al finalizar el estudio presentaron las siguientes densidades larvarias: 1.51 ± 0.99, 4.11 ± 1.84 y 6.94 ± 2.18 larvas/calado para los transectos I, VI y XI respectivamente; mientras que los valores alcanzados para los transectos controles fueron: 9.77 ± 2.62, 7.58 ± 1.45 y 14.54 ± 2.21 larvas/calado para los transectos III, V y VIII respectivamente, habiendo diferencias estadísticamente significativas (Tukey HSD, F= 5.25; G.L. = 5, 28 y $P = 0.0016$) entre los transectos controles con respecto a los de extracción y dentro de ambos grupos (Fig. 7).

Así mismo, se observó que el valor promedio general de la abundancia larvaria para los criaderos a los que se les aplicó tratamientos de extracción de algas fue de 4.34 ± 1.33 larvas/calado y la media de lo criaderos con tratamientos control fue de 10.67 ± 1.35 larvas/calado, habiendo diferencias estadísticamente significativas entre ambos valores (ANOVA; F = 12.94; G. L. = 1 y $P < 0.001$), por lo que el efecto de la extracción de la algas de los criaderos fue de una disminución significativa sobre sus poblaciones larvarias (Tabla 12).

En lo relacionado al efecto y tiempo de duración de las medidas de extracción manual de las algas sobre las poblaciones larvarias de *Anopheles pseudopunctipennis*, se observó que después de la extracción de las algas en los criaderos de los transectos seleccionados para tal efecto, las densidades larvarias disminuyeron de 15.11 ± 3.40

larvas/calado en el tiempo 0 (muestreo pre-tratamiento) a 0.04 ± 0.01 larvas/calado a los 15 días (primer muestreo post-tratamiento), este efecto permaneció constante durante la siguientes tres colectas, tiempo en el cual transcurrieron 50 días desde el inicio del experimento. Posteriormente se observó que a partir de la colecta 5 las densidades larvarias de los criaderos en donde se realizaron la extracción de sus algas ya habían alcanzado valores similares a las densidades larvarias de los criaderos controles, con un valor de 12.17 ± 1.44 larvas/calado y 11.32 ± 1.14 larvas/calado para los criaderos de extracción y los del grupo control, respectivamente. Después de haber transcurrido 55 días desde el inicio del experimento las densidades larvarias de ambos tratamientos disminuyeron gradualmente, hasta la desaparición de los criaderos a mediados del mes de Mayo de 1997 como resultado del incremento de los niveles de agua en el Río Coatán al inicio de la temporada de lluvias. Por lo que el efecto de la extracción de las algas sobre las poblaciones larvarias duro poco más de 45 días, con valores de 10.68 ± 1.35 larvas/calado para los criaderos controles, contra 4.34 ± 1.13 para los criaderos en donde se aplicaron las medidas de extracción de sus algas, habiendo diferencias estadísticamente significativas (Fig. 8, Tabla 12).

Con la finalidad de aprovechar las observaciones sobre el efecto de la extracción de las algas de los criaderos por acción de la liberación de la corriente del río Coatán, se llevó a cabo el seguimiento de las abundancias larvarias en los criaderos que fueron barridos por la corriente y se compararon contra los criaderos del transecto XI que permanecieron intactos. En la Tabla 13 se observa que en el muestreo previo a la liberación de la corriente la abundancia larvaria de los criaderos seleccionados como de extracción presentaban un valor promedio de 11.32 ± 1.14 larvas/calado, similar a los valores de los criaderos seleccionados como controles con una abundancia de 12.17 ± 1.44 larvas/calado, posteriormente las densidades larvarias en los criaderos barridos por la corriente disminuyeron drásticamente con valores que fluctuaron entre 4.15 ± 0.01 larvas/calado a los 10 días , hasta 1.74 ± 0.54 larvas/calado a los 20 días, mismos que continuaron a la baja hasta la desaparición de las larvas después de los 60 días, en tanto que en los criaderos controles la abundancia larvaria aumento a 13.11 ± 1.83 larvas/calado a los 10 días, 7.88 ± 1.07 larvas/calado a los 20 días, disminuyendo abruptamente a partir de los 30 días hasta su desaparición después de 60 días. Sin embargo, se observó una abundancia promedio general de 3.83 ± 0.84 larvas/calado para la abundancia de los criaderos controles y 1.05 ± 0.37 larvas/calado para los criaderos de extracción, por lo que se observaron diferencias significativas entre ambas abundancias larvarias (ANOVA; F = 4.76; G. L. = 1, $P$ = 0.036).

## VI. 3. Relaciones Fitoecológicas entre las larvas de *An. pseudopunctipennis* y las algas.

### VI. 3. 1. *Papel de las algas sobre la alimentación de las larvas (análisis del contenido estomacal).*

En la Tabla 14 se muestran los resultados obtenidos para el análisis del contenido estomacal de 1600 larvas de *An. pseudopunctipennis* determinados mediante la técnica de tinción fluorocromática con DAPI. Se pudieron identificar tres grupos de partículas, detritos, algas y bacterias, observándose que las partículas de mayor abundancia fueron las de detritos con un total de 6,490.21 (D.E. = 1217) partículas/estómago, que representan el 51.75% del total de los recursos alimenticios contenidos en los estómagos de las larvas, mientras que las algas representaron el 47.34% con un total de 5,936.94 (D.E. = 1325) partículas/estómago y las bacterias resultaron ser el grupo menos representado con 113.49 partículas/estómago (D.E. = 119) que corresponden al 0.90%.

### VI. 3. 2. *Relaciones ecológicas de refugio (experimentos de depredación).*

La sobrevivencia de larvas de *An. pseudopunctipennis* fue afectada significativamente por la densidad de peces *Poecilia sphenops* y la cantidad de cobertura de algas *Spirogyra* sp., sin embargo la interacción de ambos factores, no presento ningún efecto sobre este parámetro (ANOVA: Factor A, $F_{3,48}$= 48.77, $P$ = 0.0001; Factor B, $F_{3,48}$= 24.99, $P$ = 0.0001; Interacción AB, $F_{9,48}$= 1.13, $P$ = 0.3593) (Fig. 9 y Tabla 15 ).

La cobertura de algas estuvo significativamente correlacionada con la tasa de sobrevivencia de larvas (ANOVA, Factor B, $F_{3,48}$= 24.99, $P$ = 0.0001). La sobrevivencia más alta se observó en los tratamientos con 66% de cobertura y la más baja en los tratamientos con cero cobertura. La sobrevivencia de larvas de *An. pseudopunctipennis* fue significativamente menor en los tratamientos con 0% de cobertura de algas, con respecto a los que presentaron cobertura de algas (33, 66 y 99%) en donde sobrevivieron significativamente más larvas (Tukey DHS, $P$ = 0.0001). Dentro de los tratamientos con cobertura de algas se observó, que los que brindaron mejores condiciones de refugio contra la depredación a las larvas fueron los tratamientos de 33 y 66%, ya que presentaron una tasa de sobrevivencia larvaria superior al de 99% (Tukey DHS, $P$ = 0.0001). La sobrevivencia larvaria fue relacionada negativamente con la densidad de peces (ANOVA, Factor A, $F_{3,48}$=

48.77, $P = 0.0001$), es decir, que a mayor densidad de peces menor tasa de sobrevivencia larvaria. En los tratamientos sin peces siempre hubo significativamente mayor sobrevivencia que en los que contenían peces (Tukey DHS $P < 0.001$), habiendo diferencias dentro de los tratamientos con peces, ya que los de densidad de 1 pez presentaron estadísticamente (Tukey DHS $P < 0.001$) mayor sobrevivencia larvaria que los tratamientos con 4 peces, no habiendo diferencias entre los tratamientos de 1 y 2 peces respectivamente.

La tasa de depredación fue asociada positivamente con la densidad de peces y negativamente con la cobertura de algas filamentosas, habiendo un efecto significativo de ambos factores y su interacción sobre la tasa de depredación de larvas de *An. pseudopunctipennis* (ANOVA: Factor A, $F_{3,48}= 168.08$, $P < 0.0001$; Factor B, $F_{3,48}= 24.01$, $P < 0.0001$; Interacción AB, $F_{9,48}= 3.18$, $P = 0.0043$) (Fig. 10 y Tabla 16).

La tasa de depredación se incremento conforme aumentó la densidad de peces y disminuyo significativamente bajo la influencia de la cobertura de algas; sin embargo, no hubo diferencias en la tasa de depredación entre los tratamientos con cobertura de algas. El efecto negativo de la cobertura de algas sobre la tasa de depredación fue altamente significativo en los tres tratamientos de algas con respecto a los tratamientos sin algas (Tukey DHS, $P < 0.0001$). El efecto positivo de la densidad de peces fue altamente significativo en los tres tratamientos con peces (Tukey DHS, $P < 0.0001$) en relación a lo que no presentaron peces. Sin embargo, dentro de los tratamientos con peces, hubo diferencias significativas entre los tratamientos de 1 y 4 peces, pero no entre los de 1 y 2 peces y entre los de 2 y 4 peces.

VI. 3. 2. 1. *Efecto de la presencia de los depredadores sobre el tiempo de pupación de larvas de An. pseudopunctipennis.*

En la Tabla 17 y Figura 11, se muestran los resultados del efecto de la presencia de *Poecilia sphenops* sobre el tiempo de pupación de larvas de *An. pseudopunctipennis*. Se encontró que la presencia de los peces afectó de manera negativa el tiempo de pupación de las larvas independientemente de la cobertura de algas (Tukey DHS $P_{0.05,\,3\,,\,39} = 0.973$) que no produce ningún efecto significativo sobre el tiempo de pupación. En los tratamientos sin peces y bajo los 4 niveles de cobertura de algas, el tiempo de pupación promedio fue de 8.31 días, mismo que fue significativamente menor (Tukey DHS $P_{0.05,\,3\,,\,39} < 0.001$) al

tiempo de pupación de las larvas en los tratamientos con 1, 2 y 4 peces que puparon a los 10.00, 10.58 y 12.08 días, respectivamente. En la misma tabla se observa que existe una diferencia de 1.69 y 2.27 días en el tiempo de pupación de larvas en los tratamientos con 1 y 2 peces respectivamente, con respecto al tratamiento de 0 peces, sin embargo las diferencias se ven más acentuadas en el tratamiento de 4 peces en donde las larvas puparon en promedio 3.77 días después que las larvas de los tratamientos sin peces, habiendo diferencias significativas entre este ultimo grupo con respecto a los grupos con 1 y 2 peces y obviamente con el grupo control.

VI. 3. 2. 2 *Efecto de la presencia de los depredadores sobre el tamaño de los adultos de An. pseudopunctipennis.*

En la Tabla 18 y Figura 12, se presentan los resultados obtenidos para el efecto de la presencia de *Poecilia sphenops* sobre el tamaño de las hembras que emergieron en los diferentes tratamientos con 4 cobertura de algas y 4 densidades de peces, observándose que si existe un efecto negativo sobre las hembras obtenidas de los tratamientos con peces cuyos tamaños fueron de 3.60, 3.54 y 3.51 mm para los tratamientos de 1, 2 y 4 peces (respectivamente), con respecto a los tratamientos con 0 peces en donde las hembras alcanzaron una talla promedio de 3.92 mm, habiendo diferencias estadísticamente significativas (Tukey DHS $P < 0.001$). Sin embargo, la cobertura de las algas no influyo en el tamaño de las hembras, ya que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos con y si peces (Tukey DHS $P = 0.415$).

Los resultados para la influencia de los peces sobre el tamaño de los machos se muestran en la Tabla 19 y Figura 13. Se observó que independientemente de la cobertura de las algas (Tukey DHS $P = 0.402$), la presencia de los peces ejercen un efecto negativo sobre el tamaño de los machos, ya que las tallas promedio en los tratamientos con 1, 2 y 4 peces, fue de 3.35, 3.35 y 3.27 mm respectivamente, mientras que en los tratamientos sin peces, el tamaño de los machos fue de 3.62 mm, habiendo diferencias significativas (Tukey DHS $P < 0.001$). Así mismo, se encontró que dentro de los tratamientos con peces, no existieron diferencias estadísticas entre los tratamientos de 1 y 2 peces, pero si existieron diferencias de estos últimos con respecto al tratamiento de 4 peces, por lo que se observaron tres grupos o tallas diferentes de mosquitos.

VI. 3. 3. *Experimentos de Oviposición.*

Los resultados de los experimentos de oviposición se presentan en la Tabla 20 y Figura 14. Se obtuvieron un total de 194 (50) larvas de 1er. estadio que eclosionaron en los tratamientos que contenían algas filamentosas, con una media de 3.88 larvas/recipiente, mientras que los tratamientos que contenían únicamente agua, presentaron un total de 11 (50) larvas con una media de 0.22 larvas/recipiente, por lo que el número de larvas obtenidas en los tratamientos con algas fue significativamente mayor al número de larvas obtenidos en los tratamientos con agua únicamente (ANOVA bifactorial; F = 6.76; G.L. = 1, 96; $P < 0.01$).

Sin embargo al comparar dentro de los tratamientos con los dos géneros de algas se observó que en los recipientes con algas del género *Spirogyra* sp. como substratos de oviposición presentaron un total de 105 (25) larvas, con un promedio de 4.20 larvas/recipiente, mientras que los tratamientos que contenían a las algas *Cladophora* sp. presentaron 89 (25) larvas, con un promedio de 3.56 larvas/recipiente, por lo que no se observaron diferencias estadísticamente significativas en cuanto a las preferencias de las hembras de *Anophles pseudopunctipennis* para ovipositar en cualquiera de los dos géneros de algas (ANOVA bifactorial; F = 0.147; G.L. = 1, 96; $P = 0.70$).

# VII. DISCUSIÓN

## VII. I. Dinámica de criaderos y abundancia larvaria de *Anopheles pseudopunctipennis*

### VII. 1. 1. *Dinámica de criaderos larvarios de An. pseudopunctipennis*

El patrón anual de lluvias en el área de estudio presenta un comportamiento cíclico que determina el establecimiento y desarrollo de los criaderos larvarios de *An. pseudopunctipennis* en la temporada de secas. A finales de noviembre con la disminución de las lluvias se inicia el establecimiento de los primeros criaderos de este mosquito, mismos que se incrementaron en número y extensión conforme disminuyeron las lluvias, alcanzando sus valores máximos durante los meses de enero y febrero, tiempo en el cual no se registraron precipitaciones, siendo este mismo periodo en el cual las densidades larvarias alcanzan sus densidades mayores. Este incremento en el número de criaderos en el río fue relacionado inversamente con las lluvias, mismas que al presentarse abundantemente y de forma constante para el mes de mayo, provocan la aparición de afluentes repentinos que transforman en flujos rápidos los niveles de agua del Río Coatán, trayendo como consecuencia el barrido de las algas y los criaderos. Una vez establecida la temporada de lluvias los criaderos del río desaparecen y las hembras buscan hábitats temporales (charcas de lluvias) como sitios alternativos para su oviposición. Patrones similares de la abundancia de estos criaderos y su relación con la precipitación fueron reportados por Fernández-Salas *et. al.* (1994b) para esta especie de mosquito en el área de estudio.

### VII. 1. 2 *Caracterización físico-química de los criaderos larvarios de An. pseudopunctipennis.*

Estudios recientes en México y Belice reportan que las larvas de *An. pseudopunctipennis* han sido asociadas ambientalmente con 3 variables principales: presencia de algas verdes filamentosas, altitud y aguas poco profundas (Savage *et al.* 1990, Rejmanková *et al.* 1991,1992; Fernández-Salas *et al.* 1994 y Manguin *et al.* 1996). En relación a dichas asociaciones en el presente estudio las larvas de *An. pseudopunctipennis* fueron asociadas positivamente con la presencia y cobertura de las algas filamentosas (*Spirogyra* y *Cladophora)*, con la profundidad del agua, con la concentración de oxígeno

disuelto y nitratos en el agua y negativamente con la precipitación pluvial y contenido de materia orgánica.

En lo referente a la asociación de las larvas de *An. pseudopunctipennis* con la cobertura de algas filamentosas numerosos investigadores han reportado dichas relaciones fitoecológicas dentro del área de distribución de este mosquito (Shannon y Davis 1927, Hoffmann y Samano 1938, Aitken 1945, Hacket 1945, Levi-Castillo 1945). Particularmente en los criaderos ubicados en el Río Coatán, Savage *et al.* (1990) reportaron que la distribución de *An. pseudopunctipennis* en la estación seca esta influenciada por dos variables, la cobertura de las algas *Spirogyra* y *Cladophora*, y la presencia de *Heteranthera*; por su parte Fernández-Salas *et al.* (1994b) reportan una fuerte asociación de las larvas de este mosquito con la presencia de *Spirogyra*, *Cladophora*, *Closterium* y *Oedogonium*. En un estudio más reciente Manguin *et al.* (1996) realizaron una recopilación de la caracterización de los hábitats larvarios de esta especie de mosquito en 10 países de América, reportando que cinco géneros de algas verdes: *Spirogyra*, *Oedogonium*, *Cladophora*, *Closterium* y *Enteromorpha* fueron asociadas significativamente con la presencia de larvas de *An. pseudopunctipenns.*

Sin embargo, tanto en los trabajos citados anteriormente como en el presente estudio se hace hincapié en señalar al género de algas *Spirogyra* como el principal componente de los hábitats larvarios asociado con la presencia de este mosquito. También cabe aclarar que durante el presente estudio el género *Cladophora* fue asociado significativamente con la presencia de *An. pseudopunctipennis*, pero fue menos abundante que *Spirogyra* en los criaderos del Río Coatán. Por otra parte aunque se reporto la presencia de *Oedogonium* y *Closterium*, estas algas no fueron asociadas significativamente y su presencia fue muy rara en los criaderos de este mosquito. El género de algas *Enteromorpha* también fue asociado significativamente con la presencia de larvas de *An. pseudopunctipennis* por Manguin *et al.* 1993, sin embargo durante el presente estudio no se encontró asociada a los criaderos de este mosquito en el Río Coátan, debido a que es una especie de algas indicadora de aguas salobres y por lo tanto su establecimiento en aguas dulces es poco probable.

La mayoría de los criaderos en el área de estudio presentaron aguas poco profundas lo cual fue asociado significativamente con la presencia de larvas de *An. pseudopunctipennis*. La profundidad de los criaderos ha sido asociada positivamente con la

presencia de larvas de esta especie y es una de las variables que ejercen mayor influencia sobre la distribución de este mosquito (Savage *et al.* 1990). Resultados similares son presentados por Manguin *et al.* (1996) en 10 países dentro de la zona de distribución de este mosquito, aunque en el mismo se señala que el 60% de los criaderos se presentan entre el rango de 5-10 cm y para el presente estudio un porcentaje similar de criaderos asociados a larvas estuvieron comprendidos entre el rango de 10-20 cm, sin embargo dichos valores indican de cualquier forma la asociación de larvas de *An. pseudopunctipennis* con aguas poco profundas.

El segundo parámetro más importante en cuanto a su asociación con la abundancia larvaria de *An. pseudopunctipennis* durante el presente estudio fue el oxígeno disuelto, el cual no había sido reportado en estudios anteriores como un factor determinante en la presencia de larvas de este mosquito. La concentración de este gas en los criaderos del Rió Coatán también se encuentra íntimamente ligado con la presencia de algas filamentosas ya que el oxígeno es producido y respirado por las algas (Wetzel 1983).

La solubilidad del oxígeno esta inversamente relacionada con la temperatura; este gas es marcadamente más abundante en aguas frías. La concentración promedio de oxígeno en los criaderos de *An. pseudopunctipennis* fue de 6.99 mg/l a temperatura promedio de 25°C, lo cual se encuentra dentro de los valores reportados por Wetzel (1983) quien reporta que el agua pura en equilibrio con la presión estándar del aire contiene 12.77, 10.08, 8.26 y 6.95 mg $O_2$/litro a 5, 15, 25 y 35°C, respectivamente. El oxígeno puede ser localmente más abundante durante el día en regiones con fuerte desarrollo de plantas y potencialmente decrece en la noche, debido a la demanda del mismo por la descomposición y respiración de las plantas (Thorp y Covich 1991).

Rejmanková *et al.* (1996) midieron los patrones diarios de temperatura y oxígeno en criaderos de *An. albimanus* asociados con cianobacterias y reportan que durante el atardecer (18:30-21:00 hrs; tiempo estimado para la oviposición) se presentan temperaturas altas, bajas concentraciones de oxígeno y las concentraciones de $CO_2$ aumentan y aunque en el presente trabajo no se determinó la concentración de $CO_2$, se asume que el patrón en la concentración de ambos gases presenta un comportamiento similar por lo que el oxígeno y el $CO_2$ también juegan un papel importante en la oviposición de *An. pseudopunctipennis*. La importancia del oxígeno en la producción larvaria también se puso de manifiesto durante

el desarrollo del presente estudio, ya que se determinó que su concentración en los criaderos con aguas estancadas fue muy baja y la presencia de larvas en los mismos fue muy rara o escasa, además de que al estancarse completamente el agua de los criaderos los manchones de algas *Spirogyra* se comienzan a descomponer por la falta de oxígeno y la concentración de materia orgánica aumenta (lo cual fue asociado negativamente con la presencia de larvas de *An. pseudopunctipennis*).

En relación al contenido de materia orgánica en los criaderos de este mosquito que fue asociada negativamente con la presencia de larvas, en estudios anteriores se ha reportado que la descomposición de la vegetación y demás organismos muertos por parte de los microorganismos saprófagos trae como consecuencia un incremento y por lo tanto una disminución del oxígeno disuelto a consecuencia de la utilización del mismo durante los procesos fermentativos y de respiración por parte de los microorganismos (Beier *et al.* 1983).

La precipitación pluvial ha sido reportada como un parámetro negativo para la abundancia larvaria de *An. pseudopunctipennis* (Savage *et al.* 1990, Fernández-Salas *et al.* 1994 y Manguin *et al.* 1996) y al igual que en el presente estudio el incremento en el número de criaderos sobre el cauce del Río Coatán fue inversamente relacionado con las lluvias, ya que al aumentar la precipitación provoca la aparición de crecientes repentinas que traen como consecuencia el aumento de los niveles del río y con ello el barrido de la vegetación y las larvas establecidas anteriormente en ellos, por lo que las hembras de este mosquito buscan charcas de lluvias como sitios de crianza alternativos a la desaparición de los mismos en la temporada de secas (Fernández-Salas et al. 1994b). Patrones similares de interdependencia entre la precipitación pluvial y la abundancia estacional de larvas de mosquitos anofelinos han sido reportados por Wolda y Galindo 1981 y particularmente para *An. pseudopunctipennis* por Fernández-Salas *et al.* (1994b).

### VII. 1. 3. *Listado de los principales géneros y especies de algas encontradas en los criaderos y estómagos de las larvas de An. pseudopunctipennis*

Se detectaron un total de 7 géneros de algas presentes en estómagos de larvas de *An. pseudopuntipennis*, de las cuales cinco pertenecientes a la División de las Cyanophyceae (Cianobacterias): *Chroococcus*, *Lyngbya*, *Oscillatoria*, *Microcystis* y *Anabaena*; y dos

pertenecientes a la División de las Clorophyceae (algas verdes): *Chlorella* y *Spirogyra*; de las cuales Ulloa (1996) reporta haber detectado a *Clorela* y *Spirogyra* en estómagos y muestras de aguas de criaderos de *Aedes aegypti*. Por su parte Vázquez (1997) reportó la presencia de la cianobacterias *Oscillatoria* y *Anabaena*, así como la clorofita *Chlorella* en estómagos de larvas de *An. albimanus*.

En cuanto a la presencia de algas en las aguas de los criaderos de mosquitos y particularmente de *An. pseudopunctipennis*, uno de los primeros registros fue el trabajo de Hoffmann y Samano (1938) que concuerda con algunos de los resultados obtenidos para el presente estudio y quien reportó a los siguientes géneros de Clorofitas: *Spirogyra*, *Oedogonium*, *Closterium* y *Scenedesmus*; Crisofitas: *Tribonema*; Cianobacterias: *Chroococcus*, *Oscillatoria*, *Anabaena*, *Microcystis*, Bacilariofitas (diatomeas): *Synedra ulna*, *Fragilaria*. Cabe aclarar que todos estos géneros y particularmente la especie *Synedra ulna* fueron registrados durante el presente estudio. Ulloa (1996) reportó a las Clorofitas *Chlorella*, *Spirogyra* y *Closteium* en muestras de aguas de tambos, llantas y floreros en donde se crían las larvas de *Aedes aegypti*; también reportó a las Bacilariofitas *Gomphonema* y *Fragilaria*. Vázquez (1997) también detectó los siguientes géneros de algas registrados en criaderos de *An. albimanus*: las Cianobacterias *Chroococcus*, *Lyngbya*, *Oscillatoria*, *Anabaena* y la Clorofita *Chlorella*, los cuales estuvieron presentes en las aguas de los criaderos de *An. pseudopunctipennis*.

El conocimiento de la flora y fauna asociados a los criaderos de los vectores de paludismo es de gran importancia para el entendimiento de las relaciones ecológicas existentes entre dichos vectores con los componentes de sus hábitats, que nos permitan a futuro aprovechar esta información para el desarrollo de nuevas estrategias de control mediante la supresión o manipulación de ciertas especies o características de los mismos. Además gracias a los avances en las técnicas de biología molecular y genética, es posible seleccionar en estas relaciones que algas tienen potencial como fuentes de alimentación para manipularlas y producir organismos transgénicos con características deseadas para determinado fin, como lo son la producción de toxinas por tales organismos para el control de vectores (Frederici 1995, Porter 1996 y Vázquez 1997). Algunas especies de cianobacterias han sido reportadas como vehículos de toxinas de *Bacillus thuringiensis* para el control de larvas de mosquitos (Sangthongpitag *et al.* 1996). Los efectos de los diferentes recursos alimenticios o especies de algas asociadas íntimamente con el

crecimiento y desarrollo de larvas de mosquitos representan un potencial para su manejo como posibles herramientas de control (Marten 1984, 1987).

VII. 1. 4. *Principales ordenes y géneros de insectos acuáticos y peces asociados a los criaderos de An. pseudopunctipennis.*

Debido a que la sobrevivencia de muchas especies de mosquitos vectores son reguladas por interacciones bióticas, particularmente con depredadores, el conocimiento de las poblaciones de éstos y su papel en la regulación de las poblaciones de mosquitos son una necesidad prioritaria para el desarrollo de programas de control biológico. La determinación taxonómica y cuantificación de los insectos acuáticos asociados a los criaderos de vectores de paludismo han sido poco estudiadas y existen relativamente pocos trabajos que describan las interacciones entre estos. En relación a lo anterior, Delgado-Gallardo *et al.* (1994) realizaron un trabajo sobre la diversidad ecológica de las comunidades acuáticas que cohabitan con *An. pseudopunctipennis* en el arroyo La Ciudadela de Nuevo León registraron un total de 3,359 organismos de 7 ordenes, 27 familias y 39 géneros pertenecientes a la clase insecta, de los cuales los ordenes más abundantes fueron los Diptera (1,744), Odonata (582) y Coleoptera (409).

Por su parte Marten *et al.* (1996) realizaron un estudio sobre la ecología de los hábitats larvarios de *An. albimanus* en Colombia, describiendo que las larvas fueron asociadas negativamente con la presencia de peces, ninfas de hidrométridos, nayades de odonatos y efemerópteros. Los trabajos anteriores constituyen uno de los primeros pasos en la determinación de las relaciones ecológicas entre las larvas de mosquitos y los insectos asociados a sus sitios de crianza. Durante el desarrollo del presente trabajo se registraron 43,870 organismos pertenecientes a 7 ordenes, 15 familias y 16 géneros de la clase insecta, de los cuales los ordenes más abundantes fueron Hemíptera (36,549), Efemeroptera (5,066) y Coleoptera (1,510), sin embargo los insectos acuáticos no fueron cuantificados por género y en relación a las densidades larvarias de *An. pseudopunctipennis*, no se observaron asociaciones significativas entre estas y los diferentes ordenes de insectos acuáticos.

No obstante, se requiere de estudios más específicos para establecer las interacciones entre las larvas de este mosquito y los insectos acuáticos asociados a sus criaderos, determinando el papel de estos últimos en la regulación de las poblaciones

larvarias y estableciendo mediante la utilización de modelos que insectos tienen potencial como entomofagos para su empleo en programas de control biológico, pero para el éxito de la aplicación extensiva de los agentes de biocontrol de mosquitos se requiere del entendimiento de las relaciones ecológicas entre ambos.

Numerosos especies de insectos acuáticos han sido reportados como controladores de larvas de mosquitos, sin embargo entre varias de esas especies observadas, sólo unos cuantos han sido desarrollados como agentes de control biológico de larvas de mosquitos. Entre los principales grupos examinados se encuentran los odonatos, coleopteros (dyticidos, hidrofilidos, lacofilidos, etc.), hemipteros (notonectidos y belostomatidos) (Legner 1995).

Sin embargo, las principales dificultades a las que se enfrenta el empleo de los insectos acuáticos como agentes de control, son: su colonización y manejo, además de que las características oportunisticas de algunos vectores de enfermedades (como: su habilidad para explotar hábitats temporales, su corto tiempo entre generaciones, alta mortalidad natural, gran potencial de dispersión y otras características como estrategas-r) representan una problemática para cualquier agente de control(Legner 1995).

Una gran variedad de peces insectivoros son utilizados para el control biológico de mosquitos, los cuales constituyen el control biológico más exitoso (Legner 1995). Bay *et al.* (1985) notó que muchos grupos de peces consumen larvas de mosquitos, pero sólo pocas especies han sido manipuladas para el manejo de poblaciones de mosquitos.

El pezmosquito *Gambusia affinis*, es el mejor y más conocido agente de biocontrol de mosquitos, sus atributos biológicos son alta capacidad reproductiva, alta sobrevivencia, tamaño pequeño, forrajeo omnívoro en aguas poco profundas, y relativamente alta tolerancia a las variaciones de temperatura, salinidad y deshechos orgánicos (Bay 1985, Harwood y James 1993, Legner 1995). Sin embargo existen otros géneros de peces que han sido incriminados como buenos agentes de control, tal es el caso de los peces del género *Poecilia* (Velasco 1976, Bay 1985, Harwood y James 1993, Legner 1995). Además recientemente existe un gran interés en el estudio de peces depredadores nativos para el control de larvas de mosquitos (Harwood y James 1993 y Legner 1995), por lo que la especie *Poecilia sphenops* nativa de los criaderos *de Anopheles pseudopunctipennis* ubicado en el Río Coatán, Chiapas, es un candidato ideal para su manejo como agente de

control biológico ya que en los experimentos de depredación desarrollados en el presente estudio, presento una tasa de depredación sobre las larvas de este mosquito del 60-90% en presencia de cobertura de algas *Spirogyra* y del 100% en ausencia de las mismas.

VII. 1. 5. *Dinámica de poblaciones larvarias de An. pseudopunctipennis.*

De acuerdo a los resultados del presente estudio, la abundancia larvaria de *Anopheles pseudopunctipennis* fue asociada negativamente con la precipitación anual media, por lo que se observó que al finalizar la temporada de lluvias (últimos días de noviembre) y con la disminución de los niveles de agua en el Río Coatán, se llevo a cabo el establecimiento de los primeros manchones de algas filamentos que trajo con sigo el desarrollo de las primeras poblaciones larvarias, las cuales alcanzaron su pico máximo durante los meses de febrero y marzo, disminuyendo drásticamente conforme aparecieron las primeras lluvias, una vez establecida la temporada las larvas desaparecieron para completar su patrón cíclico nuevamente. Estas observaciones coinciden con el comportamiento de la dinámica larvaria de esta especie reportada por Fernández-Salas *et al.* (1994b) en la zona de estudio. Hoffmann y Samano (1938) habían señalado a *An. pseudopunctipennis* como una especie xerófila con un pico de abundancia máxima en la estación de secas. En otros estudios también se ha reportado que la abundancia larvaria ha sido asociado negativamente con el patrón estacional de las lluvias (Savage *et al.*1990, Fernández-Salas *et al.*1994b y Manguin *et al.*1996).

El entendimiento de la demografía de los estadios inmaduros es un elemento clave en la explicación de la abundancia y fluctuación de las poblaciones de mosquitos. El conocimiento de la dinámica de las poblaciones larvarias es también importante por que muchos agentes de control biológico están dirigidos contra estos estados. Los estudios de las dinámicas poblacionales de larvas requieren de estimaciones absolutas o relativas del tamaño de la población, así como también de la estructura de edad de las poblaciones larvarias (Smith 1995).

VII. 2. Extracción de algas filamentosas de los criaderos de *An. pseudopunctipennis*

Los resultados del presente estudio demostraron que al eliminar las algas filamentosas asociadas a los criaderos de *Anopheles pseudopunctipennis* mediante la

extracción manual, sus poblaciones larvarias disminuyen significativamente y el efecto de esta estrategia de control se extendió hasta poco más de 45 días.

En relación a los resultados obtenidos en el presente estudio, se puede decir que a excepción de las observaciones realizadas por Levi-Castillo (1945) con un único reporte, en el que menciona que al eliminar las algas *Spirogyra* de los criaderos de *An. pseudopunctipennis* las larvas desaparecieron completamente, sin embargo dichas observaciones no fueron avaladas con un diseño experimental y análisis estadístico que sustente científicamente tales aseveraciones. Por otra parte, existen evidencias de que algunos tipos de vegetación asociados a criaderos de mosquitos eliminan la crianza de larvas, ejemplos de ello son *Chara* que ejerce un efecto deterrente sobre la cría de mosquitos, *Utricularia* captura y destruye insectos acuáticos, incluyendo larvas de mosquito (Hobbs y Molina 1983 y Lord 1983). *Lemna*, *Azolla* y *Wolffia*, forman una cobertura casi en la totalidad de la superficie del agua actuando como barreras mecánicas de obstrucción contra la crianza y la oviposición de mosquitos, aunque se ha reportado que larvas de *Anopheles* y *Culex* han sido encontrado abundantemente en criaderos con presencia de manchones dispersos de estos tipos de vegetación (Hobbs y Molina 1983, Vázquez-Martínez 1991).

Otro trabajo relacionado es el de Hobbs y Molina (1983) quienes probaron la eficacia de *Salvinia auriculata* para inhibir la crianza de *Anopheles albimanus* y producir un mecanismo de obstrucción para la postura de huevecillos por parte de las hembras de este mosquito, considerándolo como una medida de control naturalista de vectores en ciertos tipos de criaderos. Otros estudios de las relaciones ecológicas entre las larvas de mosquitos y la vegetación acuática son los trabajos de Marten (1984, 1987), en donde resalta la importancia de determinar los efectos del fitoplancton en el desarrollo y crecimiento de larvas de mosquitos, para elaborar programas de manejo del mismo como una herramienta practica en el control; en relación a lo mismo describe que algunas especies de Clorofitas del Orden de las Chlorococcales poseen la propiedad de ser consumidas por larvas de mosquitos y ser indigestibles por las mismas produciendo inhibición del desarrollo y la muerte de larvas de *Ae. albopictus*.

La reducción de las poblaciones larvarias por medio de larvicidas es una vía ineficiente para el ataque de la transmisión, debido a que la mortalidad entre muchas

poblaciones de anofelinos puede ser denso dependiente y la reducción de las poblaciones larvarias no afecta la sobrevivencia de la población de adultos. Sin embargo, cuando una gran proporción de los hábitats larvarios pueden ser fácilmente identificados y tratados, el control puede ser efectivo (Collins y Paskewitz 1995). En relación a lo anterior y hablando específicamente del área de estudio del presente trabajo, se pudo observar que la mayoría de los criaderos que contribuyen en gran medida a la producción de adultos (además de ser los más cercanos a las principales localidades de la zona) se ubican entre las localidades de La Concordia y la Boquilla en una franja de 7 km sobre el cause del Río Coatán, siendo el mismo lugar en donde Savage *et al.* (1990) y Rejmánkova *et al.* (1991) en estudios previos dirigieron la búsqueda y caracterización de criaderos.

También, Fernández-Salas (1994b) señala en su trabajo que en la parte baja del río en donde se ubica la localidad de la Concordia, los criaderos fueron escaso (0.7 criaderos/ transecto), con la abundancia de larvas y adultos < 5 larvas/calado y < 1 mosquito/hombre/noche respectivamente; así mismo, durante el presente estudio se realizaron recorridos de búsqueda de criaderos hacia la parte alta del río (arriba de la represa de la Boquilla) y se encontró que existen pocos criaderos y están más dispersos, además de que presentan densidades larvarias por debajo de 5 larvas/ calado. La razón de que en el área antes mencionada se concentren la gran mayoría de los criaderos se debe principalmente a que desde 1966 la Comisión Federal de Electricidad (CFE) desvía el agua en esta franja del Río Coatán mediante una represa ubicada en La Boquilla (río arriba), para usarla en la planta hidroeléctrica "Cecilio del Valle" y liberarla nuevamente al río adelante de la Concordia. Esta situación propicia que dentro de esta franja el flujo de agua sea más lenta y con un nivel más bajo, lo cual favorece el establecimiento de criaderos de *Anopheles pseudopunctipennis* durante la temporada de secas. Estas observaciones y los resultados del efecto de la extracción de las algas de los criaderos soportan la idea de que el control larvario puede ser llevado a cabo en esta zona.

A pesar de que el empleo de insecticidas químicos sintéticos para el control de vectores se encuentra en decadencia debido a sus altos costos, al desarrollo de resistencia en las poblaciones de vectores, el impacto ambiental y sobre la salud humana (Collins y Paskewitz 1995, Fiderici 1995), estos pesticidas siguen jugando un papel importante en el control de vectores y sobre todo cuando las enfermedades están presentes en epidemias (Mulrennan 1995, Service 1995). Sin embargo, en muchas ocasiones podemos contar con

herramientas de control alternativas o complementarias para minimizar el empleo de pesticidas sin reducir la efectividad del control.

Dentro de las estrategias de control contempladas por la organización Mundial de la Salud (OMS) se cuenta con el manejo ambiental, el cual ha sido definido como: "la planeación, organización y monitoreo de actividades llevadas a cabo para la modificación y/o manipulación de factores ambientales o sus interacciones con el hombre con la finalidad de prevenir o minimizar la propagación del vector y reducir el contacto vector-hombre". Y dentro de esta categoría de manejo ambiental se contemplan los métodos siguientes: 1) modificación ambiental, 2) manipulación ambiental y 3) modificación o manipulación de las habitaciones y el comportamiento humanos. El primero de estos métodos proporciona una forma de manejo ambiental consistente de cualquier transformación física de la tierra, el agua o la vegetación, la cual es permanente o de largo plazo; en el segundo método denominado de manipulación ambiental, consiste de cualquier actividad planeada y dirigida repetidamente ha producir condiciones desfavorables para el desarrollo de vectores en su hábitat; y el tercer método esta orientado a la reducción del contacto vector-hombre-patógeno por medio de la reducción de las fuentes de producción de vectores, la protección personal, medidas de higiene contra vectores, etc. (Rafatjah 1988).

No obstante, dentro de los métodos anteriores de manejo ambiental no se contempla la extracción de la vegetación asociada positivamente a la producción de vectores que podría encajar dentro de los métodos de manipulación ambiental, ya que produce efectos temporales, creando condiciones desfavorables para la cría de mosquitos en sus hábitats naturales, además de ser una herramienta complementaria de bajo costo y que con la participación comunitaria puede ser aplicada efectivamente (principalmente en aquellas zonas en donde se acentúan los problemas de presencia y transmisión de enfermedades por vectores), reduciendo o minimizando el empleo de pesticidas.

También es importante mencionar que la extracción mecánica de las algas por arrastre de la corriente del río es otra alternativa de control que se tiene contemplada dentro del método de manipulación ambiental como manejo de niveles de agua y su empleo serviría para reducir las poblaciones larvarias de *An. pseudopunctipennis* mediante la liberación de la corriente de la represa de la CFE en la parte alta del Río Coatán (La Boquilla). Los resultados obtenidos en el presente estudio nos proporcionaron información

sobre el potencial de esta medida de control, pero se requiere de futuros estudios que proporcionen mayores evidencias de tal efecto ya que las observaciones realizadas fueron realizadas al final de la temporada de secas y los resultados se vieron afectados por el inicio de la temporada de lluvias en la que las densidades larvarias decrecen de manera natural de acuerdo a las evidencias reportadas por Fernández-Salas *et al.* 1994b en la misma zona de estudio. Sin embargo existen antecedentes en los que se menciona que el manejo del agua es probablemente una de las más importantes de las técnicas de manejo ambiental para el control de mosquitos anofelinos, en donde el objetivo primario es manejar y controlar las plantas con las cuales esta asociada la producción de mosquitos (Hess 1984).

En otros trabajos se propone el manejo por drenado, llenado y nivelado; flujo de aguas intermitente y control de plantas acuáticas como opciones efectivas en costo y eficiencia para el control de vectores (Collins y Paskewitz 1995). También se ha reportado que la utilización del manejo de los niveles de agua es una de las más importantes herramientas en el control de los mosquitos del paludismo y que las obras hidráulicas han resultado una estrategia ecológica eficaz y también una alternativa económica a la lucha química de los vectores del paludismo y de la esquistosomiasis. La manipulación de los niveles de agua puede servir para doble propósito; tanto para el control de las larvas, así como para el manejo y control de la vegetación asociada a ellas, ya que las larvas de los mosquitos anofelinos requieren de la protección de plantas emergentes o flotantes y cuando los niveles de agua cambian drásticamente (ya sea disminuyendo o aumentando) producen la muerte de las larvas por desecación o por arrastre (Hall 1972 y Lord 1983).

Cabe aclarar que las condiciones favorables para el establecimiento de los criaderos larvarios en la zona del Río Coatán antes mencionada, son propiciadas por el desvío de la corriente del río con fines de producción eléctrica. En estudios anteriores se ha establecido que el paludismo y la oncocercosis son los principales problemas de enfermedades transmitidas por vectores, cuyo desarrollo puede verse favorecido por una presa, ya que la mayoría de sus vectores pasan una fase de su desarrollo en el agua y la construcción mal planeada de las mismas favorecen las condiciones para el establecimiento y desarrollo de dichos vectores (Ordoñez 1985).

Particularmente en el área de estudio, se encuentran localidades como El Plan , Galeras, El Retiro y Unión Roja en donde el paludismo es endémo-epidémico (que se

presenta normalmente pero con brotes periódicos) y en algunas de ellas se presentan hasta más de 10 casos al año (Jurisdicción Sanitaria VII, Programa de Prevención y Control del Paludismo). En dicha zona las medidas de control están enfocadas básicamente a la aplicación de DDT intradomiciliar, sin embargo en los últimos años dichas acciones han sido relajadas y este hecho junto con los fenómenos meteorológicos que se han presentado en los últimos años ("el niño" y "la niña"), han provocado incrementos en las densidades de mosquitos y por ende en el número de casos que se presentan anualmente (Sistema Único de Información Epidemiológica. D.G.E. 1998), por lo que la búsqueda de nuevas herramientas de control alternativas y/o complementarias se hacen necesarias.

En base a todo lo anterior y de acuerdo a los resultados obtenidos bajo las condiciones del presente estudio, la extracción de las algas filamentosas de los criaderos de *An. pseudopunctipennis* de forma manual o mecánica (manejo de descarga de agua de la represa) dentro de la franja de del Río Coatán comprendida entre las localidades de la Concordia a la Boquilla, puede ser considerada como una herramienta alternativa o complementaria para el control larvario; además se sugiere que tales mediadas se lleven a cabo cuando menos 2 veces durante el periodo de la estación de secas, una a mediados de enero que es cuando las densidades larvarias comienzan a elevarse y la siguiente extracción de las algas se debe realizar a mediados de marzo, tiempo en el cual las densidades alcanzan sus máximos niveles (Fig. 5).

La técnica más rápida para realizar la extracción de las algas de los criaderos de la zona en cuestión es aprovechando la liberación de agua que la CFE realiza una vez al año para desazolvar sus contenedores de almacenamiento, esta medida trae como consecuencia el barrido de todas las algas de la zona del río en donde se concentran la mayor parte de los criaderos y con ello la disminución de las poblaciones larvarias de estos mosquitos. Aunque es recomendable realizar más estudios de esta ultima medida, los resultados aquí encontrados hacen pensar que existe un gran potencial de aprovechamiento de tales actividades para el control larvario y sería conveniente conjuntar esfuerzos de las autoridades de la Secretaria de Salud, CFE y la Comisión Nacional del Agua para que se tome en cuenta dicha propuesta y se cuente con el apoyo necesario para realizar dichas medidas de control cuando menos en 2 ocasiones durante la estación seca para disminuir la productividad de mosquitos en dicha área.

## VII. 3. Relaciones fitoecológicas entre las larvas de *An. pseudopunctipennis* y las algas.

### VII. 3. 1. *Papel de las algas sobre la alimentación de las larvas.*

En el análisis del contenido estomacal de larvas de *An. pseudopunctipennis*, se encontró que los recursos alimenticios identificados, provienen de tres grupos: detritos, algas y bacterias, siendo el detritos el grupo más abundante (51.75%) seguido por el de las algas (47.34 %), mientras que las bacterias resultaron ser el grupo menos representado (<1%) de las partículas alimenticias encontradas en 1600 estómagos de larvas de 4° estadio.

El análisis del contenido estomacal de las larvas de mosquitos colectadas de hábitats naturales demuestra que muchas de las especies no discriminan entre lo que ellas ingieren, lo cual esta determinado principalmente por el tamaño de las partículas, el modo de alimentación y el hábitat (Clements 1992).

Los mosquitos del género *Anopheles* normalmente exhiben un modo alimenticio de tipo colectores-filtradores o de alimentación interfacial, con un hábitat alimenticio situado en la zona de hipo y epineuston, con un microhábitat localizado en la interfase aire-agua y cuyos principales recursos alimenticios están representados por microorganismos y detritos (Rashed y Mulla 1990, Merritt *et al.* 1992a, Merritt *et al.* 1992b, Clements 1992). El detritos o partículas de materia orgánica, constituye uno de los mayores recursos alimenticios de los insectos acuáticos y en particular para larvas de mosquitos han sido reportados también como parte fundamental de sus dietas (Walker y Merritt 1988, Walker *et al.* 1988a, 1991, Clements 1992, Merritt *et al.* 1992a, Vázquez 1997). Estos antecedentes concuerdan con los resultados del presente estudio en los que el detritos fue identificado como el componente principal de los recursos alimenticios para *An. pseudopunctipennis*.

Las bacterias son reportadas por numerosos investigadores como componente importante en la dieta de larvas de mosquitos. Walker *et al.* (1988a), al analizar estómagos de *Aedes triseriatus, An. quadrimaculatus y Coquillettidia perturbans* mediante la técnica fluorocromática DAPI, reportaron que las bacterias están representadas en grandes cantidades dentro de los estómagos de estas especies; Merritt *et al.* (1990) utilizando la misma técnica de tinción, obtuvieron que las bacterias son el recurso alimenticio más abundante en estómagos de larvas de *Cq. perturbans*; por su parte Vázquez (1997)

determinó que el contenido estomacal de larvas de 4° estadio de *An. albimanus* está constituido por los 4 grupos de partículas detritos, bacterias, protozoarios y algas de los cuales el detritos y las bacterias fueron los grupos más importantes en orden de abundancia.

En contraste, en el presente estudio se observó que las bacterias fueron el grupo menos representado en el contenido estomacal de larvas de 4° estadio de *An. pseudopunctipennis,* sin embargo, hay que tomar en cuenta que todas las especies reportadas en los estudios anteriores, tienen como característica común habitar en cuerpos de agua lénticos como marismas, charcas de lluvia, lagunas temporales (*Cq. perturbans, An. quadrimaculatus y An. albimanus*), hoyos de arboles y llantas (*Ae. triseriatus*) en donde las bacterias han sido reportadas como un recurso alimenticio clave en cuerpos de agua transitorios o estancados (Clements 1992) y además pueden ser el más importante recurso alimenticio en los hoyos de arboles (Walker y Merritt 1988).

También es conveniente aclarar que la productividad de bacterias en los cuerpos de agua estancadas es mayor a la de las aguas corrientes, debido a que la descomposición de la materia orgánica en los mismos es asociada positivamente con la producción bacteriana, lo cual explica el porque las bacterias se encuentran poco representadas en los criaderos de *An. pseudopunctipennis* ubicados en sistemas lóticos (ríos y arroyos) y en donde al menos para el presente estudio la abundancia larvaria fue asociada negativamente con la producción de materia orgánica.

En relación al contenido de algas en los estómagos de *An. pseudopunctipennis,* se observó que estas representan el segundo lugar en cuanto a abundancia entre los recursos alimenticios de las larvas de este mosquito, sin embargo, no existen diferencias significativas entre estas y las partículas de detritos contenidas en los estómagos de las larvas; a pesar de la presencia de organismos o materia orgánica dentro de los estómagos de las larvas no es prueba de que ellos son un recurso alimenticio (Clements 1992); Levi-Castillo (1945) afirmó que las algas *Spirogyra* sirvieron como alimento a larvas de *An. pseudopunctipennis* en un experimento sencillo que consistió en proporcionar dichas algas a un grupo de larvas y dejar otro grupo sin algas, observando que después de determinado tiempo las larvas del tratamiento con algas alcanzaron la fase de pupas y emergieron de ellas mosquitos que se desarrollaron normalmente, mientras que en el tratamiento sin algas

las larvas murieron antes de completar su desarrollo y aquellas que lo completaron produjeron adultos sub-normales.

Otras evidencias demostraron que las larvas de *Culex bitaeniorhynchus* se alimentan selectivamente de algas filamentosas del género *Spirogyra* y también ingieren organismos epifíticos o del perifitón asociado a esta alga la cual ocurre en masas o manchones en charcas de ríos y arroyos y posiblemente por que también de ellas obtiene protección contra la depredación (Laird 1988). Otro de los resultados obtenidos en el presente estudio y que sustenta la hipótesis de que las algas son parte fundamental en la dieta de larvas de *An. pseudopunctipennis*, es el hecho de que durante el análisis del contenido estomacal se les haya observado en el 85% de las muestras de estómagos disectadas en fresco (1,360 estómagos), en los que se presentaron fragmentos de filamentos de algas enteros y parcialmente digeridos (parte anterior y posterior de los estómagos). Además de que en los experimentos de depredación se logró obtener adultos de los tratamientos con algas, lo cual es una evidencia indirecta de la utilización de las mismas como recurso alimenticio, no obstante, es necesario la realización de nuevos estudios en donde se de el mantenimiento de larvas de este mosquito en cultivos monoaxénicos de algas (Avissar *et al.* 1994) *Spirogyra* para establecer experimentalmente y de manera indirecta la digestibilidad de las algas por larvas de *An. pseudopunctipennis.*

Los protozoarios han sido reportados en diferentes estudios como uno de los 4 recursos alimenticios detectado mediante la técnica de tinción fluorocromática DAPI. Walker *et al.* (1988a), encontró que al analizar el contenido estomacal de larvas de 4° estadio de tres especies de mosquitos los protozoarios fueron el grupo de menor abundancia, para *Ae. triseriatus* con un promedio de 0.4 partículas/estómago y *An. quadrimaculatus* 59 partículas/estómago, mientras que en los estómagos de larvas de *Cq. perturbans* no se detectaron; sin embargo, Merritt *et al.* (1990) encontraron que para *Cq. peturbans* la presencia de protozoarios en el tracto digestivo de las larvas es rara. Vázquez (1997) reportó que de las partículas identificadas como fuente de alimento para larvas de *An. albimanus*, los protozoarios son los menos representados con apenas 111 partículas/estómago.

En el presente estudio, no se detectaron protozoarios en el contenido estomacal de larvas de 4° estadio de *An. pseudopiunctipennis*, probablemente una de las causas por las

que no se detectaron, sea el hecho de que no se encuentren en grandes proporciones en los criaderos de este mosquito, o por que simplemente como se ha reportado en otros estudios, no constituye un recurso importante en la dietas de las larvas de mosquitos (Walker *et al.* 1988a, Merritt *et al.* 1990). También al respecto se dice que los protozoarios están representados por organismos muy frágiles en cuanto a su estructura y representa un inconveniente, ya que son digeridos rápidamente y por lo mismo no son detectados en las muestras de estómagos (Merritt *et al.* 1992a), otra de las razones del por que no se detectaron podría ser el hecho que durante el proceso de sonicación del bolo alimenticio se destruyan (Merritt *et al.* 1990), sin embargo, para el presente estudio esta última justificación quedaría descartada, ya que se utilizó la misma técnica y el mismo tiempo de sonicado de las muestras de estómagos que el reportado por Vázquez (1997) en donde si se detectaron protozoarios (aunque en pocas cantidades) en el contenido estomacal de larvas de *An. albimanus*.

Recientemente, la importancia en el conocimiento de las fuentes de alimentos de las larvas de mosquitos vectores, han cobrado gran relevancia en virtud de que el comportamiento alimenticio puede ser importante en los métodos de control químico (Service 1989). Además gracias a los avances en las técnicas de biología molecular y genética, es posible seleccionar tales fuentes de alimentación para manipularlas y producir organismos transgénicos con características deseadas para determinado fin, como lo son la producción de toxinas por tales organismos para el control de vectores (Frederici 1995, Porter 1996 y Vázquez 1997). Los efectos de los diferentes recursos alimenticios sobre el crecimiento y desarrollo de larvas de mosquitos representan un potencial para su manejo como posibles herramientas de control (Marten 1984, 1987).

VII. 3. 2. *Relaciones ecológicas de refugio.*

Los resultados del presente estudio demostraron claramente que la cobertura de las algas filamentosas *Spirogyra* sp. favorecen la sobrevivencia de las larvas de *An. pseudopunctipennis*, proporcionándoles un microhábitat favorable para su alimentación y desarrollo, además de brindarles refugio contra la depredación por peces *Poecilia sphenops*. La sobrevivencia fue positivamente relacionada con la cobertura de algas filamentosas y negativamente relacionada con la densidad de peces. En los tratamientos sin cobertura de algas y presencia de peces no hubo sobrevivencia de larvas de *An. pseudopunctipennis*,

mientras que en los tratamientos con cobertura de algas y presencia de peces algunas larvas sobrevivieron, habiendo diferencias signifiativas entre ambos factores. Dentro de los tratamientos con peces la cobertura de algas que brindó la mejor protección para la sobrevivencia de larvas fue la de 66%, siendo significativamente mayor que la de 99%.

En relación ala tasa de depredación se observó que en presencia de la cobertura de algas *Spirogyra*, disminuyó significativamente la eficiencia de los peces *P. sphenops* como depredadores de larvas de *An. pseudopunctipennis*. En los tratamientos sin cobertura de algas las larvas fueron depredadas al 100%, mientras que en los tratamientos con coberturas de algas la tasa de depredación fluctúo entre 48-66%, con valores promedio significativamente menor a los observados en los tratamientos sin algas, sin embargo, dentro de los tratamientos con cobertura de algas no hubo diferencias estadísticas en cuanto a la tasa de depredación.

Por otra parte, se observó que independientemente de la cobertura de las algas, dentro de los tratamientos con presencia de peces, la tasa de depredación en los tratamientos con 4 peces fue significativamente mayor a la tasa de depredación presentada en los tratamientos con 1 y 2 peces. Resultados similares fueron observados por Orr y Resh (1989), en una serie de experimentos de campo en donde evaluaron el efecto de la presencia de tres especies de macrofitas acuáticas sobre la tasa de sobrevivencia y depredación de larvas de *An. freeborni* en presencia de peces *Gambusia affinis*, en dichos experimentos determinaron que las macrofitas acuáticas favorecen la sobrevivencia larvaria y además proporcionan un refugio efectivo en contra de la depredación por peces. Por otra parte Blaustein y Byard (1993) en experimentos de laboratorio, reportaron el efecto de la vegetación *Ceratophyllum demersum* y presas alternativas *Daphnia magna* sobre la tasa de depredación de larvas de *Culex pipiens* por peces ciprinodontidos *Aphanius mento*, concluyendo que *C. demersum* no afecta la tasa de depredación de estos peces *A. mento* sobre *C. pipiens*.

La vegetación acuática puede proporcionar muchos beneficios a la microfauna asociada a ella. En el caso de los mosquitos *Anopheles*, esta bien documentada la importancia de las macrofitas en proveer un hábitat para el desarrollo de las larvas. La vegetación acuática crea una línea de intersección (intersección entre tres interfases, agua-aire, agua-planta y planta-aire) que da forma al microhabitat primario para las larvas y cuyo

valor ("valor de intersección") ha sido correlacionado positivamente con la productividad de anofelinos (Hess y Hall 1943, Hall 1972), además de proveer refugio contra la depredación y favorece la sobrevivencia larvaria en presencia de depredadores (Orr y Resh 1989, 1992). También se dice que la vegetación acuática asociada a los criaderos de anofelinos, proporciona una rica fuente de recursos alimenticios (alimentación microbial), refugio contra los disturbios físicos (tales como la turbulencia del agua asociada al viento y las lluvias) y depredadores (Hoffman y Samano 1938, Hess y Hall 1943, Hall 1972, Orr y Resh 1989, 1992) y óptimas condiciones térmicas para el desarrollo larvario (Hess y Hall 1943, Walker *et al.* 1988b, Orr y Resh 1989, 1992 y Rejmánková *et al.* 1996).

Varios mecanismos pueden actuar en conjunto para producir tales efectos benéficos asociados con las macrofitas acuáticas. La condiciones del microhábitat para anofelinos están fuertemente influenciadas por la estructura física y la composición taxonómica de la vegetación acuática presente (Orr y Resh 1992). La cantidad de línea de intersección y el grado de complejidad bajo la superficie del agua son dos de los componentes de la arquitectura de la vegetación que pueden influenciar la efectividad de la cobertura de las macrofitas en reducir la tasa de depredación de larvas de *Anopheles* (Orr y Resh 1989). Un estudio preliminar de Collins *et al.* (1988, citado por Orr y Resh 1989) sobre la relación entre el valor de la línea de intersección (VLI) y la tasa de depredación demostraron que dicha tasa decrece conforme aumenta el VLI. En relación al presente estudio, se observó que lo intrincado de la estructura de las algas filamentosas *Spirogyra* y *Cladophora* como componentes principales de los hábitats larvarios *de An. pseudopunctipennis* presentan un VLI muy alto que proporciona un microhábitat y refugio efectivos contra la depredación por peces, debido principalmente a que la estructura de dicha vegetación impide la detección visual y mecánica efectiva de las larvas por parte de los depredadores.

El entendimiento de la dinámica en las relaciones mosquito-macrofitas proporciona un conocimiento más amplio sobre el mecanismo de tales sistemas, lo cual juega un papel muy importante en la regulación de la abundancia larvaria y este entendimiento de tales mecanismos podría conducirnos al desarrollo de nuevas estrategias para el manejo y control de los mosquitos.

VII. 3. 2. 1. *Efecto de la presencia de los depredadores Poecilia sphenops sobre el tiempo de pupación de larvas de An. pseudopunctipennis*

La presencia de los peces *P. sphenops* en los diferentes tratamientos de los experimentos de depredación, ejerció un efecto negativo sobre el tiempo de pupación de las larvas de *An. pseudopunctipennis* prolongándolo de 2 a 4 días más que el de las larvas del grupo control. Las larvas del grupo control (sin presencia de peces), alcanzaron la fase de pupa en un tiempo significativamente más corto que las larvas de los tratamientos con peces, sin embargo, dentro de los grupos con peces se observaron diferencias entre los tratamientos de 1 y 2 peces con respecto al grupo con el tratamiento de 4 peces, en este último grupo las larvas prolongaron su tiempo de pupación hasta 3. 77 días en promedio con respecto al grupo control, 2 y 1.5 días más que los tratamientos con 1 y 2 peces respectivamente.

Por otra parte, en relación a la influencia de la cobertura de algas sobre el tiempo de pupación se observó que aunque existen diferencias entre el grupo control y los tratamientos con cobertura de algas, dicho efecto es independiente de la cobertura ya que dentro de los grupos con cobertura de algas no se presentaron diferencias estadísticas entre ellos, por lo que el efecto negativo sobre el tiempo de pupación de las larvas de *An. pseudopunctipennis* se atribuye a la presencia de los peces, mismos que modifican el comportamiento de las larvas que tienen que invertir gran parte del tiempo dedicado a la alimentación en evadir a los depredadores, trayendo como resultado una disminución en su desarrollo (Dill 1987, Shi 1987, 1992 y Lima y Dill 1990)

VII. 3. 2. 2 *Efecto de la presencia de los depredadores P. sphenops sobre el tamaño de los adultos de An. pseudopunctipennis.*

La presencia de *P. sphenops* produjo un efecto significativo sobre el tamaño de los adultos de *An. pseudopunctipennis* obtenidos en los diferentes tratamientos de los experimentos de depredación en donde las larvas de este mosquito fueron expuestas a 4 densidades de peces y 4 coberturas de algas *Spirogyra.*

En relación a las hembras de *An. pseudopunctipennis*, se observó que *P. sphenops* ejerció un efecto negativo sobre el tamaño de las mismas, ya que en el tratamiento sin

peces, el tamaño promedio de las hembras fue significativamente mayor al tamaño de las mismas en los grupos con tratamiento de 1, 2 y 4 peces respectivamente, sin observarse diferencias significativas entre estos tres últimos grupos. También se observaron diferencias de las hembras del grupo control con respecto a los tratamientos con cobertura de algas filamentosas y peces en donde las hembras fueron significativamente menores en talla, pero sin haber diferencias entre las mismas, por lo que dicho efecto fue independiente de la cobertura de las algas.

En lo referente al tamaño de los machos de *An. pseudopunctipennis*, se observó que los del grupo control fueron significativamente mayores a los de los grupos con tratamientos de 1, 2 y 4 peces respectivamente y aún dentro de estos tres últimos grupos existieron diferencias significativas entre el grupo con tratamiento de 4 peces que fueron significativamente menores a los de los grupos con tratamiento de 1 y 2 peces respectivamente. Por otra parte, aunque hubo diferencias en la talla de los machos del grupo control que resultaron significativamente mayores a los de los tratamientos con cobertura de algas filamentosas, no hubo diferencias en tamaño de los machos de estos tres últimos grupos, por lo que el efecto negativo en cuanto a la talla de los machos, también fue independiente de la cobertura de las algas.

Los experimentos de depredación demostraron que el desarrollo larvario (tiempo de pupación) y el tamaño de los adultos de *An. pseudopunctipennis* fueron afectados negativamente por la presencia de *P. sphenops*, resultados que coinciden con los reportados por otros autores. Skelly y Werner (1990), examinaron las respuestas de las larvas del sapo americano (*Bufo americanus*) a la presencia no-letal de un depredador odonato (*Anax junius*), encontrando que los renacuajos responden facultativamente en presencia del depredador, disminuyendo su tamaño al final de la metamórfosis, pero también respondieron comportamentalmente reduciendo su actividad y alterando su distribución espacial. Skelly (1992), reportó que la presencia de las larvas de la salamandra *Ambystoma t. tigrinum* fue asociada con una disminución en la tasa de crecimiento y desarrollo de los renacuajos *Hyla versicolor*, en una serie de experimentos con encierros en charcas naturales ubicados en una Reserva Natural de la Universidad de Michigan, EUA.

Ball y Baker (1996), en una serie de experimentos de laboratorio en Ontario, Canadá, reportaron que la presencia de peces *Lepomis gibbosus* inducen una reducción en

el tamaño, disminución en el crecimiento y tasa de desarrollo además de baja fecundidad de dipteros *Chironomus tentans*. Hechtel y Juliano (1997), reportaron que al exponer larvas del mosquito de los hoyos de árbol *Aedes triseriatus* a la depredación por el mosquito *Toxorhynchites rutilus*, se presenta una disminución en la masa de las pupas, además de incrementar el tiempo de pupación y reducir el tamaño de las pupas y los adultos de *Ae. triseriatus*.

Numerosos estudios atribuyen la reducción en el tamaño de las presas a modificaciones en el comportamiento asociados a cambios en la tasa de crecimiento, así como cambios facultativos en la historia de vida de las presas influenciados por la presencia de depredadores (Skelly y Werner 1990, Skelly 1992, Peckarsky *et al.* 1993, Ball y Baker 1996 y Hechtel y Juliano 1997). Las presas facultativamente pueden alterar su historia de vida en respuesta a depredadores o parásitos (Crowl y Covich 1990). Otros autores refieren los cambios ocasionados por la presencia de depredadores como efectos subletales de los mismos sobre las presas, en los que se envuelven interacciones directas entre depredadores y presas que no resultan en la muerte de las presas y generalmente resultan de cambios en el comportamiento de las presas como resultado de la evasión a los depredadores (Fraser y Huntingford 1986).

Otra de las explicaciones acerca del incremento del tiempo de pupación, así como la disminución del tamaño de los adultos de *An. pseudopunctipennis* en presencia de peces *P. sphenops* en los experimentos de depredación, se atribuye a que las presas invierten gran parte de su tiempo destinado al forrajeo en evadir a los depredadores, trayendo como consecuencia disminución de la tasas de desarrollo y crecimiento de larvas y de las fases adultas (Dill 1987, Shi 1987, 1992, Lima y Dill 1990). También estos efectos negativos en la disminución del desarrollo y crecimiento, son consecuencia de los cambios en el comportamiento como estrategia antidepredatoria por parte de las presas, que ante la percepción del peligro o riesgo por la presencia de depredadores, disminuyen algunas de sus actividades básicas como el movimiento y cambian también el uso de su microhábitat, reduciendo su distribución y por lo tanto disminuyendo su área de forrajeo (Dixon y Baker 1986, Shi 1986).

Estudios de laboratorio por varios investigadores reportan que las cantidades subóptimas de alimento y el estrés ocasionado por éste dentro del hábitat, causan un

incremento en el tiempo de duración de los estados de larva y pupa y disminución en el tamaño, peso de los adultos y sobrevivencia (Bickley 1972, Merritt *et al.* 1992a). Sin embargo, aunque no fue posible observar este fenómeno de acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio con *An. pseudopunctipennis*, ya que en todos los tratamientos la disponibilidad de alimento no fue un factor limitante, es importante tomarlo en cuenta como una causa determinante en la reducción del tamaño de los adultos.

VII. 3. 3. Experimentos de Oviposición.

Las algas filamentosas de los géneros *Spirogyra* y *Cladophora* ejercieron una fuerte influencia sobre la selección de los sitios de oviposición por hembras de *An. pseudopunctipennis*. Resultados similares en cuanto a la preferencia de algunas hembras del género *Anopheles* sobre especies de macrofitas han sido reportados por algunos autores. Orr y Resh (1992) reportaron que la cobertura de *Myriophyllum aquaticum* ejerce un efecto significativo sobre hembras de *An. hermsi* para seleccionarlos como sitios de oviposición. Rejmánková et al. (1996), demostraron que existe preferencia por parte de hembras de *An. albimanus* por ovipositar en matas de cianobacterias que en agua abierta como un ejemplo de selección de hábitat por esta especie de mosquito. Sin embargo, existen reportes de algunos tipos de vegetación, como el helecho acuático *Salvinia auriculata* que son reportados como repelentes para la ovipostura de hembras de *An. albimanus*, sin embargo este efecto negativo fue atribuido a un simple mecanismo de obstrucción mecánica (Hobbs y Molina 1983).

*Anopheles pseudopunctipennis* ha sido reportado por numerosos investigadores como una especie que requiere de ciertos hábitats como sitios de crianza, principalmente hábitats soleados, ubicados en ríos y arroyos durante la estación seca, e íntimamente asociados a manchones de algas filamentosas principalmente del género *Spirogyra* (Hoffmann y Samano 1938, Levi-Castillo 1945, Darsie y López 1980, Savage *et al.* 1990, Rejmánková *et al.* 1991, Berti *et al.* 1993, Fernández-Salas *et al.* 1994b, Manguin *et al.* 1996), lo cual implica que existe algún tipo de especialización en cuanto a la selección del hábitat por esta especie de mosquito para ovipositar sobre dichas algas. Bentley y Day (1989) reportaron que existen especies de mosquitos que exhiben comportamientos de especialización y oportunistas en cuanto a la selección de hospederos y sitios para la oviposición, sin embargo, esto no implica que aquellas especies que exhiban un

comportamiento especializado de oviposición lo tengan que ser en la selección de hospederos y viceversa. En base a los resultados obtenidos y bajo condiciones del presente estudio se puede considerar que *An. pseudopunctipnnis* exhibe cierta especialización en cuanto a la selección de sus sitios de oviposición, compuestos principalmente por matas o manchones de algas filamentosas de los género *Cladophora* y *Spirogyra*.

La localización y selección de un sitio de oviposición requiere de la integración de estímulos físicos y químicos a largo y corto alcance, mismos que envuelven una serie de respuestas visuales, olfatorias y táctiles, Bentley y Day (1989) mencionaron que existe una gran similaridad entre los comportamientos de búsqueda de hospedero y el de oviposición, en los cuales la pluma de olor de $CO_2$ juega un papel muy importante en la búsqueda de hospederos y de igual forma los mosquitos hacen uso de ella como un estimulo químico a larga distancia para localizar los sitios de oviposición. La mayoría de las macrofitas acuáticas, algas y cianobacterias emiten grandes concentraciones de $CO_2$ como resultado de la respiración de las mismas, principalmente durante la puesta del sol (Rejmánková *et al.* 1996). Estas emisiones de $CO_2$ son utilizadas por las hembras de mosquitos para localizar los sitios de oviposición, que una vez localizados permiten a las hembras mediante el empleo de sus quimioreceptores percibir estímulos a corto alcance para la selección de dichos sitios. Sin embargo, son necesarios nuevos estudios para determinar exactamente que tipo de estímulos atrayentes están involucrados en la selección de las algas filamentosas como sitios de oviposición por parte de las hembras de *An. pseudopunctipennis*.

Las hembras de *An. pseudopunctipennis* tienen la capacidad de discriminar precisamente entre agua abierta y matas de algas filamentosas cuando se encuentran seleccionando sus sitios de oviposición. Este comportamiento de selección se debe en parte a los estímulos antes mencionados, sin embargo la temperatura del agua dentro de las algas filamentosas (Rejmánková *et al.* 1996), así como los recursos alimenticios y el refugio que estas proporcionan a las larvas de este mosquito (Hess y Hall 1943, Hall 1972, Orr y Resh 1989, 1992, Rejmánková *et al.* 1996), son factores importantes que influyen en la selección de estos hábitats como los más importantes y cuyas condiciones no se encuentran presentes en el agua abierta aun en los mismos criaderos.

# VIII. CONCLUSIONES

♦ Los resultados obtenidos en el presente estudio pretenden contribuir con el conocimiento de las relaciones ecológicas entre larvas de *An. pseudopunctipennis* y las algas asociadas a sus criaderos y a la búsqueda de nuevas herramientas de control que permitan minimizar el empleo de insecticidas químicos sintéticos, reduciendo el impacto ambiental y sobre la salud humana.

♦ Los criaderos larvarios de *Anopheles pseudopunctipennis* ubicados en el Río Coatán, Chiapas, fueron descritos como charcas de río, con aguas limpias, claras, de movimiento moderado, poco profundas, alto contenido de oxígeno disuelto y asociados íntimamente con la presencia y cobertura de algas de los géneros *Spirogyra* y *Cladophora*, negativamente asociados con la concentración de materia orgánica y la precipitación pluvial.

♦ Las algas del género *Spirogyra* representaron el hábitat más favorable en cuanto a la productividad como sitios de crianza de larvas de *An. pseudopunctipennis*.

♦ La extracción manual de las algas filamentosas de los criaderos larvarios de *Anopheles pseudopunctipennis* disminuyó de manera significativa sus poblaciones larvarias.

♦ El efecto negativo de la extracción de las algas sobre la abundancia larvaria de *An. pseudopunctipennis* se mantuvó por unos 45 días.

♦ La extracción de las algas de los criaderos de *An. pseudopunctipennis* produce temporalmente condiciones desfavorables para la cría de este mosquito, por lo que representa un gran potencial para su control a través de la participación comunitaria (extracción manual) o mediante el manejo de la liberación de la corriente del río (extracción por acción del río) de la represa de "La Boquilla", por lo que esta estrategia pudiera ser considerada dentro de los programas de manejo ambiental y las técnicas de manipulación ambiental propuestas por la OMS (1980).

♦ El análisis del contenido estómacal de larvas de *An. pseudopunctipennis* reveló que el detritos y las algas representaron los principales recursos alimenticios encontrados en ellos.

♦ Se determinaron 7 géneros de algas contenidas en los estómagos de larvas de *An. pseudopunctipennis* de las cuales 5 fueron cianobacterias (*Chroococcus, Mycrocystis, Lyngbya, Oscillatoria* y *Anabaena*) y 2 clorofitas o algas verdes (*Chlorella y Spirogyra*) y 20 especies más de algas presentes en las aguas de los criaderos de este mosquito.

♦ Las algas filamentosas *Spirogyra* presentes abundantemente en los estómagos de larvas, indicaron que posiblemente *An. pseudopunctipennis* las usa como recurso alimenticio durante sus fases larvarias.

♦ Las algas filamentosas *Spirogyra* y *Cladophora* favorecen la sobrevivencia de larvas de *An. pseudopunctipennis* aun en presencia de peces *P. sphenops.*

♦ La cobertura de las algas *Spirogyra* disminuye la efectividad de *P. sphenops* como agente de control biológico para larvas de *An. pseudopunctipennis.*

♦ La presencia de los peces *P. sphenops* incrementa significativamente el tiempo de pupación y disminuye el tamaño de los adultos de ambos sexos de *An. pseudopunctipennis* independientemente de la cobertura de las algas filamentosas.

♦ Las hembras de *An. pseudopunctipennis* puden discriminar entre agua abierta y algas filamentosas, seleccionando a estas últimas como sitios favorables para su oviposición.

## IX. LITERATURA CITADA


Aitken, T. H. G. 1945. Studies on anopheline complex of western America. Univ. Calif. Publ. Entomol. 7:273-364.

Arredondo-Jimenez, J. I. 1990. Ecología larvaria de *Anopheles albimanus* Wiedemann (Diptera: Culicidae) en el sur de Chiapas, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

Avissar, Y. J., J. Margalit y A. Spielman. 1994. Incorporación of body components of diverse microorganisms by larval mosquitoes. J. Am. Mosq. Control Assoc. 10: 45-50.

Ball, S. L. y R. L. Baker. 1996. Predator-induced life history changes: antipredator behavior costs or facultative life history shifts? Ecology. 77: 1116-1124.

Bay, E. C. 1985. Other larvivorous fishes. En: Chapman, H. C. (ed.). 1985. Biological control of mosquitoes. Bull. Am. Mosq. Control Assoc. 6: 18-24.

Bentley, M. D. y J. F. Day. 1989. Chemical ecology and behavioral aspects of mosquito oviposition. Annual Reviews Inc. 34: 401-421.

Berti, J., R. Zimmerman y J. Amarista. 1993. Spatial and temporal distribution of *Anopheles* larvae in two malarious areas in Sucre state, Venezuela. Mem. Inst. Osw. Cruz. 88(3): 353-362.

Bickley, W. E. 1972. Some aspects of behavior of mosquito larvae (Diptera: Culicidae). J. Wash. Acad. Sci. 62(3): 261-264.

Beier, J. C., C. Patricoski, M. Travis y J. Kranzfelder. 1983. Influence of water chemical and environmental parameters on larval mosquito dynamics in tires. Enviroment Entomol. 12: 434-438.

Blaustein L. Y R. Byard. 1993. Predation by a cyprinodontid fish, *Aphanius mento*, on *Culex pipiens*: effects of alternative prey and vegetatión. J. Am. Mosq. Control Assoc. 9(3): 356-358.

Breedlove, D. E. 1981. Introducción a la flora de Chiapas. Part. 1. Calif. Acad. Sci., San Francisco. 34 pp.

Casas, M. M., D. N., Bown y M. H., Rodríguez. 1994. Intradomicillary pre-and postfeeding behavior of *Anopheles pseudopunctipennis* of southern Mexico: Implication for malaria control. J. Am. Mosq. Control Assoc. 10(3): 348-354.

Clements, A. N. 1992. The biology of mosquitoes. Vol 1. Develoment, nutrition and reproduction. Chapman & Hall, London. 508 pp.

Collins, F. H. y S. M. Paskewitz. 1995. Malaria: current and future prospects for control. Annu. Rev. Entomol. 40: 195-219.

Crowl, T. A. y A. P. Covich. 1990. Predator-induced life history shifts in a freshwater snail. Science. 247: 949-951.

Darsie, R. F. y G. A. López. 1980. Studies of colonization of El Salvador strains of *Anopheles pseudopunctipennis pseudopunctipennis*. Mosq. News. 40(2): 194-199.

Darsie, R. F. y R. A., Ward. 1981. Identification and geographical distribution of the mosquitoes of North America, North of Mexico. American Mosquito Control Association. Fresno, California, U.S.A. 313 pp.

Delgado-Gallardo, M. L., M. H. Badii y H. Quiróz-Martínez. 1994. Diversidad ecologica de las comunidades acuáticas cohabitando con *Anopheles pseudopunctipennis* (Diptera: Culicidae) en el arroyo La Ciudadela, en el Municipio de Benito Juarez, Nuevo León, México. Southwestern Entomologist. 19: 77-81.

Dill, L. M. 1987. Animal decision making and its ecological consequences: the future of acuatic ecology and behavior. Canadian Journal of Zoology. 65: 803-811.

Dirección General de Epidemiología. 1996. Sistema Unico de Información para la Vigilancia Epidemiológica, Información preliminar 1998

Dixon, S. M. y R. L. Baker. 1986. Effects of fish on feeding and growth of larval *Ischnura verticalis* (Coenagrionidae: Odonata). Can. J. Zool. 65: 2276-2279.

Estrada-Franco J. G., G. C. Lanzaro, M. C. MA, A. Walker-Abbey, P. Romans, C. Galvan-Sánchez, J. L. Céspedes, R. Vargas-Sagarnaga, A. Laughouse, I. Columbus y R. W. Gwadz. 1993. Characterization of *Anopheles pseudopunctipennis* sensu lato from three countries of neotropical America from variation in allozymes and ribosomal DNA. Am J. Trop. Med. Hyg. 49(6): 735-745.

Federici, B. A. 1995. The future of microbial insecticides as vector control agents. J. Am. Mosq. Control Assoc. 11(2): 260-268.

Fernández-Salas, D. R. Roberts, M. H. Rodríguez, M. C. Rodríguez y C. F. Marina-Fernández. 1993. Host selection paterns of *Anopheles pseudopunctipennis* under insecticide spraying situations in southern Mexico. J. Am. Mosq. Control Assoc. 9(4): 375-384.

Fernández-Salas, M. H. Rodríguez, D. R. Roberts, M. C. Rodríguez y R. A. Wirtz. 1994a. Bionomics of adult *Anopheles pseudopunctipennis* (Diptera:Culicidae) in the Tapachula foothills area of southern Mexico. J. Med. Entomol. 31(5): 663-670.

Fernández-Salas, D. R. Roberts, M. H. Rodríguez y C. F. Marina-Fernández. 1994b. Bionomics of larval populations of *Anopheles pseudopunctipennis* in the Tapachula foothills area, southern Mexico. J. Am. Mosq. Control Assoc. 10(4): 477-486.

Fleming, G. 1986. Biology and ecology of malaria vectors in the Americas. Pan American Health Organization. Washington, D. C. 51 pp.

Federici, B. A. 1995. The future of microbial insecticides as vector control agents. J. Am. Mosq. Control Assoc. 11(2):260-268.

Fraser, D. F. y F. A. Huntingford. 1986. Feeding and avoiding predation hazard: the behavioral response of the prey. Ethology. 73: 56-68.

García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México. 246 pp.

Goldman, C. R. 1974. Eutrophication of lake Tahoe emphasizing water quality. EPA-600/3-74-034. V. S. Gout. Print. Off., Washington, D. C. 408 pp.

Golterm, H. L. 1969. Methods for chemical analysys of fresh-waters. IBP Handbook No. 8 Blackwell. Oxford y Edimburgo.

Hackett, L. W. 1945. The malaria of the Andean Region of South America. Rev. Inst. Salubr. Enferm. Trop. 6: 239-252.

Hall, T. F. 1972. The influence of plants on anopheline breeding. The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene. 21(5): 787-794.

Harwood, R. F. y M. T. James. 1993. Entomología médica y veterinaria. Uthea Noriega Editores. 615 pp.

Hess, A. D. y T. F. Hall. 1943. The intersection line as a factor in anopheline ecology. J. Nat. Mal. Soc. 3: 93-98.

Hess, A. D. 1984. Ecological management of malaria vectors. Bull. Soc. Vect. Ecol. 9: 23-26.

Hechtel, L. J. y Juliano S. A. 1997. Effects of a predator on prey metamorphosis: plastic responses by prey or selective mortality? Ecology. 78(3): 838-851.

Hobbs J. H. y P. A. Molina. 1983. The influence of the aquatic fern *Salvinia auriculata* on the breeding of *Anopheles albimanus* in coastal Guatemala. Mosq. News. 43(4): 456-459.

Hoffmann, C. C. 1929. Los mosquitos *Anopheles* transmisores del paludismo en le valle de México. Bol. Depto. Salubr. 2: 11-23.

Hoffmann, C. C. y B. A. Samano. 1938. Los criaderos invernales de *Anopheles pseudopunctipennis* en el Estado de Oaxaca. An. Inst. Biol. Univ. Nac. Auton. Mex. 9: 182-192.

Janik M. y E. Byron. 1987. Aproximate determination of organic matter in natural waters. En: Janik M. y E. Byron (ed.) Quality Assurance Manual. Lake Tahoe intergency monitoring program. Analytical Chemistry. Div. Env. Studies. Univ. California, Davis. 24 pp.

Kamphane, L. J. 1967. Automatic analysis for nitrate by hydrazine reuction. Wat. Res. 1:205-216.

Knuston, K. M. Y J. C. Sterk. 1996. Computer assisted algal recognition. Rapid identification of common freshwater algae genera. Wm. C. Brown Publishers.

Laird, M. 1988. The natural history of larval mosquito habitats. Academic London. 555 pp.

Legner, E. F. 1995. Biological control of diptera of medical and veterinary importance. J. Vect. Ecol. 20(1): 59-120.

Levi-Castillo, R. 1945. *Anopheles pseudopunctipennis* in the Los Chilillos Valley of Ecuador. J. Econ. Entomol. 38: 385-388.

Lima, S. L. y M. Dill. 1990. Behavioral decisions made under the risk of predation: a review and prospectus. Canadian Journal of Zoology. 68: 619-640.

Lord, R. D. 1983. Estrategias ecológicas para la prevención y el control de problemas de salud. Bol. Of. Sanit. Panam. 94(4): 327-345.

Loyola, E. G., J. I. Arredondo-Jiménez, M. H. Rodríguez, D. N. Bown y M. A. Vaca-Marin. 1991. *Anopheles vestitipennis*, the probable vector of *Plasmodium vivax* in the Lacandon Forest of Chiapas, México. Trans. of Royal Soc. of Trop. Med. and Hyg. 85: 171-174.

Manguin, S., E. L. Peyton, A. C. James y D. R. Roberts. 1993. Apparent changes in the abundance and distribution of *Anopheles* species on Grenada Island. J. Am. Mosq. Control Assoc. 9: 403-407.

Manguin, S., D. R. Roberts, E. L. Peyton, E. Rejmankova y J. Pecor. 1996. Characterization of *Anopheles pseudopunctipennis* larval habitats. J. Am. Mosq. Control Assoc. 12(4): 619-626.

Marten, G. G. 1984. Impact of the copepod *Mesocyclops leuckarti pilosa* and the green alga *Kirchneriella irregularis* upon larval *Aedes albopictus* (Diptera:Culicidae). Bull. Soc. Vector Ecol. 9(1): 1-5.

Marten, G. G. 1987. The potential of mosquito-indigestible phytoplankton for mosquito control. J. Am. Mosq. Control Assoc. 3: 105-106.

Marten, G. G., M. F. Suarez y R. Astaeza. 1996. An ecological survey of Anopheles albimanus larval habitats in Colombia. J. Vect. Ecol. 21(2): 122-131.

Merritt, R. W., E. J. Olds y E. D. Walker. 1990. Natural food and feeding behavior of *Coquillettidia perturbans* larvae. J. Am. Mosq. Control Assoc. 6: 35-41.

Merritt, R. W., R. H. Dadd y E. D. Walker. 1992a. Feeding behavior, natural food, and nutritional relationships of larval mosquitoes. Annu. Rev. Entomol. 37: 349-376.

Merritt, R. W., D. A. Craig, E. D. Walker, H. A. Vanderploeg y R. S. Wotton. 1992b. Interfacial feeding behavior and particle flow patterns of *Anopheles quadrimaculatus* larvae (Diptera: Culicidae). J. Insect Behav. 5: 741-761.

Merritt, R. W. y K. W. Cummins. 1996. Aquatic insects of North America. 3rd Ed. Kendall/ Hunt Pub. Co. Iowa, U. S. A. 862 pp.

Miranda, F. 1952. La vegetación de Chiapas. Ed. Gob. Edo. de Chis. Secc. Aut. Dpto. de Prens. y Tur. Tuxtla Gutierrez, México. 426 pp.

Mulrennan, J. A. Jr. 1995. Vector control without chemicals: A public healt perspective. A summary. J. Am. Mosq. Control Assoc. 11(2): 256-257.

Ordoñez, B. R. 1985 . Enfermedades de alto riesgo asociadas con grandes presas. En: Schorr, T. S., R. U. Carcavallo, D. W. Jenkins y J. Jenkins M. (eds.). Las represas y sus efectos sobre la salud. Eco Guía I. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, OPS y OMS. 89-95 pp.

Orr B. K. y V. H. Resh. 1989. Experimental test of the influence of aquatic macrophyte cover on the survival of *Anopheles* larvae. J. Am. Mosq. Control Assoc. 5: 579-585.

Orr B. K. y V. H. Resh. 1992. Influence of *Myriophyllum aquaticum* cover on *Anopheles* mosquito abundance, oviposition, and larval microhabitat. Oecologia. 90: 474-482.

Pan American Healt Organization. 1991. Status of malaria programs in the Americas, XXXIX Report. Washington, D. C.

Peckarsky, B. L., C. A. Cowan, M. A. Penton y C. Anderson. 1993. Sublethal consequences of stream-dwelling predatory stoneflies on mayfly growth and fecundity. Ecology 74:1836-1846.

Porter, A. G. 1996. Mosquitocidal toxins, genes and bacteria: the hit squad. Parasitol. Today. 12: 175-179.

Prescott, G. M. 1972. How to know "The freshwater algae". 2ª de. Wm. C. Brown Co. Publishers. Dubuque, Iowa. 348 pp.

Rafatjah, H. A. 1988. Malaria vector control: enviromental management. En: Wernsdorfer, W. H. y I. McGregor. 1988. Malaria: principles and practice of malariology. Churchill Livingstone. London, Edinburgh, Melbourne and Nuw York. 1135-1172 pp.

Rashed, S. S. Y M. S. Mulla. 1990. Comparative functional morphology of the mouth brushes of mosquito larvae (Diptera: Culicidae). J. Med. Entomol. 27: 429-439.

Rejmánková, E. H., M. Savage, M. Rejmanek, J. I. Arredondo-Jiménez y D. R. Roberts. 1991. Multivariate analysis of relationships between habitats, environmental factors and ocurrence of anopheline mosquito larvae *Anopheles albimanus* and *An. pseudopunctipennis* in southern Chiapas, México. J. Appl. Ecol. 28: 827-841.

Rejmánková, E., H. M. Savage, M. H. Rodríguez, D. R. Roberts y M. Rejmanek. 1992. Aquatic vegetation as a basis or classification of *Anopheles albimanus* Weidemann (Diptera: Culicidae) larval habitats. Environ. Entomol. 21(3): 598-603.

Rejmánková, E. H., M. Savage, D. R. Roberts, S. Manguin, K. O. Pope, J. Komárek y R. A. Post. 1996. *Anopheles albimanus* (Diptera: Culicidae) and cyanobacteria: an example of larval habitat selection. Environ. Entomol. 25(5): 1058-1087.

Rodríguez, M. H. y E. Loyola. 1989. Situación epidemiológica actual y perspectivas de la investigación entomológica del paludismo en México, pp. 15-40. En: Memorias del IV Simposio Nacional de Entomología Médica y Veterinaria. Oaxtepec, Mor., México. Sociedad Mexicana de Entomología.

Rubio-Palis, Y. y R. H. Zimmerman. 1997. Ecoregional classification of malaria vectors in the neotropics. J. Med. Entomol. 34(5): 499-510.

Sangthongpitag K., S. F. Delaney y P. L. Rogers. 1996. Evaluation of four fresh-water unicelular cyanobacteria as potential host for mosquitocidal toxins. Biotechnology Letters. 18(2): 175-180.

Sasse, B. E. y L. W. Hackett. 1950. Note on the host preferences of *Anopheles pseudopunctipennis* J. Nat. Mal. Soc. 9(2): 181-182.

Savage, H. M., E. Rejmankova, J. I. Arredondo-Jiménez, D. R. Roberts y M. H. Rodríguez. 1990. Limnological and botanical characterization of larval habitats for two primary malarial vectors, *Anopheles pseudopunctipennis* and *Anopheles albimanus,* in coastal areas of Chiapas state, Mexico. J. Am. Mosq. Control Assoc. 6(4): 612-620.

Service, M. W. 1989. The importance of ecological studies on malaria vectors. Bull. Soc. Vector Ecol. 14: 26-38.

Service, M. W. 1993. Mosquito ecology. Field sampling methods. 2nd Ed. Elsevier Appl. Sci. London and New York. 988 pp.

Service, M. W. 1995. Can we control mosquitoes without pesticides? A summary. J. Am. Mosq. Control Assoc. 11(2):290-293.

Shannon, R. C., N. C. Davis y E. Del Ponte. 1927. La distribución del Anopheles pseudopunctipennis y su relación con el paludismo, en la Argentina. Rev. Inst. Bacteriológico. Tomo IV(7): 679-705.

Shannon, R. C. y N. C. Davis. 1927. Condiciones de reproducción de *Anopheles pseudopunctipennis* en la provincia de Tucuman durante la estación seca. Rev. Inst. Bacteriol. 17: 662-678.

Shannon, R. C. 1930. Observations on *Anopheles pseudopunctipennis* in Peru. Am. J. Trop. Med. Hyg. 12: 442-448.

Shi, A. 1986. Antipredator responses and the perception of danger by mosquito larvae. Ecology. 67: 434-441.

Shi, A. 1987. Predator and prey lifestyles: an evolutionary and ecological overview. Paginas 203-224. *En*: W. C. Kerfoot and A. Shi, editors. Predation: direct and

indirect impacts on acuatic communities. University Press of New England. Hanover, New Hampshire, USA.

Sistema único de información para la vigilancia epidemiológica. Información preliminar 1998.

Skelly, D. K. y E. E. Werner. 1990. Behavioral and life historical responses of larval American toads to an odonate predator. Ecology 71(6): 2313-2322.

Skelly, D. K. 1992. Field evidence for a cost of behavioral antipredator response in a larval amphibian. Ecology. 73(2): 704-708.

Smith, S. M. 1985. Population dynamics. En: Chapman, H. C. (ed.). 1985. Biological control of mosquitoes. Bulletin Am. Mosq. Control Assoc. 6: 185-205.

Southwood, T. R. E. 1978. Ecological methods. 2a Ed. Chapman and Hall, London. 524 pp.

Taylor, N. J. 1979. A rapid efficient area sampler for estimating absolute abundance of floodwater mosquito larvae. Environ. Entomol. 8:1004-1006.

Taylor, L. R. 1984. Assessing and interpreting the spatial distributions of insect populations. Ann. Rev. Entomol. 29:231-257.

Theobald, F. V. 1901. A monograph of the Culicidae or mosquitoes. London. 2:305.

Thorp, J. M. y A. P. Covich. 1991. An overview of freshwater habitats. En: Ecology and classification of North American freshwater invertebrates. Academic Press, Inc. 17-36.

Ulloa, G. A. 1996. Abundancia larvaria y fuentes alimenticias de *Aedes aegypti* (L) (Diptera: Culicidae) en algunos recipientes artificiales, en el sur de Chiapas, México. Tesis de Maestría. Monterrey Nuevo León, México. 45 pp.

Vargaas L. 1976. Nueva lista de especies de *Anopheles* de México (Diptera: Culicidae). Revista de Investigación en Salud Pública. 18: 87-91.

Vázquez M., M. G. 1991. Influencia de la estructura de la vegetación sobre la abundancia larvaria de *Anopheles albimanus* Weidemann (Diptera: Culicidae) en el sur de Chiapas, México. Tesis de Licenciatura. ICACH. 89 pp

Vázquez M., M. G. 1997. Disponibilidad de alimento de poblaciones larvarias de *Anopheles albimanus* Wiedemann (Diptera: Culicidae) en los principales tipos de hábitats de la planicie costera del sur de Chiapas, México. Tesis de Maestría. UNAM. México, D. F. 70 pp

Velasco, C. R. 1976. Los peces de agua dulce del Estado de Chiapas. Ediciones del Gobierno del Estado de Chiapas. 143 pp.

Venables, W. N. y B. D. Ripley 1994. Modern applied statistics with S-plus. Springer-Verlag.London. 462 pp.

Villarreal, C., J. I. Arredondo-Jiménez, M. H. Rodríguez y A. Ulloa. 1998. Colonization of *Anopheles pseudopunctipennis* from Mexico. J. of Med. Entomol. 14(4): 369-372.

Walker, E. D. y R. W. Merritt. 1988. The significance of leaf detritus to mosquito (Diptera: Culicidae) productivity from tree holes. Environ. Entomol 17: 199-206.

Walker, E. D., E. J. Olds y R. W. Merritt. 1988a. Gut content analysis of mosquito larvae (Diptera: Culicidae) using DAPI stain and epifluorescence microscopy. J. Med. Entomol. 25(6): 351-354.

Walker, E. D., R. W. Merritt y R. S. Wotton. 1988b. Analysis of distribution and abundance of *Anopheles quadrimaculatus* (Diptera: Culicidae) larvae in marsh. Environ. Entomol. 17: 992-999.

Walker, E. D., D. L. Lawson, R. W. Merritt. W. T. Morgan y M. J. Klug. 1991. Nutrient dynamics, bacterial population and mosquito productividad in tree holes ecosystems and microcosmos. Ecology. 72: 1529-1546.

Wetzel, R. G. 1983. Limnology. Second Edition. Saunders, Philadelphia. 857 pp.

Wilkerson, R.C., D. Strickman y T. R. Liwak. 1990. An illustrated key to the female anopheline mosquitoes of Central America and México. J. Am. Mosq. Control Assoc. 6: 7-34.

Wolda, H. y P. Galindo. 1981. Populations fluctuations of mosquitoes in the non-seasonal tropics. Ecol. Entomol. 6: 99-106.

World Health Organization. 1987. Report of an informal consultation on the role of molecular biology and genetic engineering in the development of biocontrol of disease vectors. WHO/TDR/VBC/MB-GE/87.3.

Zar, J. 1984. Biostatistical analysis. 2nd Ed. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ.

**Tabla 1** Dinámica del movimiento, color del agua y tipo de fondo de los criaderos positivos a larvas de *Anopheles pseudopunctipennis* ubicados en el Río Coatán, Chiapas, México.

| Parametro | n | Frecuencia (%) |
|---|---|---|
| Movimiento del agua | | |
| Estancada | 2 | 0.21 |
| Lenta | 104 | 10.89 |
| Moderada | 849 | 88.90 |
| Totales: | 955 | 100 |
| Color del agua | | |
| Clara | 914 | 95.71 |
| Coloreada | 34 | 3.56 |
| Turbia | 7 | 0.73 |
| Totales: | 955 | 100 |
| Tipo de fondo | | |
| Arenoso | 949 | 99.37 |
| Limo-arenoso | 6 | 0.63 |
| Totales: | 955 | 100 |

**Tabla 2.** Producividad potencial de diferentes tipos de vegetación asociados a criaderos de *Anopheles pseudopunctipennis* ubicado en el río Coatán, Chiapas (enero-julio de 1997).

| Tipo de vegetación | n | Cobertura total ($m^2$) | No. Total de larvas | No. Larvas/ $m^2$ |
|---|---|---|---|---|
| *Spirogyra* sp. | 398 | 904.08 | 50277 | 55.61 |
| *Cladophora* sp. | 185 | 319.74 | 11557 | 36.14 |
| *Heteranthera limosa* | 23 | 5.66 | 190 | 33.57 |
| *Anabaena* sp. | 14 | 14.93 | 598 | 40.05 |

**Tabla 3.** Estadística descriptiva de los parámetros físico-químicos en los criaderos de *Anopheles pseudopunctipennis* ubicados en el Río Coatán, Chiapas (enero-julio de 1997).

| Variables | Media | Desviación estándar | Valor mínimo | Valor máximo |
|---|---|---|---|---|
| Area del criadero ($m^2$) | 12.45 | 12.05 | 1.19 | 75.86 |
| Temperatura del agua (°C) | 25.40 | 1.94 | 16.00 | 35.00 |
| Profundidad del agua (cm) | 18.30 | 7.46 | 6.00 | 70.00 |
| Conductividad eléctrica (µS/cm) | 111.43 | 31.84 | 87.00 | 183.00 |
| Solidos totales (ppm) | 48.5 | 13.03 | 39.00 | 82.00 |
| pH | 7.33 | 0.64 | 4.42 | 10.35 |
| Oxígeno disuelto (mg/l de agua) | 6.99 | 2.93 | 0.60 | 31.16 |
| Nitratos (ppb) | 66.25 | 107.42 | 0.00 | 761.79 |
| Fosfatos (ppb) | 46.05 | 174.94 | 0.00 | 2529.71 |
| Materia orgánica (mg/l) | ND* | ND | < 12 | > 50 |

* : la frecuencia más alta observada en los valores de materia orgánica fue la de < 12 mg/l

**Tabla 4.** Dinámica de la profundidad de los criaderos positivos a larvas de *Anopheles pseudopunctipennis* ubicados en el Río Coatán, Chiapas, México.

| Profundidad (P) cm | n | Frecuencia (%) |
|---|---|---|
| $5 < P \leq 10$ | 108 | 11.34 |
| $10 < P \leq 20$ | 600 | 63.02 |
| $20 < P \leq 30$ | 189 | 19.85 |
| $30 < P \leq 40$ | 39 | 4.10 |
| $40 < P \leq 50$ | 11 | 1.16 |
| $50 < P \leq 70$ | 5 | 0.53 |
| Rango= 6-76 cm | | |
| Media= 18.30 cm | 952 | 100 |

**Tabla 5.** Dinámica del área de los criaderos positivos a larvas de *Anopheles pseudopunctipennis* ubicados en el Río Coatán, Chiapas, México.

| Area del criadero (A) $m^2$ | n | Frecuencia (%) |
|---|---|---|
| $1 < A \leq 10$ | 526 | 54.91 |
| $10 < A \leq 20$ | 252 | 26.30 |
| $20 < A \leq 30$ | 99 | 10.33 |
| $30 < A \leq 40$ | 27 | 2.82 |
| $40 < A \leq 50$ | 19 | 1.98 |
| $50 < A \leq 60$ | 18 | 1.89 |
| $60 < A \leq 76$ | 17 | 1.77 |
| Rango= 1.19-75.86 $m^2$ | | |
| Media= 12.45 $m^2$ | 958 | 100 |

**Tabla 6.** Frecuencias observadas de los valores de materia orgánica en diferentes categorías a lo largo de los criaderos ubicados en seis transectos de la zona de estudio en el Río Coatán, Chiapas (enero-julio 1997).

| Transectos | Materia Orgánica (mg/l) | | | | | Total General |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | < 12 | 12 - 20 | 20 - 30 | > 30 | > 50 | |
| I | 111 | 3 | 5 | 4 | 2 | 125 |
| III | 107 | 4 | 2 | 7 | | 120 |
| V | 105 | 6 | 7 | 7 | 1 | 126 |
| VI | 107 | 5 | 2 | 2 | 2 | 118 |
| VIII | 109 | 6 | 1 | 2 | 2 | 120 |
| XI | 104 | 5 | 9 | 3 | | 121 |
| **Total** | **643** | **29** | **26** | **25** | **7** | **730** |
| (%) | (88.08) | (3.97) | (3.56) | (3.42) | (0.96) | |

**Tabla 7.** Análisis de regresión múltiple de las variables físico-químicas determinadas en relación con la abundancia larvaria de *Anopheles pseudopunctipennis* durante la estación de secas en los criaderos ubicados en el Río Coatán, Chiapas, de enero-julio de 1996. El análisis se llevó a cabo eliminando las variables que no fueron asociadas significativamente con la abundancia larvaria ($R= 0.64$, $R^2= 0.42$, $F_{5,338}= 47.99$, $P< 0.0001$).

| Variables | β | *t* | *P* | Asociación |
|---|---|---|---|---|
| Profundidad del agua (cm) | 0.088 | 2.096 | 0.0368 | positiva |
| Oxígeno disuelto (mg/l de agua) | 0.186 | 3.909 | 0.0001 | positiva |
| Cobertura de las algas (%) | 0.512 | 10.889 | 0.0000 | positiva |
| Nitatos (ppb) | 0.142 | 3.383 | 0.0008 | positiva |
| Materia orgánica (mg/l) | - 0.087 | - 2.095 | 0.0369 | negativa |

**Tabla 8.** Listado de los principales géneros y especies de algas presentes en muestras de estómagos y aguas de los criaderos larvarios de *Anopheles pseudopunctipennis* ubicados en el Río Coatán, Chiapas, México.

| Listado | Agua | Estómago | Listado | Agua | Estómago |
|---|---|---|---|---|---|
| División: Cyanophyceae | | | *Zygnema* | ✓ | |
| Orden: Chroococcales | | | Familia: Desmidiaceae | | |
| Familia: Chroococcaceae | | | *Closterium* | ✓ | |
| *Chroococcus* | ✓ | ✓ | | | |
| *Microcystis* | ✓ | ✓ | División: Chrysophyceae | | |
| Orden: Oscillatoriales | | | Subdivisión: Xanthophyceae | | |
| Familia: Oscillatoriaceae | | | Orden: Tribonematales | | |
| *Lyngbya* | ✓ | ✓ | Familia: Tribonemataceae | | |
| *Oscillatoria* | ✓ | ✓ | *Tribonema* | ✓ | |
| Orden: Nostocales | | | Orden: Vaucheriales | | |
| Familia: Nostocaceae | | | Familia: Vaucheriaceae | | |
| *Anabaena doliolum* | ✓ | ✓ | *Vaucheria* | ✓ | |
| | | | Subdivisión: Bacillariophyceae | | |
| División: Chlorophyceae | | | Orden: Pennales | | |
| Orden: Tetrasporales | | | Familia: Fragilariaceae | | |
| Familia: Gleocystaceae | | | *Fragilaria* | ✓ | |
| *Gleocystis* | ✓ | | *Synedra ulna* | | |
| Orden: Chlorococcales | | | Familia: Cymbellaceae | | |
| Familia: Ocystaceae | | | *Cymbella* | ✓ | |
| *Chlorella* | ✓ | ✓ | Familia: Gomphonemaceae | | |
| *Zoochlorella* | | | *Gomphonema* | | |
| Familia: Scenedesmaceae | | | Familia: Epithemiaceae | | |
| *Scenedesmus* | ✓ | | *Rhopalodia gibberula* | ✓ | |
| Orden: Ulotrichales | | | | | |
| Familia: Ulotrichaceae | | | | | |
| *Uronema confervicolum* | ✓ | | | | |
| Orden: Oedogoniales | | | | | |
| Familia: Oedogoniaceae | | | | | |
| *Oedogonium* | ✓ | | | | |
| Orden: Siphonocladales | | | | | |
| Familia: Cladophoraceae | | | | | |
| *Cladophora glomerata* | ✓ | | | | |
| Orden: Zygnematales | | | | | |
| Familia: Zygnemataceae | | | | | |
| *Spirogyra* | ✓ | ✓ | | | |

**Tabla 9.** Estadística descriptiva de los principales ordenes de insectos acuáticos y peces asociados a los criaderos de *Anopheles pseudopunctipennis* en el Río Coatán, Chiapas, México.

| Taxa | Media | Desviación estándar | Valor mínimo | Valor máximo | Sumatoria |
|---|---|---|---|---|---|
| Coleópteros | 0.92 | 2.24 | 0 | 31 | 1510 |
| Efemerópteros | 3.07 | 7.40 | 0 | 103 | 5066 |
| Hemiípteros | 22.18 | 20.64 | 0 | 268 | 36549 |
| Odonatos | 0.43 | 2.10 | 0 | 46 | 709 |
| Plecópteros | 0.01 | 0.23 | 0 | 6 | 21 |
| Tricópteros | 0.01 | 0.15 | 0 | 4 | 15 |
| Especie de peces: | | | | | |
| *Poecilia sphenops* | 1.48 | 2.61 | 0 | 33 | 2447 |

**Tabla 10.** Determinación taxonómica de los principales géneros de insectos acuáticos asociados a los criaderos de *Anopheles pseudopunctipennis*.

| ORDENES | FAMILIAS | GENEROS |
|---|---|---|
| Ephemeroptera | Baetidae | *Baetis* |
| Odonata | Coenagrionidae | *Archilestes* |
| | Aeshnidae | *Aeshna* |
| | Gomphidae | *Gomphus* |
| Plecoptera | N/D | N/D |
| Hemiptera | Hydrometridae | *Hydrometra* |
| | Velidae | *Microvelia* |
| | | *Rhagovelia* |
| | Gerridae | *Gerris* |
| | Trepobatinae | *Trepobates* |
| | Belostomatidae | *Abedus* |
| | | *Lethocerus* |
| | Gelastocoridae | *Gelastocoris* |
| | Notonectidae | *Notonecta* |
| | Corixidae | N/D |
| | Naucoridae | *Ambrysus* |
| | Nepidae | *Ranatra* |
| Megaloptera | Corydalidae | *Corydalus* |
| Trichoptera | N/D | N/D |

N/D: no determinado

**Tabla 11.** Efecto de la extracción manual de las algas filamentosas sobre la abundancia larvaria de *Anopheles pseudopunctipennis* en los criaderos de los seis transectos ubicados en el Río Coatán, Chiapas (enero-junio de 1997).

| No. de Transecto | Tratamiento | MEDIA ± EE ILA(larvas/calado) | Grupos Homogeneos |
|---|---|---|---|
| 1 | extracción | 1.51 ± 0.99 | a |
| 6 | extracción | 4.11 ± 1.84 | ab |
| 11 | extracción | 6.94 ± 2.18 | ab |
| 5 | control | 7.58 ± 1.45 | b |
| 3 | control | 9.77 ± 2.62 | bc |
| 8 | control | 14.54 ± 2.21 | c |

Las letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas: Tukey, $P = 0.001$

**Tabla 12.** Efecto de la extracción manual de las algas filamentosas sobre la abundancia larvaria de *Anopheles pseudopunctipennis* en los criaderos del Río Coatán, Chiapas (enero-julio de 1997).

| DIAS | TRATAMIENTOS ILA(larvas/calado) | |
|---|---|---|
| | Controles | Extracción |
| 0 | 11.68 ± 2.16 | 15.11 ± 3.40 |
| 15 | 7.32 ± 1.49 | 0.04 ± 0.01 |
| 25 | 13.24 ± 3.53 | 0.69 ± 0.18 |
| 35 | 14.50 ± 3.93 | 2.94 ± 0.84 |
| 45 | 10.45 ± 0.79 | 6.47 ± 1.19 |
| 55 | 11.32 ± 1.14 | 12.17 ± 1.44 |
| 65 | 5.39 ± 1.83 | 4.72 ± 1.23 |
| **Media** | **10.34 [a] ± 1.31** | **4.10 [b] ± 1.09** |

**Tabla 13.** Efecto de la extracción mécanica (por acción del río) de las algas filamentosas sobre la abundancia larvaria de *An. pseudopunctipennis* en los criaderos del Río Coatán, Chiapas (enero-julio de 1997).

| DIAS | TRATAMIENTOS ILA(larvas/calado) | |
|---|---|---|
| | Controles | Extracción |
| 0 | 12.17 ± 1.44 | 11.32 ± 1.14 |
| 10 | 13.11 ± 1.83 | 4.15 ± 0.01 |
| 20 | 7.88 ± 1.07 | 1.74 ± 0.34 |
| 30 | 0.90 ± 0.16 | 0.15 ± 0.01 |
| 40 | 0.53 ± 0.06 | 0.06 ± 0.02 |
| 50 | 0.58 ± 0.05 | 0.20 ± 0.07 |
| 60 | 0.00 ± 0.00 | 0.01 ± 0.00 |
| **Media** | **3.83[a] ± 0.84** | **1.05[b] ± 0.37** |

**Tabla 14.** Número de partículas de diferentes recursos alimenticios detectadas en estómagos de larvas de *An. pseudopunctipennis*, mediante la técnica de tinción DAPI (n = 1600).

| Recursos Alimenticios | Número de Partículas | % |
|---|---|---|
| Detritos | 6,490.21 | 51.75 |
| Algas Filamentosas | 5,936.94 | 47.34 |
| Bacterias | 113.49 | 0.90 |

**Tabla 15.** Medias y desviación estándar de la tasa de sobrevivencia de larvas de *An. pseudopunctipennis* bajo la influencia de la cobertura de las algas *Spirogyra* sp. y la densidad de peces *Poecilia sphenops*.

| Densidad de Peces | Cobertura de *Spirogyra* (%) | | | | Media general |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 33 | 66 | 99 | |
| 0 | 32.67 ± 0.84 | 41.89 ± 2.36 | 46.95 ± 3.06 | 35.79 ± 3.41 | 39.32[a] |
| 1 | 0.00 ± 0.00 | 25.05 ± 1.99 | 25.62 ± 1.99 | 22.50 ± 2.29 | 18.29[b] |
| 2 | 0.00 ± 0.00 | 21.50 ± 0.50 | 22.09 ± 1.81 | 19.36 ± 2.17 | 15.74[b] |
| 4 | 0.00 ± 0.00 | 14.82 ± 0.82 | 17.01 ± 0.79 | 13.22 ± 0.92 | 11.26[c] |
| | 8.16[a] | 25.81[bc] | 27.91[c] | 22.71[b] | |

Nota : las letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (Tukey $P = 0.0001$).
Factor A (Densidad de peces); $F_{3,48} = 48.77$; $P = 0.0001$.
Factor B (Cobertura de algas); $F_{3,48} = 24.99$; $P = 0.0001$.
Interacción (AB); $F_{9,48} = 1.13$; $P = 0.3593$.

**Tabla 16.** Medias y desviación estándar de la tasa de depredación larvaria de *An. pseudopunctipennis* bajo la influencia de la cobertura de las algas *Spirogyra* sp. y la densidad de peces *Poecilia sphenops*.

| Densidad de Peces | Cobertura de *Spirogyra* (%) | | | | Media general |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 33 | 66 | 99 | |
| 0 | 0.00 ± 0.00 | 0.00 ± 0.00 | 0.00 ± 0.00 | 0.00 ± 0.00 | 0.00[a] |
| 1 | 90.00 ± 0.00 | 48.07 ± 3.74 | 49.49 ± 5.08 | 55.37 ± 1.87 | 60.73[b] |
| 2 | 90.00 ± 0.00 | 53.98 ± 3.29 | 57.31 ± 3.42 | 53.29 ± 3.84 | 63.64[bc] |
| 4 | 90.00 ± 0.00 | 66.54 ± 1.63 | 64.84 ±1.63 | 63.06 ± 3.85 | 71.11 [c] |
| | 67.5[a] | 42.14[b] | 42.91[b] | 42.93[b] | |

Nota : las letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $P < 0.0001$).
Factor A (Densidad de peces); $F_{3,48} = 168.08$; $P < 0.0001$.
Factor B (Cobertura de algas); $F_{3,48} = 24.11$; $P < 0.0001$.
Interacción (AB); $F_{9,48} = 3.18$; $P = 0.0043$.

**Tabla 17.** Efecto de la presencia de peces *Poecilia sphenops* y la cobertura de algas *Spirogyra* sp. sobre el tiempo de pupación (en días) de larvas de *An. pseudopunctipennis.*

| Cobertura de algas | Densidad de *Poecilia sphenops* 0 | 1 | 2 | 4 | Totales |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 8.75 | N/S | N/S | N/S | $8.75^{a} \pm 0.48$ |
| 33 | 8.25 | 10.25 | 10.50 | 11.50 | $10.12^{b} \pm 0.35$ |
| 66 | 8.00 | 9.75 | 10.75 | 12.50 | $10.25^{b} \pm 0.45$ |
| 99 | 8.25 | 10.00 | 10.50 | 12.25 | $10.25^{b} \pm 0.43$ |
| | $8.31^{a} \pm 0.20$ | $10.00^{b} \pm 0.21$ | $10.58^{b} \pm 0.29$ | $12.08^{c} \pm 0.30$ | |

Nota : las letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (Tukey $P = 0.0001$).
Factor A (Densidad de peces); $F_{3,39} = 18.89$; $P = 0.0001$.
Factor B (Cobertura de algas); $F_{3,39} = 0.07$; $P = 0.9736$.
Interacción (AB); $F_{9,39} = 0.35$; $P = 0.9534$.

**Tabla 18.** Efecto de la presencia de peces *Poecilia sphenops* y la cobertura de algas *Spirogyra* sp. sobre la longitud alar promedio (en mm ± error estandar) de hembras de *An. pseudopunctipennis* obtenidas en los diferentes taratamientos de los experimentos de depredación.

| Cobertura de algas | Densidad de *Poecilia sphenops* 0 | 1 | 2 | 4 | Totales |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 3.87 | N/S | N/S | N/S | $3.87^{a} \pm 0.21$ |
| 33 | 3.90 | 3.51 | 3.49 | 3.56 | $3.65^{b} \pm 0.23$ |
| 66 | 3.94 | 3.78 | 3.58 | 3.51 | $3.69^{b} \pm 0.23$ |
| 99 | 3.94 | 3.63 | 3.54 | 3.39 | $3.68^{b} \pm 0.25$ |
| | $3.90^{a} \pm 0.19$ | $3.60^{b} \pm 0.16$ | $3.54^{b} \pm 0.12$ | $3.51^{b} \pm 0.15$ | |

Nota : las letras diferentes denotan diferencias estadisticamente significativas (Tukey $P = 0.0001$).
Factor A (Densidad de peces); $F_{3,402} = 229.51$; $P = 0.0001$.
Factor B (Cobertura de algas); $F_{2,402} = 15.26$; $P = 0.0001$.
Interacción (AB); $F_{6,402} = 9.85$; $P = 0.0001$.

**Tabla 19.** Efecto de la presencia de peces *Poecilia sphenops* y la cobertura de algas *Spirogyra* sp. sobre la longitud alar promedio (en mm ± error estandar) de machos de *An. pseudopunctipennis* obtenidos en los diferentes taratamientos de los experimentos de depredación.

| Cobertura de algas | Densidad de *Poecilia sphenops* 0 | 1 | 2 | 4 | Totales |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 3.55 | N/S | N/S | N/S | $3.55^{a} \pm 0.16$ |
| 33 | 3.62 | 3.31 | 3.33 | 3.31 | $3.42^{b} \pm 0.19$ |
| 66 | 3.61 | 3.40 | 3.32 | 3.26 | $3.39^{b} \pm 0.18$ |
| 99 | 3.64 | 3.36 | 3.45 | 3.20 | $3.45^{b} \pm 0.20$ |
| | $3.60^{a} \pm 0.14$ | $3.35^{b} \pm 0.13$ | $3.35^{b} \pm 0.12$ | $3.27^{c} \pm 0.12$ | |

Nota : las letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (Tukey $P = 0.0001$).
Factor A (Densidad de peces); $F_{3,402} = 210.33$; $P = 0.0001$.
Factor B (Cobertura de algas); $F_{2,402} = 0.91$; $P = 0.4019$.
Interacción (AB); $F_{6,402} = 6.16$; $P = 0.0001$.

**Tabla 20.** Número de larvas de 1er. estadio de *An. pseudopunctipennis* que eclosionaron dentro de los recipientes de oviposición, después de su exposición con dos géneros de algas filamentosas y agua abierta como sustratos de oviposición.

| Géneros de algas filamentosas | Tratamientos dentro de los recipientes de oviposición | |
|---|---|---|
| | Algas filamentosas | Agua abierta |
| *Spirogyra* sp. | 66(5) | 0(5) |
| | 11(5) | 0(5) |
| | 15(5) | 0(5) |
| | 11(5) | 0(5) |
| | 2(5) | 0(5) |
| Media ± EE | $4.22^{a} \pm 0.65$ | $0.00 \pm 0.00$ |
| *Cladophora* sp. | 22(5) | 11(5) |
| | 0(5) | 0(5) |
| | 4(5) | 0(5) |
| | 23(5) | 0(5) |
| | 40(5) | 0(5) |
| Media ± EE | $3.56^{a} \pm 0.52$ | $0.44^{b} \pm 0.00$ |

Nota : las letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (Tukey $P = 0.0108$).
Factor A (Tratamientos); $F_{1,96} = 6.76$; $P = 0.0108$.
Factor B (Sustratos); $F_{1,96} = 0.15$; $P = 0.7022$.
Interacción (AB); $F_{1,96} = 6.16$; $P = 0.9435$.

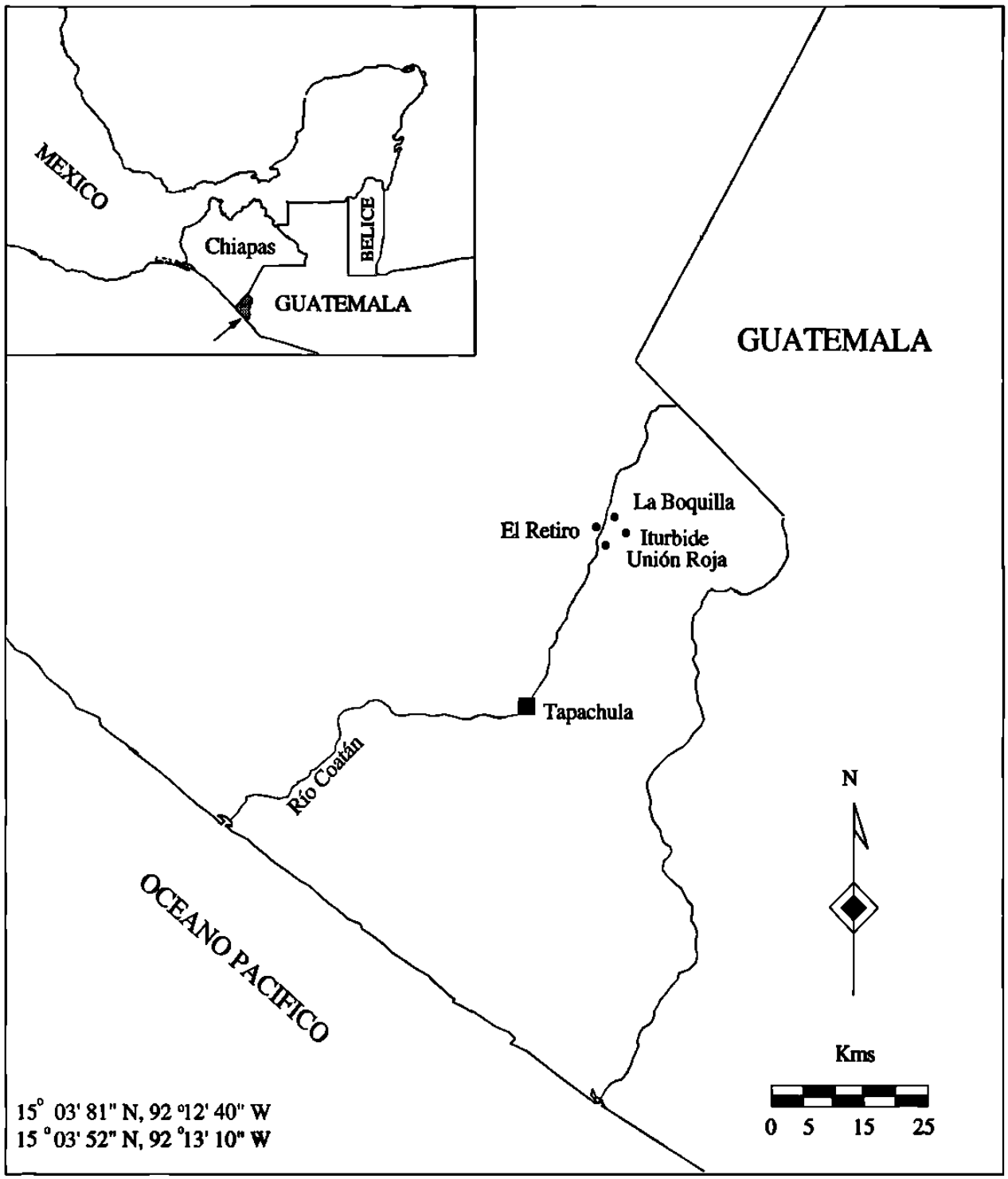


**Fig. 1.** Ubicación del área de estudio sobre el cauce del Río Coatán, a 25 km de la Ciudad de Tapachula, Chiapas, México.

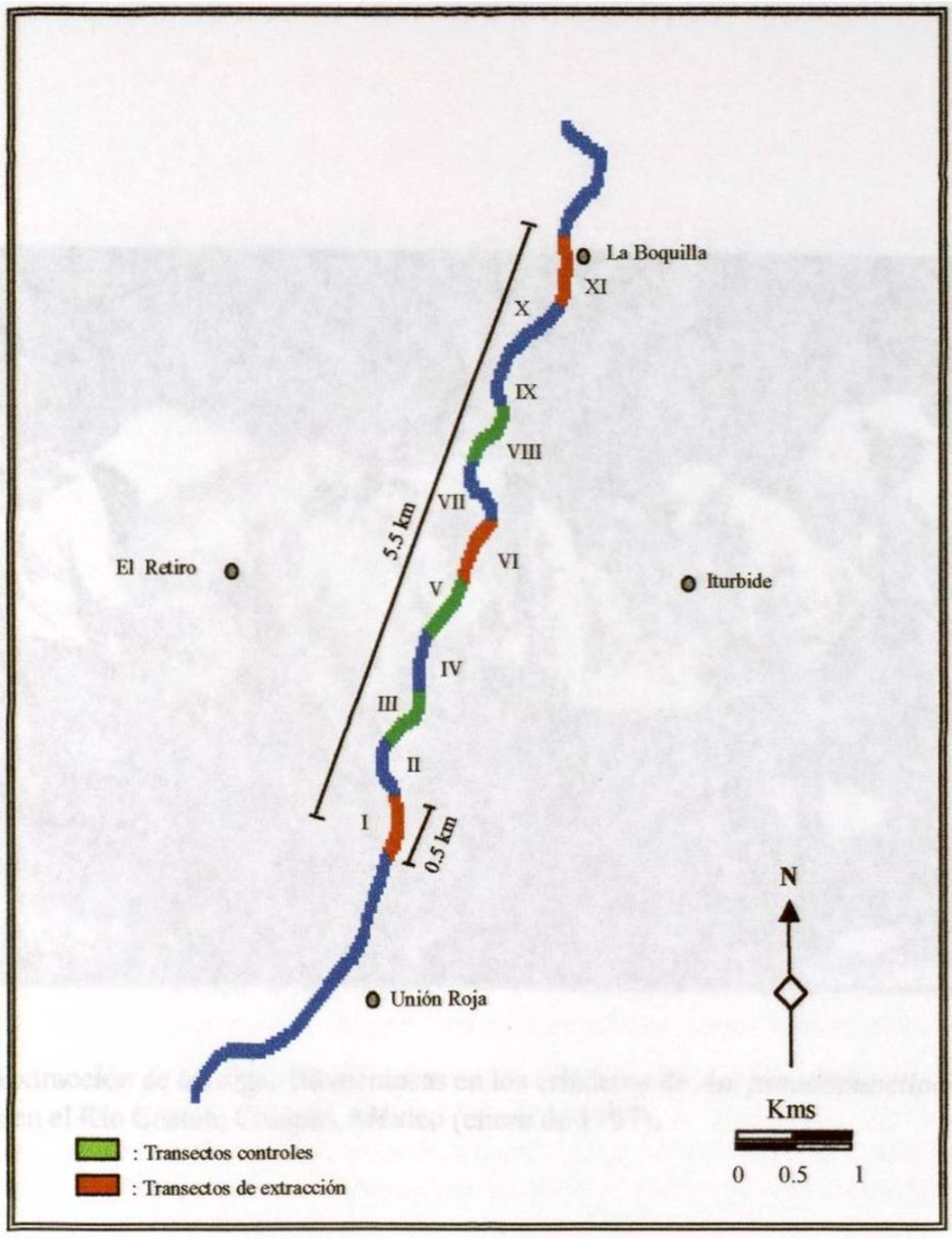


**Fig. 2. Esquema representativo de la ubicación de los transectos y los tratamientos asignados a cada uno, en el área de estudio sobre el cauce del Río Coatán, Chiapas, México.**

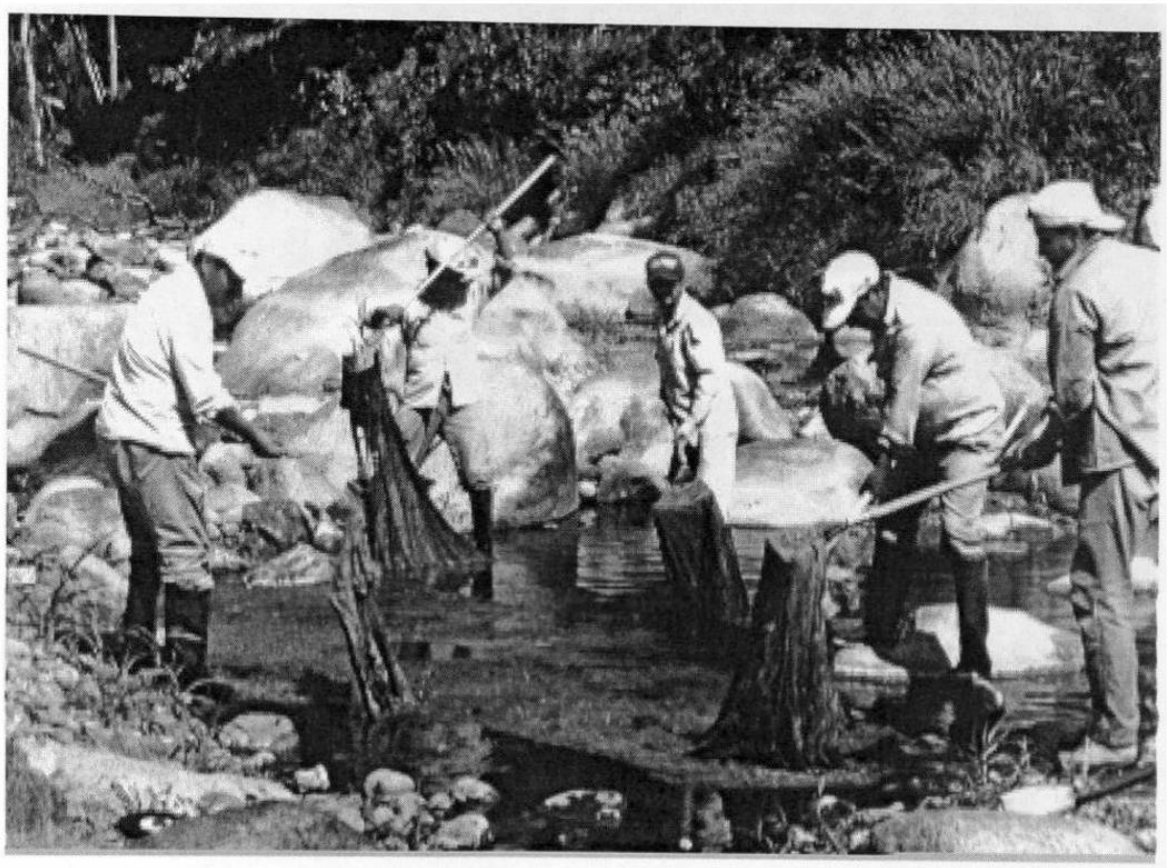

**Fig. 3.** Extracción de las algas filamentosas en los criaderos de *An. pseudopunctipennis* ubicados en el Río Coatán, Chiapas, México (enero de 1997).

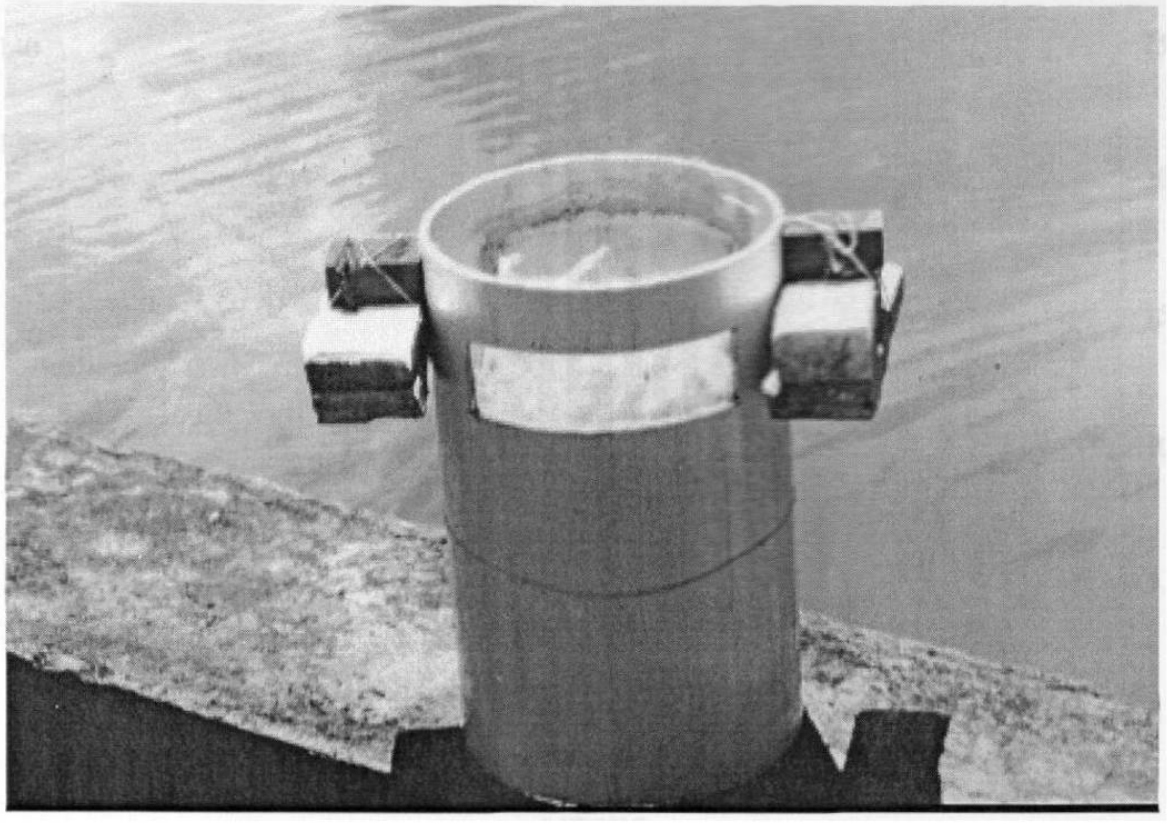

**Fig. 4**. Tubos de PVC utilizados como encierros flotantes durante los experimentos de sobrevivencia y depredación de larvas de *Anopheles pseudopunctipennis* expuestas a cuatro densidades de peces *Poecilia sphenops* y cuatro cobeturas de algas *Spirogyra* sp. Los experimentos se desarrollaron en El Plan-Las Palmas, Tapachula, Chiapas, México.

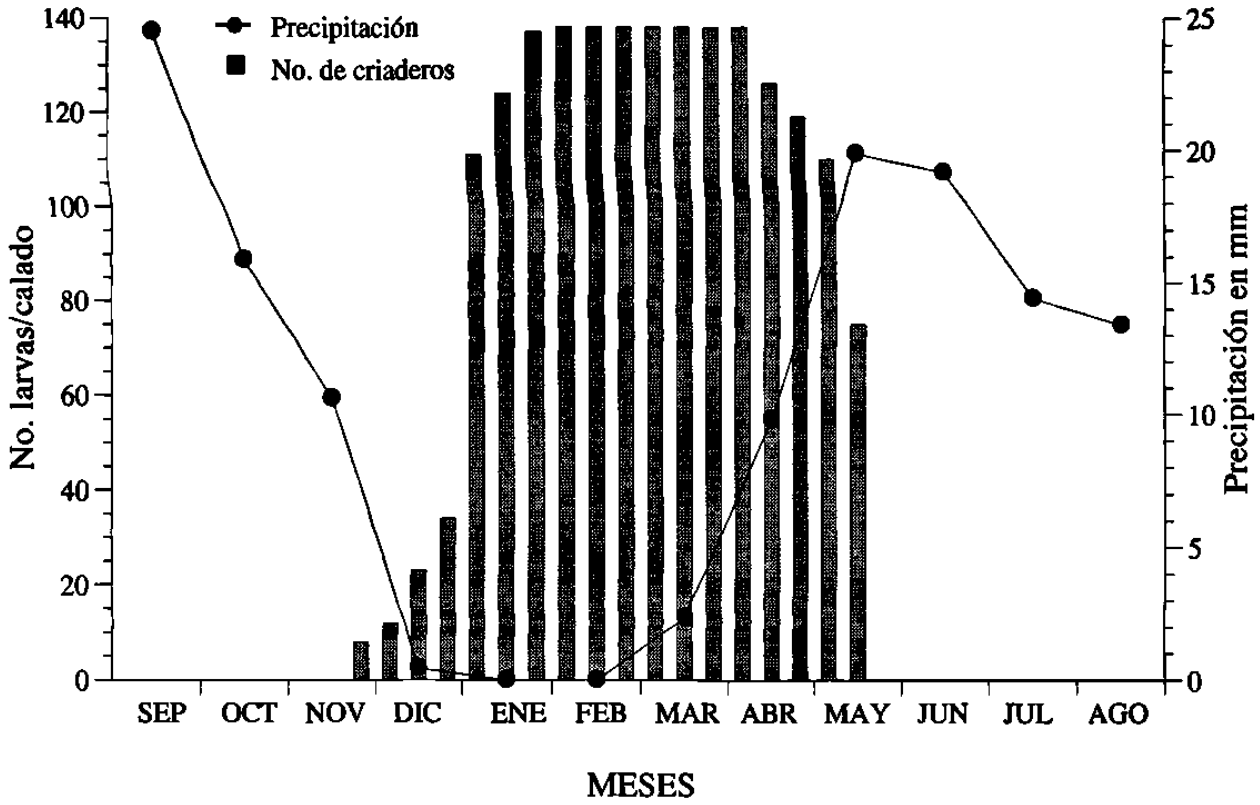


**Fig. 5.** Precipitación media mensual (mm) comparada con el número de criaderos de larva de *An. pseudopunctipennis* ubicados a lo largo de seis transectos de estudio en el Río Coatán, Tapachula, Chiapas, México (septiembre de 1996 - agosto de 1997).

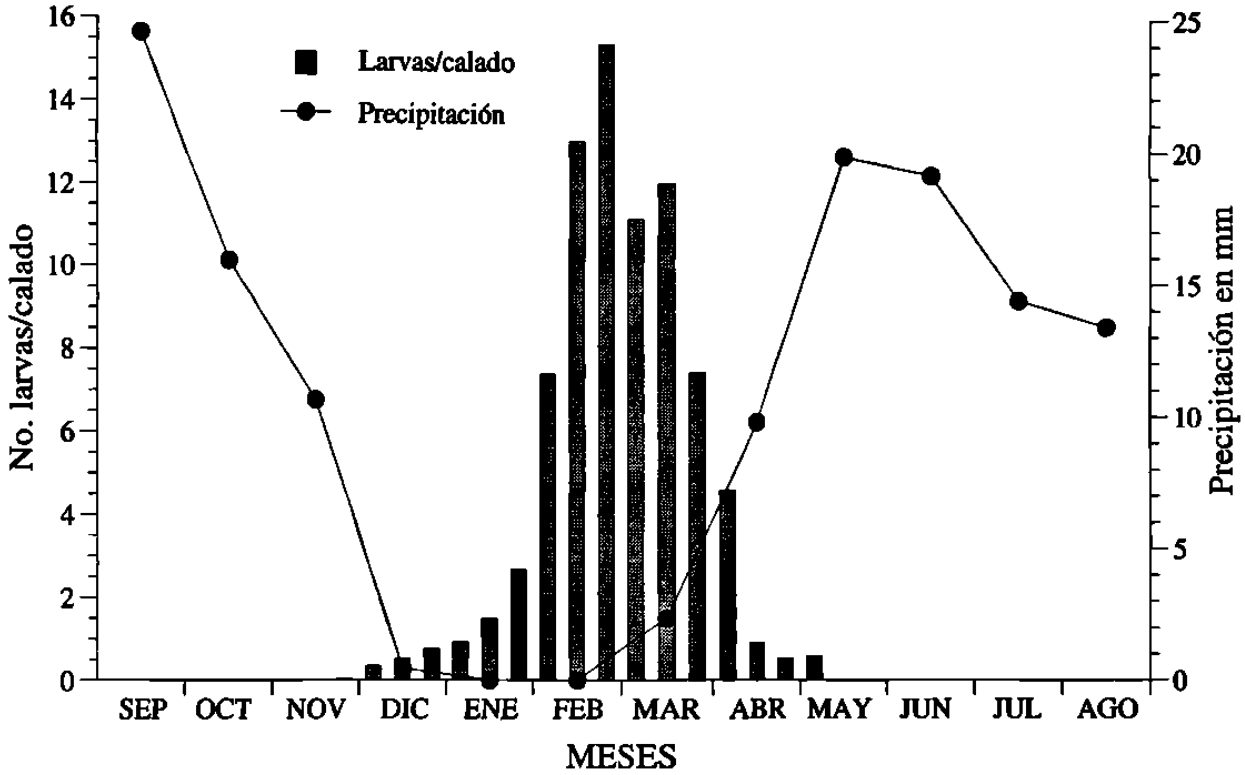


**Fig. 6.** Precipitación media mensual (mm) comparada con la densidad larvaria de *An. pseudopunctipennis* en los criaderos ubicados a lo largo de los seis transectos de estudio en el Río Coatán, Tapachula, Chiapas, México (septiembre de 1996 - agosto de 1997).

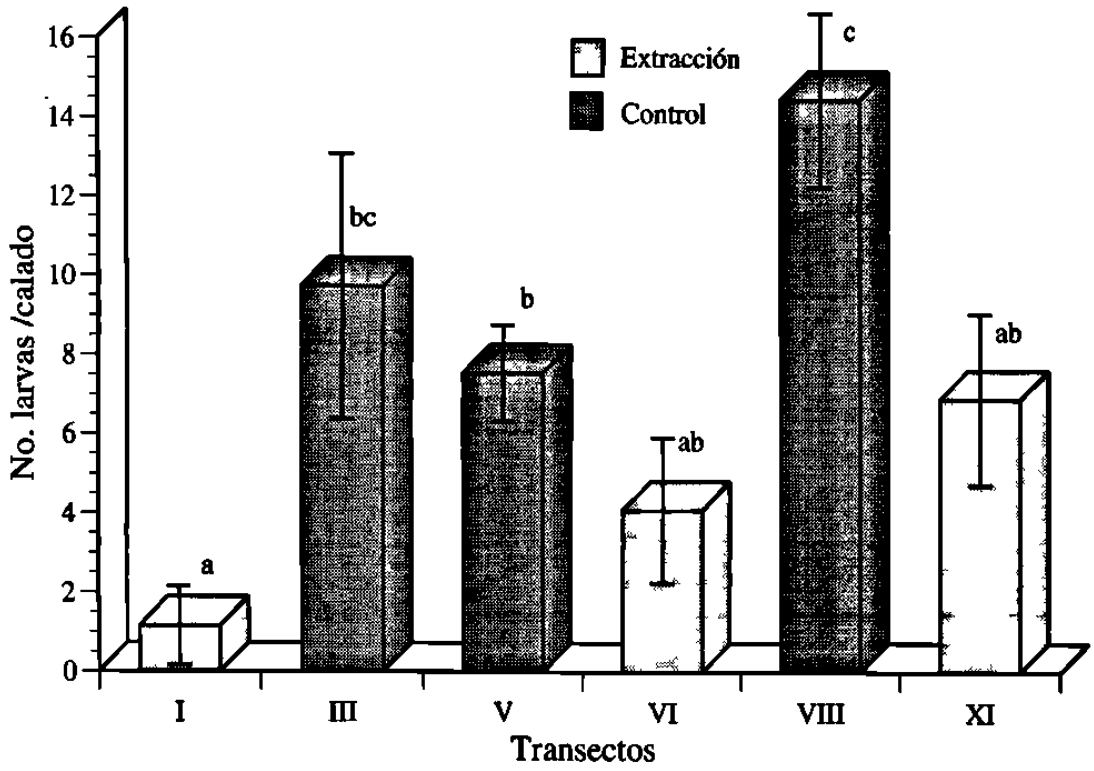


**Fig. 7.** Efecto de la extracción manual de las algas filamentosas de los criaderos de *An. pseudopunctipennis*, sobre sus poblaciones larvarias, en los diferentes transectos de la zona de estudio en el Río Coatán, Tapachula, Chiapas, México. Las letras diferentes indican diferencias estadísticamete significtivas (ANOVA, F = 5.254, *P* = 0.0016).

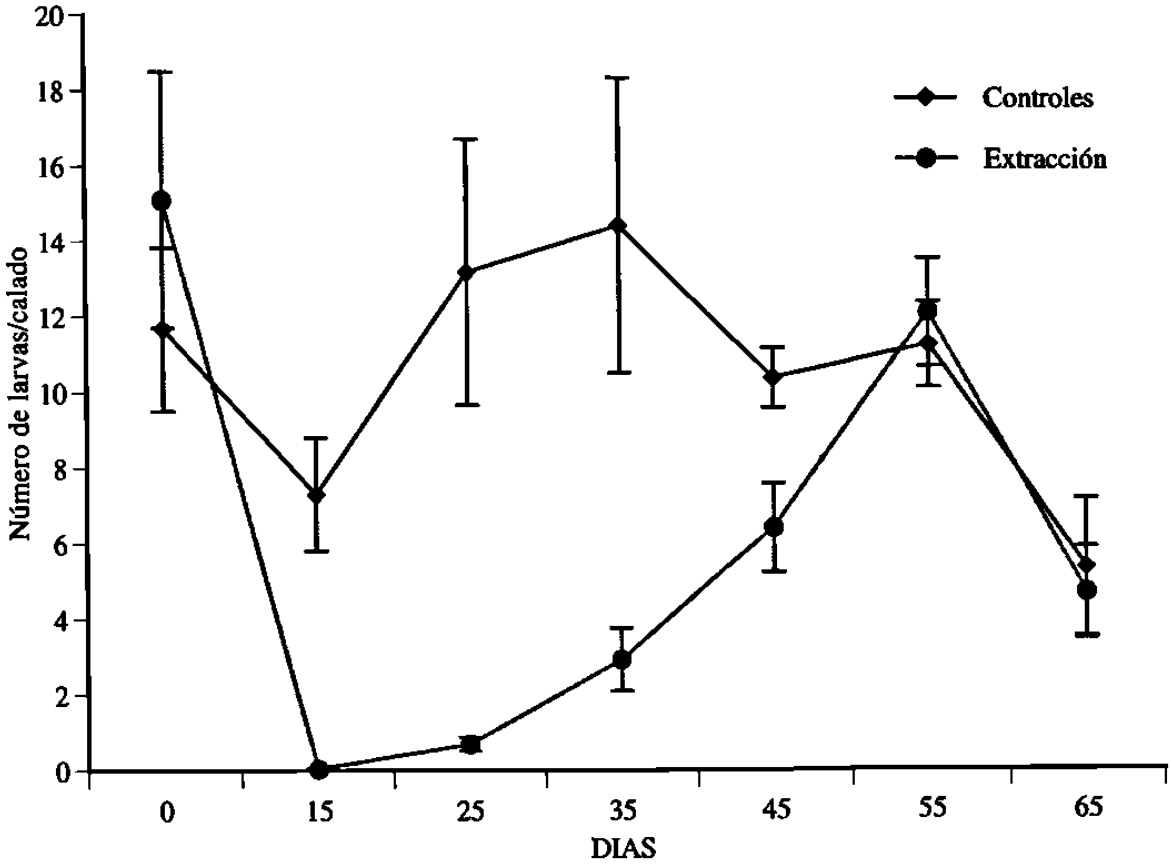


**Fig. 8.** Efecto de la extracción manual de las algas filamentosas sobre las poblaciones larvarias de *An. pseudopunctipennis* y el tiempo de duración de esta medida de control a lo largo del periodo de estudio, en los diferentes transectos ubicados en el Río Coatán, Tapachula, Chiapas, México.

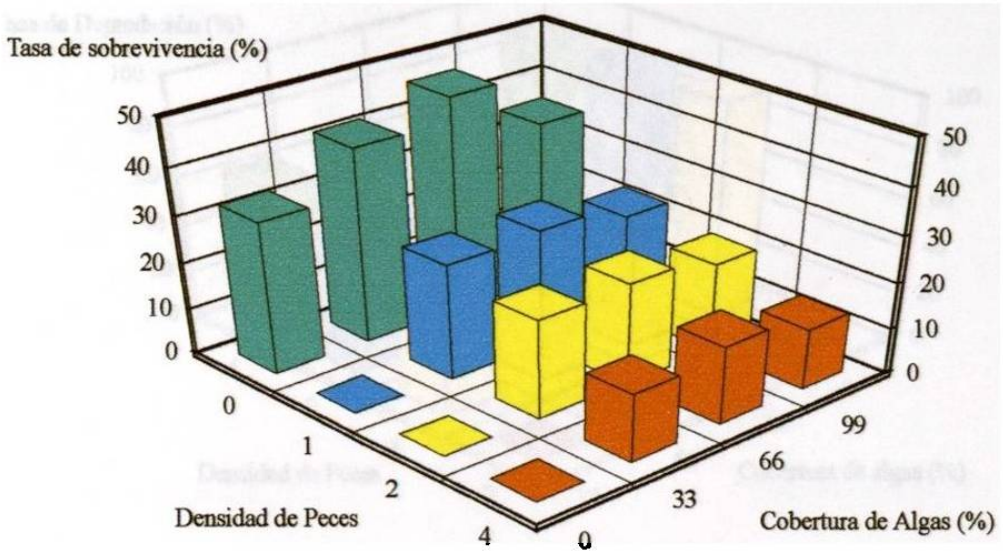


**Fig. 9**. **Influencia de las algas *Spirogyra* sp. y los peces *Poecilia sphenops* sobre la sobrevivencia larvaria de *Anopheles pseudopunctipennis*.**

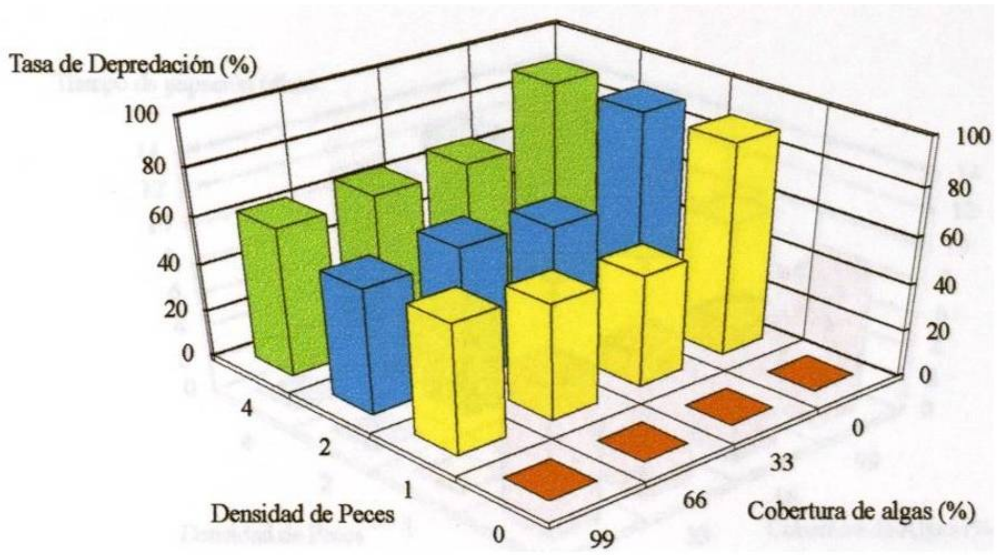


**Fig. 10. Influencia de las algas *Spirogyra* y los peces *Poecilia sphenops* sobre la depredación de larvas de *Anopheles pseudopunctipennis*.**

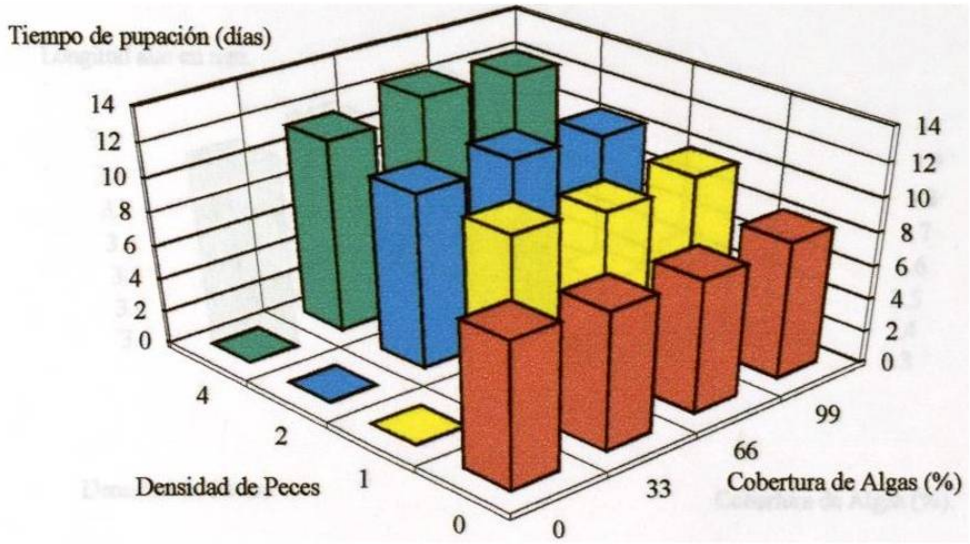


**Fig. 11. Efecto de la presencia de peces *Poecilia sphenops* y la cobertura de las algas *Spirogyra* sobre el tiempo de pupación de larvas de *Anopheles pseudopunctipennis*.**

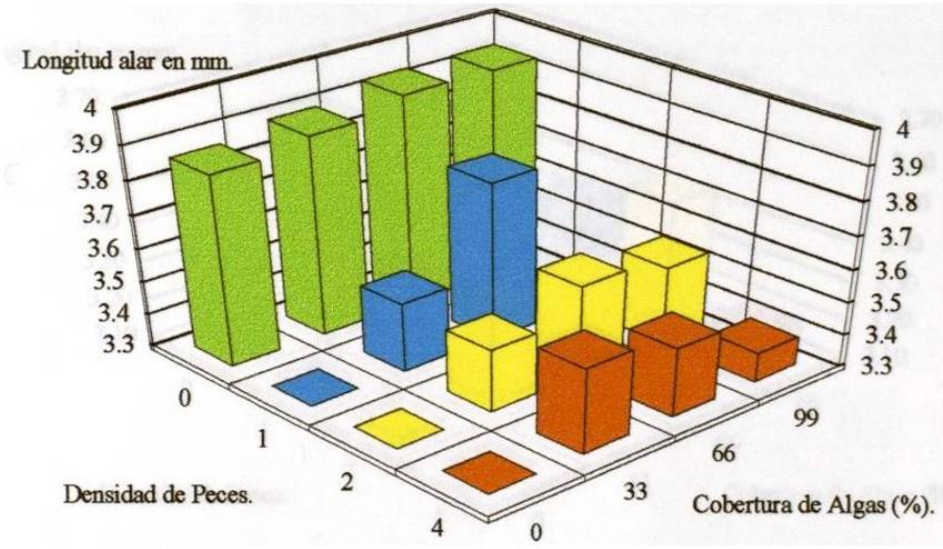


**Fig. 12. Efecto de la presencia de peces *Poecilia sphenops* y la cobertura de algas *Spirogyra* sobre el tamaño de hembras de *Anopheles pseudopunctipennis*.**

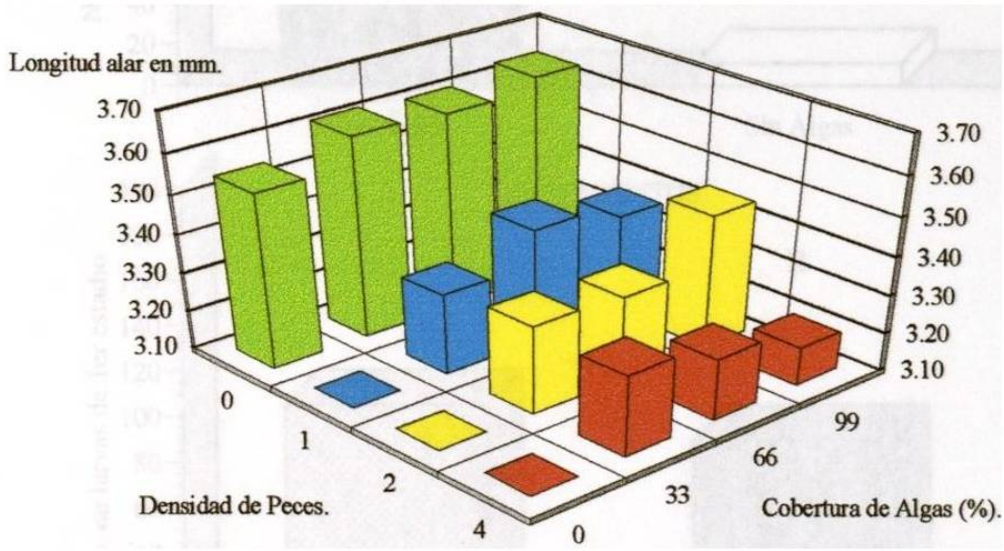


**Fig. 13. Efecto de la presencia de peces *Poecilia sphenops* y la cobertura de algas *Spirogyra* sobre el tamaño de los machos de *Anopheles pseudopunctipennis*.**

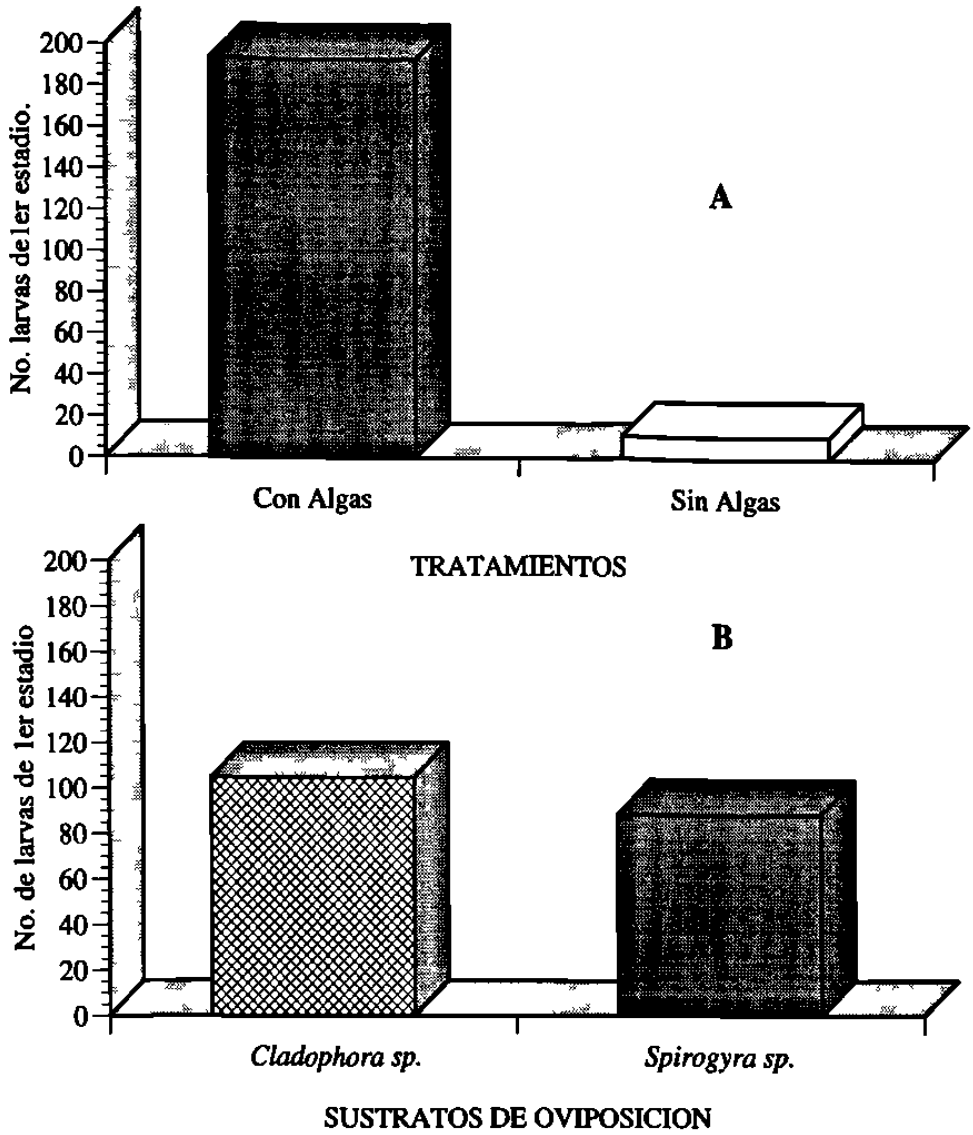


**Fig. 14.** Resultados del número de larvas de 1er. estadio de *An. pseudopunctipennis* obtenidas durante el desarrollo de los experimentos de oviposición en los dos tratamientos: A) con algas y sin algas; y los dos sustratos B) *Cladophora glomerata* y *Spirogyra* sp.

TIPO DE ADQUISICION
DONATIVO