

Preferencia y eficacia de *Notonecta indica* (Notonectidae) para diferentes instares larvales de *Aedes aegypti* (Culicidae)

Cristina Zapata-Maspoli* y Luis A. Guerra*

*** Estudiantes de Biología, Universidad Nacional de Colombia, sede Caribe; pasantes Entomología médica del Laboratorio de Salud Pública, Secretaria de Salud departamental de San Andrés Islas, Colombia.**

Correo electrónico: cazapatam@unal.edu.co, laguerrava@unal.edu.co

RESUMEN

Con el fin de establecer las habilidades de predación a partir de sus preferencias y eficacias tróficas hacia larvas de diferentes instares de *Aedes aegypti*, se empleó el insecto *Notonecta indica*, predador de pequeños invertebrados en comunidades acuáticas. Esta especie se encontró en cuerpos de agua en la isla de San Andrés, Caribe Colombiano. Se separaron las pruebas según el tipo de instar de *N. indica*. Se contó siempre el número de larvas predadas por los diferentes instares del predador. En los bioensayos se encontró que *N. indica* tiene preferencias para preda larvas de *Ae. aegypti* de instares de mayor tamaño. Además, se obtuvo que *N. indica* preda en mayor número larvas de *Ae. aegypti* de instares iniciales cuando no encuentra más opciones. Con este trabajo se avanzó hacia la consolidación de una línea base que permitan la elaboración de planes de control biológico de mosquitos en la isla de San Andrés y sistemas semejantes.

Palabras Claves: Biocontrol, Mosquitos, relación predador-presa, preferencia, eficacia del predador.

ABSTRACT

We used the water-bug *Notonecta indica*, a little invertebrate predator in aquatic community, to know their predator abilities since the preference and predator efficacy in different larval instars of *Aedes aegypti*. We found this predator in water bodies at San Andrés Island, Caribbean of Colombia. We carry out each one tests beginning from different instars of *N. indica*. We ever count up the number of larval *Ae. aegypti* predated by each instars of *N. indica* in any test. The bioassays show *N. indica* have preferences to prey late larval instars of *Ae. aegypti*. We found *N. indica* prey more initial than late larval instars of *Ae. aegypti* when it have no more options to choose. This work was carried out by us to give a baseline to develop researches and projects of mosquito biocontrol at the San Andrés Island and related systems.

Key Words: Biocontrol, Mosquitoes, predator-prey relationship, preference, predator efficacy.

INTRODUCCIÓN

Algunas especies de los géneros *Culex*, *Aedes*, *Anopheles* y otros representantes de la familia *Culicidae*, principalmente distribuidos en el trópico (Lane, 1953), se caracterizan por ser vectores de enfermedades tropicales como la fiebre amarilla, dengue, filaríasis, malaria, entre otras muchas de importancia médica y biológica (Lane, 1953). Estas enfermedades representan una constante amenaza para la salud pública del Caribe y de otras zonas tropicales, por lo que es justificable adelantar trabajos que propicien el control de estos agentes transmisores y sus fuentes de infección.

Las especies de *Aedes* se encuentran principalmente asociadas a asentamientos humanos. Regularmente se hallan en recipientes domiciliarios, en cuerpos de agua potable hasta en aguas turbias y ricas en materia orgánica. *Aedes aegypti* Linnaeus 1762, se considera vector de enfermedades epidemiológicas importantes como la fiebre amarilla y el dengue (Consoli y De Oliveira, 1998). Por ello es importante el control de estos insectos vectores para evitar la propagación de cualquier enfermedad importada. En el caso de las islas del gran Caribe, en las que se desarrolla una economía principalmente turística y comercial, los puertos, cabeceras urbanas y hoteles de mayor capacidad de ocupación se encuentran muy cercanos a zonas de humedal, depósitos de agua abandonados, lagunas o charcas no permanentes.

Hasta el momento se han implementado diversos métodos de erradicación de estos vectores. En el Caribe se ha empleado el uso de insecticidas que han contribuido al aumento de la resistencia de los mosquitos a estos agentes químicos (Rawlins, 1998). Éstos en algunos casos son poco fructíferos, obligando a repetirlos periódicamente con el fin de

disminuir las posibilidades de brotes de las enfermedades transmitidas por estos (Nelson, 1986).

Las estrategias empleadas hasta el momento para el control de mosquitos vectores van desde el uso de agentes químicos hasta el uso de agentes biológicos. Estos últimos son organismos con la capacidad de parasitar, preda al insecto vector, entre otras (Chapman, 1974). Sin embargo, muchas de estas estrategias generan impactos que pueden ser invaluable para comunidades biológicas y humanas. Pues en general, muchas de las especies empleadas hasta el momento para el control biológico de organismo son extrañas al hábitat en donde se han introducido, generando a su llegada desequilibrios entre poblaciones de los sitios intervenidos (Murdoch et al., 1985; Lawler et al., 1999). Muchas de estas especies controladoras son consideradas amables en comparación con los controladores químicos. En diferentes países tropicales se han empleado estrategias de control biológico de mosquito. Brasil, por ejemplo, se ha empleado hasta el momento *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* como biocontrolador de mosquito (Lima et al., 2005). También se registran estudios de control de mosquito con especies animales como peces (Bence, 1998; Lee, 2000; Hurst et al., 2004), ranas (Willems et al., 2005), planarias (Perich et al., 1990), decápodos (Mkoji et al., 1999), libélulas (Quiroz-Martínez et al., 2005), larvas de otros mosquitos (Mercer et al, 2005) e incluso algunas especies del género *Notonecta* que han sido empleadas en conjunto con bacterias (Neri-Barbosa et al., 1997).

Debido a la situación biogeográfica de la isla de San Andrés, reconocida por sus ecosistemas costeros marinos, fue declarada el diez de noviembre del 2000 como Reserva de la Biosfera SEAFLOWER por UNESCO. Esto propicia el desarrollo de planes que

conserven la diversidad biológica de la isla, que puede afectarse por la introducción de especies foráneas. Para evitar la introducción de especies se sugiere la implementación de programas de control con organismos nativos para disminuir posibles impactos sobre los frágiles ecosistemas de la isla.

Algunas especies de *Notonecta*, también llamados backswimmer, se han identificado como predadores de larvas de mosquitos y otros invertebrados planctónicos (Blaustein, 1998; Chesson, 1989; Sih, 1986; Murdoch y Sih, 1978). La importancia de estos organismos radica en sus hábitos alimentarios y su natural disponibilidad en zonas de esta isla, como la nativa *Notonecta indica* Linnaeus 1771. Se ha encontrado para especies de *Notonecta* que existen preferencias hacia el tamaño de sus presas (Scott y Murdoch, 1983). Las especies de *Notonecta* presentan seis instares que dependen de los cambios en tamaño y muda, de los cuales el último corresponde al adulto (Mc Ardle y Lawton, 1979; Scott y Murdoch, 1983; Neri-Barbosa et al., 1997). Murdoch y Sih (1978) han sugerido para *Notonecta hoffmanni* que en una población con diferentes clases de edades existe interferencia por parte de las formas adultas sobre las juveniles en cuanto a su tasa de predación o número de larvas predadas en el tiempo.

Con el presente estudio se desea conocer las habilidades predatoras de *N. indica* hacia los diferentes instares larvales de mosquitos transmisores de enfermedades tropicales como *Ae. aegypti*, a partir de su eficacia trófica. Esta eficacia se evalúa a partir del número de larvas predadas en un tiempo estipulado. Además se pretende estudiar los fenómenos de preferencia por parte de *N. indica* hacia algún o algunos instares larvales de *Aedes aegypti* y cómo se relacionan estos fenómenos de preferencia con el grado de desarrollo de *N. indica*.

MATERIALES Y MÉTODOS

AREA DE ESTUDIO

El presente estudio se realizó entre el 6 de Febrero de 2008 y el 24 de Mayo de 2008 en la isla de San Andrés ubicada en el Caribe Colombiano entre los 12°28' - 12°35' N y 72°29' - 81°44'. En esta isla se presentan dos picos de lluvias al año, entre mayo-junio y octubre-noviembre, y la temperatura promedio es de 27.4° C, precipitación media anual de 1900 mm, su superficie es de 25 km². Su actividad económica se orienta hacia el sector turístico y comercial (Aguado, 2004).

MATERIAL BIOLÓGICO

El material biológico utilizado en el presente estudio provino de material recolectado en campo compuesto principalmente por *N. indica* y de material suministrado por el laboratorio de salud pública de la isla que corresponde a larvas de *Ae. aegypti*.

El predador del mosquito

Para las diferentes pruebas realizadas se utilizaron individuos de *N. indica* que fueron recolectados en campo el día 25 de abril del 2008, en horas de la mañana, en dos piscinas abandonadas al oeste de la isla (12° 33' 50.2'' N, 81° 43' 30.3'' W). La de mayor tamaño tenía un cuerpo de agua de no más de 80 cm de profundidad, un ancho de 9.60m y una longitud de 17.60m, pH de 8.00, 4.85 mg/ L de oxígeno disuelto, conductividad de 2250 µS/ cm y temperatura de 32° C. La menor de las piscinas tenía un cuerpo de agua de 20 cm de profundidad, un ancho de 3.70m, una longitud de 5.80m, pH de 8.65, 4.94 mg/ L de oxígeno disuelto, conductividad de 2450 µS/ cm y temperatura de 28° C. Estas variables

se midieron empleando sondas multiparámetros WTW (Wissenschaftlich-Technische Werstätten) ref. 330i/340i para medición de pH, Oxígeno disuelto, Conductividad y temperatura.

Se recolectaron *N. indica* de sexto instar (67 individuos), de quinto instar (75 individuos), de cuarto instar (52 individuos) y de tercer instar (tan solo cinco individuos). Para el proceso de recolección se emplearon coladores plásticos de 21 cm de diámetro. Los individuos recolectados pudieron mantener su número e incluso cambiar de instar a lo largo del periodo de estudios en agua tratada de llave. Después de los experimentos se encontró que este organismo podía reproducirse en el laboratorio. Se obtuvieron 431 huevos de los cuales eclosionaron 284, sin embargo, solo nueve *N. indica* lograron mantenerse hasta el último día de estudios.

Se han empleado para los experimentos instares avanzados de *N. indica*. Estos van entre el cuarto instar hasta el sexto y se han nombrado como *N4*, *N5* y *N6*. En Fig. 1 se expone una muestra de *N. indica* ordenada según su instar. Se omite el segundo instar por falta individuos recolectados.

El mosquito

En el laboratorio se contó con material vivo de *Ae. aegypti* en todas sus fases. Se empleó las cantidades disponibles para cada instar larval del mosquito. Se ha nombrado del primer al cuarto instar larval del mosquito como *L1*, *L2*, *L3* y *L4* (Fig. 2). Estas larvas se obtuvieron a partir de un proceso de producción de huevos de mosquito que son almacenados en condiciones aisladas no totalmente deshidratadas donde los huevos se

conservaban en estado quiescente. Estos huevos bajo ciertas condiciones pueden mantenerse viables y eclosionar después de un año (Consoli y de Oliveira, 1998). Estos huevos que corresponden a cuarta generación (F4) de larvas capturadas en campo pueden ser reactivados en condiciones óptimas de humedad siempre y cuando no superen los cuatro meses de almacenamiento.

ACLIMATACIÓN DEL MATERIAL BIOLÓGICO

Las *N. indica* se trasladaron a laboratorio. Se ubicaron en recipientes de plástico con agua de llave con un pH de 7.7, 4.81 mg de O₂/ mL, y 654 µS/ cm de conductividad, con una temperatura de 26° C. Para las pruebas en que se utilizó este organismo se les negó alimentación por lo menos de un día para asegurarse que no se sacien durante el experimento como lo sugiere McArdle (1979). Con el fin de disminuir el estrés por disturbios en su traslado a los recipientes de prueba se les dejó reposar 15 min antes de iniciar cada bioensayo.

BIOENSAYOS EN CONDICIONES SEMICONTROLADAS

Prueba de densidades predador-presa

El experimento se llevó a cabo para determinar si la tasa de predación por las diferencias en número de las poblaciones tanto del predador como de la presa. Para esto se propusieron tres tratamientos que conservaron la densidad del predador y presa en un volumen de agua, manteniendo entre los organismos siempre una relación 1: 5 (*N. indica*: larva de *Ae. aegypti*). En la prueba se utilizó *N. indica* en su quinto instar (N5) y larvas de *Ae. aegypti* en su segundo instar (L2). Para los tres tratamientos: T1, T2 y T3, fue constante la luminosidad y temperatura del agua (28°C). En el primer tratamiento (T1) se emplearon

dos *N. indica* por diez larvas de *Ae. aegypti* en 37.5 mL de agua, para el siguiente tratamiento (T2) se emplearon ocho *N. indica* por 40 larvas de *Ae. aegypti* en 150 mL de agua y por último, en el tercer tratamiento (T3), se emplearon 16 *N. indica* por 80 larvas de *Ae. aegypti* en 350 mL de agua. Para todos los casos se utilizó recipientes transparentes.

Prueba de eficacia trófica según el tipo de larva

Este experimento se llevó a cabo con el fin de comparar la eficacia trófica de *N. indica* para preñar, según el instar utilizado (*N4*, *N5* y *N6*), cada instar larval de *Ae. aegypti*. La eficacia se ha definido como el número de presas predadas en un tiempo determinado. En las pruebas de eficacia se utilizaron siempre grupos de tres *N. indica*. Cada instar de este predador se enfrentó a cada tipo de instar larval de *Ae. aegypti* obteniéndose cuatro tratamientos para cada instar de *N. indica*. Para cada tratamiento se utilizó un volumen constante de 380 mL de agua a 24°C, con una profundidad de 8.7 cm, luminosidad permanente y un número de 20 larvas por réplica. Se contó el número de larvas que fueron predadas por *N. indica* en 30 minutos de tiempo. Se emplearon beakers de 400 mL como recipientes, cubiertos con papel aluminio en sus paredes laterales. Cada tratamiento varió en el número de replicas entre tres y siete debido a la disponibilidad en número de cada instar larval de *Ae. aegypti* y el número de *N. indica* recolectadas.

Prueba de preferencia trófica por estadio de larva

Se realizó este experimento con el fin de determinar si *N. indica* presenta preferencias tróficas hacia alguno o algunos de los instares larvales de *Ae. aegypti*. En la prueba de preferencias se utilizaron los tres últimos instares de *N. indica* (*N4*, *N5* y *N6*) y los cuatro instares larvales de *Ae. aegypti* (*L1*, *L2*, *L3* y *L4*). Para cada instar de *N. indica* se usaron

cinco beakers de 400 mL con 380 mL de agua, con una profundidad de 8.7 cm, a una temperatura de 24° C, con tres *N. indica*/ beaker. En cada recipiente se suministró diez larvas de cada instar larval (40 larvas/ beaker). Finalizado el experimento, se procedió a separar las larvas muertas, se clasificaron y contaron según el instar larval.

ANALISIS ESTADISTICO

Se realizaron análisis de varianzas para todas las pruebas en las que se aceptó la distribución normal de los datos según el estadístico prueba de Ryan-Joiner (RJ) similar a Shapiro-Wilk con valor de probabilidad mayor al grado de significancia. Las medias encontradas para los diferentes tratamientos estudiados se reportan con su respectivo error estándar (SE) y desviación estándar (St. Dev). Se presentan intervalos de confianza del 95% (CI).

Para aquellas pruebas en las que se realizó el análisis de varianza, y se rechazó la hipótesis de inexistencia de diferencias significativas entre los efectos de los tratamientos ($P < 0.05$; $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabulado}}$), se prosigió con la prueba de comparaciones múltiples pareadas de Tukey que compara entre las diferencias mínimas entre las medias de los tratamientos. Los resultados de las pruebas, tablas y las gráficas reportadas se han adaptado de los arrojados por el software estadístico MINITAB 15. 30day-trial.

RESULTADOS

PRUEBA DE DENSIDADES PREDADOR-PRESA

En esta prueba se registraron los tiempos requeridos en cada tratamiento para que las *N. indica* predaran la totalidad de larvas dispuestas por recipiente. Los datos de estos tiempos

medidos en minutos se reportan en Tabla 1. Se encontró que no hay diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 2), lo que sugiere que no hay cambios o diferencias en la tasa de predación cuando se mantiene la densidad de predador-presa constante y la relación numérica entre predador y presa (1: 5).

PRUEBA DE EFICACIA TRÓFICA SEGÚN EL TIPO DE LARVA

Se separaron los resultados según el tipo de *N. indica* empleada para cada tratamiento. El número promedio de larvas predadas por cada uno de los tres instares de *N. indica* se presentan en la Fig. 3. Se realizó un análisis de varianza para los tratamientos con *N4* y *N5* para probar si existían diferencias significativas entre el número de larvas predadas en 30 minutos para cada tratamiento. Para el caso de *N6* no se hace dicho análisis, puesto que los datos son muy explícitos, y sugieren notables diferencias entre el número de larvas de cuarto instar (*L4*) predadas respecto a las otras formas larvales de *Ae. aegypti*. Tanto para *N4* ($\alpha = 0.05$, $p < 0.000$) como para *N5* ($\alpha = 0.05$, $p < 0.041$) se encontraron diferencias significativas. Se realizó un procedimiento de comparaciones múltiples de Tukey a partir de la premisa de que los datos son normales a partir de la prueba de Ryan-Joiner (RJ) para *N4* (RJ= 0.981, $p > 0.100$) y *N5* (RJ= 0.954, $p > 0.100$) y que presentan diferencias significativas entre los tratamientos asignados según el tipo de larva. Los resultados de este análisis se reportan en las tablas 3 y 4.

PRUEBA DE PREFERENCIA TRÓFICAS POR ESTADIO DE LARVA

Se asumió que cada tratamiento corresponde al número de larvas de un mismo instar que fueron predadas por un instar particular de *N. indica*. El promedio de larvas predadas para cada instar larval del mosquito se han agrupado según el instar del predador (Fig. 4). Cabe

anotar que este experimento se diferenci6 del anterior en cuanto a que cada recipiente contenía los cuatro tipos de larva de mosquito en conjunto. Para cada grupo de datos asociado a un tipo de predador se ha realizado un análisis de varianza ($\alpha= 0.05$) para probar si existían diferencias significativas entre los tratamientos. Se obtuvo tanto para N4 ($p= 0.017$) como en N5 ($p= 0.005$) y N6 ($p= 0.000$) que por lo menos uno de los tipos larvales presentaba diferencias respecto a los demás en cuanto a la proporci6n absoluta o número de larvas predadas. Se corrobor6 que cada grupo de datos se distribuye de manera normal (N4: $RJ= 0.98$, $p>0.10$; N5: $RJ= 0.97$, $p>0.10$; N6: $RJ= 0.98$, $p>0.10$). A partir de estos resultados se ha optado por realizar una prueba Tukey para cada grupo de datos analizado. Los resultados de esta prueba se reportan en las tablas 5, 6 y 7. Se ha asociado la media de cada tratamiento a un grupo nombrado con una letra del alfabeto; los tratamientos que guardan semejanzas entre sí comparten la misma letra o grupo.

DISCUSI6N

Murdoch y Sih (1978) encontraron fuertes relaciones entre diferentes densidades del predador *N. hoffmanni* y de su presa (larvas de mosquito). Esta relaci6n interviene en el número de larvas consumidas finalmente por el instar del predador. Instares maduros de *Notonecta* interfirieren en la tasa de alimentaci6n de los instares juveniles de este predador. Por esto se ha decidido separar las pruebas segun el instar de *Notonecta*.

En la primera prueba, manteniendo siempre la misma relaci6n de abundancia de *N. indica* y de su presa, se pretendió evaluar si al variar el número del predador se afectaba la tasa de predaci6n de este. En este bioensayo no se evidenci6 diferencias en cuanto a la tasa de larvas predadas. Se determin6 que no hay diferencias significativas que demuestren una

dependencia de la tasa de predación respecto al número de predadores presentes en los medios empleados. Se pensó que estos resultados podrían soportar la hipótesis de que es lo mismo trabajar con un número bajo de predadores que trabajar con un mayor número de estos.

Pese a que el experimento sugiere que pueden aplicarse pruebas con un bajo número de *N. indica*, se decidió no continuar con esta metodología pues no todos los factores pueden ser controlados por esta. En el momento de hacer el experimento las *N. indica* empleadas asumían comportamientos anormales para el experimento evidenciados por el posible estrés asociado a choques que estas sufrían contra las paredes translucidas de los recipientes, el desinterés de preñar durante todo el experimento e incluso el abandono del recipiente disminuían la competencia por la presa entre los predadores aun presentes. Incluso, la dificultad de preñar en cuerpos de agua muy poco profundos puede ser también un factor de estrés. En este bioensayo, la mayor altura que podía tener un cuerpo de agua mínima fue de no más de ocho mm y la máxima fue de 30 mm muy por debajo de lo empleado por McArdle y Lawton (1979).

La forma de tomar los tiempos fue crucial para la obtención de resultados. En la prueba de densidades se esperó que cada grupo del predador agotara la totalidad de las presas. Esto no permite excluir o minimizar el efecto de la saciedad del predador. Esto incluye un gran error al experimento pues esto no permitiría obtener datos controlados acerca de la tasa de predación (McArdle y Lawton, 1979). Se considera por parte de los autores como adecuado tomar datos para la tasa de predación (Número de larvas predadas/ min) por debajo del punto de saciedad. Para el caso de *N. indica* no se conoce este punto de saciedad

relacionado con el número de presas consumidas. Para evitar el efecto de la saciedad del predador, se tomó el experimento de densidades como exploratorio para los siguientes experimentos. En este se observó que dos, ocho e incluso 16 *N. indica* aun después de una hora continuaban alimentándose de larvas de mosquitos del instar cuarto. Por esto se decidió que para posteriores pruebas se evaluaría el número de larvas consumidas en un tiempo no mayor a 30 min. La optimización o mejora de este experimento no se logró concluir puesto que no se contó con el material biológico necesario para rehacer dichas pruebas.

Se supone que este predador como posible control biológico de larvas de mosquito debe operar de forma colectiva en cuerpos de agua y no de manera individual o sin compañía. En campo este predador tendrá que someterse al efecto de la competencia intra-específica e incluso inter-específica. Esto último, pues existen otras especies que se han encontrado compartiendo hábitat con este organismo y que también predan larvas de mosquito, tal es el caso de individuos (instares inmaduros) recolectados de la familia *Libellulidae*, algunos especímenes del género *Buenoa* (*Notonectidae*), entre otros. De estos grupos se recolectaron algunos especímenes vivos tomados en campo en el momento de la captura de las *N. indica*. Se pudo constatar en campo y en laboratorio que tanto *Buenoa* sp. como los nayares de libélulas recolectadas predan a *N. indica* y larvas de mosquitos de la familia *Culicidae* como *Ae. aegypti* y *Culex quinquefasciatus*.

McArdle y Lawton (1979) emplearon *Notonecta* para hallar los efectos predador-presa y el instar de este predador en un organismo presa como *Daphnia* con diferentes clases de tamaño. Para este experimento McArdle y Lawton utilizaron una profundidad constante de

cinco cm y empleando un individuo del predador contra diferentes abundancias de la presa. En este estudio encontró que los dos últimos instares juveniles de *Notonecta* tienen una tasa de ataque o predación mayor que la del último instar de *Notonecta* (Adulto). En nuestro trabajo se encontró que la tasa de predación cambiaba según el experimento analizado. Estos se explican a continuación:

En el experimento de eficacia según tipo de larva, las mayores tasas de predación del predador, que pueden definirse como el número medio de larvas predadas en 30 min, corresponden a aquellos instares de *N. indica* que predaban las larvas de menor tamaño (*L1*, *L2* y *L3*). Para esta prueba no se permitía que el predador eligiese sus presas según el tamaño o volumen de fluidos corporales que pudiese ser aprovechado de estos invertebrados. Es probable que estos resultados se asocien a ventajas debidas a las adaptaciones de alguno de los organismos estudiados. En el caso del predador es posible que posea ventajas para atacar y atrapar a presas de menor tamaño o que estas por sí mismas sean más vulnerables que las formas más desarrolladas al ataque del predador. En el caso de la larva de mayor tamaño (*L4*) se obtuvo que cada una de las diferentes *N. indica* predaban un menor número de esta presa. Es posible que *L4* tenga ventajas para huir, poner sobre aviso a sus compañeras, secretar sustancias o simplemente suplir más rápidamente los requerimientos energéticos del predador (Sih, 1986). La *N. indica* de quinto instar en general fue más eficaz que los otros instares, pues predó un mayor número de larvas de cada instar. Este fenómeno puede requerir mayor aproximación, pero indudablemente esta eficacia puede deberse a la necesidad de aumentar de tamaño y continuar hacia su instar maduro en el que requerirá muchas reservas para su reproducción (Murdoch y Sih, 1978).

Si el medio carece de alimento de gran provecho nutricional, *N. indica* debe orientar sus esfuerzos hacia la captura de presas que puedan suplir estas necesidades. Para ello debe con el paso del tiempo ganar experiencia que signifique afinamiento y mayor especialización de sus habilidades predatoras hacia su presa.

En cuanto al ensayo de preferencias tróficas por estadio de larva se obtuvo que los diferentes instares de *N. indica* se alimentan preferiblemente de larvas de mosquito de mayor desarrollo (*L3* y *L4*). Se presentaron casos en los que el número de las larvas de mosquito *L1* podían mantenerse intactos al final del experimento. Se presentan comportamientos particulares en cuanto preferencias para cada instar de *N. indica* hacia cada instar larval de *Ae. aegypti*. Sus esfuerzos, que son proporcionales a la tasa de ataque o predación, parecen correlacionarse al tamaño de la presa y la destreza que se adquiere con el cambio de instar en el tiempo. Para el caso de *N4* y de *N5* se presentan semejanzas entre el número de larvas predadas de los tres últimos instares. Sin embargo, *N4* orienta de forma más dispersa sus esfuerzos a la captura de larvas de instares medios como *L2*. El predador tipo *N5* orienta de manera muy semejante sus esfuerzos a las dos clases larvales de mayor talla. La *N. indica* de mayor desarrollo (*N6*) evidentemente distribuye sus mayores esfuerzos de manera casi equitativa hacia las larvas de mayor tamaño (*L3* y *L4*). Las comparaciones hechas sobre las medias de los números de larvas predadas por las diferentes clases de *N. indica* muestran que estas tienden a alimentarse de las larvas de mayor tamaño, destacándose su predación sobre las presas del tipo *L3* y *L4* (Tabla 8).

En una prueba relacionada, hecha por Scott y Murdoch (1983), se evaluó la preferencia de una especie de *Notonecta*. En este trabajo se encontró que la preferencia de *Notonecta* hacia

clases de *Daphnia* disminuía con el tamaño de la presa. En general, la mayor de las presas evaluadas no tenía más de dos mm de longitud. En el caso de *N. indica*, la mayor de sus presas podían superar los siete mm de longitud (Fig. 2), y sus preferencias hacia su presa aumentaron proporcionalmente con el tamaño de la larva de *Ae. Aegypti* (Fig. 5).

Para los últimos tres instares de *N. indica*, el aumento de tamaño se relaciona directamente con su instar de desarrollo y muda, de la misma manera este aumento se relaciona con la cantidad y calidad de alimento necesario para lograr estos cambios. Se considera más apropiado para la *N. indica* invertir sus esfuerzos de captura hacia presas de mayor provecho energético-nutricional antes que invertir en presas que representen valores bajos de satisfacción.

Ya que los experimentos se adelantaron en condiciones semejantes a los reservorios comunes de agua potable utilizados en San Andrés Isla se consideran estos resultados como prometedores para el control de larvas de mosquito en este tipo de reservorio. A partir de los resultados obtenidos se considera que *Notonecta* podría ser empleada como biocontrolador de larvas de mosquito en la isla de San Andrés y Providencia. Puesto que *N. indica* se alimenta de larvas del mosquito *Aedes aegypti* de avanzado desarrollo, disminuyendo el número de potenciales adultos que pueden ser transmisores de enfermedades como el dengue. Inclusive, las larvas de menor tamaño, que en algún momento crecerán, se encuentran en riesgo de ser predadas, debido a que *N. indica* demuestra ser eficaz alimentándose de este tipo de larvas cuando no hay más opción. Esto parece ser más ventajoso que los métodos tradicionales como el uso de insecticidas para el control de *Ae. aegypti* que actualmente se emplean en el Caribe, los cuales podrían

contribuir al aumento de la resistencia de los mosquitos hacia estos insecticidas. Estudios consultados sugieren que el frecuente uso de estos químicos aumenta la resistencia de los mosquitos de la familia *Culicidae* (Reyes-Villanueva et al., 1992; Rawlins, 1998; Poopathi et al. 2001).

Con miras a la aplicabilidad de planes de control biológico de mosquito, es necesario obtener informaciones relativas al efecto de la predación de *N. indica* en otras especies de mosquito vectores de enfermedades, producción de huevos de mosquitos y cantidad de alimento requerido para el mantenimiento de *N. indica* en laboratorio y según su instar, punto o nivel de saciedad de *N. indica* de acuerdo con el número de larvas consumidas en el tiempo, crecimiento de poblaciones requeridas en laboratorio para mantenimiento de cohortes de *N. indica*, viabilidad de los huevos de *N. indica* obtenidos en laboratorio, resistencia del predador a agentes químicos como cloro (por ejemplo: donde se recolectó *N. indica* se cloraba el cuerpo de agua, esto según los habitantes del lugar) e insecticidas, relación entre la cantidad de alimento disponible y cambios de instar del predador. También se propone adelantar estudios en los que se conozca el desempeño de *N. indica* como predador de larvas de mosquito en medios con variaciones en salinidad, turbidez, riqueza de materia orgánica, entre otras variables ambientales. Todo lo anterior se sugiere con el fin de optimizar los planes de manejo de *N. indica* en condiciones insulares con el fin de permitir su producción y uso como biocontrolador.

AGRADECIMIENTOS

Ofrecemos el mayor de los agradecimientos al Profesor PhD. Bryan McArdle por su valiosa colaboración científica. Muchas gracias ofrecemos al Biólogo Fabio Costa del INPA por

facilitarnos literatura acerca de *Culicidae*. A su vez agradecemos al profesor PhD. Ernesto Mancera y por su contribución en la revisión de este trabajo.

Agradecemos de manera muy atenta a la secretaría de salud del departamento archipiélago de San Andrés Isla, quienes muy amablemente nos ofrecieron espacio físico para adelantar nuestras investigaciones y la oportunidad de intercambiar experiencias y conocimientos. Del mismo modo agradecemos al Jardín Botánico de la sede Caribe de la Universidad Nacional por su valiosa colaboración en la divulgación de nuestro trabajo y por prestarnos su equipo de microscopia. También extendemos nuestros agradecimientos al biólogo Fáber González por su colaboración en asesoría científica y recolección de datos. No menos importantes son nuestros agradecimientos a los jóvenes del colegio Luis Amigó: Daniela, Sandra y Sebastián por su valioso apoyo y colaboración incondicional. También agradecemos a todas aquellas personas que consideraron, consideran y consideraran siempre apoyar toda iniciativa para la resolución de problemáticas que impactan directamente la salud pública.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUADO JP. Propuesta metodológica para la valoración del manejo de agua para uso domestico de San Andrés Isla Colombia [tesis de pregrado]. Palmira: Facultad de Ingeniería y Administración, Universidad Nacional de Colombia; 2004.
- BENCE J R. 1998. Indirect Effects and Biological Control of Mosquitoes by Mosquitofish. *The Journal of Applied Ecology*. 25 (2): 505-521.
- BLAUSTEIN L. 1998. Inffence of the Predatory Backswimmer, *Notonecta maculata*, on Invetebrate Community Structure. *Ecological Entomology*. 23: 246-252.
- CHAPMAN H. C. 1974. Biological Control of Mosquito Larvae. *Annu. Rev. Entomol*. 19: 33-59.
- CHESSON J. 1989. The Effect of Alternative Prey on the Functional Response of *Notonecta Hoffmani*. *Ecology*. 70 (5): 1227-1235.
- CONSOLI R, DE OLIVEIRA RL. 1998. Principais mosquitos de importancia sanitária no Brasil. Fiocruz. Rio de Janeiro.
- HURST TP, BROWN MD, KAY BH. 2004. Laboratory evaluation of the predation efficacy of native australian fish on *Culex annulirostris* (Diptera: culicidae). *Journal of the American Mosquito Control Association*. 20 (3): 286-291.
- LANE J. 1953. Neotropical Culicidae. University of Sao Paulo. Sao Paulo.
- LAWLER S P, DRITZ D, STRANGE T, HOLYOAK M. 1999. Effect of Introduced Mosquitofish and Bullfrogs on Threatened California Red-Legged Frog. *Conservation Biology*. 13 (3): 613-622.

- LEE DK. 2000. Predation efficacy of the fish muddy loach *Misgurnus mizolepis*, against *Aedes* and *Culex* mosquitoes in laboratory and small rice plots. Journal of the American Mosquito Control Association. 16 (3): 258-261.
- LIMA JB, DE MELO NV, VALLE D. 2005. Residual effect of two *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* products assayed against *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in laboratory and outdoors at Rio de Janeiro, Brazil. Rev Inst Med Trop. 47 (3):125-130.
- MCARDLE BH, LAWTON JH. 1979. Effects of prey-size and predator-instar on the predation of *Daphnia* by *Notonecta*. Ecological Entomology. 4: 267-275.
- MERCER DR, WETTACH GR, SMITH JL. 2005. Effects of larval density and predation by *Toxorhynchites amboinensis* on *Aedes polynesiensis* (Diptera: Culicidae) developing in coconuts. Journal of the American Mosquito Control Association. 21 (4): 425-431.
- MKOJI GM, BOYCE TG, MUNGAI BN, COPELAND RS, HOFKIN BV, LOKER ES. 1999. Predation of aquatic stages of *Anopheles gambiae* by the Louisiana red swamp crawfish (*Procambarus clarkii*). Journal of the American Mosquito Control Association. 15 (1): 69-71.
- MURDOCH WW, CHESSON J, CHESSON PL. 1985. Biological Control in Theory and Practice. Am. Nat. 125 (3): 344-366.
- MURDOCH WW, SIH. A. 1978. Age-Dependent Interference in a Predatory Insect. Journal of Animal Ecology. 47: 581-592.
- NELSON MJ. 1986. *Aedes aegypti*: Biología y ecología. Organización panamericana de la salud. Washington DC.

NERI-BARBOSA J F, QUIROZ-MARTINEZ I H, RODRIGUEZ-TOVAR M L, TEJADA LO, BADI MH. 1997. Use of Bactimos briquets (B.t.i formulation) combined with the backswimmer *Notonecta irrorata* (Hemiptera: Notonectidae) for control of mosquito larvae. Journal of the American Mosquito Control Association. 13 (1):87-89.

PERICH MJ, CLAIR PM, BOOBAR LR. 1990. Integrated use of planaria (*Dugesia dorotocephala*) and *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* against *Aedes taeniorhynchus*: A laboratory bioassay. Journal of American Mosquito Control Association. 6 (4): 667-671.

POOPATHI S, ARUNACHALAM N, GOPALAN N, BASKARAN G, MANI TR. 2001. Resistance to Malathion in *Culex quinquefasciatus* say (Diptera: Culicidae) from Madurai, south India. Insect Sci. Applic. 21 (3): 251-255.

QUIROZ-MARTINEZ H, RODRIGUEZ-CASTRO VA, SOLIS-ROJAS C, MALDONADO-BLANCO MG. 2005. Predatory capacity and prey selectivity of nymphs of the dragonfly *Pantala hymenaea*. Journal of the American Mosquito Control Association. 21 (3): 328-330.

RAWLINS SC. 1998. Spatial distribution of insecticide resistance in Caribbean populations of *Aedes aegypti* and its significance. Pan. Am. J. Public. Health. 4: 243-251.

REYES-VILLANUEVA F, GARZA-GARZA H, FLOREZ-LEAL JA. 1992. Efecto de concentraciones subletales de Abate sobre algunos parámetros biológicos de *Aedes aegypti*. Salud Publica Mex. 34: 406-412.

SCOTT MA, MURDOCH WW. 1983. Selective predation by the backswimmer, *Notonecta*. Limnol. Oceanogr. 28(2): 352-366.

SIH A. 1986. Antipredator Responses and the Perception of Danger by Mosquito Larvae. *Ecology*. 67 (2): 434-441.

WILLEMS KJ, WEBB CE, RUSSELL RC. 2005. Tadpoles of four common australian frogs are not effective predators of the common pest and vector mosquito *Culex annulirostris*. *Journal of the American Mosquito Control Association*. 21 (4): 492-494.

Tabla 1. Prueba de densidades. En esta tabla se presentan los datos obtenidos del tiempo en minutos que requirió *N. indica* (N5) para alimentarse de la totalidad de larvas (L2). Cada T representa el tipo de tratamiento aplicado.

T1	T2	T3
65	65	85
147	74	47
40	77	88
95	82	110
150	85	42

Tabla 2. Análisis de varianza para los datos obtenidos a partir del experimento de densidades.

<i>Fuente</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>PC</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>
Tratamientos	2	1916	958	0,87	0,442
Error	12	13164	1097		
Total	14	15080			

Tabla 3. Prueba de Tukey para los tratamientos con N4. Prueba de eficacias tróficas

Tratamiento	Media	SE	St. Dev.	Comparaciones
<i>L1</i>	17,5	0,9	1,7	a
<i>L2</i>	16,0	1,0	1,7	ab
<i>L3</i>	12,7	0,8	1,5	b
<i>L4</i>	4,3	1,0	2,1	c

Tabla 4. Prueba de Tukey para los tratamientos con N5. Prueba de eficacias tróficas

Tratamiento	Media	SE	St. Dev.	Comparaciones
<i>L1</i>	19,8	0,3	0,5	a
<i>L2</i>	19,5	0,5	1,0	a
<i>L3</i>	19,0	0,7	1,4	a
<i>L4</i>	14,8	2,3	4,5	ab

Tabla 5. Prueba de Tukey para los tratamientos con N4. Prueba de preferencias. Se presentan con el error estándar de a media (SE) y desviación estándar (St. Dev.).

Tratamiento	Media	SE	St. Dev.	Comparaciones
<i>L1</i>	1,3	0,5	1	a
<i>L2</i>	4,0	0,7	0,4	b
<i>L3</i>	3,5	0,3	0,6	ab
<i>L4</i>	2,3	0,6	1,3	ab

Tabla 6. Prueba de Tukey para los tratamientos con N5. Prueba de preferencias. Se presentan con el error estándar de a media (SE) y desviación estándar (St. Dev.)

Tratamiento	Media	SE	St. Dev.	Comparaciones
<i>L1</i>	1,2	0,6	1,3	a
<i>L2</i>	3,4	0,7	1,5	ab
<i>L3</i>	4,8	0,9	1,9	b
<i>L4</i>	5,0	0,6	1,4	b

Tabla 7. Prueba de Tukey para los tratamientos con N6. Prueba de preferencias. Se presentan con el error estándar de a media (SE) y desviación estándar (St. Dev.).

Tratamiento	Media	SE	St. Dev.	Comparaciones
<i>L1</i>	2,0	0,9	2,1	a
<i>L2</i>	6,4	0,6	1,3	b
<i>L3</i>	9,0	0,4	1	c
<i>L4</i>	9,4	0,4	0,9	c

Tabla 8. Resultados prueba de Tukey para los tratamientos con todas las *Notonecta indica*. Prueba de preferencias. Se presentan con el error estándar de a media (SE) y desviación estándar (St. Dev.).

Tratamiento	Media	SE	St. Dev.	Comparaciones
<i>L1</i>	1,5	0,4	1,5	a
<i>L2</i>	4,6	0,5	1,9	b
<i>L3</i>	5,9	0,7	2,7	b
<i>L4</i>	5,8	0,9	3,2	b



Fig. 1 *Notonecta indica* corresponde a sus instares seis (*N6*), cinco (*N5*), cuatro (*N4*), tres (*N3*) y uno (*N1*) presentado en orden de izquierda a derecha. La escala ubicada a la derecha corresponde a milímetros.



Fig. 2 Larvas del mosquito *Aedes aegypti*. Las larvas corresponden a los instares primero (*L1*), segundo (*L2*), tercero (*L3*) y cuarto (*L4*), presentados en dicho orden de izquierda a derecha. La escala empleada a la izquierda corresponde a milímetros.

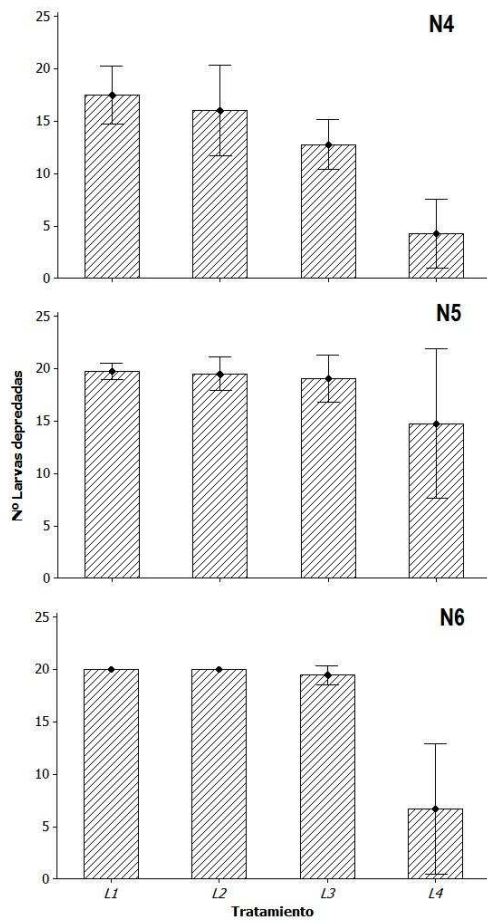


Fig. 3. Número promedio de larvas depredadas según instar en 30min por los distintos *N4*, *N5* y *N6* (± 1 SE y 95% de CI). Prueba de eficacia trófica

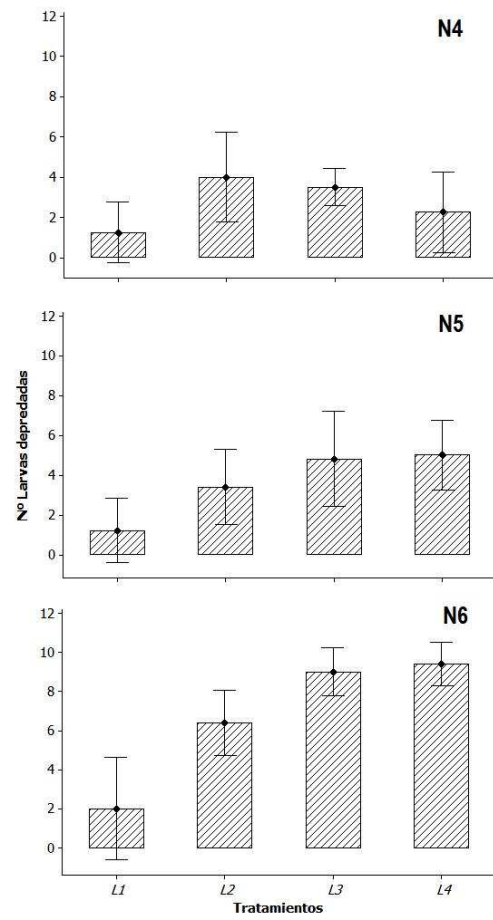


Fig. 4. Número promedio de larvas depredadas según instar en 30min por los distintos *N4*, *N5* y *N6* (± 1 SE y 95% de CI). Prueba de preferencia por estadio de larvas.

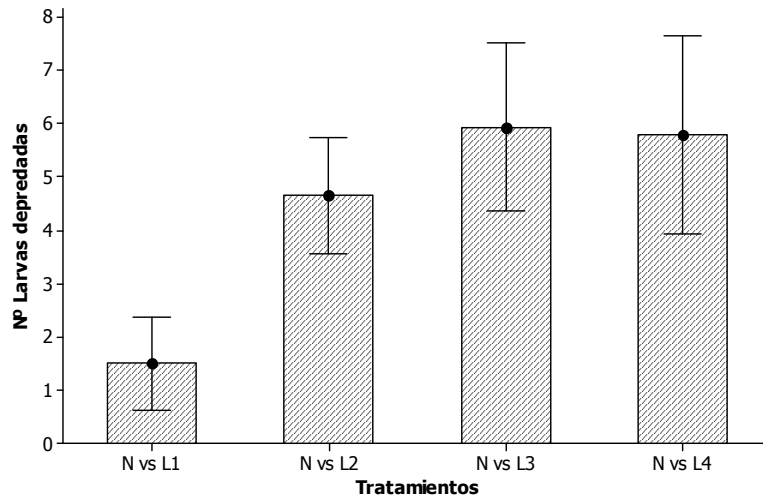


Fig. 5 Promedio del número de larvas predadas según su instar en 30min por los distintos *N4*, *N5* y *N6* en conjunto (± 1 SE y 95% de CI). Prueba de preferencias analizadas en conjunto.