

ARTÍCULO ORIGINAL

Metamorfosis y emergencia de *Aedes aegypti* fuera del medio acuático y nuevo reporte de importancia entomológica y epidemiológica en Santiago de Cuba

Metamorphosis and emergence of *Aedes aegypti* mosquitoes outside the aquatic environment and a new report of entomologic and epidemiologic significance in Santiago de Cuba

Julio César Popa Rosales^I; Rosa María Castillo Quesada^{II}; Mirtha Gladys Pérez Menzies^{III}; Daisy Figueredo Sánchez^{III}; Domingo Montada Dorta^{IV}

^I Máster en Enfermedades Infecciosas. Especialista de I Grado en Higiene y Epidemiología. Doctor en medicina. Instructor. Unidad Provincial de Vigilancia y Lucha Antivectorial. Santiago de Cuba, Cuba.^{II} Máster en Entomología Médica y Control de Vectores. Licenciada en Ciencias Biológicas. Instructora. Unidad Provincial de Vigilancia y Lucha Antivectorial. Santiago de Cuba, Cuba.^{III} Máster en Entomología Médica y Control de Vectores. Especialista de I Grado en Higiene y Epidemiología. Doctora en Medicina. Unidad Provincial de Vigilancia y Lucha Antivectorial. Santiago de Cuba, Cuba.^{IV} Licenciado en Ciencias Biológicas Investigador Auxiliar. Asistente. Instituto de Medicina Tropical "Pedro Kourí". La Habana, Cuba.

RESUMEN

INTRODUCCIÓN: Una medida para reducir la aparición de brotes epidémicos de dengue y mejorar la eficacia en función del costo de las campañas contra *Aedes aegypti* consiste en identificar los factores ambientales locales que facilitan la reinfestación.

OBJETIVOS: Determinar el nivel de emergencia de adultos *Aedes aegypti* partiendo de pupas depositadas fuera del medio acuático, así como precisar la eficacia de los rayos solares como método físico para la destrucción de los focos.

MÉTODOS: Se realizó un ensayo experimental de campo controlado, aleatorizado en dos ramas. El grupo experimental correspondió a las pupas extraídas del medio acuático colocadas en tierra. Las pupas que se mantuvieron en el agua integraron el grupo control, Y todas fueron seleccionadas según sus edades en horas. Por otra parte, se ensayó el efecto de los rayos solares como método físico para la destrucción de las pupas extraídas del agua.

RESULTADOS: La metamorfosis de pupas sobrevivientes fuera del agua se completó entre 48 y 72 horas, similar al comportamiento en el medio acuático. El nivel de emergencia de mosquitos adultos en el grupo experimental fue de 34,3 %. La

reducción del riesgo relativo aportó que la extracción de pupas del agua hacia la tierra reduce el riesgo de generar nuevos mosquitos en solo 65 %, y queda el 35 % de probabilidad de generar nuevos focos. El riesgo relativo en el grupo expuesto a las radiaciones solares en relación con los no expuestos fue de cero.

CONCLUSIONES: Las pupas de *Aedes aegypti* extraídas de su medio acuático pueden permanecer con vida varias horas en tierra, completar su metamorfosis y emerger hasta mosquitos adultos. Se evidenció además que los rayos solares como método físico reducen a cero el nivel de emergencia del vector.

Palabras clave: *Aedes aegypti*, control, ciclo evolutivo.

ABSTRACT

INTRODUCTION: A measure to reduce the appearance of epidemic outbreaks of dengue and to improve effectiveness depending on the cost of campaigns against the *Aedes aegypti* is to identify the local environmental factors leading to reinfestation.

OBJECTIVES: To determine the level of emergence of *Aedes aegypti* adult mosquitoes from the pupa placed outside the aquatic environment, as well as to specify exactly the effectiveness of the sunbeams as a physical method for elimination of foci.

METHODS: A randomized field controlled experimental trial was carried out in two branches. The experimental group corresponded to extracted pupas of aquatic environment placed in land. Pupas remained in the water were the control group and all of them were selected according its ages in hours. On the other hand, the effect of sunbeams as physical method was assayed for elimination of pupas extracted from water.

RESULTS: The metamorphosis of pupas surviving outside water was finished between 48 and 72 hours, similar to behavior in the aquatic environment. The emergence level of adult mosquitoes in the experimental group was of 34.3 %. The reduction of relative risk showed that pupa's extraction from the water towards land, to reduce the risk to generate new mosquitoes in only the 65% and remains the 35 % of probability of to generate new foci. The relative risk in the group exposed to sun radiations in relation to those non-exposed was of zero.

CONCLUSIONS: The pups of *Aedes aegypti* extracted of its aquatic environment may to live for some hours in land, to complete its metamorphosis and to emerge until adult mosquitoes. Also, it was evidenced that sunbeams as a physical method to reduce to zero the emergence level of vector.

Key words: *Aedes aegypti*, control, evolutionary cycle.

INTRODUCCIÓN

Los insectos son los animales terrestres más abundantes, tanto en número de especies como de individuos. De acuerdo con la teoría de la evolución orgánica o biogénesis, los insectos están mejor adaptados al medio ambiente que les rodea que otros grupos de animales, mucho de los cuales se han extinguido, mientras que los insectos se han diversificado y multiplicado sin interrupción. Su capacidad de adaptación puede considerarse como un atributo de superioridad, dado que

continuamente desarrollan nuevas estructuras y nuevos hábitos. Las formas nuevas evolucionan, y las viejas cambian y se adaptan a las incesantes modificaciones del medio ambiente.¹

De todos los vectores, es el mosquito *Aedes aegypti* el de mayor interés para Cuba. Se caracteriza por tener hábitos diurnos y domésticos, y se reproduce en recipientes naturales o artificiales de agua dentro o cerca de las casas. Aunque es capaz de transmitir el virus de la fiebre amarilla y otros, es la enfermedad del dengue la que le aporta actualmente mayor relevancia, por la frecuencia con que se presenta en forma epidémica y su extensión a regiones pobladas por más de 2,000 millones de personas.²

A pesar del éxito que ha tenido el Programa Nacional de Control del *Aedes aegypti*, las poblaciones de este vector continúan incrementándose, especialmente en el ambiente urbano, lo que constituye un peligro potencial para la ocurrencia de brotes de dengue, como se ha evidenciado en múltiples ocasiones.³

Las medidas para reducir la aparición de brotes epidémicos de dengue y para mejorar la eficacia en función del costo de las campañas contra *Aedes* consisten en identificar los factores ambientales locales que facilitan la reinfestación, mejorar la vigilancia, y el muestreo de las formas tempranas del vector.⁴

En el mes de julio del año 2008, en el Laboratorio de entomología de la Unidad Provincial de Vigilancia y Lucha Antivectorial (UPVLA) de Santiago de Cuba, se pudo evidenciar de forma fortuita que pupas de *Aedes aegypti* sobrevivieron y emergieron al estadio adulto, una vez extraídas del agua.

Teniendo en cuenta esta observación y la importancia que reviste investigar sobre la bioecología de este vector, nos motivamos a la realización de la presente investigación.

El objetivo del trabajo fue determinar el nivel de emergencia de adultos *Aedes aegypti* partiendo de pupas depositadas fuera del medio acuático (en tierra), así como precisar la eficacia de los rayos solares como método físico para la destrucción de los focos.

MÉTODOS

Se realizó un ensayo experimental de campo controlado, aleatorizado en dos ramas. El grupo experimental correspondió a las pupas extraídas del medio acuático colocadas en tierra. Las pupas que se mantuvieron en el agua integraron el grupo control y todas fueron seleccionadas según edades en horas.

Por otra parte, se ensayó el efecto de los rayos solares como método físico para la destrucción de las pupas extraídas del agua. Para el estudio se planteó la siguiente hipótesis: Si extraer pupas de *Aedes aegypti* desde el agua hacia la tierra no provoca su muerte y, en consecuencia, son capaces de emerger hasta la fase adulta, tendríamos entonces otro elemento para la persistencia de la infestación.

El universo estuvo conformado por la población de pupas que existían en el insectario de la UPVLA en el momento del estudio. Las cepas utilizadas correspondieron a las del año en curso de la investigación. Mediante muestreo simple aleatorio se seleccionaron

un total de 560 cepas. Se destinaron 280 para el grupo experimental y 280 para el grupo control. La muestra se dividió en 7 subgrupos, representados por 40 pupas de *Aedes aegypti* cada uno, con las mismas edades en horas, y edades diferentes entre los subgrupos. Los ejemplares del grupo experimental se colocaron en bandejas plásticas que contenían una capa de tierra en su interior, en las variantes húmeda y seca. Posteriormente fueron introducidas en jaulas construidas con una maya plástica para evitar el escape de los mosquitos adultos.

Las variables utilizadas fueron las siguientes:

1. *Edad de las pupas a la extracción del agua (en horas)*: Se consideró el período de tiempo que medió entre el inicio de la formación del estado pupal hasta el momento de la extracción del agua hacia la tierra (grupo experimental) y hacia otros depósitos con agua (grupo control). Mediante la observación y con el uso de un gotero, se realizó el procedimiento. Cada recipiente fue identificado con la fecha y la hora del inicio del estadio. Las edades se representaron de la siguiente forma: 02 horas, 24 horas, 46 horas, 1618 horas, 1820 horas, 24 horas, y 48 horas.

2. *Emergencia de mosquitos adultos según edad de las pupas*: Se consideró el número de adultos que emergieron según edad de las pupas.

3. Como parámetro principal de eficacia se determinó la mortalidad total de pupas fuera del agua, tomando como criterio la no emergencia de mosquitos adultos.

Aunque se conoce que el período de metamorfosis completa del mosquito incluye los estadios huevo-larva-pupa-adulto, el estudio basado en sus objetivos contempló la última fase de este período: el tiempo transcurrido en horas desde del estadio pupal hasta el adulto. Para una mejor observación de las características morfológicas se tomaron videos y fotografías digitales durante el examen al estereoscopio.

Durante la investigación se midieron los factores ambientales: temperatura ambiente (°C) y humedad relativa del aire (%). Se calculó el Índice de emergencia general (IEG) y específico por edad (IEE). Se utilizó el *riesgo relativo* para comparar la frecuencia entre los grupos experimental y control, así como en los expuestos y no expuestos a los rayos solares.

Partiendo de una asociación positiva entre la exposición y el evento, en nuestra investigación se esperaba que la proporción del grupo experimental en relación con el grupo control fuera menor y se utilizó una tabla de 2 x 2.

Se determinó el coeficiente de correlación de Pearson entre las variables edad de las pupas a la extracción del agua y emergencia de mosquitos adultos, precisando un nivel de confianza de 95 %.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como podemos apreciar en la tabla 1, de un total de 280 pupas, el 34,3 % de las que fueron sustraídas del agua hacia la tierra alcanzaron la fase adulta, después de un tiempo de evolución. Es evidente que la medida realizada no reduce a cero el riesgo de generar focos del vector (RR= 0,35; IC = 0,300,41).

Tabla 1. Emergencia de adultos *Aedes aegypti* de pupas extraídas del agua hacia la tierra

Exposición de pupas de <i>Aedes aegypti</i> a la extracción del agua	Emergencia de mosquitos adultos				Total
	SI		NO		
	No.	%	No.	%	
SI	96	34,3	184	65,7	280
NO	276	98,6	4	1,4	280
Total	372	66,4	188	33,6	560

RR= 0,35.
 IC= 0,30-0,41.
 p=0,00.

El complemento del riesgo relativo (o la reducción del riesgo relativo RRR) se expresa como un porcentaje: $[1 (M1/ M2) \times 100 = (1 0,35) \times 100 = 65 \%$]. Esta cifra significa que el tratamiento empleado reduce el riesgo de generar nuevos mosquitos en solo un 65 %, y queda el 35 % de probabilidad de generar nuevos focos. Mientras mayor sea la RRR, mayor es la eficacia del estímulo experimental.

El primer subgrupo solo tenía entre 0 y 2 horas de edad; de ellas emergió el 20 %. Las mayores cifras se suscitaron en los grupos de 24 y 48 horas con 52,5 y 37,5 % respectivamente. En general, todos los grupos en estudio se mantuvieron por un rango de tiempo entre 24 y 68 horas fuera del agua, y entre 48 a 72 horas para completar la última fase del período de metamorfosis (pupaadulto), similar al comportamiento en el medio acuático (tabla 2).

Tabla 2. Emergencia de adultos *Aedes aegypti* partiendo de pupas de diferentes edades depositadas en tierra seca y sin exposición a los rayos solares

Edad de las pupas (horas)	Tiempo fuera del agua (horas)	Período de metamorfosis (horas)	Emergencia de adultos		Temperatura ambiente (°C)	Humedad relativa del aire (%)
			No.	%		
0 a 2	48	48	8	20	24,0	63,0
2 a 4	68	70-72	13	32,5	26,0	76,0
4 a 6	42-46	46-52	12	30	26,0	77,0
16 a 18	32-54	48-72	13	32,5	25,0	75,0
18 a 20	54-56	72	14	27,7	26,0	55,0
24	24	48	21	52,5	30,2	64,5
48	18	66	15	37,5	24,0	63,0
Total	24-68	48-72	96	34,3	22,1	67,6

Diferentes autores han enfatizado en la influencia de los cambios climáticos sobre los vectores de dengue y la distribución de la fiebre del dengue, y han destacado la temperatura y las precipitaciones como los factores de mayor implicación sobre la

biología de los mosquitos vectores de enfermedades al humano.⁴⁻⁶ El estudio se realizó entre los meses de diciembre y enero, cuando se registraron temperaturas ambientales entre 22,1 °C y 30,2 °C. Ante este último valor, se produjo la frecuencia relativa más elevada en el grupo de 24 horas.

El ensayo también se realizó con tierra húmeda, y emergió en esta ocasión el 32,5 % de la muestra, que representa solo 2 % menos en comparación con los resultados obtenidos en tierra seca. Sin embargo, el coeficiente de correlación de Pearson fue mayor y más significativo en tierra húmeda (0,7) que en tierra seca (0,5). La muestra se mantuvo fuera del agua entre 22 y 62 horas y la metamorfosis se completó en un período de 46 a 70 horas, en correspondencia también con el comportamiento descrito para el medio acuático.

La figura 1 muestra que la emergencia de mosquitos adultos fue directamente proporcional a la edad en que las pupas son extraídas del agua, es decir, a mayor edad mayor es el número de mosquitos adultos que emergen.

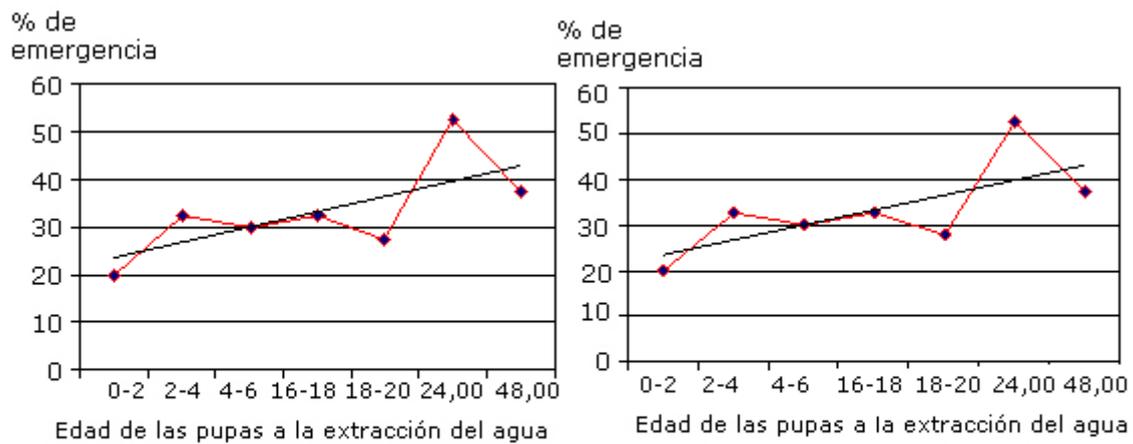


Fig. 1. Emergencia de adultos *Aedes aegypti* partiendo de pupas de diferentes edades depositadas fuera del agua y sin exposición a los rayos solares (izquierda: en tierra seca; derecha: en tierra húmeda).

Se planteó la interrogante ¿Cómo reducir el riesgo de generar nuevos focos del vector? En tal sentido, se decidió estudiar el efecto de las radiaciones solares. La tabla 3 muestra el efecto de la medida alternativa. La tasa de emergencia de *Aedes aegypti* en el grupo no expuesto fue de 34,3 % (0,34), en contraste con el grupo expuesto a los rayos solares. El riesgo relativo (RR), o sea, el riesgo de emerger desde el estadio pupal, en el grupo sometido a los rayos solares en relación con el grupo no expuesto, fue de cero.

La reducción del riesgo relativo fue de 100 % [$1 - (M1/M2) \times 100 = (1 - 0) \times 100 = 100$ %], lo que significa que la exposición de las pupas a los rayos solares reduce el riesgo de generar nuevos mosquitos en el 100 %.

Tabla 3. Efecto de rayos solares en la mortalidad de pupas de *Aedes aegypti* fuera del agua

Exposición de Pupas de <i>Aedes aegypti</i> a radiaciones solares	Emergencia de Mosquitos adultos				Total
	SÍ		NO		
	No.	%	No.	%	
SÍ	0	0	280	100	280
NO	96	34,3	184	65,7	280
Total	96	28,9	464	82,1	560

RR= 0,00.

IC= -9999 -9999.

p=0,00.

Si los resultados de esta investigación en condiciones experimentales se corresponden con lo que está sucediendo en la práctica de rutina del programa de control, entonces una gran cifra de mosquitos adultos está emergiendo luego de la supuesta destrucción de los focos detectados en estadio de pupas, durante el vertimiento del agua del depósito a la tierra, alcantarillado u otra fuente de disposición final de residuales líquidos, por acción antropogénica.

Los organismos pertenecientes a la clase insecta no se han limitado a vivir en un solo medio, como los peces o las aves. Así tenemos que estos pueden vivir sobre y dentro del agua, en el aire y en el suelo, sobre animales y plantas o en el interior de ambos y en casi toda clase de sustancias orgánicas.¹ Como se ha demostrado en múltiples estudios, el mosquito *Aedes aegypti* ha manifestado evidencias de su capacidad de adaptación ante cambios manifiestos en el ambiente, y han mostrado plasticidad ecológica de acuerdo con los sitios de cría y reposo que le brinda el ecosistema urbano, así como la resistencia a los tratamientos insecticidas, por solo mencionar algunos ejemplos de sus mecanismos de adaptación.⁷⁻⁹

Al particularizar en el seguimiento del ciclo evolutivo del vector a nivel de laboratorio, durante las primeras 4 horas, las pupas se observaron cubiertas por una capa delgada, suave e incolora, que les permitía movimientos rápidos sobre la superficie de la tierra, desplazarse hacia distintas direcciones, y poder escapar de cualquier peligro (fig. 2). Lo mismo se describe en la literatura en cuanto a la formación de la cutícula, partiendo de la secreción de lipoproteínas de la epicutícula, y caracterizan la estructura recién formada como una capa continua, semifluida, suave y sin coloración.

A las 8 horas la cutícula era de un color oscuro y más gruesa, y provocaba movimientos más lentos, que daban la impresión de estar muertas; sin embargo, esas propiedades le confieren protección ante el daño mecánico, el calor excesivo o la evaporación.¹ El estado pupal es llamado frecuentemente "maromero". Después de unas cuantas horas en esta condición el insecto parte su piel por el dorso y el adulto sale, se balancea por unos cuantos minutos en la piel pupal vacía, hasta que sus alas se extienden y se secan, y entonces se aleja volando. En la investigación pudimos observar las mismas características antes descritas por otros autores¹ pero en esta ocasión fuera del agua (figs. 3 y 4).



Fig. 2. Pupas de *Aedes aegypti* fuera del medio acuático (izquierda: 4 horas; derecha: 8 horas).



Fig. 3. Mosquito *Aedes aegypti* emergiendo.



Fig. 4. Piel pupal vacía con partículas de tierra de pupas ubicadas fuera del agua.

El hecho de haber ocurrido una mayor emergencia de adultos (52,5 %) en el subgrupo de pupas de 24 horas, pudo responder al aumento de la temperatura (mayor valor con 30,2 %, a pesar de no estar expuestas al sol), factor ambiental que incide de manera favorable en la biología de los insectos;¹⁰⁻¹¹ sin embargo, el resto de

los subgrupos de edades permanecieron con temperaturas por debajo del óptimo descrito para el desarrollo de este estadio: 28 a 32 °C.¹² Sería interesante profundizar en el nivel de adaptación de estos mosquitos adultos y los caracteres transmitidos a su descendencia, así como la capacidad vectorial de las que resulten hembras.

La nula tasa de emergencia de *Aedes aegypti* en el grupo experimental expuesto a rayos solares, se justifica porque los insectos que se desarrollan en el medio acuático poseen en la hipodermis una capa cérea compuesta por lípidos, más fina que aquellos que viven en ambiente terrestre, cuya función es impedir el paso del agua. Algunos autores consideran que este hecho los hace más vulnerables durante la exposición a los rayos solares, pues generan mayor temperatura, lo que provoca la fusión de las ceras de esa capa protectora y, en consecuencia, ocurre la deshidratación, desecación y muerte. También se ha citado que las radiaciones (incluyendo los ultravioletas que emanan del sol) pueden provocar inhibición o alteraciones en los procesos de división celular, como la mitosis característica en los estadios inmaduros.¹³ No queda demostrado que se trate de un fenómeno de capacidad de adaptación, como han referido otros estudios, y no de un fenómeno de otra índole.

Como resultado, en primer lugar, de la acción antropogénica, se piensa en el grosor de la cutícula a medida que avanza el estadio pupal, como un posible factor que le confiere protección, por la evidencia de que a mayor edad de las pupas, mayor es el porcentaje de mosquitos adultos que emergen fuera del agua.

Teniendo en cuenta que las pupas de *Aedes aegypti* extraídas de su medio acuático pueden permanecer con vida varias horas en tierra, completar su metamorfosis y emerger hasta mosquitos adultos, se recomienda destruir focos en este estadio vertiendo el agua del depósito en cuestión hacia lugares expuestos directamente a la luz solar, así como la destrucción física de estas durante las temporadas de lluvia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Metcalf CL. Insectos destructivos e insectos útiles. Sus costumbres y hábitos. La Habana: Instituto Cubano del Libro; 1973.
2. Lemus Lago ER, Estévez Torres G, Velásquez Acosta JC. Campaña por la esperanza: la lucha contra el dengue. La Habana: Editora Política; 2002.
3. Orozco N, Díaz IM, Cañete A, Martínez Y. Incidencia de dengue en niños y adolescentes. Rev Cubana Med Trop. 2001;53(1):16-9.
4. Mazine CA, Yasumaro S, Macoris ML, Andrighetti MT, Dacosta VP, Wich PJ. Newsletters as a channel for communication in a community-based *Aedes aegypti* Control Program in Marília, Brazil. J Am Mosq Control Assoc. 1996;12:732-35.
5. Favier C, Degallier N, Ribeiro Vilarinhos P, Laurentino de Carvalho MS, Cavalcanti MA, Britto M. Effects of climate and different management strategies on *Aedes aegypti* breeding sites: a longitudinal survey in Brasília (DF, Brazil). Trop Med Internat Health. 2006;11:1104-18.
6. Hoop M, Foley J. Global scale relationships between climate and the dengue fever vector, *Aedes aegypti*. Clim Change. 2001;48:441-63.

7. Bisset Lazcano JA, Marquetti MC, Portillo R, Rodríguez MM, Suárez S, Leyva M. Factores ecológicos asociados con la presencia de larvas de *Aedes aegypti* en zonas de alta infestación de La Habana, Cuba. Rev Panam Sal Publ. 2006;19(6):37984.
8. Bisset JA, Rodríguez MM, Lorenzo Cáceres. Niveles de resistencia a insecticidas y sus mecanismos en dos cepas de *Aedes aegypti* de Panamá. Rev Cubana Med Trop. 2003;55:191-5.
9. Bisset JA, Rodríguez MM, De Armas Y. Comparación de dos poblaciones de mosquito *Aedes aegypti* de Santiago de Cuba con diferente conducta de reposo. Rev Cubana Med Trop. 2005;57(2):143-50.
10. Centros para el Control y Prevención de Enfermedades. Biología y control de *Aedes aegypti*. Vector Topics N° 4. Atlanta, Georgia: CDC; 1979.
11. Rueda IM, Patel KL, Axtell RC, Stineer RE. Temperatura dependent development and survival rates of *Culex quinquefasciatus* and *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). J Med Entomol. 1990;27(5):892-8.
12. Pérez Viguera I. Los ixódidos y culícidos de Cuba. Su historia natural y médica. La Habana: Ediciones Universidad de La Habana; 1956.
13. Patología de Insectos. Notas de Curso Posgrado. Santiago de Cuba: Universidad de Oriente; 1988.

Recibido: 21 de octubre de 2010.

Aprobado: 10 dediciembre de 2010.

Dr. *Julio César Popa Rosales*. Unidad Provincial de Vigilancia y Lucha Antivectorial Santiago de Cuba. Calle L No. 53 entre Calle 3ra y Ave. Victoriano Garzón, Reparto Sueño. Santiago de Cuba. Cuba. Dirección electrónica: jcpopa@sierra.scu.sld.cu; upvla@medired.scu.sld.cu