

Efecto del clima en el ciclo biológico del zancudo (*Aedes aegypti* L.), en cuatro zonas geográficas de El Salvador

Effect of climate on the biological cycle of mosquito (*Aedes aegypti* L.), in four geographic areas of El Salvador.

García-Martínez, C.B.
Estudiante Tesista,
Facultad de Ciencias Agronómicas,
Universidad de El Salvador, El Salvador.

Fernández-Vásquez, R.H.
Estudiante Tesista,
Facultad de Ciencias Agronómicas,
Universidad de El Salvador, El Salvador.

Franco-López, J.M.
Estudiante Tesista,
Facultad de Ciencias Agronómicas,
Universidad de El Salvador, El Salvador.

Villalta-Rodríguez, C. A.
Docente Director,
Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente,
Facultad de Ciencias Agronómicas,
Universidad de El Salvador, El Salvador.

Menjívar-Rosa, R.A
Docente Director,
Departamento de Protección Vegetal,
Facultad de Ciencias Agronómicas,
Universidad de El Salvador, El Salvador.

Resumen

La investigación se llevó a cabo en los municipios de Nueva Trinidad, San Martín, Sonzacate y San Salvador, El Salvador, durante el periodo de enero a abril del año 2015. Para esto, se realizó un estudio que consistió en evaluar el ciclo biológico del zancudo *Aedes aegypti* L., en condiciones naturales y relacionarlo con los elementos climáticos (temperatura máxima, mínima, precipitación, humedad relativa, radiación solar), para determinar la influencia de los mismo en el ciclo biológico. Se utilizaron los datos del Ministerio de Salud, de 28 semanas epidemiológicas de la incidencia de la enfermedad del Dengue y los índices entomológicos (breteau, casa, tasa), con el fin de relacionarlos con los elementos climáticos antes mencionados. Dando como resultado un promedio de 16.4 días de duración del ciclo biológico, necesitando una constante térmica promedio de 264.1 grados día para completar el desarrollo. La fase de campo, se realizó entre los meses de enero a abril del año 2015, tomando diariamente los datos de temperatura máxima, mínima, media, humedad relativa, precipitación y radiación solar.

Para completar su ciclo biológico *A. aegypti* necesita una constante térmica promedio de 264.1 grados día. Una disminución en la temperatura, alarga el ciclo biológico de *A. aegypti*, especialmente en las etapas de huevo-larva, larva-pupa. La precipitación aumenta el número de larvas de *A. aegypti*. La temperatura máxima, tiene una relación inversamente proporcional con la incidencia de la enfermedad del Dengue. Los índices entomológicos (breteau, casa, tasa y depósito), presentan una alta relación con los elementos climáticos (temperatura máxima, mínima, precipitación, radiación solar y humedad relativa), a medida que estos elementos se modifican los índices entomológicos cambian existiendo una relación proporcional entre ellos.

Palabras clave: *Aedes, aegypti* L., Dengue, ciclo biológico, incidencia, enfermedad, índices, entomológicos, climáticos.

Abstract

The research was carried out in the municipalities of Nueva Trinidad, San Martín, Sonzacate and San Salvador, El Salvador, in the period of January to April of the year 2015.

For this, a study was carried out to evaluate the biological cycle of the mosquito *Aedes aegypti* L., in natural conditions and to relate it to the climatic elements (maximum temperature, minimum, precipitation, relative humidity, solar radiation), to determine the influence of The same in the biological cycle. We used data from the Ministry of Health, 28 epidemiological weeks of the incidence of Dengue disease and entomological indices (breteau, house, rate), in order to relate them to the aforementioned climatic elements. Resulting in an average of 16.4 days of the biological cycle, requiring an average thermal constant of 264.1 degrees day to complete the development. The field phase was carried out between January and April of the year 2015, taking daily the data of maximum temperature, minimum, average, relative humidity, precipitation and solar radiation.

To complete its biological cycle *A. aegypti* needs an average thermal constant of 264.1 degrees day. A decrease in temperature, lengthens the biological cycle of *A. aegypti*, especially in the stages of egg-larva, larva-pupa. Precipitation increases the number of *A. aegypti* larvae. The maximum temperature is inversely proportional to the incidence of Dengue disease. The entomological indexes (breteau, house, rate and deposit), present a high relation with the climatic elements (maximum temperature, minimum, precipitation, solar radiation and relative humidity), as these elements are modified the entomological indexes change existing a relation proportional between them.

Key words: *Aedes, aegypti* L., Dengue, Biological, cycle, incidence, disease, entomological, indexes, climatic.

Introducción

El *Aedes aegypti* L., es una de las principales especies de mosquitos en el área urbana, es originaria de África, se encuentra distribuida y adaptada a las regiones tropicales y subtropicales del mundo, comprendidas entre los 45° de latitud norte y los 35° de latitud sur, en las zonas isotermales intermedias a los 20°C (Agrelo 1996) (Fig. 1). Este mosquito tiene gran importancia desde el punto de vista epidemiológico por ser transmisor de diferentes arbovirosis como son: la fiebre amarilla, el Dengue y Dengue hemorrágico. A medida que disminuyeron las campañas de control sobre el vector durante las décadas de 1970 y 1980, el mosquito proliferó y se propagó por casi toda la región de las Américas intensificándose la actividad del Dengue alcanzando niveles alarmantes en esa última década. (Fernández 2008)

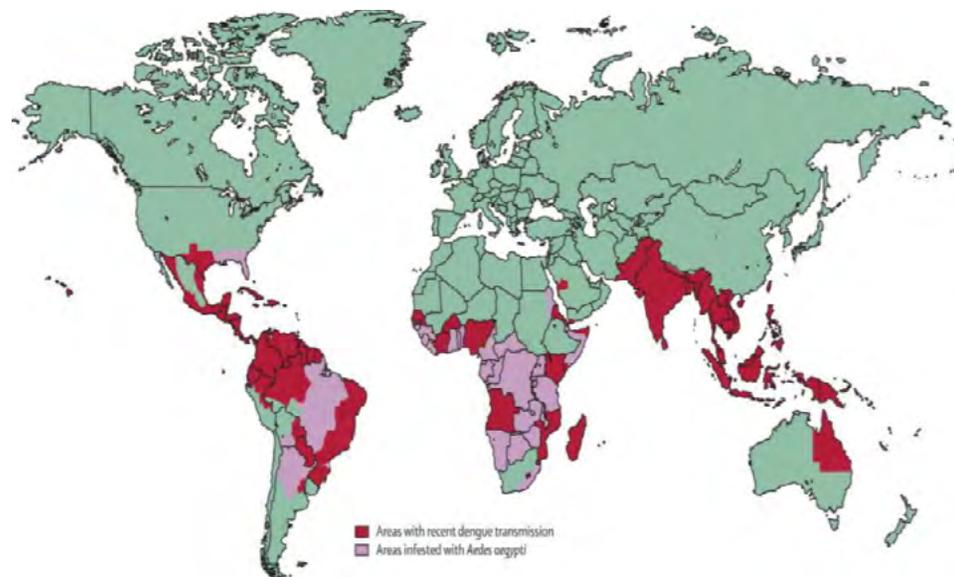


Figura 1. Distribución mundial de *Aedes aegypti* L.
Fuente: CDC citado por INS 2014.

La especie es predominantemente doméstica, prolifera en recipientes artificiales o naturales que se encuentran en las viviendas o en sus alrededores, únicamente las hembras son hematófagas, se alimentan de sangre humana y de algunos animales, detectan por estímulos visuales: movimientos, tamaño, olor, humedad, temperatura, concentración de CO₂, entre otros. La sangre que succionan les es necesaria para desencadenar la maduración de sus óvulos (Icaza 2003)

La densidad de los mosquitos vectores se relaciona con la condición climática, *Aedes aegypti* L. prefiere agua limpia y clara con baja presión parcial de oxígeno, como el agua de lluvia, para reproducirse. Por lo tanto, el hábito de almacenamiento de agua de lluvia dentro de las casas para uso doméstico proporciona un lugar de reproducción idóneo para ellos, en un clima seco y hábitos domésticos que conducen al almacenamiento de agua también pueden ser favorables para la reproducción de los mosquitos. (Gualdron Sánchez, 2007)

En El Salvador en los últimos años ha aumentado el número de enfermedades transmitidas por el zancudo (*Aedes aegypti* L.), siendo este el principal vector de transmisión de enfermedades como el Dengue, Chikungunya y recientemente el Zika. Para el caso del Dengue, se han percibido datos elevados de infestación, obligando a las autoridades gubernamentales a decretar alertas orientadas al combate del vector. La variabilidad en el comportamiento de los elementos climáticos produce algún efecto aumentando o disminuyendo los índices poblacionales del insecto y, por ende, esto tiene repercusión en los casos reportados por el Ministerio de Salud (MINSAL 2014), en cuanto a personas afectadas con enfermedades transmitidas por el vector.

Materiales y Métodos

Ubicación geográfica, montaje del ensayo, recolección de datos meteorológicos

Para la fase previa al montaje del ensayo, se realizó la elaboración de las bases de datos de incidencia de la enfermedad e índices larvarios y la creación de los polígonos de Thiessen en el periodo comprendido de septiembre a diciembre de 2014.

La investigación del ciclo biológico, se llevó a cabo en el periodo comprendido de enero a abril de 2015, en los municipios de San Salvador, San Martín, Sonzacate y Nueva Trinidad, El Salvador.

Estos lugares presentaban diferentes niveles de alertas decretadas por el Ministerio de Salud, que iban desde la verde hasta la naranja, causadas por la incidencia de la enfermedad del Dengue.

Los ensayos de cada municipio se establecieron en fechas distintas en forma escalonada, se comenzó por el municipio de San Martín (enero- febrero), luego Sonzacate (febrero-marzo), Nueva Trinidad (marzo-abril) y San Salvador (marzo-abril).

En cada municipio se utilizaron 5 repeticiones, en forma escalonada, con diferencia de 5 días entre cada una, para cada repetición se utilizó un depósito, obteniéndose 5 depósitos por municipio, con las siguientes dimensiones altura de 7.5 cm, diámetro de 17.1 cm (Fig. 2), agregando 600 ml de agua tomada del sistema de distribución presente en cada municipio (agua tomada del grifo).



Figura 2. Depósitos plásticos transparentes.

En los depósitos se colocaron trozos de papel provenientes de ovitrampas proporcionadas por el Ministerio de Salud de El Salvador, MINSAL, las cuales eran negras, altura de 14.7 cm y diámetro de 10.3 cm. (Fig. 3). que contenían 25 huevos de *A. aegypti* y con el agua a temperatura ambiente al momento de realizar el experimento. En cada depósito, se utilizó tela anti mosquito para tapar cada uno de ellos, la cual se fijó a la parte superior de cada depósito con bandas de hule, a fin de garantizar que no existiera ingreso de otras especies u organismos ajenos a la especie en estudio o fuga de adultos.



Figura 3. Ovitrapas utilizadas.

Se recopilaban datos de temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación; se registraron tres veces al día durante el ciclo biológico, en las siguientes horas: 7:00, 14:00, 21:00 (según la metodología del Servicio Nacional de Estudios Territoriales, SNET), durante el desarrollo de la investigación. Se instaló un termómetro a base de mercurio y un pluviómetro “casero”, el cual se construyó con recipientes plásticos de 20 cm de alto, 9.1 cm de diámetro y se ubicaron a 1.5 m arriba del suelo, en cada uno de los municipios donde se desarrolló la investigación, con el propósito de tomar datos atmosféricos exactos *in situ*. Los datos de humedad relativa y radiación solar, fueron obtenidos diariamente por medio de la página web del SNET.

Metodología de laboratorio

Para seleccionar la estación meteorológica que proporcionó los datos con mayor precisión, se utilizó la herramienta de polígonos de Thiessen, aplicando el programa Arc. GIS 10X, con base a los datos del SNET (Fig. 4). Se delimitaron las áreas de influencia de las estaciones meteorológicas a través de los polígonos de Thiessen. Luego de crear y analizar los polígonos, se detectó que para el municipio de Sonzacate la estación meteorológica que tenía mayor área de influencia es la de Acajutla; la de San Martín es la estación de Ilopango; para San Salvador es la estación de la UES (Universidad de El Salvador) sede central y para Nueva Trinidad, la estación de Chorrera del Guayabo.



Figura 4. Polígonos de Thiessen.

Se procedió al establecimiento y ordenamiento de las bases de datos de índices entomológicos e incidencia de la enfermedad del Dengue, para el año 2014, proporcionadas por el Ministerio de Salud de El Salvador (MINSAL).

En la investigación no se contó con cámaras bioclimáticas para la obtención de la temperatura base, es por este motivo que se basó en la investigación de la temperatura base de Beserra *et al.* (2006), para la localidad de Brejo dos Santos, determinaron una temperatura base de 8.5, con un coeficiente de regresión de 94.5%, las condiciones climáticas de la localidad de Brejo dos Santos son similares a las de El Salvador, los cálculos realizados en la investigación, para la determinación de unidades de calor de cada etapa del ciclo biológico, se tomó la temperatura base de 8.5 con los datos de temperaturas promedio ambiente.

Para el cálculo de la constante térmica se utilizó la siguiente fórmula:

$$K = y(t - a)$$

Dónde:

K = constante térmica (grados día).

y = número de días necesarios para completar desarrollo.

t = temperatura promedio diaria.

a = temperatura base (mínima absoluta).

t - a = temperatura efectiva

Metodología estadística

Para el análisis de la información, se utilizó el análisis multivariante, componentes principales, la construcción de los dendogramas y gráficos, se realizó con el programa estadístico R (R Core Team, 2015) en el cual se construyó previamente la base de datos de la incidencia de la enfermedad vs. los elementos meteorológicos (temperatura máxima y mínima, precipitación, radiación solar y humedad relativa). La base de datos se elaboró con las 28 semanas epidemiológicas reportadas por el Ministerio de Salud, con el fin de conocer si la incidencia de la enfermedad estaba relacionada con algún elemento meteorológico, el programa asoció a los individuos más homogéneos cerca de ellos y los heterogéneos los clasifica en otros. Los índices entomológicos se analizaron de la misma manera que la incidencia de la enfermedad, con la diferencia de que se tomó por departamento el índice de Breteau, casa, depósito se relacionaron con los elementos meteorológicos (temperatura máxima, mínima, precipitación, radiación solar, humedad relativa), para las 28 semanas epidemiológicas reportadas por el MINSAL, previamente se construyó la base de datos y se analizó con el programa estadístico R. Los análisis multivariados, se hicieron a través del paquete FactoMineR (Husson *et al.* 2008)

El dendograma de las fases de larva y adulto de *A. aegypti*, se elaboró con una base de datos que contenía información sobre los elementos meteorológicos evaluados (temperatura máxima, mínima, precipitación, radiación solar, humedad relativa) en la duración del ciclo biológico de *A. aegypti*; de igual manera, se analizó esta información con el programa estadístico R (R Core Team, 2015), para conocer si algún elemento climático estaba relacionado con alguna fase ciclo del *A. aegypti*.

Resultados y Discusión

Duración del ciclo biológico en las cuatro zonas geográficas investigadas

Los municipios de San Salvador y Nueva Trinidad, presentaron el ciclo de vida de *A. aegypti* más corto, con 13 y 14.6 días respectivamente y los municipios de San Martín y Sonzacate, presentaron los ciclos de vida más largos con 20 y 18 días respectivamente. El promedio general de los 4 municipios fue de 16.4 días (Fig. 5). Estos hallazgos, son importantes porque para Figueroa *et al.* (2013) en condiciones óptimas de temperatura (25 a 29 °C) el periodo desde la eclosión del huevo hasta la etapa adulta es de 13-17 días, por lo que el promedio de 16.4 coincide con este autor.

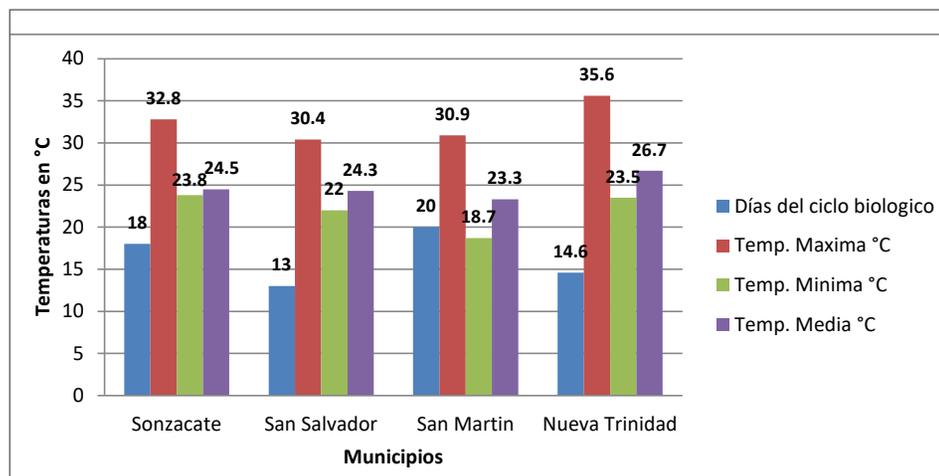


Figura 5. Temperaturas máximas, mínimas, medias, para las cuatro zonas geográficas.

Los datos de González *et al.* (1998), reflejan que la duración promedio para el periodo total de larva de primer estadio hasta adulto fue de 11.15 días, los datos obtenidos de la investigación no son iguales ya que consistió desde la etapa de huevo a adulto, con un mínimo de duración de nueve días y un máximo de 20 días.

El municipio de Nueva Trinidad se obtuvo mayor precipitación acumulada con respecto a los demás municipios, la precipitación que se registró en los municipios de Sonzacate y Nueva Trinidad, en el período de duración de la investigación, fueron precipitaciones esporádicas de la época seca. San Salvador y San Martín, no registraron precipitación. El municipio de San Martín, registró la mayor radiación solar en horas luz; el municipio de Sonzacate registró la menor cantidad de horas luz. La mayor humedad relativa en % se registró en el municipio de San Martín y la mayor duración en días del ciclo biológico, el menor % de humedad relativa se registró en el municipio de Nueva Trinidad (Fig. 6).

Etapa de huevo

En la figura 7, se observa que los municipios de San Salvador y Nueva Trinidad obtuvieron un día de duración en la etapa huevo-larva, con temperaturas máximas de 30.6°C y 36.2°C respectivamente, y mínimas de 21.7 °C para el caso de San Salvador y 23.5 °C para Nueva Trinidad y con humedad relativa de 58% y 59.8%. El municipio de San Martín obtuvo una temperatura máxima de 31 °C y una mínima de 18.9 °C, con una duración de dos días en la etapa ya mencionada.

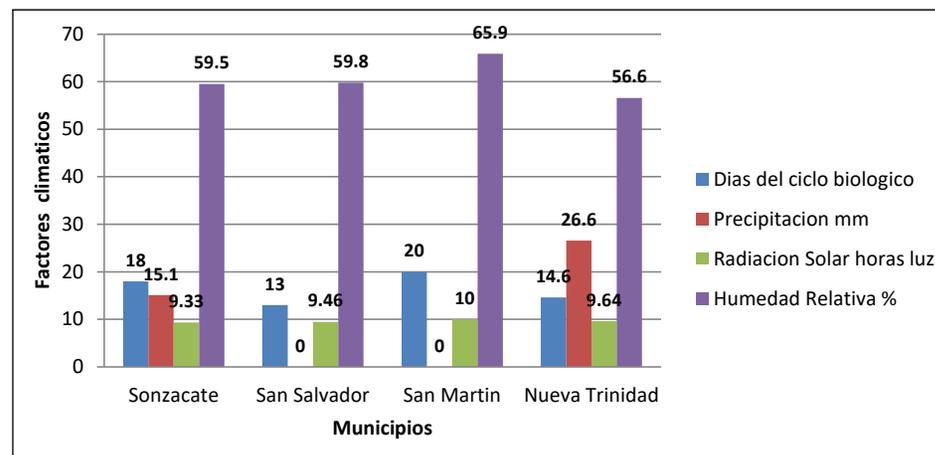


Figura 6. Precipitación, radiación solar, humedad relativa, para las cuatro zonas geográficas.

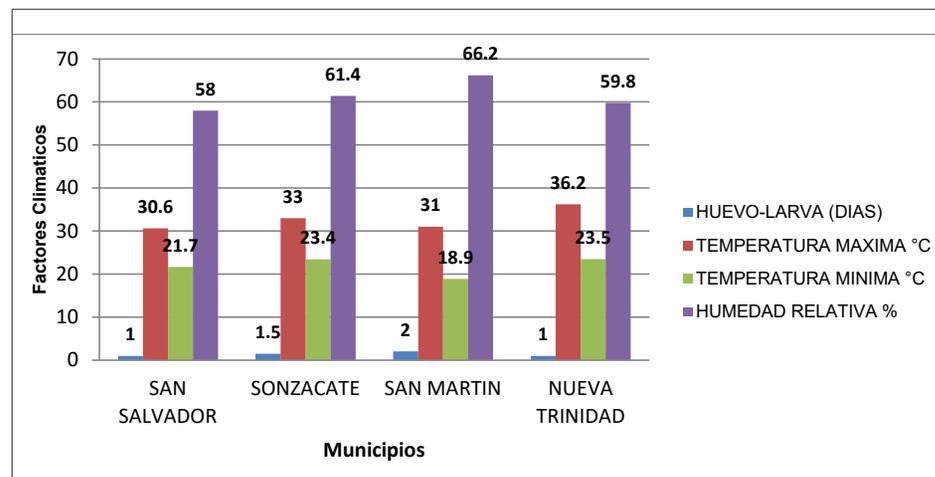


Figura 7. Duración en días de la etapa de huevo-larva en comparación con las temperaturas máximas y mínimas.

Los datos de UNICEF (2010), reportan que para la etapa de huevo tarda 2-3 días en eclosionar, no se compara al resultado promedio de 1.4 días, obtenido en la presente investigación.

Etapa de larva

En la figura 8, se observa que los municipios de San Salvador y Nueva Trinidad obtuvieron el ciclo larva-pupa más cortos, 10 y 11.6 días. El municipio de San Martín con un promedio de duración de 16.5 días para pasar a la etapa de larva-pupa. En el municipio de Nueva Trinidad se registró la menor HR, pero no así el menor número de días de duración de larva a pupa; ya que fue el municipio de San Salvador el que presentó el menor número de días de duración de esta etapa. Moura (2006), obtuvo que para todas las poblaciones, la gama de temperaturas favorable del vector está por encima de 22 °C y por debajo de 32 °C. Esto significa que, temperaturas mínimas menores de 20 °C y humedad relativa al 66% la duración de la etapa de larva se alarga, debido a la influencia en el metabolismo del mosquito ya que ocasiona una lentitud en el desarrollo del mismo.

Mortalidad en la etapa de larva de *Aedes aegypti* L. en relación con la temperatura, humedad relativa y radiación solar

En la figura 9, se observa que el municipio de San Salvador presentó la mayor mortalidad de larvas (87.5%) y el municipio de Nueva Trinidad registró un 60.2%; Sonzacate (81.5%), y San Martín (71.7%), registraron una mortalidad intermedia, y temperaturas máximas entre 30.8 °C y 32.6 °C, y temperatura máxima de 34.9 °C. estos resultados, concuerdan con lo reportado por González *et al.* (1998), quienes bajo condiciones naturales en neumáticos, tuvieron una mortalidad promedio de toda la etapa de larva de 91%, que atribuyeron a tres factores principales: la temperatura ambiental, la naturaleza del medio del cultivo (disponibilidad de alimento), y las características genéticas de la especie. Los datos de la investigación difieren con los del autor, ya que el promedio de mortalidad fue de 75.2 %.

Etapa de pupa

En la figura 10, se observa que el municipio de San Martín obtuvo el menor tiempo promedio de duración de la etapa de pupa al registrar 1.5 días, teniendo como promedio de 64.6% HR, y 9.7 horas luz. El municipio de Sonzacate, registró el promedio más alto para pasar a la etapa de pupa el cual fue de 2.5 días, teniendo un 71.3% de HR y 9.2 horas luz. Los municipios de San Salvador con un promedio de 61.5% de HR, y 10.1 horas luz y Nueva Trinidad con un promedio de 59.6 % y 9 horas luz, tuvieron una duración intermedia de la etapa de pupa con dos días. Los datos de UNICEF (2010), reportan que para la etapa de pupa tarda 2-3 días en convertirse en adulto, lo que se compara al resultado promedio de 2 días, obtenido en la presente

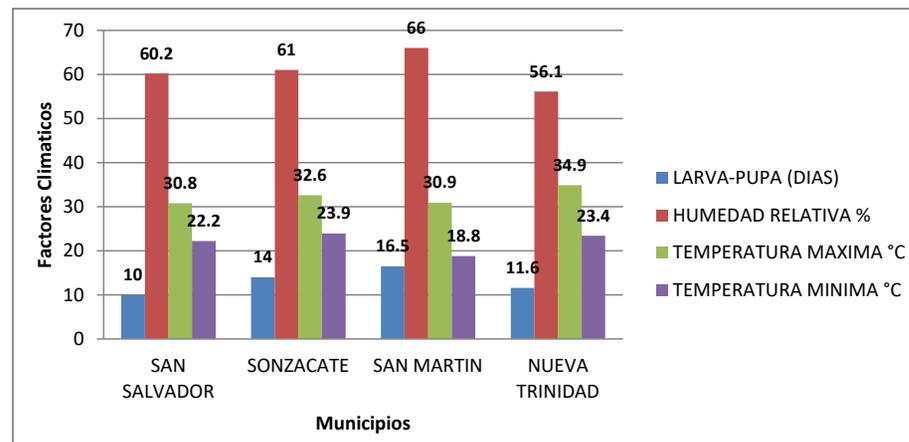


Figura 8. Duración en días de la etapa de larva-pupa junto con las temperaturas máximas y mínimas.

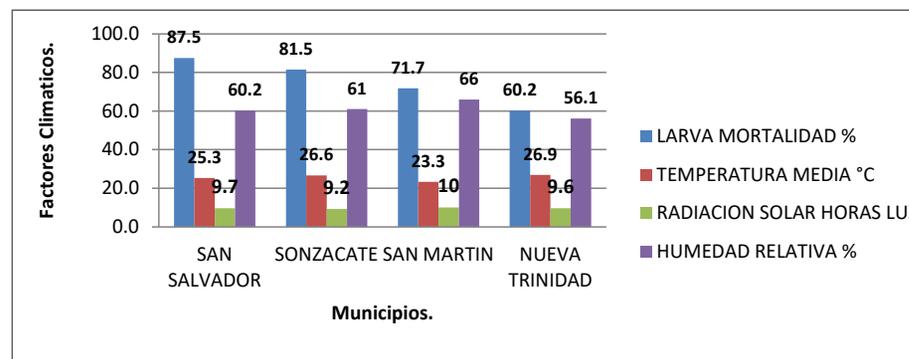


Figura 9. Comparación de la mortalidad con la temperatura, humedad relativa y radiación solar en la etapa de larva.

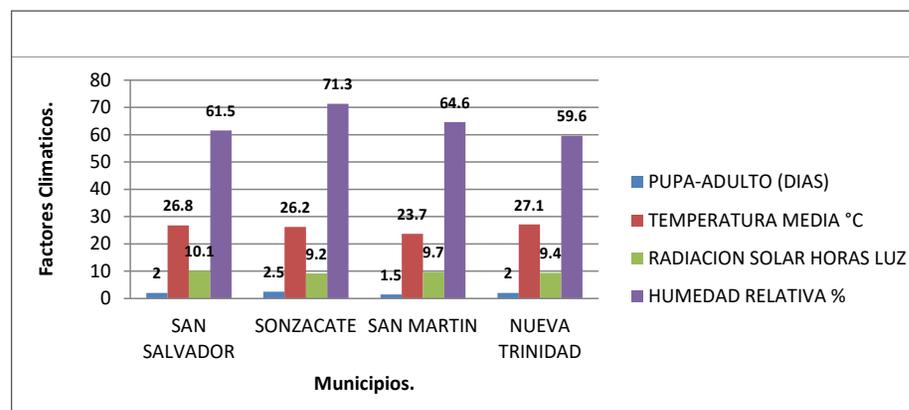


Figura 10. Duración en días de la etapa de pupa en comparación con la humedad relativa, temperatura media y radiación solar.

investigación. Con estos resultados, bajo las condiciones en que se realizó el estudio, pareciera que con una humedad relativa menor al 65%, la duración de la etapa de pupa se acorta, y a humedad relativa mayor al 65%, la duración de la etapa se alarga con la temperatura media entre (26 °C -27.5 °C), por lo tanto la combinación humedad relativa-temperatura media, contribuye en una reducción de tiempo de duración de la etapa de pupa.

Mortalidad y duración en días de la etapa de pupa de *Aedes aegypti* L. en comparación con la humedad, radiación solar y temperatura media

De acuerdo a la figura 11, se observa que el municipio de San Salvador, presentó la mayor mortalidad de pupas (62.4%) con una radiación solar de 10.1 horas luz y humedad relativa 61.5%, con una temperatura de 30.8°C y el municipio de Sonzacate se obtuvo un 49.8% de mortalidad, con radiación solar de 9.2 horas luz y humedad relativa 71.3% y temperatura máxima de 32.6°C. San Martín (58.4%) y Nueva Trinidad (58.1%), registraron una mortalidad intermedia, con 9.7 y 9 horas luz y humedad relativa de 64.6% y 59.6% y temperaturas máximas entre 30.8 °C y 34.9°C respectivamente. Los datos de González *et al.*(1998) bajo condiciones naturales en neumáticos, obtuvieron una mortalidad promedio de la etapa de pupa de 18%; por lo que se difiere con los datos del autor, ya que el promedio de mortalidad en la investigación fue de 57.2%, sin embargo, como ya se ha señalado, no se tomaron en cuenta la calidad de alimento ni la genética de la especie en el presente estudio, por lo que, no solo, la temperatura, humedad relativa, contribuyeron a la alta mortalidad obtenida.

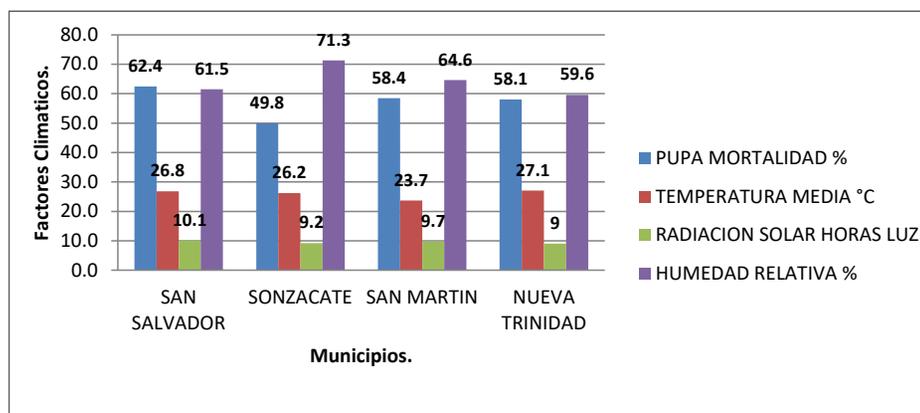


Figura 11. Comparación de la mortalidad de pupa con temperatura media, radiación solar y humedad relativa.

Grados días o unidades térmicas de *Aedes aegypti* L.

Cabe señalar, que se utilizó la temperatura base obtenida por Beserra *et al.* (2006), que fue de 8.5°C, mediante el uso de cámaras bioclimáticas, en la localidad de Brejo dos Santos, ya que son los datos que presentaron mayor coeficiente de regresión (R^2 94.5 %). El dato promedio de constante térmica del ciclo biológico obtenido para las cuatro zonas geográficas fue de 264.1 °C (cuadro 1). Estos datos, son similares a los reportados por Beserra *et al.* (2006) para *A. aegypti* desde la etapa de huevo a adulto en la localidad de Brejo dos Santos, que fue de 273.9 °C, lo que sugiere que los datos tomados tienen confiabilidad para ser usados en los cálculos de la constante térmica, pudiendo variar por factores no contemplados en este estudio.

Cuadro 1. Grados días necesarios para el desarrollo del ciclo biológico de *Aedes aegypti* L

Municipios	Duración en días del ciclo biológico	Temperatura Media °C	Temperatura Base °C	Constante Térmica (GD)
San Salvador	13	24.3	8.5*	205.4
Sonzacate	18	24.5	8.5*	287.9
San Martín	20	23.3	8.5*	296.2
Nueva Trinidad	14.6	26.7	8.5*	265.7
Promedio	16.4	24.6	8.5*	264.1

*Los datos de temperatura base utilizados para el cálculo son de la investigación de Beserra *et al.* (2006)

Análisis de clúster, dendograma de fase de larva y adulto de *Aedes aegypti* L. con relación a los elementos meteorológicos

En la figura 12, se observa que la fase larval de *A. aegypti* está relacionada con la precipitación. Este resultado, coincide con el trabajo de Palis *et al.* (2011), quienes reportaron que la precipitación se correlaciona positivamente con la abundancia de estados inmaduros (larvas) de *A. aegypti*. Por otro lado, se encontró que la fase adulta de *A. aegypti*, está relacionada con la radiación solar (horas luz), esto significa que existe similitud en la cantidad de horas luz, con la cantidad de adultos de *A. aegypti*, por consecuencia también están influenciadas las temperaturas en la fase adulta con relación a la radiación solar conduce también al aumento de la temperatura corporal, intensificación de los procesos metabólicos, como se observa la humedad relativa tiene alta relación con la temperaturas mínimas y máximas resultadas de la investigación.

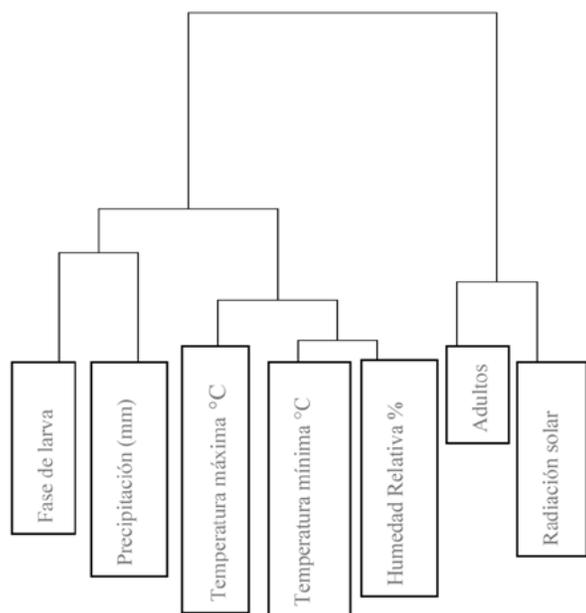


Figura 12. Dendrograma de asociación entre los elementos meteorológicos y la fase de larva y adulto de *A. aegypti*.

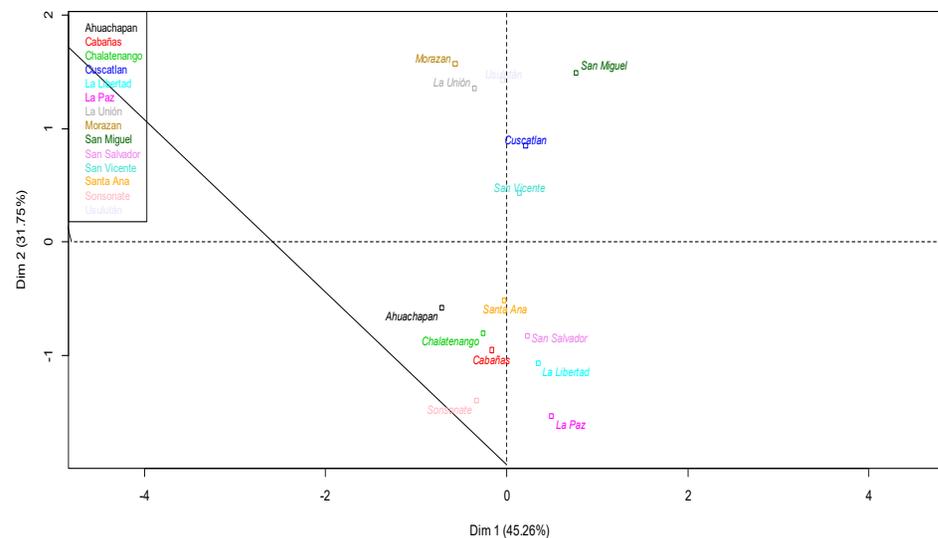


Figura 13. Asociación de los departamentos en relación a los índices entomológicos. Individuals Factor Map (PCA)

Distribución de los departamentos de El Salvador, en relación a los elementos meteorológicos y los índices entomológicos (Breteau, casa, tasa y depósito)

En la figura 13, se observa a los 14 departamentos de EL Salvador relacionados con los índices entomológicos de Breteau, casa, tasa y depósito con los elementos meteorológicos (temperatura máxima, mínima, promedio, precipitación, radiación solar, humedad relativa), la base de datos de los índices entomológicos, fueron proporcionados por el MINSAL (Ministerio de Salud), con el fin de correlacionarlos con los elementos meteorológicos antes mencionados. Los departamentos de San Salvador, Chalatenango, Cabañas, Santa Ana, Sonsonate, La Paz, Ahuachapán y La Libertad se concentran en el mismo grupo (parte inferior), debido a que presentan características similares de elementos meteorológicos (humedad relativa, temperatura mínima, precipitación y mayor índices entomológicos), presentaron una alta correlación entre ellos.

En cuanto a los departamentos de Usulután, San Miguel, La Unión, Cuscatlán, San Vicente y Morazán, se concentran en el mismo grupo (parte superior), debido a que presentaron características parecidas en cuanto a (temperatura máxima, promedio, mínima y menor índices entomológicos), presentaron una alta correlación entre ellos.

Palis *et al.* (2011), reportaron que las temperaturas máximas afectan la sobrevivencia del *A. aegypti* L., lo que conlleva a una disminución de la trasmisión de la enfermedad. En este aspecto, se tienen resultados similares en la presente investigación, puesto que los departamentos de Usulután, San Miguel, La Unión, Cuscatlán, San Vicente, San Miguel y Morazán, registraron la mayor temperatura máxima y el menor índice entomológico, afectando la incidencia de la enfermedad a causa de una disminución en la población del mosquito en estudio y por lo tanto, la caída de los índices entomológicos.

Relación de los elementos meteorológicos con la incidencia de la enfermedad del Dengue

De la figura 14, se deduce que en la relación de la incidencia de la enfermedad del Dengue de las 28 semanas epidemiológicas tomadas en cuenta, con relación a los factores climáticos (temperatura máxima, mínima, humedad relativa, precipitación, radiación solar), la temperatura máxima tiene una relación inversamente proporcional a la incidencia de la enfermedad del Dengue; esto significa que a medida que aumenta la temperatura la incidencia de la enfermedad disminuye el número de casos, lo cual se confirma al analizar los municipios que registraron la más altas temperaturas máximas, quienes reportaron la menor cantidad de casos de la enfermedad. Para el caso del municipio de San Salvador, con una temperatura máxima promedio de 32.4 °C, se reportaron 538 casos de la incidencia de la enfermedad y para el municipio de Jiquilisco, con una temperatura máxima promedio de 36.9 °C, se reportaron 69 casos de la incidencia de la enfermedad. Este resultado, también coincide con los hallazgos de Palis *et al.* (2011), quienes observaron una correlación inversamente proporcional con los casos de Dengue y la temperatura máxima.

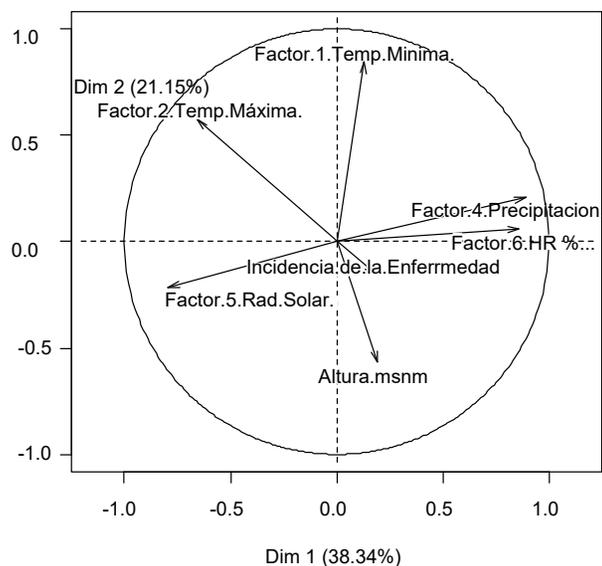


Figura 14. Relación de la incidencia de la enfermedad del Dengue con los elementos climáticos. Individuals Factor Map (PCA)

Los posibles efectos de la temperatura máxima, se podrían traducir en un aumento en la evaporación más rápida de fuentes de agua temporales (Charcas, quebradas, depósitos de agua caseros, etc), con lo cual *A. aegypti*, no alcanza a completar su desarrollo acuático.

Conclusiones

Una disminución en la temperatura, alarga el ciclo biológico de *A. aegypti*, especialmente en las etapas de huevo-larva, larva-pupa.

Para completar su ciclo biológico *A. aegypti* necesita una constante térmica promedio de 264.1 grados día.

La precipitación aumenta el número de larvas de *A. aegypti*

La temperatura máxima, tiene una relación inversamente proporcional con la incidencia de la enfermedad del Dengue.

Recomendaciones

Realizar un estudio de la temperatura base para *A. aegypti* para El Salvador, con el fin de predecir los niveles poblacionales anuales.

Monitorear constantemente los factores climáticos (Temperatura máxima, mínima, precipitación, humedad relativa y radiación solar), para elaborar y ejercer planes de combate del zancudo *A. aegypti*.

Realizar investigaciones en laboratorio para determinar el número de días del ciclo biológico y compararlos con la investigación, ya que se desarrolló en un ambiente no controlado.

Generar un sistema de alerta temprana con respecto a la humedad relativa en combinación con la temperatura, a fin de iniciar medidas de control para *A. aegypti*.

La población debe evitar la acumulación de agua en recipientes por más de 4 días.

Bibliografía

- Agrelo, R.S. 1996. *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus* (Díptera, Culicidae) y su papel como vectores en las Américas (en línea): La Situación De Uruguay. Revista Médica Del Uruguay 12(1): 28-36. Consultado 24 abr. 2014. Disponible en <http://www.rmu.org.uy/revista/1996v1/art5.pdf>
- Beserra, R. Castro, F. Dos Santos, J. Santos, T. Fernandes, C. 2006. Biología e exigencias térmicas de *Aedes aegypti* (L.) (Díptera: Culicidae) provenientes de cuatro regiones bioclimáticas de Paraíba (en línea). Neotropical Entomology. Dic. 2006: 853-860. Consultado el 15-06-2015. Disponible en: <http://www.scielo.com>
- Fernández, M.C. 2008. Aspectos bioecológicos de importancia para el control de *Aedes aegypti* y otros Culícidos en el ecosistema urbano. Tesis Ph.D. La Habana, CU. Instituto de Medicina Tropical Pedro Kouri. 186 p.
- Figuroa, C. López, M. Almendarez, R. 2013. Conducta depredadora de las larvas de *Toxorhynchites* sp. (Díptera: Culicidae) sobre las larvas de *Aedes aegypti*, vector del virus del Dengue. San Salvador, SV. 79 p.
- González, H. Tabla, V. Bernal, S. Saide, P. 1998. Desarrollo, mortalidad y sobrevivencia de las etapas inmaduras de *Aedes aegypti* (Díptera: Culicidae) en neumáticos (en línea). Revisa biomédica. 9:84-91. Consultado el 24-09-2014. Disponible en <http://www.cirbiomedicas.uady.mx/revbiomed/pdf/rb98922.pdf>
- Gualdrón Sánchez, L.J. 2007. Manual de vigilancia entomológica de Dengue, leishmaniasis, chagas, malaria y fiebre amarilla (en línea). CO. 182 p. Consultado el 20 ago. 2016. Disponible en <http://www.orasconhu.org/documentos/Anexo%201412%20%20COL%20M&E%202009.pdf>
- Husson, F. Josse, J. Lê, S. 2008. FactorMineR (en línea). FR. Consultado 10 oct. 2015. Disponible en <https://cran.r-project.org/bin/windows/base/old/3.0.1/R-3.0.1-win.exe>
- Icaza, B.J. 2003. El Mosquito *Aedes aegypti* y el Dengue en México (en línea). Bayer Environmental Science. MX. 152 p. Consultado 24 abr. 2014. Disponible en <http://www.proteccionambiental.com.ar/%5CpdfPlagas%5CLIBRO-J-THIRIO1.pdf>
- MINSAL (Ministerio de Salud, SV). 2014. Boletín epidemiológico de situación de Dengue por la Comisión Especial de Análisis para la Determinación Social de la Salud (CDSS). San Salvador, SV. p.7.
- Moura Fernandes, CR. 2006. Efecto de la densidad, temperatura y calidad del agua en *Aedes aegypti* ciclo de vida Campina Grande – PB. Tesis Mag. Sc. Campina Grande, BR, PRODEMA. 114 p.
- Palis, Y. Pérez, L. Ruiz, M. Comach, G. Márquez, L. 2011. Influencia de las variables climáticas en la casuística de Dengue y la abundancia de *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae) en Maracay, Venezuela. Boletín de malariología y salud ambiental (en línea). VE. Maracay. 15 p. Consultado el 04 nov. 2016. Disponible en http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1690-46482011000200004
- UNICEF (United Nations International Children's Emergency Fund, AR). 2010. Participación social en la prevención del Dengue (en línea). 2: 1-90. Consultado 24 abr. 2014. Disponible en http://www.unicef.org/argentina/spanish/manual_Dengue_2edic_baja.pdf