

Modelo de Simulación para el Control del mosquito *Aedes aegypti*, transmisor del Dengue y la Fiebre Amarilla, por el crustáceo *Mesocyclops spp.*

JONNY E. DUQUE L., ANIBAL MUÑOZ L.
y MARIO A. NAVARRO-SILVA.

Recibido 27 Octubre 2003/Enviado para Modificación Febrero 2 2004/Aprobado 10 Febrero 2004

RESUMEN

Objetivos Se presenta un modelo de simulación que muestra la dinámica de depredación de *Mesocyclops spp.*, sobre *Aedes aegypti*

Métodos Representado por cuatro ecuaciones diferenciales: $H'(t)$, cantidad de huevos; $L'(t)$, cantidad de larvas; $A'(t)$, cantidad de adultos y $C'(t)$, cantidad de copépodos. Inicialmente las ecuaciones son del tipo clásico presa-depredador, según Lotka y Volterra. Posteriormente se modifica en un sistema con respuesta funcional para invertebrados, según Holling.

Resultados El primer sistema controla y estabiliza la población de mosquitos, el segundo muestra que los copepodos son ineffectivos como controladores.

Conclusiones Se reconoce la necesidad de estudiar sistemas presa-depredador (mosquitos – copepodos) con trabajos que integren pruebas de laboratorio y de campo. Solo así será posible establecer la validez en el uso de estos últimos como controladores biológicos efectivos de mosquitos.

Palabras Claves: Control de mosquitos, modelos matemáticos, dengue (fuente: DeCS, BIREME).

ABSTRACT

A simulation model for the control of the *Aedes aegypti*, the mosquito vector of dengue and yellow fever, by the crustacean *Mesocyclops spp.*

Objective A simulation model is presented to show the predation dynamics of *Mesocyclops spp.* over *Aedes aegypti.i*

Methods The system is represented through four differential equations. $H'(t)$, quantity of eggs; $L'(t)$, quantity of larvae; $A'(t)$, quantity of adults and

$C'(t)$, quantity of copepods. Initially the equations are of the classic predator-prey type, according to Lotka (1924) and Volterra (1926). Then it is modified into a system with functional response for invertebrates, according to Holling.

Results The first system effectively controls and stabilizes the mosquito population, while the second suggests that copepods may be ineffective as mosquito controllers.

Conclusions The need to study predator-prey systems (copepodos-mosquitos) with projects that integrate laboratory and field tests is recognized. Only then will it be possible to establish the validity of predators as effective biological controllers of mosquitoes.

Key Words: Mosquito control, mathematical models, dengue (source: MeSH, NLM).

Cerca de dos tercios de la población mundial se encuentra en regiones que también corresponden al área de distribución de los vectores transmisores del dengue *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* (1). Estos insectos han ocasionado emergencias sanitarias en muchos países, conociéndose como una de las principales fuentes de arbovirosis de importancia epidemiológica.

Cada año millones de personas contraen la infección provocada por el virus del dengue en países de África, Asia, Islas del Pacífico y las Américas (2). Esta enfermedad se ha propagado debido al crecimiento demográfico, la urbanización, deficiencias de saneamiento ambiental, insuficiencia del abastecimiento de agua, manejo de desechos inapropiado, aumento exponencial en el número de envases plásticos y otros recipientes capaces de brindar las condiciones adecuadas para reproducción de este mosquito (neumáticos, envases desechables, etc). Otro factor que ha permitido la propagación del virus es la falta de conocimiento de la población del problema del dengue (3-4).

A escala mundial se han hecho intentos para erradicar el vector *A. aegypti* con buenos resultados. Sin embargo, después de algún tiempo, resurge como el caso de Panamá, Costa Rica, Guatemala, Honduras, Cuba, Venezuela y otros países de Sudamérica (2,5-6). Debido al resurgimiento del vector y la enfermedad, se han implementado diferentes métodos de control además de los convencionales. Uno de estos utiliza copépodos que han demostrado efectividad sobre el control de mosquitos, especialmente en laboratorio.

El uso de copépodos fue implementado después que Fryer (7) encontró que algunas especies de copépodos depredando de larvas de mosquitos. Sur-

gieron así, diferentes trabajos evaluando esta hipótesis, “eficacia de copépodos como un posible método de control”. Otros, como Suárez *et al.* (8) observaron a *Mesocyclops aspericornis*, depredando larvas de *A. aegypti*, así mismo, Kay *et al.* (9), evaluaron la efectividad de *Mesocyclops* sp., como controlador de larvas de mosquitos.

Marten *et al* (10), reconocen varias especies de copépodos que pueden ser usadas para el control biológico de mosquitos como; *Macrocylops albodus*, *Mesocyclops longisetus*, *Mesocyclops thermocyclopoides*, entre otros. Santos *et al.* (11) utilizaron copépodos para control de *A. albopictus* con *M. longisetus* con porcentajes de efectividad hasta del 98,1%, Nam *et al.* (12), muestran ampliamente la eficacia de *Mesocyclops*, en el control de larvas de mosquitos incorporando participación de la comunidad afectada.

Sin embargo, no es del todo claro que la dinámica de este control pueda llegar a ser un método efectivo, esto debido a que se ha evidenciado que copépodos y mosquitos cohabitan naturalmente. Además, es pobre el conocimiento que envuelve la relación presa-depredador de estos dos grupos involucrados (13).

Aunque no hay modelos matemáticos que representen control biológico con copépodos se encuentran algunos, como el de Ritchie & Montague (14) que muestran un modelo de simulación para *Aedes taeniorhynchus* controlado por un pez predador. Otros trabajos modelan la dinámica de *A. aegypti* y sus criaderos con submodelos relacionados para predecir con parámetros ambientales, posibles brotes de esta población (15-17).

El objetivo del trabajo es mostrar la acción de depredadores como *Mesocyclops* spp., sobre los estados inmaduros de *A. aegypti*. Esta relación se representa mediante un modelo de simulación con el interés de entender aspectos importantes que puedan aportar al control de esta plaga.

METODOLOGÍA

Para el diseño del modelo, se estudió la interacción entre *A. aegypti* y *Mesocyclops* spp., representado con seis ecuaciones diferenciales que describen la dinámica. El modelo considera tres estados del desarrollo de *A. aegypti*: huevo, larva y adulto. Los cuatro instares larvarios son resumidos en una variable y no alteran los resultados. El estado de pupa no es depredado, por tanto no está como una variable en las ecuaciones. También se modela sólo el estado adulto de los copépodos, como se especifica en las ecuaciones, pues estos solo depredan el estado larval de *A. aegypti*.

Las variables y parámetros que componen el modelo están descritos en las ecuaciones (e.1, e.2, e.3, e.4, e.5 y e.6), $H(t)$: Cantidad de huevos de *A. aegypti* que varia en el tiempo (t), $L(t)$: Cantidad de larvas de *A. aegypti* que varia en el tiempo (t), $A(t)$: Cantidad de adultos de *A. aegypti* que varía en el tiempo (t), y $C(t)$: Cantidad de copépodos *Mesocyclops*, que varía en el tiempo (t).

Los parámetros son: (β) tasa de oviposición de *A. aegypti*, (μ_H) tasa de inviabilidad natural de huevos de la población de *A. aegypti*, (γ) tasa de transformación de huevos a larvas de *A. aegypti*, (μ_L) tasa de mortalidad natural de la población de las larvas de *A. aegypti*, (δ) tasa de transformación de las larvas a adulto (α) tasa de depredación de *A. aegypti* por *Mesocyclops*, (μ_A) tasa de mortalidad natural de la población de adultos de *A. aegypti*, (ε) tasa de incremento de *Mesocyclops*, por depredación de *A. aegypti*, (m) constante media de saturación, (k) tasa captura, (μ_C) tasa de mortalidad natural de *Mesocyclops*.

La simulación del modelo se realizó con Matlab 5.3 utilizando valores hipotéticos tomados de las tablas de vida de Bar-Zeev (18), Costero (19), Nam (12), Santos (20), Torres-Estrada (13) y Gorrochotegui. (21). Estos datos se modificaron buscando mayor aproximación a datos naturales, ya que los resultados de estos trabajos varían de acuerdo a las condiciones de campo y laboratorio (Tabla 1).

Tabla 1. Valores de los parámetros (tasas) utilizados en la simulación

Nombre de los parámetros (tasas)	Símbolo	Valor (%)
Tasa de oviposición de <i>A. Aegypti</i>	β	0.3
Tasa de inviabilidad natural de huevos de la población del <i>A. aegypti</i>	μ_H	0.286
Tasa de transformación de huevos a larvas de <i>A. aegypti</i> .	γ	0.714
Tasa de mortalidad natural de la población de las larvas de <i>A. aegypti</i> .	μ_L	0.096
Tasa de transformación de las larvas a adulto	δ	0.904
Tasa de depredación de <i>A. aegypti</i> por copépodos <i>Mesocyclops</i>	α	0.85
Tasa de mortalidad natural de la población de adultos de <i>A. aegypti</i>	μ_A	0.1
Tasa de incremento del copépodo <i>Mesocyclops</i> por depredación de <i>A. Aegypti</i>	ε	0.2125
Constante media de saturación	m	0.2125
Tasa de captura	K	0.85
Tasa de mortalidad natural del copépodo <i>Mesocyclops</i>	μ_C	0.15

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a la dinámica de la biología, se construyó el siguiente modelo para el control de *A. aegypti* por *Mesocyclops spp.*, que contiene las siguientes ecuaciones diferenciales ordinarias de primer orden:

$$H^*(t) = \beta A(t) - \gamma H(t) - \mu_H H(t) \quad (\text{e.1})$$

La ecuación e.1 representa la dinámica vital de los huevos del mosquito la cual depende de la oviposición de los adultos, tasa de inviabilidad y el paso al estado L (t).

$$L^*(t) = \gamma H(t) - \delta L(t) - \alpha C(t)L(t) - \mu_L L(t) \quad (\text{e.2})$$

En la ecuación e.2 tenemos resumidos los estados larvarios del mosquito en una sola variable L (t). Se observa en esta ecuación la función que representa el control del predador $\alpha C(t)L(t)$, en la cual las presas son liquidadas de forma lineal.

Luego cambiamos $\alpha C(t)L(t)$ por la función de Holling (22), dando como resultado $\frac{kC(t)L(t)}{C(t) + m}$ es decir que la ecuación final es,

$$L^*(t) = \gamma H(t) - \delta L(t) - \frac{kC(t)L(t)}{C + m} - \mu_L L(t) \quad (\text{e.3})$$

En esta ecuación e.3 se incluyen los parámetros como K y m que regulan la densidad de la presa asumiendo que los copépodos pueden tener un límite de captura, diferente de la forma planteada en la ecuación e.2.

La ecuación de los mosquitos adultos:

$$A^*(t) = \delta L(t) - \mu_A A(t) \quad (\text{e.4})$$

La ecuación e.4 muestra la dinámica de los mosquitos adultos cuyo incremento es regulado por el paso de L(t) a A(t) menos la mortalidad natural de los adultos.

$$C^*(t) = \varepsilon C(t)L(t) - \mu_C C(t) \quad (\text{e.5})$$

Ecuación e.5 representa el depredador y de esta ecuación sustituimos $\varepsilon C(t)L(t)$ y queda:

$$C^*(t) = \frac{\varepsilon C(t)L(t)}{C(t) + m} - \mu_C C(t) \quad (\text{e.6})$$

De esta manera los copépodos, además de ser dependientes de $L(t)$, también tienen una disminución en el ataque, lo cual se ajusta más a la realidad.

El presente modelo intenta describir la dinámica de control de *A. aegypti* por la acción depredadora de *Mesocyclops* spp., resultando un sistema de ecuaciones diferenciales inicialmente similares al clásico modelo Lotka y Volterra (23-24) ampliamente utilizado en sistemas presa-depredador. Posteriormente se adiciona la función de respuesta funcional tipo II de Holling (22) para modelar la respuesta de mortalidad depredadores y presas.

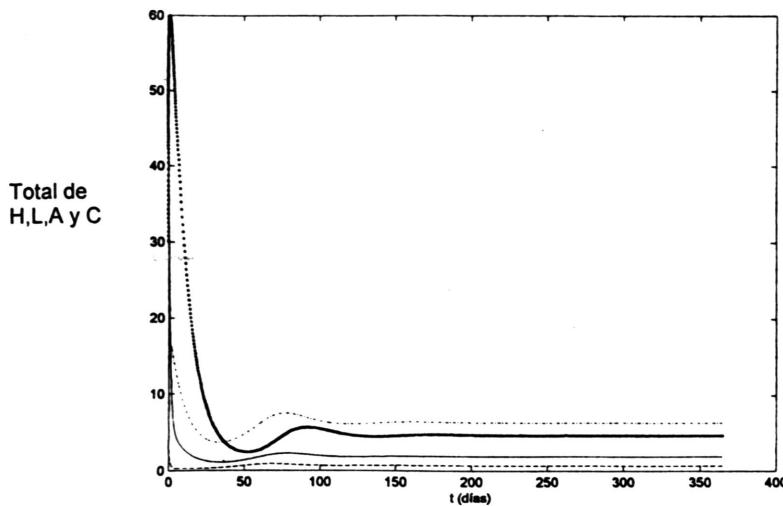
En la simulación sistema de ecuaciones presa-depredador inicial, se aprecia cómo el controlador biológico aumenta y disminuye al igual que su presa, estabilizando el sistema con las poblaciones a valores próximos a cero. Esto quiere decir que cuando se utiliza una tasa de depredación baja se expresa con un incremento inicial del copépodo mucho menor que utilizando una tasa más alta (Figura 1). Lo importante de esta figura es que este parámetro no influencia la estabilidad del sistema. Esto inicialmente refuerza la teoría que los copépodos son controladores eficaces de mosquitos, más adelante veremos que realmente puede que no sea como se piensa.

Ahora simplemente para mostrar que el modelo representa el sistema de control biológico comparamos los resultados de la Figura 1 en la cual se incluye una tasa de depredación ($\alpha=0.2$) igual al de la Figura 2, este valor debido a que previamente percibimos que cambios de este parámetro no afectan en el control por copépodos. Entonces, sólo variamos la cantidad de copépodos $C=30$. Así en los valores simulados de la Figura 3 simplemente colocamos, $C=0$, o sea sin copépodos y el resultado aclara la consistencia del modelo; si no hay una presencia del predador el sistema entra en desequilibrio, presentando un crecimiento positivo de la presa (Figura 3).

Desde el punto de vista del modelo planteado inicialmente, parece que la función del copépodo como controlador de poblaciones de mosquitos es óp-

tima, este al ser representado como un sistema clásico presa-depredador Lotka y Volterra. Analicemos cuando incorporamos la respuesta funcional de tipo II de Holling (Figura 3). En los primeros momentos se observa una tendencia a disminuir, después la población de depredadores y presas crecen igualmente, o sea que adicionando esta función el copépodo no se manifiesta como un buen controlador. Simplemente el sistema se torna inestable positivo. Según Smith & Saltkin (25), cualquier modificación a sistemas presa depredador podría tornarlos inestables, como es mostrado en los resultados de este modelo.

Figura 1. Comportamiento del modelo en las variables Huevos ($H = -$), Larvas ($L = \text{_____}$), Adultos ($A = \text{_.}$) y Copepodos ($C = .$), con un $\alpha: 0.2$.



El comportamiento de la presa y el depredador en un “plano de fase” cuando es mirado el comportamiento de variables con respecto así mismas, muestran los copépodos y las larvas creciendo paralelamente (Figura 4). El plano de fase, sin la función de Holling, se espera que el comportamiento del sistema sea representado como un “punto atractor” decreciente, esto quiere decir que cualquiera que sean las condiciones iniciales de un sistema siempre tienden a converger atraídas al mismo lugar, y el sistema es estable.

Una mejor explicación basada en aspectos observados en campo y laboratorio puede ayudar, junto al modelo, a comprender esta dinámica. Como se planteó atrás, se comienza modelando con un sistema clásico presa-depreda-

dor que se ajusta a la hipótesis de control efectivo de *Mesocyclops* sobre larvas de mosquitos en laboratorio (9).

Figura 2. Comportamiento del modelo en las variables Huevos (H = -), Larvas (L = ____), Adultos (A = ___) y Copepodos (C=.) en ausencia del copépodo

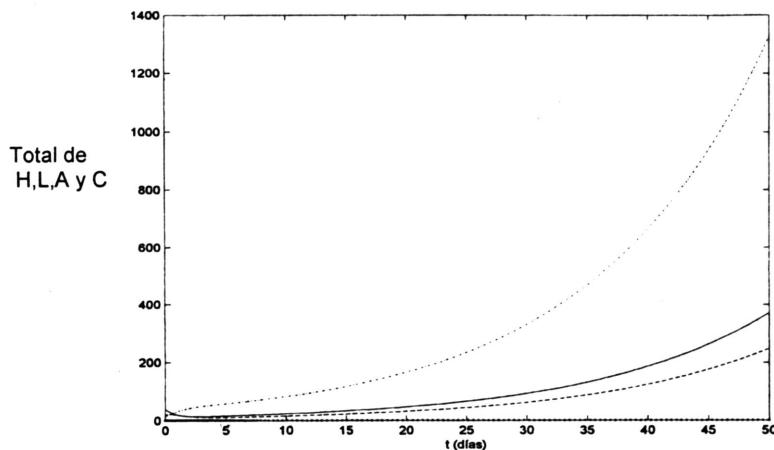
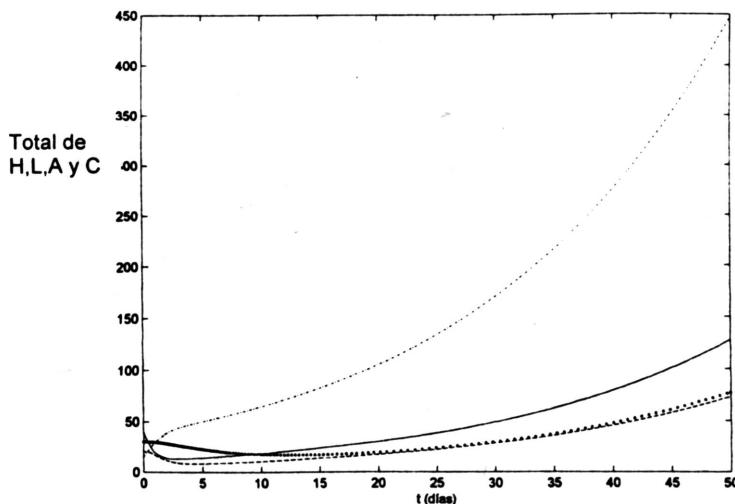


Figura 3. Comportamiento del modelo en las variables Huevos (H = -), Larvas (L = ____), Adultos (A = ___) y Copepodos (C=.), con un modificación en la ecuación en la variable L y C Holling (1965)

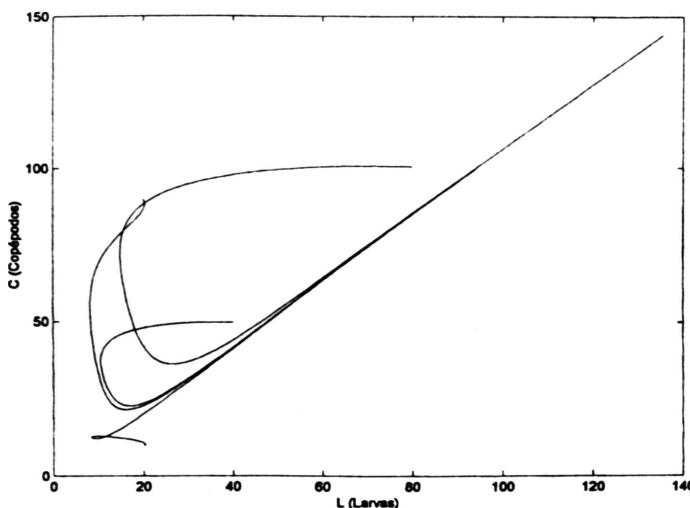


Es claro que en laboratorio las condiciones son diferentes a las naturales y ayudan a que los resultados sean promisorios. Es bueno resaltar que si el depredador no tiene otra opción de alimento diferente a larvas de mosquitos, la cantidad de consumo será elevada y hará que el depredador sea totalmente dependiente para subsistir. Así, este tipo de experimentos con cantidad de presas y depredadores controlados, fuente de alimento exclusiva (larvas de mosquitos) y ausencia de competencia específica, son fácilmente interpretados con modelos Lotka y Volterra clásicos, ya debatidos durante años debido a la falta de realidad en condiciones naturales.

Ya intentando entender el fenómeno de una manera más real, tomando en cuenta resultados de trabajos en campo, vemos que se encuentran también tasas de mortalidades altas (26,20). Sin embargo, no dejan claro a través del tiempo como reaccionan los depredadores en períodos de tiempo más largos, donde eventualmente puedan entrar en competencia específica e inter específica por recurso, esto sabiendo de antemano que en un cuerpo de agua con condiciones para cría de mosquitos existen otros organismos.

Si incluimos cierta cantidad de depredadores en un área, con seguridad en los primeros momentos de contacto entre ellos, los resultados pueden llevar a determinar altas efectividades y después dependiendo la densidad de las presas y el enriquecimiento del agua, pueden alterar drásticamente estos ataques, siendo no tan efectivo a largo plazo. Esto es evidente en la Figura 4.

Figura 4. Plano de fase, Copépodos versus Larvas, utilizando diferentes condiciones iniciales



Según, Micieli (27), se aprecia que adicionando una fuente de alimento extra, disminuye el ataque, mostrando que no hay diferencias significativas entre el control y el tratamiento. También las densidades de copépodos pueden influenciar las tasas de depredación. Más aún, se ha demostrado que las hembras grávidas de *A. aegypti* son atraídas a colocar huevos, “ovipositar” en lugares donde existen copépodos. ¿Cómo una especie coloca su descendencia en un lugar donde vive su enemigo natural? esto se explica por que las hembras son atraídas por lugares con cierta riqueza de materia orgánica, asegurando nutrientes para las larvas que emergen de los huevos, nutrientes como materia orgánica de la cual los copépodos se alimentan también, disminuyendo la acción de estos sobre las larvas (13). En realidad, esto solo muestra que los copépodos y las larvas de mosquitos pueden coexistir. Por esta razón el modelo se transformó incorporando la función que hace que los copépodos estén regulados, no exclusivamente por la presa, sino por otros factores que interactúan en la dinámica de una especie. Estos factores pueden ser interpretados por el parámetro m = Constante media de saturación (Tabla 1).

Esto no quiere decir que los copépodos no tengan un rol importante en el control de mosquitos. Vemos que en Vietnam se tuvo éxito, pero es apropiado decir que fue con ayuda de la comunidad (12). Esto muestra que estos métodos, siendo utilizados sinéricamente con otras estrategias pueden tener éxito.

De esta manera se intentó dar una explicación mediante dos formas de abordar el problema con el fin de mostrar como un modelo puede ayudar a aclarar mejor la factibilidad de un posible plan de control.

Este trabajo aborda una metodología relativamente sencilla de modelaje donde no se incluyen directamente parámetros relacionados con aspectos climatológicos y físicos como en trabajos de Focks *et al.* (15), Focks *et al.* (16), Focks *et al.* (17). Sin embargo, los resultados abren una hipótesis importante sobre si el control biológico por copépodos es realmente eficiente o hasta qué punto es eficiente. De cualquier modo es importante estudiar con mayor profundidad y verificar con un análisis matemático, la consistencia de estabilidad de este modelo.

Finalmente podemos decir que es importante incorporar al modelo otros parámetros que refuercen la acción de control de esta plaga como control químico, cultural y ambiental. Es posible que se obtengan datos poco reales modelando estos fenómenos como sistemas clásicos presa-depredador y sus resultados no se ajusten a la biología de estas especies, debido a esto se in-

cluyó la respuesta funcional y se precisa que nuevos modelos se puedan validar con datos reales que posibiliten comparar su validez con datos de campo •

Agradecimientos. Los autores agradecen a los profesores Álvaro Quintero de la Universidad del Quindío del programa de matemáticas y computación Quindío-Armenia, Colombia por la ayuda con las simulaciones, al Doctor Mauricio Oswaldo Moura, de UNICENTRO Paraná, Brasil por la lectura crítica y las sugerencias del artículo, también a Jaime Iván Rodríguez, M. Sc., por la lectura crítica del trabajo Universidad Federal de Paraná, Gregorio Guadalupe Carvajal Arizaga del Departamento de Química de la Universidad Federal de Paraná, M.Sc, por la lectura y las sugerencias, a Mayro Ceballos de Ingeniería Ambiental de la Universidad de la Guajira por las sugerencias al inicio de la idea de este trabajo.

REFERENCIAS

1. Pinheiro FP. Dengue in the americas, 1980-1987. Epidemiol. Bull. PAHO. 1989; 10: 1-8.
2. Gubler DJ. Dengue and hemorrhagic fever. Clin Microbiol Rev. 1998; 11: 480-496.
3. Chiaravalloti NF. Descrição da colonização de *Aedes aegypti* na região de São José Do Rio Preto, São Paulo. Rev. Soc. Bras. Med. 1997; 30: 279-275.
4. DE Freitas LM, Camillo - Coura L, Grault CE & Barros DV. Estudo do dengue em área urbana favelizada do Rio de Janeiro: considerações iniciais. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro. 2000; 16: 851-856.
5. OPS. El dengue y la fiebre amarilla en las Américas: una visión general del problema. Bol. Epidemiol. 1992; 13: 9-11.
6. OPS. El dengue en Centro America: las epidemias del 2000. Bol. Epidemiol. 2000; 21: 4-8.
7. Fryer G. The food of some freshwater Cyclopoid copepod and its ecological significance. J. Anim. Ecol. 1957; 26: 263-281.
8. Suarez M F, Ayala D, Nelson MJ & Reid JW. Hallazgo de *Mesocyclops aspericornis* (Daday) (Copepoda:Cyclopidae) depredador de larvas de *Aedes aegypti* en Anapoima-Colombia. Biomédica. 1984; 4: 74-76.
9. Kay BH, Cabral CP Sligh, AC, Brown MD, Ribeiro ZM & Vasconcelos W. Laboratory evaluation of Brazilian *Mesocyclops* for mosquito control. J. Med. Entomol. 1992; 29: 599-602.
10. Marten C, Thonson M, Nguyen M & Bordes ES. Copepodo production and application for mosquito control. New Orleans mosquito control board, New Orleans. 1997; 42p.

11. Santos LU, Andrade CFS & Carvalho G. Biological control of *Aedes albopictus* (Diptera: culicidae) larvae in trap tyres by *Mesocyclops longisetus* (copepoda: cyclopoidae) in two field trials. Mem. Inst. Oswaldo. Cruz. 1996; 91: 61-162.
12. Nam VS, Yen NT, Holynska M, Reid JW & Kay BH. National progress in dengue vector control in Vietnam: survey for MESOCYCLOPS (Copepoda) MICRONECTA (Corixidae), and fish as biological control agents. Am. J. Trop. Med. Hyg. 2000; 62: 5-10.
13. Torres-Estrada JL, Rodríguez MH, Cruz-López L & Arredondo-Jimenez JI. Selective oviposition by *Aedes aegypti* (Diptera:Culicidae) in response to *Mesocyclops longisetus* (Copepoda: Cyclopoidea) under laboratory and field conditions. J. Med. Entomol. 2001; 38: 188-192.
14. Ritchie SA & Montague CL. Simulated populations of the black salt marsh mosquito (*Aedes taeniorhynchus*) in a florida mangrove forest. Ecol. Model. 1995; 77: 123-141.
15. Focks DA, Haile DG, Daniels E & Mount GA. Dynamic life table model for *Aedes aegypti* (Diptera:Culicidae): analysis of the literature and model development. J. Med. Entomol. 1993a; 30:1003-1007.
16. Focks DA, Haile DG, Daniels E & Mount GA. Dynamic life table model for *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae): Simulation results and Validation. J. Med. Entomol. 1993b; 30: 1018-1028.
17. Focks DA, Daniels E, Haile DG & Keesling JE. A simulation model of the epidemiology of urban dengue fever: literature analysis, model development, preliminary validation, and samples of simulation results. J. Trop. Med. Hyg. 1995; 53: 489-506.
18. Bar-Zeev M. The effect of temperature on the growth rate and survival of the immature stages of *Aedes aegypti* (L). Bull. Entomol. 1958; Res. 49: 157-163.
19. Costero A, Edman JD, Glark GG & Scott TW. Life table study of *Aedes aegypti* (Diptera:Culicidae) in Puerto Rico fed human blood versus blood plus sugar. J. Med. Entomol. 1998; 35: 809-813.
20. Santos LU & Andrade CFS. Survey of cyclopids (Crustacea, Copepoda) in Brazil and preliminary screening of their potential as dengue vector predators. Rev. Saúde Pública. 1997; 31: 221-226.
21. Gorrochotegui EN, Fernamdez SI & Gomez DH. Field evaluation of *Mesocyclops longisetus* (Copepoda: Cyclopoidea) for the control of larval *Aedes aegypti* (Diptera:Culicidae) in northeastern Mexico. J. Med. Entomol. 1998; 35: 699-703.
22. Holling CS. The functional response of predators to prey density and its role in mimicry and population regulation. Mem. Soc. Entomol. Can. 1965; 45, 60p.
23. Lotka AJ. Elements of physical biology. Williams & Wilkins, Baltimore. Reprinted as elements of mathematical biology. 1956. Dover, New York.
24. Volterra V. Variazioni e fluttuazioni del numero d'individui in specie animali conviventi. Mem. Acad. Lincei Roma. 1926; 2:31-113.

25. Smith J & Saltkin M. The stability of predador-prey sistems. *Ecology*. 1973; 54: 2-16.
26. Manrique-Saide P, Ibañez-Bernal S, Delfín-González H & Parra VT. *Mesocyclops longisetus* effects on survivorship of *Aedes aegypti* immature stages in car tyres. *Med. Vet. Entomol.* 1998; 12: 386-390.
27. Micieli MV, Martí G & García JJ. Laboratory Evaluation of *Mesocyclops annulatus* (Wierzejski, 1892) (Copepoda:Cyclopidea) as a predator of Container-breeding mosquitoes in Argentina. *Mem. Inst. Oswaldo. Cruz* 2002; 97: 1-4.