



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

**Fluctuación espacial y
temporal de *Aedes aegypti*
en el área metropolitana de
Guadalajara, Jalisco;
México**

**Tesis
que para obtener el grado de
Doctor en Ciencias en
Ecofisiología y Recursos
Genéticos**

Presenta

Gerardo Candelario Mejía

La Venta del Astillero, Zapopan, Jalisco

Octubre de 2015



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

Fluctuación espacial y temporal de *Aedes aegypti* en el área metropolitana de Guadalajara, Jalisco; México

Por
Gerardo Candelario Mejia

Doctorado en Ciencias en Ecofisiología y Recursos Genéticos

Aprobado por:

Dr. Antonio Rodriguez Rivas
Director de Tesis e integrante del jurado

Fecha

Dr. Alejandro Muñoz Urias
Co-Director de Tesis e integrante del jurado

Fecha

Dra. Claudia Aurora Uribe Mú
Asesor del Comité Particular e integrante del jurado

Fecha

Dra. Cecilia Neri Luna
Asesor del Comité Particular e integrante del jurado

Fecha

Dr. Ramón Reynoso Orozco
Sinodal externo e integrante del jurado

Fecha

Dr. Francisco Martín Huerta Martínez
Coordinador del DERGE

Fecha

DEDICATORIA

A mi esposa, Luz María Valencia Chávez, mis hijos Areli, Luz Aidé y Erik, por su comprensión y apoyo incondicional

A mis padres Lucio Candelarío Gonzalez (q.e.p.d.) y María de Jesús Mejía Meza por contar siempre con su apoyo

Para mis amigos y compañeros:

- Mtro. Pablo Héctor Castro Medina, cuya ayuda hizo posible la consolidación de este proceso*
- Mtro. Jorge Ulises Kasten Monges, por contar siempre con su apoyo*
- Mtro. Agustín Alva Castillo, por contar con su apoyo durante este proyecto.*

Gracias, muchas

AGRADECIMIENTOS

A todos mis profesores que me brindaron con su esfuerzo y paciencia sus conocimientos y valores

A mi comité particular de tesis.

-Antonio Rodríguez Rivas, por aceptar ser mi director y brindarme el apoyo desde los inicios y durante todo este trabajo.

- Alejandro Muñoz Urias, por su incondicional apoyo durante gran parte de este trabajo, sus valiosos comentarios, sugerencias y su valiosa amistad.

- Francisco Martín Huerta Martínez, por su revisión y oportunos comentarios a lo largo del proyecto.

-Ramón Reynoso Orozco, por su valiosa ayuda, lo cual se tradujo en oportunas y atinadas correcciones a este trabajo.

-Cecilia Neri Luna, por su valioso apoyo y ayuda, durante todas las etapas de este trabajo con sus correcciones, comentarios y sugerencias.

-Claudia Uribe Mú, por su apoyo y ayuda a lo largo del proyecto con sus valiosos comentarios, sugerencias y correcciones durante el mismo.

- Al Dr. Eulogio Pimienta Barrios, por su invitación para participar en este proyecto y por su valiosa ayuda.

- A la Mtra. Sara Gabriela Díaz Ramos, por su apoyo en el laboratorio de Entomología del IMCyP, durante el análisis taxonómico y registro fotográfico.

- Al Dr. Sergio Garcia Ramírez, por su valiosa ayuda en las etapas de este trabajo.

- Al Dr. Gerardo Bernache Pérez, por contar siempre con su apoyo y valiosa amistad.

- Al programa Integral de Fortalecimiento Institucional (PIFI). Por su apoyo para la realización de este proyecto

INDICE

SECCION	PAGINA
1.- Resumen	1
2.-Abstract	2
3.-CAPITULO 1	3
Introducción	3
4.-CAPITULO 2	8
Sistema de Estudio	8
2.1.-Taxonomía de <i>Aedes aegypti</i>	8
2.2.-Ciclo biológico de <i>Aedes aegypti</i>	9
2.3.-Dengue	10
2.3.1.-Historia	10
2.3.2.-Etiología	11
2.3.3.-Epidemiología	11
2.4.-Fiebre amarilla	11
2.4.1.-Etiología	11
2.4.2.-Distribución Geográfica	12
2.4.3.-Reservorio	12
2.4.4.-Vectores	12
2.5.-Fiebre Chikungunya	12
2.5.1.-Agente biológico	13
2.5.2.-Epidemiología	13
2.5.3.-Filogenesis	13
2.5.4.-Ciclos de Transmisión	13
5.- CAPITULO 3	16
Nicho Potencial de <i>Aedes aegypti</i> , en los Estado de Jalisco, Nayarit y Colima; México	16
6.- CAPITULO 4	32
Estudio Observacional de la fluctuación espacial y temporal de <i>Aedes aegypti</i> en el área metropolitana de Guadalajara, México	32
7.- CAPITULO 5	39
Relación densidad de población- abundancia de <i>Aedes aegypti</i> en un contexto urbano	39
8.- CAPITULO 6	48
Conclusiones generales	48

INDICE DE TABLAS	PAGINA
Capitulo 2	
Tabla 2.1 Clasificación sistemática del mosquito <i>A. aegypti</i>	8
Capitulo 3	
Tabla 3.1 Municipios que se encuentran dentro del nicho potencial de <i>A. aegypti</i>	26
Capitulo 4	
Tabla 1 Abundancia y distribución promedio de inmaduros de <i>A.aegypti</i>	35
Tabla 2 Abundancia y distribución promedio durante el periodo 2011 y 2012 de inmaduros de <i>A.aegypti</i>	35
Tabla 3 Diferencias e interacciones con respecto a la abundancia de y entre variables	36
Tabla 4 Efecto sobre la abundancia de las variables abióticas, mediante análisis de Devianza	36
Tabla 5 Diferencias entre localidad y mes en el periodo 2011 y 2012	37
Capitulo 5	
Tabla 5.1. Sitios de muestreo, Densidad poblacional y Registros de abundancia de <i>A.aegypti</i> (En la Zona Metropolitana de Guadalajara)	41
Tabla 5.2. Porcentaje de varianza a partir del análisis de devianza	43

INDICE DE FIGURAS

Capitulo 2	
Figura 2.2 Ciclo biológico del <i>A. aegypti</i>	9
Figura 2.3 Ciclos de transmisión de fiebre amarilla	12
Figura 2.4 Ciclos de transmisión del virus Chikungunya	13
Capitulo 3	
Figura 3.1 Algunos sitios de colecta de <i>A.aegypti</i> , en la República Mexicana	19
Figura 3.2 Desempeño del modeloMaxent (valores AUC)	21
Figura 3.3. Prueba Jackknife para <i>A. aegypti</i>	22
Figura 3.4 (A-C). Respuesta de la especie <i>A. aegypti</i> a las variables: Temperatura media anual (bio1); Temperatura promedio del trimestre más frío (bio11) y Temperatura mínima del mes más frío (bio6)	24
Figura 3.5 Nicho potencial de <i>A. aegypti</i> para los estados de Jalisco, Nayarit y Colima; México	25
Capitulo 4	
Figura 2 Abundancia y distribución promedio de inmaduros en 2011, considerando el periodo mas cálido de mayo a septiembre	36
Figura 3 Abundancia y distribución promedio de inmaduros en 2012, considerando el periodo mas cálido de mayo a septiembre	36
Figura 1 Sitios de muestreo (Ubicación geográfica de la Zona metropolitana de Guadalajara)	34
Capitulo 5	
Figura 5.1. Distribución de abundancias de inmaduros de <i>A. aegypti</i> , obtenido a partir del Modelo lineal Generalizado (GLM)	42

1.-RESUMEN

El dengue clásico y hemorrágico es un problema de Salud pública en México. Se transmite por el vector *Aedes aegypti*. En la última década han sucedido en México incrementos de casos de la enfermedad especialmente del tipo hemorrágico, por lo tanto se ha convertido en una necesidad el desarrollo de investigación sobre la biología del vector. Por lo cual el presente trabajo plantea investigar algunas probables causas que originan sus patrones de distribución y abundancia, por lo que se plantean los siguientes objetivos: a) Predecir mediante el uso del modelo MAXENT, el nicho potencial de *A.aegypti*, en los estados de Jalisco, Nayarit y Colima; México. b) Estimar las fluctuaciones espacio temporales entre 2011 y 2012, en una parte del contexto urbano de la Zona metropolitana de Guadalajara, México. c) Relacionar la abundancia de estadios inmaduros de *A.aegypti*, con la densidad poblacional, de algunos sitios de la ZMG.

Resultados en el análisis de modelado, revelaron que el nicho potencial para *A. aegypti* se distribuye no solo por toda la costa de Jalisco, sino también Nayarit y Colima, así como los cauces de los ríos Ameca, Tomatlán y Santiago. En Jalisco una parte de la región centro del estado, presenta también condiciones favorables para la especie destacándose la cuenca del río Santiago en la parte conocida como “la barranca huentitan-oblatos” cuya área de influencia comprende a la ciudad de Guadalajara y los municipios conurbados: Tlaquepaque, Tonalá, Zapopan, El Salto y Juanacatlán.

También se determinó la distribución en espacio y tiempo de inmaduros de *A. aegypti*, durante 2011 y 2012, mediante el método de ovitrampas. Se consideraron ocho sitios de muestreo distribuidos en cuatro municipios de la zona metropolitana de Guadalajara Jalisco, México; algunos de estos sitios estuvieron aledaños a espacios domésticos, otros en parques y camellones. Variables como: temperatura, humedad relativa, precipitación pluvial, sitio, mes y año, se consideraron en este trabajo. Un modelo lineal generalizado basado en distribución Poisson fueron empleados en el análisis de los datos. Se encontró entre mayo y septiembre de 2011 y 2012, diferencias estadísticamente significativas en abundancias promedio por ovitrampa con respecto a sitios, meses y años, así como interacciones entre estas variables. Las mayores abundancias fueron a nivel doméstico. En mayo se obtuvieron las mayores abundancias.

Diciembre, Enero y Febrero tuvieron abundancias nulas. Marzo representó el inicio de registros. La temperatura media mínima fue la variable con mayor devianza.

Otros resultados obtenidos en el presente trabajo, mostraron abundancias altas de estadios inmaduros en los sitios con cifras iguales o superiores a 300 habitantes en un radio de 100 m, en comparación con los sitios de menor densidad poblacional. La extensión geográfica de *A. aegypti*, parece estar vinculado con la densidad poblacional de sus hospedero, por lo que, encontrándose relacionado con los asentamientos humanos, tanto urbanos, suburbanos y rurales.

2.-ABSTRACT

The classic and hemorrhagic dengue is a public health problem in Mexico. It is transmitted by the *Aedes aegypti*. In the last decade there have been increases in Mexico of cases of the disease especially the hemorrhagic type, therefore it has become a necessity to develop research on the biology of the vector. Therefore this paper presents investigate some probable causes of their patterns of distribution and abundance, so that the following objectives: a) Predict using MAXENT model, the potential niche of *A. aegypti* in the states Jalisco, Nayarit and Colima; Mexico. b) Estimate spatiotemporal fluctuations between 2011 and 2012 in a part of the urban context of the metropolitan area of Guadalajara, Mexico. c) Relate the abundance of immature stages of *A. aegypti*, the population density of some sites the Guadalajara Metropolitan Area.

Results of modeling analysis revealed that the potential for *A. aegypti* niche is distributed not only along the coast of Jalisco, Nayarit and Colima but also, and the beds of rivers Ameca, Tomatlán and Santiago. In Jalisco a part of the central region of the state, also has favorable conditions for the species highlighting the Santiago river basin in the part known as the "Canyon Huentitan-Oblates" whose area of influence includes the city of Guadalajara and neighboring municipalities : Tlaquepaque, Tonalá, Zapopan, El Salto and Juanacatlán.

We also determined the distribution in space and time of immature *A. aegypti*, in 2011 and 2012, by the method of ovitraps. Sampling eight sites in four municipalities of the metropolitan area of Guadalajara Jalisco, Mexico were considered; Some of these sites were adjacent to domestic spaces, others in parks and medians. Variables such as temperature, relative humidity, rainfall, place, month and year, were considered in this work. A generalized linear model based endistribución Poisson were used in the analysis of the data. It was between May and September 2011 and 2012, statistically significant differences in average per ovitrap abundances regarding sites, months and years, as well as interactions between these variables. The highest abundances were domestically. In May the highest abundances were obtained. December, January and February were zero abundances. March represented the beginning of records. The minimum average temperature was the variable most deviance.

Other results of this study showed high abundances of immature stages in places with equal or higher numbers 300 inhabitants in a radius of 100 m, compared with sites of lower population density. The geographical spread of *A. aegypti*, appears to be linked with the population density of their host, so, being associated with both urban, suburban and rural human settlements.

CAPITULO 1

INTRODUCCION

Aedes aegypti un díptero cosmopolita de la familia *Culicidae*, que se distribuye entre los 40° Latitud Norte y 40° Latitud Sur; se reconocen dos subespecies *Aedes aegypti formosus* que sólo se distribuye en África y se caracteriza por ovopositar principalmente en los huecos de árboles y *Aedes aegypti aegypti*, la cual se distribuye en las regiones tropicales y subtropicales de todo el planeta y muestra preferencia de oviposición en recipientes artificiales asociados con hábitats humanos (Tabachnick, 1991).

A. aegypti fue introducido de manera accidental al continente americano a través del tráfico de esclavos desde África (Uribe, 1983). Este díptero es portador de dengue, dengue hemorrágico, chikungunya y fiebre amarilla, de ahí su importancia en la salud humana (WHO, 1997; Castillo, 2010; Vega-Rúa, *et al.* 2014). El dengue es reconocido como entidad clínica hace aproximadamente 200 años (Uribe, 1983). Y es hasta 1947 cuando se aprueba la resolución de controlar en este caso la fiebre amarilla a través de la erradicación de *A. aegypti* por la Oficina Sanitaria Panamericana, logrando una disminución significativa de estas enfermedades (Kerr, *et al.* 1964). En México; fue hasta la primera mitad del siglo pasado cuando se registraron los primeros casos de dengue (Ibañez y Gómez, 1995). Después de intensas campañas contra *A. aegypti*, México obtiene su certificado de erradicación en 1963 (Badii y Landeros, 2007). El reingreso de *A. aegypti* y por consiguiente afectaciones de dengue se presentó a finales de los años setenta, extendiéndose por todo el país, (Cenavece, 2013), su comportamiento epidemiológico ha mostrado un perfil irregular con incrementos y disminuciones de las tasas anuales de morbilidad (Narro-Robles y Gómez-Dantès, 1995), en el transcurso de la última década sucedió un incremento de casos, especialmente del tipo hemorrágico, registrándose dos picos; uno en 2007 y otro en 2009 (Cenavece, 2011). Por su parte la fiebre chikungunya (CHIK) enfermedad viral transmitida al ser humano también por *A.aegypti*, se presentó en México por primera vez en el municipio de Tlajomulco de Zuñiga, Jalisco en Mayo de 2014 (Rivera-Avila, 2014).

A partir de la segunda década del siglo XX, se han incrementado en América latina las investigaciones relacionadas con la familia culicidae, desde entonces la información taxonómica y biogeográfica de los culícidos distribuidos en el territorio nacional se ha ido complementando paulatinamente (Ibáñez-Bernal, 1996). Estudios sobre variaciones genéticas en *A. aegypti*, (Bennette, *et al.* 2002), han hecho posible conocer algunos aspectos de su distribución geográfica dentro de un rango latitudinal que va desde los 14° 54' 00" en la ciudad de Tapachula, Chiapas y hasta los 29° 04' 00" en la ciudad de Hermosillo, Sonora.

Estudios biogeográficos, permiten conocer la distribución de los seres vivos en espacio y tiempo, por lo que diversos patrones de distribución son descifrados a partir de áreas inferidas mediante datos puntuales, no obstante estas áreas pueden ser subestimadas por ello, dichos datos son utilizados para generar modelos de nicho ecológicos (Iloldi y Escalante, 2008). Existe una gran necesidad de mejorar aspectos de planeación tendientes a controlar a los mosquitos vectores, por lo que los modelos de nicho ecológico (MNE) pueden ser usados para interpolar y descubrir áreas no documentadas de hábitats de esta especie (DeGroot, *et al.* 2008).

El estudio de la dinámica poblacional de *A. aegypti* en diversas localidades dentro del contexto urbano es importante considerando que éste puede variar de acuerdo a las particularidades de cada localidad (Rodhany Rosen, 1997). En relación con ello, diversas investigaciones sobre fluctuaciones estacionales de *A. aegypti*, en zonas urbanas se desarrollan en ciudades como la ciudad de Resistencia, al sureste de la provincia del Chaco en Argentina, en donde la mayor abundancia, estuvo asociada al periodo de mayores precipitaciones y temperatura (Stein, *et al.* 2005).

A nivel de análisis espaciales en ciudades, los factores como son las condiciones de relieve del terreno, grados de urbanización, proliferación de criaderos, así como la existencia de vías de comunicación, son elementos que favorecen la distribución de *A. aegypti* (De la Mora, *et al.* 2010; Niño, 2011; Marquetti –Fernández, *et al.* 2014). Para ello la implementación de metodologías de vigilancia que localicen los focos de infestación, son de gran importancia ya que permiten estimar la abundancia vectorial de forma continua en el espacio a partir del recuento de individuos colectados en una determinada área de estudio (Niño, *et al.* 2011).

Otro factor de gran importancia que influye en la biología de *A. aegypti*, es la disponibilidad de huéspedes; a este respecto cabe señalar por una parte la importancia del ser humano en las áreas urbanas como huésped importante en sus hábitos de

alimentación, y por la otra, el riesgo de transmisión en función de la distribución y condiciones de hacinamiento en los espacios urbanos. En relación con ello, algunos municipios del estado de Jalisco, y particularmente algunos de la Zona Metropolitana de Guadalajara, presentan condiciones climáticas, demográficas y de desarrollo propicias para este vector; por lo que el objetivo de este trabajo consistió en: a) Predecir mediante el uso del modelo MAXENT, el nicho potencial de *A. aegypti*, en los estados de Jalisco, Nayarit y Colima; México. b) Estimar las fluctuaciones espacio temporales entre 2011 y 2012, en una parte del contexto urbano de la Zona metropolitana de Guadalajara, México; considerando algunas variables locales de carácter abiótico. c) Relacionar la abundancia de estadios inmaduros de *A. aegypti*, con la densidad poblacional, de algunos sitios de la ZMG.

LITERATURA CITADA

Badii M. y Landeros J. 2007. Ecology and history of dengue in Americas. Daena: International Journal of Good Conscience. 2(2): 248-273. ISSN 1870-557X. www.daenajournal.org

Bennett KE, Olson KE and Muñoz ML. 2002. Variation in vector competence for dengue 2 virus among 24 collections of *Aedes aegypti* from Mexico and The United States. The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene 67(1): 85–92.

Castillo MA. 2010. Vinculación Transdisciplinaria para la prevención y el control del Dengue, p.15-37. En: Castillo M A, (ed). Enfrentar el Dengue, Vinculación Transdisciplinaria para su Prevención, Vigilancia, Diagnóstico, Tratamiento y Control. Universidad de Guadalajara, México.

CENAVECE: Centro Nacional de Vectores y Control de Enfermedades. 2007-2012. Programa de acción específico dengue. [En línea] (Revisado: junio2013) <http://www.cenave.gob.mx/progaccion/dengue.pdf> .

CENAVECE: Centro Nacional de Vigilancia Epidemiológica y Control de Enfermedades [Sitio web]. 2010. Panorama semanal epidemiológico dengue Semana 52. [Consultado el 20 de mayo de 2011]. Disponible en <http://www.dgepi.salud.gob.mx/denguepano/dengue-2009.html>

- De la Mora-Covarrubias A, Jiménez-Vega Florinda y Treviño-Aguilar SM. 2010. Distribución geoespacial y detección del virus del dengue en mosquitos *Aedes (Stegomyia) aegypti* de Ciudad Juárez, Chihuahua, México. *Salud Pública de México* 52(2), 127-133.
- DeGroot JP, Sugumaran R, Brend SM, Tucker BJ and Bartholomay LC. 2008. Landscape, demographic, entomological, and climatic association with human incidence of West Nile virus in the state of Iowa, USA. *International Journal of Health Geographics* 7(1), 19.
- Ibáñez BS y Gómez DH. 1995. Los vectores del dengue en México: una revisión crítica. *Salud Pública de México* 37(1):53-63.
- Ibáñez-Bernal S, Strickman D y Martínez-Campos C. 1996. Culicidae (Diptera) p. 591-602. En: Llorente-Bousquets J.E., García-Aldrete AN y González-Soriano JE. (Eds.) Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de Artrópodos de México: Hacia una Síntesis de su Conocimiento, Vol. I. Facultad de Ciencias, UNAM, CONABIO y BAYER. México, D.F.
- Iloldi-Rangel P y Escalante T. 2008. De los modelos de nicho ecológico a las áreas de distribución geográfica. *Biogeografía* 3:7-12.
- Kerr JA, Camargo SD and Abedi ZH. 1964. Erradication of *Aedes aegypti* in Latin America. *Journal of the American Mosquito Control Association* 24:276-82.
- Marquetti-Fernández MdeC, Fuster-Callaba C, y Martín-Díaz I. 2014. Distribución espacial y temporal de los sitios de cría de *Aedes albopictus* y *Aedes aegypti* (Diptera: culicidae) en Pinar del Río, Cuba. *Revista Biomedica* 25: 54-67.
- Narro-Robles J y Gómez-Dantés H. 1995. El dengue en México: un problema prioritario de salud pública. *Salud Pública de México* 37(1):12-20.
- Niño L. 2011. Interpolación espacial de la abundancia larval de *Aedes aegypti* para localizar focos de infestación. *Revista Panamericana de Salud Pública* 29(6): 416-422.

- Rivera-Avila RC. 2014. Fiebre chikungunya en México: caso confirmado y apuntes para la respuesta epidemiológica. *Salud Pública de México* 56(4): 402-404.
- Rodhain F y Rosen L. 1997. Mosquito vectors and dengue virus-vector relationships, p. 45-61. In: Gubler DJ and Kuno G, (ed). *Dengue and dengue hemorrhagic fever*. Cambridge University, Cambridge, Inglaterra.
- Stein M, Oria GI, Almirón WR, y Willener JA. 2005. Fluctuación estacional de *Aedes aegypti* en Chaco, Argentina. *Revista de Saúde Pública* 39(4): 559-564.
- Tabachnick WJ. 1991. Evolutionary genetics and arthropod-borne disease: the yellow fever mosquito. *American Entomologist* 37: 14-24.
- Uribe LJ. 1983. El Problema del Control de *Aedes aegypti* en América. *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana* 94(5):473-481.
- Vega-Rúa A, Zouache K, Girod R, Failloux AB and Lourenço-de-Oliveira R. 2014. High level of vector competence of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* from ten American countries as a crucial factor in the spread of Chikungunya virus. *Journal of Virology* 88: 6294–6306.
- WHO: World Health Organization. 1997. *Vector Control; methods for use by individuals and communities*. World Health Organization, Geneva, Italy. p. 397.

CAPITULO 2. SISTEMA DE ESTUDIO

El orden Diptera comprende la mayoría de los insectos llamados moscas y se encuentra entre los órdenes de insectos con mayor número de especies. En México, el número de géneros y especies de mosquitos registrados son más de 250; algunos de ellos pican al hombre en sus casas y aunque no transmiten dengue, pueden ser vectores de otras enfermedades como paludismo, virus del oeste del Nilo, encefalitis equinas de Venezuela etc. (Darsie, 1995)

2.1 Taxonomía de *A. aegypti*

Aedes aegypti, es un insecto díptero perteneciente al suborden *Nematóceras*, dentro de la familia *Culicidae*, donde se encuentran los mosquitos hematófagos (Tabla 2.1). El género es *Aedes*, el subgénero *Stegomyia* y la especie es *aegypti*, descrita por Linneo hace varios siglos. Su clasificación sistemática lo ubica dentro del orden Díptera que comprende la mayoría de los insectos llamados moscas, pero opuestamente a esta idea, es de los órdenes con mayor número de especies (Darsie, 1995).

Tabla 2.1. Clasificación sistemática del mosquito *A. aegypti* Fuente: Fernández I. (2009). Biología y Control de *Aedes aegypti*

Orden	Diptera
Suborden	<i>Nematóceros</i>
Familia	<i>Culicidae</i>
Subfamilia	<i>Culicinae</i>
Tribus	<i>Culicini</i>
Género	<i>Aedes</i>
Subgénero	<i>stegomyia</i>
Especie	<i>aegypti</i>

2.2 Ciclo biológico de *A. aegypti*

Los cambios morfológicos que tiene que experimentar *A. aegypti* a través de toda su vida son complejos, el hecho de tener que vivir en el agua cierto tiempo y luego desplazarse al ambiente aéreo requieren desde aparatos bucales diferentes (masticador como larva y picador chupador como adulto hembra) hasta formas de locomoción

totalmente opuestas; movimientos natatorios de su cuerpo en el agua y presencia de un par de alas para vuelo horizontal, vertical y a diferente velocidad (Chapman, 1982).

Las fases del ciclo de vida de *A. aegypti* son: huevo, larva (cuatro mudas con sus cuatro estadios respectivos), pupa y adulto diferenciado en sexos como macho y hembra (Figura 2.2) Los insectos que presentan las cuatro fases mencionadas durante su metamorfosis son llamados holometábolos (Chapman, 1982).

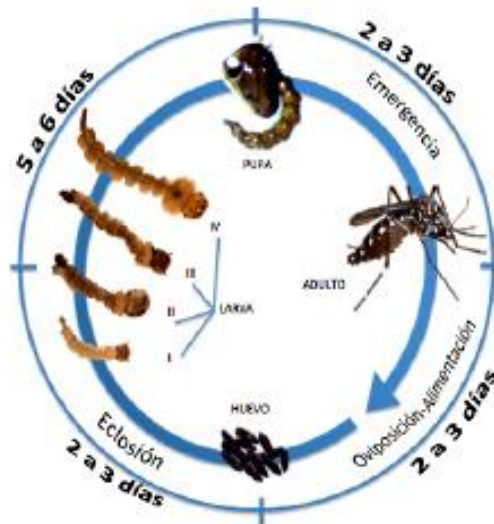


Figura 2.2. Ciclo biológico del *Aedes aegypti* Fuente: Cenaprece (2014).

La etapa de huevo es el principal mecanismo a través del cual *A. aegypti* se ha dispersado de ciudad en ciudad y de país en país en América Latina. Su capacidad para soportar desecación por semanas, meses y a veces años, adheridos a llantas usadas que se comercian de una región a otra, es el mejor ejemplo para describir el proceso de infestación y aumento de su dispersión geográfica. Por otra parte, la cantidad de huevos, el mecanismo que utiliza el vector para poner sus huevos, así como el comportamiento de oviposición parcial de la hembra, sin duda son de importancia para definir las áreas de riesgo y acciones de control (Clemens, 1992; Christophers, 1960).

Con respecto a la etapa larval, el tamaño de una hembra de *A. aegypti* adulta está relacionado con su vida larval y disponibilidad que tuvo de alimento. Entre mayor tamaño de cuerpo, serán potencialmente mejores transmisores de los virus del dengue, pues ingerirán mayor volumen de sangre al picar y su longevidad podrá ser mayor. Investigaciones sobre la abundancia de estadios larvarios en patios e interiores de las casas conducirán a concentrar las medidas de prevención y control sobre los criaderos de mayor impacto en la transmisión de dengue (PAHO, 1994).

La etapa pupal, tiene un significado importante en el estudio de los criaderos de *A. aegypti*, por un lado representa que el mosquito fue capaz de sobrevivir desde huevo hasta esta etapa, y esto es trascendente pues se estima que la mortalidad diaria desde huevos hasta adultos es de 5% (Chapman, 1982).

En fase adulta la dieta del macho será de carbohidratos básicamente y su función será de copular e inseminar a la hembra (Christopher, 1960), por su parte la hembra adulta para producir sus huevos debe alimentarse de sangre, y la toma de su fuente más inmediata es el hombre; investigaciones han comprobado que mas del 90% de la sangre ingerida corresponde a sangre humana (Scott, *et al.* 1993).

2.3 Dengue

2.3.1 Historia

El término "dengue" se originó en América entre 1827 y 1828, a raíz de una epidemia en el Caribe que se caracterizaba porque los pacientes experimentaban fiebre, artralgias y exantema. Los esclavos provenientes de África identificaron a esta entidad patológica como dinga o dyenga, homónimo del swahili "Ki denga pepo" que significa ataque repentino (calambre o estremecimiento) provocado por un "espíritu malo" (Leiva, *et al.* 2004), sin embargo el reporte más antiguo de esta enfermedad data de la enciclopedia China de síntomas de las enfermedades y remedios, publicada por primera vez durante la Dinastía Chin (265-420 D.C). Esta enfermedad fue llamada por los chinos como "agua venenosa" y ellos pensaban que de algún modo estaba conectada con insectos voladores asociados al agua (Gubler, 1998).

2.3.2 Etiología

El virus del dengue (VD), pertenece al género de los Flavivirus (del latín Flavius o Amarillo), familia Flaviviridae un grupo de más de 68 agentes virales transmitidos por artrópodos o zoonóticamente y de los cuales por lo menos 30 causan enfermedad en el hombre (Cruz-Cubas y Rolland-Burger, 2002). Tanto el dengue clásico (DC), el dengue hemorrágico (DH) como el síndrome de choque por dengue (SCD) son causados por el virus del dengue (VD), un virus ARN positivo unicatenario el cual posee cuatro serotipos vinculados antigénicamente conocidos como serotipos dengue 1, 2, 3, y 4 (Vaughan, *et al.* 2002).

2.3.3 Epidemiología

Antes de 1960 el DC y 1981 su forma más grave el DH, estaban considerados como problemas de salud pública del continente asiático que no amenazaban la región de las Américas (OPS, 2000). Durante la década de los sesenta, dos grandes epidemias azotaron principalmente las islas caribeñas de Jamaica, Puerto Rico, Antillas Menores, y Venezuela, la primera, ocurrió en 1963 causada por el dengue 3, mientras que la segunda se produjo entre 1968 y 1969 principalmente por dengue 2, aunque también se aisló dengue 3 (Ehrenkranz, 1971). En la década de los setenta, estos dos serotipos se expandieron a Colombia en donde causaron grandes brotes epidémicos (Grott, 1980). En 1977 el dengue 1 fue introducido en las Américas; detectado originalmente en Jamaica, posiblemente importado desde Africa, produjo severas epidemias en las Islas Caribeñas, Venezuela, Colombia, Guyanas, Surinam, Honduras, El Salvador, Guatemala, Belice, llegando a México a fines de 1978. En 1981 surgió el dengue 4 en las Américas el cual se correlacionó con brotes leves de DC en el Caribe, México y Venezuela (Pinheiro, 1989).

2.4 Fiebre amarilla

La Fiebre Amarilla (FA) es una enfermedad viral, febril, aguda que se presenta en África, Caribe y América Central y del Sur. En humanos se caracteriza por insuficiencia hepática y renal que pueden llevar a la muerte, con una letalidad mayor que 50% (OPS, s/f).

2.4.1 Etiología

Virus de la Fiebre Amarilla, es un arbovirus del género *Flavivirus*, familia *Flaviviridae*. Existen dos tipos, silvestre (FAS) y urbana (FAU) (OPS s/f).

2.4.2 Distribución Geográfica

La fiebre amarilla es una zoonosis prevalente en algunas zonas tropicales de Sur America y África, con altas tasas de mortalidad (OPS, s/f).

2.4.3 Reservorio

En la Fiebre Amarilla Silvestre (FAS) los primates son los reservorios principales (*Alouatta guariba*; *Cebus macaco prego*; *Callithrix agüi*), siendo el humano un huésped accidental. En la Fiebre Amarilla Urbana (FAU), el humano es el reservorio de mayor importancia epidemiológica (OPS, s/f).

2.4.4 Vectores

En la FAS los vectores son mosquitos de las especies *Haemagogus* y *Sabethes*. En la FAU el principal vector es la especie *Aedes aegypti* (Figura 2.3) (OPS, s/f).

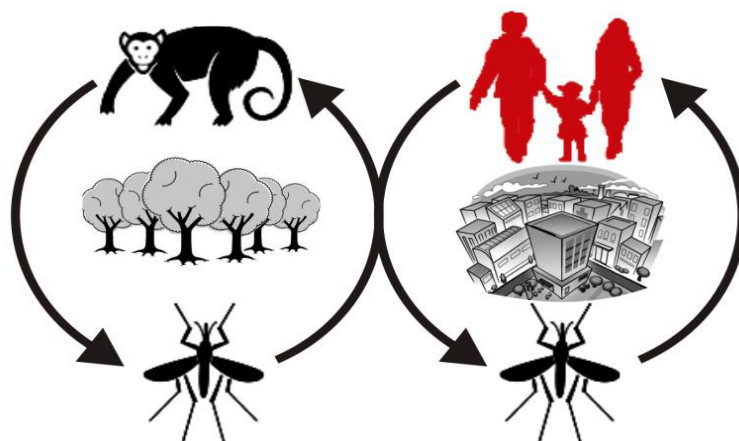


Figura 2.3. Ciclos de transmisión de fiebre amarilla Fuente: Guía de Campo para la Vigilancia – Fiebre Amarilla s/f

2.5 Fiebre Chikungunya

La fiebre Chikungunya se ha expandido explosivamente a varias regiones del mundo en las cuales no existía anteriormente y se ha convertido en una enfermedad emergente a nivel global (Caglioti, *et al.* 2013).

2.5.1. Agente biológico

El agente etiológico es el virus Chikungunya (CHIKV). Es un Arbovirus miembro del género *Alphavirus*, perteneciente a la familia *Togaviridae*, constituido por una cadena simple de RNA de polaridad positiva, que codifica para 4 proteínas no estructurales (nsP1-4) y 3 estructurales (C, E1-2) (Caglioti, *et al.* 2013).

2.5.2 Epidemiología

Este virus fue aislado por primera vez, en 1952, de un paciente en Tanzania, África. Se han documentado múltiples epidemias tanto en África como en el sudeste asiático (Burt,

et al. 2012). Desde diciembre del 2013 se revelan casos en las Américas, particularmente en el área del Caribe (Staples, *et al.* 2009). Otros reportes confirman mas casos donde incluyen a la America del Norte, la Central y la del Sur (PAHO/WHO, 2014).

2.5.3 Filogénesis

Se han reconocido 3 genotipos del virus: el asiático, el africano oeste y el africano este-central-sur. Actualmente se reconoce que a nivel de América, el genotipo que está predominando es el genotipo asiático (Tsetsarkin, *et al.* 2011).

2.5.4 Ciclos de transmisión

Se reconoce la existencia de 2 ciclos de transmisión el selvático/enzoótico y el urbano epidémico/endémico (Figura 2.4) (Pialoux, *et al.* 2007).

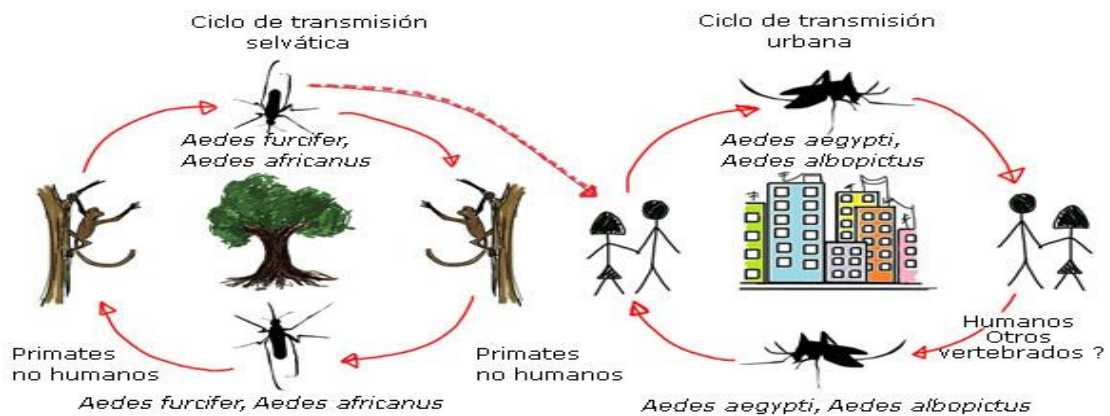


Figura 2.4. Ciclos de transmisión del virus Chikungunya
Fuente: Martínez Fernández y Torrado Navarro 2015

LITERATURA CITADA

Burt FJ, RolphMS, Rulli NE, Mahalingam S, Heise MT.2012.Chikungunya: a re-emerging virus. Lancet; 379(9816):662-71. Epub 2011/11/22.

Caglioti C, Lalle E, Castilletti C, Carletti F, Capobianchi MR, Bordi L.2013. Chikungunya virus infection: an overview. The New Microbiologica.; 36(3):211-27. Epub 2013/08/06.

CENAPRECE: Centro nacional de programas preventivos y control de enfermedades [Internet]. 2014. Disponible en <http://www.cenaprece.salud.gob.mx/programas/interior/vectores/dengue/vector.html>

Chapman RF. 1982. The insects: structure and function. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.

Christophers SR. 1960. *Aedes aegypti* (L.)The yellow fever mosquito. Its life history, bionomics and structure. University Press, Cambridge.

Clemens AN. 1992. The biology of mosquitoes.Chapman and Hall, London recapture y utilización de ovitrampas pegajosas, en Guadalupe, Nuevo León, México. Tesis inédita, Maestría Entomología Médica FCB, Universidad Autónoma de Nuevo León. PP. 58.

Cruz Cubas A, Rolland-Burger L.2002. El virus del dengue. Diagnóstico; 41(4): 165-172.

Darsie RF.1995. Revised list of the mosquitoes of México. Journal American Mosquito Control Association 11 (3): 348.

Ehrenkranz NJ.1971. Pandemic dengue in Caribbean countries and the southern United States – past, present and potential problems. The New England Journal of Medicine; 285: 1460-1469.

Grott H.1980. The reinvasión of Colombia by *Aedes aegypti*: aspects to remember. American Journal of Tropical Medicine and Higiene; 29:330-339.

Gubler DJ. 1998. Dengue and dengue hemorrhagic fever. Clin Microbiol Rev; 11(3): 480–496.

Leiva CH, Castro O, Parra JL. 2004. Aspectos clínicos del Síndrome del dengue con manifestaciones hemorrágicas en pediatría. Diagnóstico; 43(1):23-27.

Martínez Fernández Liodelvio, Torrado Navarro YeimyPaola. 2015. Fiebre Chikungunya. Rev cubana med [revista en la Internet]. 2015 Mar [citado 2015 Sep 07]; 54(1):74-96.Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75232015000100008&lng=es.

OPS: Organización Panamericana de la Salud. Boletín epidemiológico 2000; 21(4).

OPS: Organización Panamericana de la Salud. Salud Pública Veterinaria. Centro Panamericano de Fiebre Aftosa. “Fiebre Amarilla. Guía de campo para la vigilancia”. Documento on line.

PAHO. 1994. Dengue and Dengue Hemorrhagic fever in the Americas: Guidelines for prevention and control. Scientific publication.no. 548, PAHO, Washington, D. C.

PAHO/WHO. 2014. Number of Reported Cases of Chikungunya Fever in the Americas, by Country or Territory with Autochthonous Transmission 2013-2014 (to week noted). EpidemiologicalWeek/EW 28 (Updated 11 July 2014). 2014. [acceso 15 de julio del 2014]. Disponible en: http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_topics&view=article&id=343&Itemid=40931&lang=en

Pinheiro FP.1989. El Dengue en las Américas. 1980-1987.Boletín Epidemiológico de la organización Panamericana de la Salud; 10(1):1-8.

Scott TW, Chow E, Strickman D, Kittayapong P, Wirtz RA and Lorenz LH. 1993. Blood-feeding patterns of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) collected in rural Thai villages *Journal Medical Entomology* 30(5): 922-927.

Staples JE, Breiman RF, Powers AM. 2009. Chikungunya fever: an epidemiological review of a re-emerging infectious disease. *Clinical Infectious Diseases*. 49(6):942-8. E pub 2009/08/12.

Tsetsarkin KA, Chen R, Sherman MB, Weaver SC. 2011.Chikungunya virus: evolution and genetic determinants of emergence. *Current opinion in virology*. 1(4):310-7. E pub 2011/10/04.

Vaughan G, Olivera H, Santos-Argumedo L, Landa A, Briseno B, Escobar-Gutierrez A. 2002. Dengue virus replicative intermediate RNA detection by reverse transcription-PCR. *Clin Diagn Lab Immunol*; 9(1):198-200.

CAPITULO 3.

NICHO POTENCIAL DE *Aedes aegypti*, EN LOS ESTADOS DE JALISCO, NAYARIT Y COLIMA; MEXICO.

RESUMEN

El dengue es un problema de Salud pública en México se transmite por el vector *Aedes aegypti*. Uno de los abordajes para su estudio es mediante el Modelado de Nichos Ecológicos. Existen diferentes métodos para ello, entre otros; BIOCLIM, GARP y MAXENT, estos permiten incluir factores abióticos para el análisis. En México, son limitados los estudios de este tipo, por lo cual el principal objetivo del presente estudio fue predecir mediante el uso de MAXENT, el nicho potencial de *A. aegypti*. Este trabajo se desarrolló a partir de una base de datos integrada por 51 registros de ocurrencia para *A. aegypti* en localidades diferentes de la república mexicana e incorporando cuatro nuevos registros de ocurrencia obtenidos entre 2011 y 2012 en la región centro del estado de Jalisco. Para determinar el nicho potencial de *A. aegypti*, se utilizó solo MAXENT 3.3.3, a dicho modelo se le incorporaron un total de 55 puntos referenciados de la especie como datos de entrada. Asimismo se utilizaron 19 variables bioclimáticas, con un formato de 30 segundos de resolución. El modelo fue evaluado con la técnica de evaluación Receiver Operating Characteristic (ROC) utilizada en modelos de distribución basados en algoritmos de solo presencia. Las variables climáticas más importantes asociadas a la especie se determinaron con la prueba de Jackknife. El análisis de las frecuencias reveló el nicho potencial de *A. aegypti* por toda la costa de Jalisco, Nayarit y Colima. El modelo mostró un buen ajuste con los datos tanto de entrenamiento como de prueba obteniéndose valores cercanos a uno, de (0.904) y (0.827) respectivamente para la sensibilidad y la especificidad. Lo que demuestra que el modelo es adecuado, representando características actuales de idoneidad y a nivel predictivo para la especie en Jalisco, Nayarit y Colima.

Palabras Clave: Dengue, Mosquito, *Aedes aegypti*, Modelo de Nicho Potencial, Distribución de especies, Máxima Entropía, Jalisco, Nayarit, Colima.

INTRODUCCIÓN.

El virus del dengue y chikungunya son transmitidos por el mosquito *A. aegypti*: díptera-culicidae, considerado hace algunos años como una especie cosmopolita, está presente en las regiones del globo entre las isoterma de 20°C, más recientemente con distribución circuntropical y subtropical, dentro de los límites de los 35° de latitud norte, 35° de latitud sur, correspondiente a los límites de la isoterma de verano de 10°C, con expansiones a regiones más frías en las épocas del año más calurosas. En términos generales se le ha encontrado en áreas geográficas con una temperatura media anual mayor a los 16.9°C (Ibáñez-Bernal y Gómez-Dantès, 1995).

Por tanto *A. aegypti*, se puede encontrar en cualquier lugar que cubra estos requerimientos ecológicos, sin importar las posibles barreras físicas (montañas, océanos, desiertos) o biológicas (comunidades vegetales y animales inalteradas que separen un asentamiento humano de otro) (Carrada y Vázquez, 1984).

Es importante analizar, la distribución de *A. aegypti* en México con el fin de establecer su nicho potencial, con un modelo matemático, para generar información que permita hacer políticas locales para el control de enfermedades emergentes como la infección por virus del dengue y chikungunya. Además, por el interés global de éstas, el cual se centra en la dispersión potencial de vectores que transmiten enfermedades infecciosas. La infección por virus del Dengue es un reto para la salud pública en el mundo ya que más de 2,500 millones de personas viven en zonas en riesgo de dengue y más de 100 países han informado de la presencia de esta enfermedad viral en su territorio (Guzmán y Kourí, 2002). El estado de Jalisco; México, por sus características geográficas y climáticas con ubicación geográfica entre los 18°55'06'' y los 22°46'24'' N, así como los 103°12'30" y 103°29'00" W, en donde predominan los climas tropicales presenta condiciones de alto riesgo del dengue, ya que el clima favorece el ciclo de vida del vector transmisor *A. aegypti* (Cenaprece, 2007-2012; Barrera y Zaragoza, 2007; Ulloa, et al. 2011).

Con las consideraciones anteriores, una de las estrategias en salud pública para determinar políticas para el control de enfermedades infecciosas transmitidas por vectores, es mediante la determinación de nichos potenciales ubicados en el espacio geográfico y pueden ser aplicados para diversas especies. El uso de modelos empíricos

para distribución de especies como GARP (Algoritmos genéticos), BIOCLIM (Envolventes Bioclimáticas), así como MAXENT (Máxima entropía), son alternativas para estimar y predecir nichos potenciales (Stockwell y Noble, 1992; Bonet, 2007).

El modelo MAXENT, es uno de los que mejor se ajusta al nicho potencial de especies cuando se utilizan solo datos de presencia. El modelo puede ser analizado de tal manera que permite reconocer el nicho potencial de la especie, debido al principio de máxima entropía que aplica para calcular el área más probable de una especie; es decir, la probabilidad de su ocurrencia sujeta a la condición de que el valor esperado de cada variable coincida con su media empírica (Benito de Pando y Peñas de Giles, 2007; Benito de Pando y Peñas de Giles, 2007^a; Contreras y Luna, 2010). Por lo que el objetivo principal de este trabajo fue predecir mediante el uso de MAXENT, el nicho potencial de *A. aegypti*, en los estados de Jalisco, Nayarit y Colima, ubicados en el occidente del país.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Datos de Distribución para *A. aegypti*.

Este trabajo se desarrolló a partir de una base de datos integrada por 51 registros de ocurrencia para *A. aegypti* en diferentes localidades de la república mexicana dentro de un rango latitudinal que va desde los 14° 54' 00" en la ciudad de Tapachula, Chiapas; hasta los 29° 04' 00" en la ciudad de Hermosillo, Sonora (Figura 3.1) (Bennette, et al. 2002), e incorporando cuatro nuevos registros de ocurrencia obtenidos entre 2011 y 2012 en los municipios de Guadalajara, Zapopan, Tlaquepaque y Tonalá; los cuales forman parte de la Zona Metropolitana de Guadalajara en el Estado de Jalisco; México (Bennett y Olson, 2002; Black IV, et al. 2002; García, et al. 2009; Lanfri, et al. 2011; Micieli, et al. 2012; Candelario, et al. 2014). Todos los puntos de ocurrencia fueron geo-referenciados en línea (<https://carta-natal.es/ciudades/Mexico/>, <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geodesia/traninv.aspx>) y ser sometidos a su análisis mediante la utilización del modelo MaxEnt, para la modelación del nicho potencial de especies.



Figura 3.1. Algunos sitios de colecta de *A.aegypti* en la Republica Mexicana (Bennett, *et al.* 2002)

Modelado de Nicho potencial.

Para determinar el nicho potencial de *A. aegypti*, se utilizó el programa MAXENT 3.3.3., a dicho modelo se le incorporaron un total de 55 puntos georreferenciados de la especie, incluidos los cuatro de la ZMG; así como la utilización de 19 variables bioclimáticas (worldclim.org/bioclim), asimismo un formato de 30 arco segundos de resolución. La configuración de dicho modelo se realizó con la función logística, por ser la más sencilla de conceptualizar, ya que proporciona un estimado entre cero y uno de probabilidad de presencia, si se asume que el diseño de muestreo es tal que las localidades de presencia típicas tienen una probabilidad de alrededor de 0.5 de existir.

La calidad de la predicción del nicho potencial, se determinó con la técnica de evaluación Receiver Operating Characteristic (ROC) utilizada en modelos de distribución basados en algoritmos de incidencia. La construcción de la curva ROC es un proceso interactivo aplicado al umbral de idoneidad del modelo, se reclasifica en dos categorías para obtener un modelo binario en el que los valores del modelo original inferiores al umbral indican ausencia y los valores iguales o superiores indican

presencia. Y mediante la curva AUC, la cual es una medida directa que muestra la capacidad de discriminación del modelo con valores que fluctúan de cero a uno, en los que 0.5 indica que el ajuste del mismo no es menor que el obtenido al azar, y próximos a uno cuando existe un buen ajuste; es decir, cuanto más próximo a uno, los datos de entrenamiento y de prueba, el modelo es más confiable (García, 2008). Las variables climáticas más importantes asociadas a la especie se determinaron con la prueba de Jack-knife. Los puntos geográficos de registro de la especie se dividieron al 50% para los registros de entrenamiento y 50% para los registros de prueba; el propósito de ello es garantizar una significancia estadística y equitativa para el modelo (Hurtado, 2007).

RESULTADOS.

El modelo mostró un buen ajuste con los datos tanto de entrenamiento como de prueba obteniéndose valores cercanos a uno, de (0.904) y (0.827) respectivamente; confirmando la presencia, así como el potencial de ciertas áreas geográficas del occidente del país, para formar parte del nicho potencial de *A. aegypti* (Figura 3.2). Así mismo, se observó que las variables más importantes asociadas a la especie según worldClim fueron temperatura anual promedio (bio1), temperatura mínima del mes más frío (bio 6) y temperatura promedio del trimestre más frío (bio 11), mientras que las variables relacionadas con la precipitación (bio12 a bio19) no son importantes para el modelo y las variables que menos ayudan a explicar el modelo son la isothermalidad (bio3) así como la estacionalidad de la precipitación (bio15) (Figura 3.3).

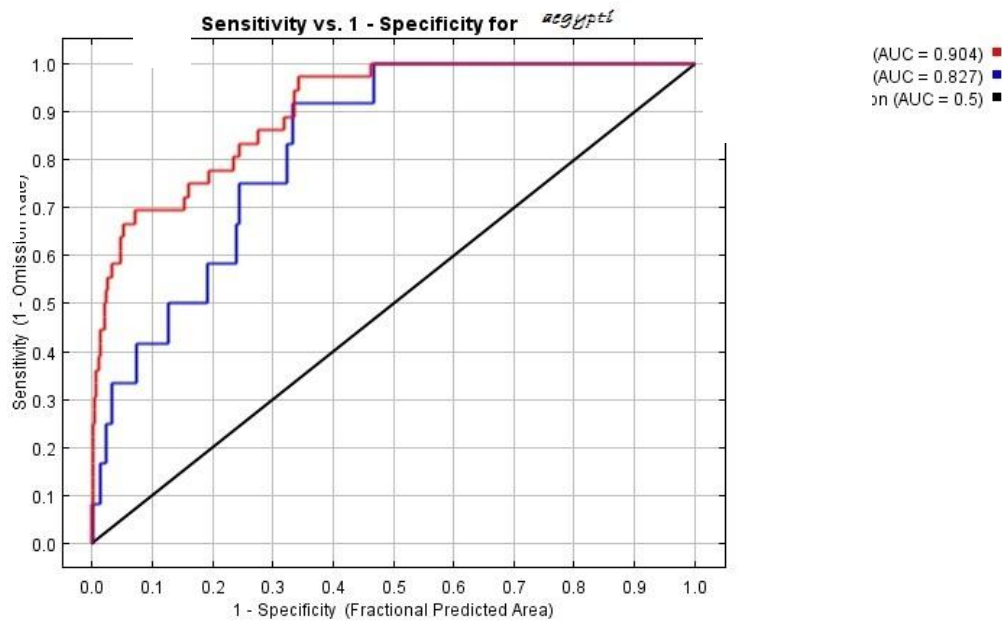


Figura 3.2. Desempeño del modeloMaxent (valores AUC).

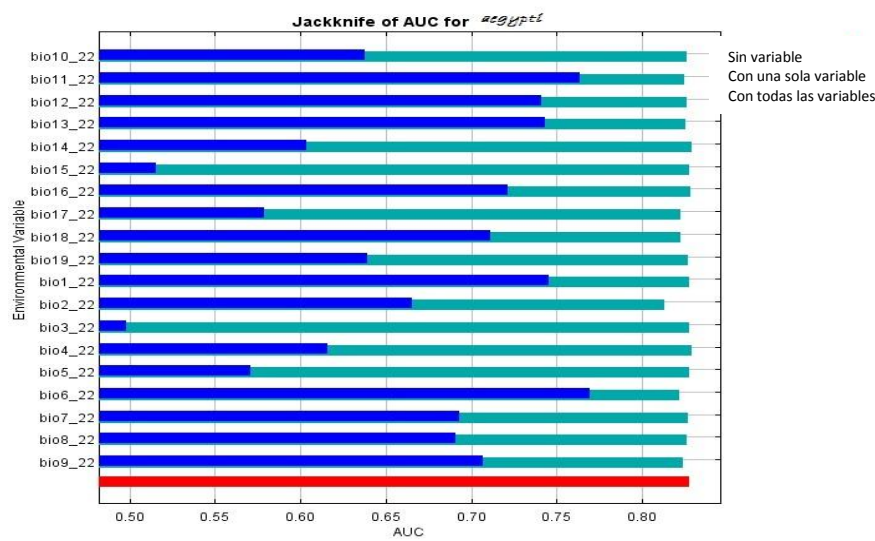


Figura 3.3. Prueba Jackknife para *A. aegypti*.

El nicho potencial de *A. aegypti* está determinado por la temperatura promedio anual, la temperatura mínima del mes más frío y temperatura promedio del trimestre más frío, estas tres variables están relacionadas, por lo que la temperatura puede ser factor limitante para esta especie. Con respecto a la temperatura promedio anual, los sitios con temperaturas menores a 20°C tienen una probabilidad de ocurrencia menor del 10%.

Asimismo 25 °C es la temperatura umbral para la presencia de *A. aegypti* con respecto a la temperatura promedio mensual, respuesta similar se observa con la temperatura promedio del trimestre más frío, con respecto a las temperaturas mínimas de los meses más fríos las zonas con temperaturas inferiores a los 17°C no son propicias para formar parte del nicho potencial (Figura 3.4 A-C).

Nicho potencial de *A.aegypti* en entidades como Jalisco, Nayarit y Colima; México.

El análisis revela que el nicho potencial se distribuye por toda la costa de Jalisco, Nayarit y Colima (Figura 3.5). En la región en Jalisco, el nicho comprende los municipios de Puerto Vallarta (desembocadura del río Ameca), Tomatlán y Cabo corrientes. La desembocadura del río Santiago en Nayarit: región en la que se encuentran localidades como Bahía de Banderas, Tuxpan, Acaponeta, Santiago Ixcuintla, Compostela y Tecuala. Por su parte en Colima: Armería, Manzanillo y Tecomán. Todas ellas consideradas localidades con mayor probabilidad de ser el nicho potencial. Asimismo, una parte de la región centro del estado de Jalisco, presenta también condiciones favorables para la especie destacándose la cuenca del río Santiago en la parte conocida como “la barranca huentitan-oblatos” cuya área de influencia comprende a la ciudad de Guadalajara y los municipios conurbados: Tlaquepaque, Tonalá, Zapopan, El Salto y Juanacatlán, considerándose esto como una extensión del nicho desde la zona costera. Las características climáticas en estas regiones (costa y centro) del estado de Jalisco, así como los cauces de los ríos Ameca, Tomatlán y Santiago constituyen potenciales hábitats para esta especie, con respecto al clima.

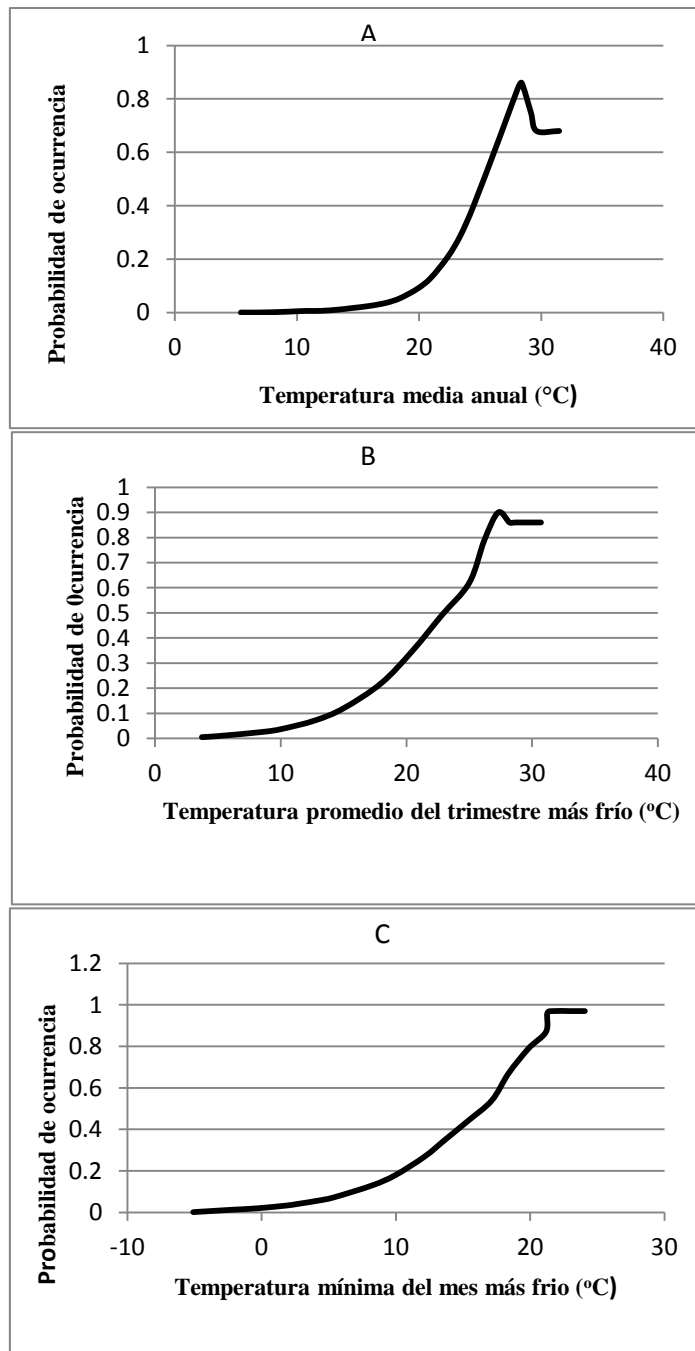


Figura 3.4 (A-C). Respuesta de la especie *A. aegypti* a las variables: Temperatura media anual (bio1); Temperatura promedio del trimestre más frío (bio11) y Temperatura mínima del mes más frío (bio6)

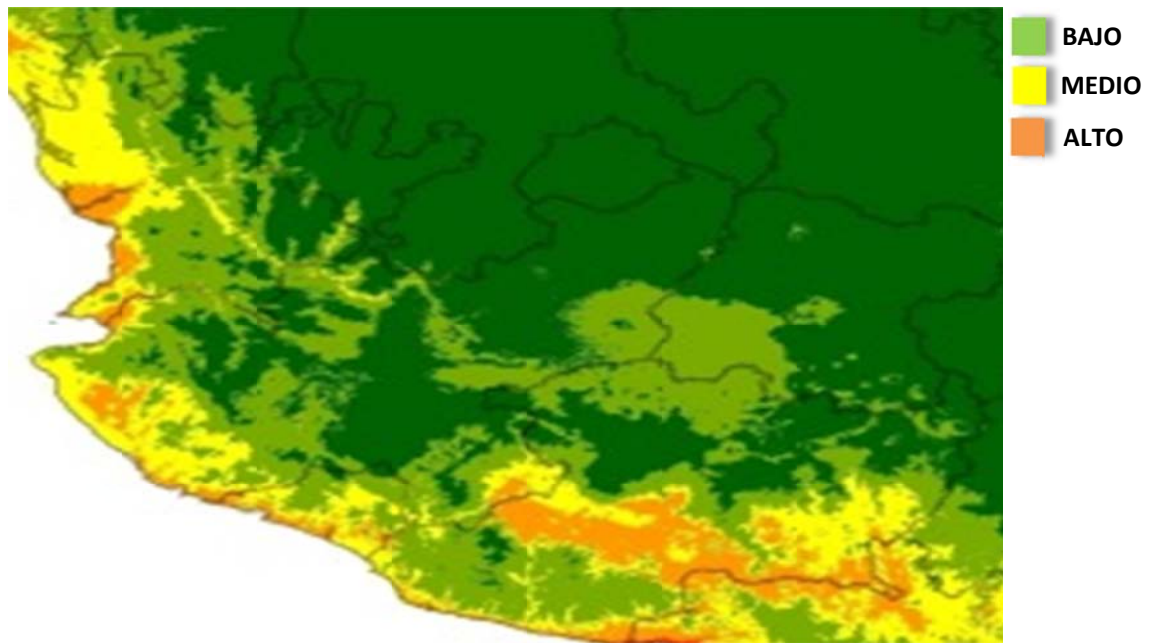


Figura 3.5. Nicho potencial de *A. aegypti* para los estados de Jalisco, Nayarit y Colima; México.

Doce municipios costeros presentan condiciones para el Nicho potencial de *A. aegypti*, tres en Jalisco, seis en Nayarit y tres en el estado de Colima, donde 717,316 habitantes viven en una zona que puede ser de alto riesgo, debido a que esta especie es vector del dengue y chikungunya. Los municipios con mayor número de habitantes son Puerto Vallarta en Jalisco, Manzanillo y Tecoman en Colima. Sin embargo, *A. aegypti* también puede sobrevivir al menos de manera estacional en áreas fuera de su nicho, como lo es la zona metropolitana de Guadalajara con una población de 4,434,878 habitantes (Tabla 3.1).

ESTADO	MUNICIPIO	NÚMERO DE HABITANTES (2010)
Jalisco	PUERTO VALLARTA	255,681
	TOMATLAN	35,050
	CABO CORRIENTES	10,029
Nayarit	TUXPAN	21,709
	ACAPONETA	19,140
	BAHIA DE BANDERAS	22,541
	SANTIAGO IXCUINTLA	18,241
	COMPOSTELA	17,573
	TECUALA	14,511
Colima	MANZANILLO	161,420
	TECOMAN	112,726
	ARMERIA	28,695

Tabla 3.1. Municipios que se encuentran dentro del nicho potencial de *A. aegyti* (Fuente: www.jalisco.gob.mx)

DISCUSIÓN

No obstante que GARP (Genetic Algorithm for Rule-set Prediction) es entre otros, uno de los métodos para el modelado de nichos ecológicos mas extensivamente usado en diferentes áreas del mundo (Elith, *et al.* 2006) en plantas, animales y virus (Peterson, *et al.* 2004), para nuestro trabajo utilizamos MAXENT (Máximun Entropy) uno de los mejores métodos (Elith, *et al.* 2006) para estimar la distribución probable de alguna especie. Autores como Estrada-Peña y Venzal (2007) en España, así como Scott, *et al.* (2010) en Iowa, Estados Unidos, emplearon dicho método en especies de garrapatas y mosquitos respectivamente. En la investigación desarrollada por Scott, *et al.* (2010), compararon ambos modelos encontrando que el modelo GARP, mostró una mayor exageración en la predicción de nichos ecológicos. Asimismo mientras GARP, produjo una sola curva ROC (Receiver operating characteritic) y un solo valor de área bajo la curva (AUC, por sus siglas en Ingles), MAXENT produjo dos curvas ROC, basado esto, en datos de entrenamiento y prueba asi como dos valores AUC.

Los resultados obtenidos en nuestro trabajo con MAXENT, coinciden con los reportes de Ibáñez-Bernal y Gómez-Dantés (1995), los cuales mencionan que la distribución de *A. aegypti* está limitada por la temperatura mínima, en particular la temperatura promedio mensual. En el caso de la temperatura promedio mensual este modelo reportó que la probabilidad de ocurrencia del nicho ecológico es de 25⁰C; es decir 5⁰C más que lo reportado por (Ibáñez-Bernal y Gómez-Dantés, 1995). Adicionalmente, los resultados revelaron que la temperatura mínima del mes más frio (temperaturas menores de 17⁰C) puede ser más importante que la temperatura más fría del mes de verano.

Los estados de Jalisco, Colima y Nayarit, se encuentran dentro del rango latitudinal de los 35⁰ norte y sur, rango típico de presencia y distribución de *A. aegypti*, sin embargo la region altos, altos norte y las serranías de Jalisco, no forman parte del nicho ecológico según los resultados obtenidos con el programa MAXENT, adicionalmente no se han reportado casos de dengue en estas regiones; por el contrario Información oficial (SSN, 2015; SSJ-GEJ, 2015; SSC, 2015) demuestra como la mayoría de los municipios que comprenden la zona costera de Jalisco, Colima y Nayarit presentan problemáticas de reincidencia de dengue. En particular la desembocadura del rio Ameca entre Jalisco y Nayarit, la desembocadura del rio Santiago en Nayarit y la zona de Tomatlán en Jalisco. Estas regiones coinciden con el nicho potencial para este

insecto vector y por lo tanto para dengue. Las condiciones climáticas en estas locaciones permiten satisfactoriamente tanto la reproducción del insecto, como el desarrollo de la enfermedad.

No obstante, otros municipios del estado de Jalisco particularmente algunos de los que integran la ZMG, presentan problemáticas de dengue a pesar de que éstas regiones no forman parte de su nicho potencial de *A. aegypti* con respecto a las variables climáticas. Su presencia puede deberse a que esta especie muestra plasticidad ecológica (Marquetti-Fernández y Bisset, 2008) y puede sobrevivir en áreas fuera de las condiciones ambientales óptimas, adicionalmente existen factores que favorecen su presencia en esta zona como lo son la alta densidad poblacional de sus hospederos preferidos (Harrington, *et al.* 2001) y por hábitos de higiene que propician criaderos artificiales para el Culícido y por último, la cuenca del río Santiago, como la barranca de Huentitan-oblatos (en el estado de Jalisco), constituyen nichos ecológicos potenciales adyacentes a la ZMG que podrían funcionar al igual que los huevecillos no eclosionados, como potenciales fuentes de repoblamiento después de periodos críticos para la especie.

Estos resultados son muy importantes en las políticas de salud a nivel nacional, ya que muestran una zona geográfica donde el vector del dengue se está reproduciendo constantemente por el ambiente climático propicio, siendo una fuente importante de la enfermedad. Por lo tanto se deben de movilizar mayor cantidad de recursos para el control del vector, así como de insumos para el manejo clínico y farmacológico, además como para su caracterización molecular, considerando que es una zona endémica, como lo revela el presente estudio de Modelos de Nicho Ecológico.

CONCLUSIONES

La distribución espacial del Dengue requiere definitivamente de investigación sobre los patrones de distribución del nicho potencial del mosquito, por lo que la estratificación obtenida en este trabajo, coadyuva en la toma de decisiones y consecuentes acciones, así como políticas de los organismos responsables de la salud pública en materia de dengue en México y particularmente en algunos estados del occidente del país, entre estos el estado de Jalisco. La exploración extensiva del potencial de los Modelos de Nicho Ecológico (MNE) como MAXENT; en el campo de control de vectores, ofrecen una muy buena representación de patrones espaciales sobre la distribución de *A. aegypti*.

LITERATURA CITADA.

Barrera RY, Zaragoza F. 2007. Geomorfología del estado de Jalisco proyecto "ordenamiento ecológico del estado" las estructuras del relieve del estado de Jalisco.

<http://siga.jalisco.gob.mx/moet/SubsistemaNatural/GeologiayGeomorfologia/sintgeo.htm>

Benito de Pando B, Peñas de Giles J. 2007a. Modelos predictivos aplicados a la conservación de la flora amenazada invernaderos vs *Linaria nigricans* en el sureste árido Ibérico (Eds). Departamento de botánica, Universidad de Granada, Granada, España. pp. 33-47.

Benito de Pando B, Peñas de Giles J. 2007. Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica. *Geofocus*; 7 100-119.

Bennett KE, Olson KE, Muñoz M L. 2002. Variation In Vector Competence for Dengue 2 Virus Among 24 Collections of *Aedes aegypti* from Mexico and The United States. *Am. J Trop Med Hyg* 67(1).85–92.

Black IV, William C, Bennett KE, Gorrochótegui-Escalante N. 2002. Flavivirus Susceptibility in *Aedes aegypti*. *Archives of Medical Research* 379–388.

Bonet GFJ. 2007. Modelos algorítmicos. *In: Réplica del III Taller sobre modelización de nichos ecológicos de GIF. 14-16 marzo. Madrid, España.*

<http://www.gbif.es/formaciondetalles.php?IDForm=22#ad-image-0>.

Candelario-Mejía G, Rodríguez-Rivas A, Muñoz-Urías A, González-Carcamo J, Candelario VA, Mosso-González C. 2014. Estudio observacional de la fluctuación espacial y temporal de *Aedes aegypti*, en el área metropolitana de Guadalajara, México. *Revista Médica MD*, 6(1): 5-12.

Carrada BT, Vázquez L. 1984. Ecología del dengue y del *A. aegypti*. Investigación preliminar: 2a.parte. *Salud Pública México*; 26(2):170-189.

Cenaprece: Centro nacional para la prevención de enfermedades [Internet] .2007-2012. Programa de acción específico dengue.

<http://www.cenave.gob.mx/progaccion/dengue.pdf>

Contreras MR, Luna V, Rios M. 2010. Distribución de *Taxus globosa* (Taxaceae) en México. Modelos ecológicos de nicho, efectos del cambio del uso de suelo y conservación. *Revista Chilena de Historia Natural* 83: 421-433.

- Elith J, Graham CH, Anderson RP, Dudik M, Ferrier S, Guisan A. 2006. Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data. *Ecography* 29(2):129-151.
- Estrada-Peña A, Venzal JM. 2007. A GIS Framework for the assessment of tick impact on human health in a changing climate. *Geospatial Health* 1(2):157-168.
- García GP, Flores AE, Fernández-Salas I, Saavedra-Rodríguez K, Reyes-Solis G, Solano-Fuentes S. 2009. Recent Rapid Rise of a Permethrin Knock Down Resistance Allele in *Aedes aegypti* in Mexico. *PLoS Negl Trop Dis* 3(10): e531. doi:10.1371/journal.pntd.0000531
- García M. 2008. Modelos predictivos de riqueza de diversidad vegetal. Comparación y optimización de métodos de modelado ecológico. Memoria de Tesis Doctoral Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Biológicas. Departamento de Biología Vegetal. Madrid, España. pp188.
- Guzmán MG, Kourí G. 2002. Dengue: an update. *Lancet Infect Dis* ; 2:33–42. doi: 10.1016/S1473-3099(01)00171-2.
- Harrington LC, Edman JD and Scott TW. 2001. Why do female *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) feed preferentially and frequently on human blood. *Journal of Medical Entomology*. 38(3), DOI <http://dx.doi.org/10.1603/0022-2585-38.3.411>
- Hurtado A. 2007. Uso de modelos de predicción como herramienta para estimar el área de distribución potencial de la especie *Aniba perutilis* Hemsley (Comino Crespo) en el Departamento del Valle del Cauca. Tesis de Pregrado. Fundación Universitaria de Popayán, Facultad de Ciencias Naturales. Programa de Ecología Popayan, Colombia. pp 57.
- Ibáñez-Bernal S; Gómez-Dantés H. 1995. Los Vectores Del Dengue En México: Una Revisión Crítica. [Internet]. *Salud Pública de México*, Vol. 37(sup 1):53-63. Disponible en: <http://bvs.insp.mx/rsp/inicio/>
- Lanfri S, Frutos N, Porcasi X, Rotela C. 2011. Algoritmos para el Alerta Temprana de Dengue en un Ambiente Geomático. Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich (Eds). Comisión Nacional de Actividades Espaciales. Centro Espacial Teófilo Tabanera, Córdoba, Argentina. 40JAIIO - CAIS. pp 89.

- Marquetti –Fernández MdelC, Bisset JA. 2008. Aspectos bioecológicos de importancia para el control de *Aedes aegypti* y otros culícidos en el ecosistema urbano / Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias de la Salud (Instituto de Medicina Tropical Pedro Kouri). -- Ciudad de Habana : Editorial Universitaria, ISBN 978-959-16-0754-6. –186 pág.
- Mieli M, Casas M, Orozco B, Bond CJ. 2012. Diversidad y distribución geográfica de las especies de culícidos de importancia médica en la región centro-occidental de México. Instituto Nacional de Salud Pública. Centro Regional de Investigación en Salud Pública. Informe final SNIB-CONABIO. Proyecto No. FE009. México, D.F.
- Peterson AT, Bauer JT, Mills JN. 2004. Ecologic and geographic distribution of filovirus disease. *Emerging Infectious Diseases* 10(1):40-47.
- SSC: Secretaria de Salud Colima. 2015. <http://www.saludcolima.gob.mx/>
- SSJ: Secretaria de Salud Jalisco. 2015. <http://prevenciondengue.jalisco.gob.mx/index.html>
- SSN: Secretaria de Salud Nayarit. 2015. <http://www.ssn.gob.mx/noticias/noticia062.html>
- Scott RL, DeGroot JP, Bartholomay LC. 2010. Ecological Niche Modeling of Potential West Nile Virus Vector Mosquito Species in Iowa. *J Insect Sci.* 10:110.
- Stockwell DRB and Noble IR. 1992. Induction of sets of rules from animal distribution data: A robust and informative method of analysis. *Mathematics and Computers in Simulation* 33:385-390.
- Ulloa H, García M, Pérez A, Meulenert A. 2011. Clima y radiación solar en las grandes ciudades: zona metropolitana de Guadalajara (estado de Jalisco, México).
- Worldclim-Global Climate data. Free climate data for ecological modeling and GIS. Disponible: [Internet] <http://www.worldclim.org/bioclim>



Estudio observacional de la fluctuación espacial y temporal de *Aedes aegypti* en el área metropolitana de Guadalajara, México

Candelario-Mejía G^{a,b}, Rodríguez-Rivas A^c, Muñoz-Urias A^d, González-Carcamo Jg^e, Candelario-Valencia A^{b,f}, Mosso-González C^f, Duran-Ferman P^g, Jareth-Marco CB^b, Cruz-Bastida JS^b, Ramírez-García SA^f

Resumen

Introducción

El dengue es una enfermedad emergente en México, transmitida por el mosquito vector *Aedes aegypti*. Para conocer las bases biológicas y moleculares de la enfermedad así como sus variaciones espaciales y temporales se utilizan estudios de ecología de poblaciones. Como objetivo principal se estableció el estimar las fluctuaciones espacio temporales de *Aedes aegypti*, durante el periodo 2011 y 2012; en la zona metropolitana de Guadalajara, considerando factores abióticos como la abundancia como variable de respuesta, y sitios, meses, años, temperatura, humedad relativa y precipitación pluvial.

Material y Métodos

Estudio ecológico, observacional descriptivo, ambispectivo. Muestreo de 8 sitios *Aedes aegypti* inmaduros, en la zona metropolitana de Guadalajara, México, mediante el método de ovitrampas; de los cuales dos sitios fueron domésticos, dos no domésticos y cuatro peridomésticos. El análisis estadístico se basó en la generación de una matriz, para la determinación de diferencias se utilizó un análisis de devianza, utilizando el programa GLIM 3.77.

Resultados

Entre mayo y septiembre de 2011 y 2012, hubo heterogeneidad significativa en abundancia promedio de inmaduros por ovitrampa ($p < 2.2e-16$), con respecto a cada sitio, mes y año. Así como interacciones significativas ($p < 2.2e-16$) entre sitio: mes/sitio/año; mes/año y sitio/mes/año, con respecto a la abundancia. Las mayores abundancias de *Aedes aegypti*, se presentaron a nivel domiciliario; San Rafael (52.41) y Tlaquepaque (31.18), las cuales se redujeron a nivel peridoméstico, con respecto a la vivienda más cercana en el siguiente orden: Federalismo 23.10 Mt (1.59), Monterrey 26.56 Mt (1.37), la Estancia 31.68 Mt (0.73) y la Solidaridad 201.13 Mt (0). Durante 12 meses consecutivos la distribución en abundancia de inmaduros de este vector, fue mayor en mayo (30.98); diciembre, enero y febrero tuvieron presencia (0). En marzo se presentaron los primeros registros (4.73). La temperatura media mínima durante el periodo más caluroso mayo-septiembre, (17.7°C) fue la variable local con mayor devianza (0.0647 $p < 2e-16$).

Discusión

Se presenta el primer estudio en el Occidente de México que presenta la variación espacial y temporal de *Aedes aegypti*.

Palabras clave: Dengue, ecosistemas urbanos, ovitrampas ambientales, sitios domésticos inmaduros, sitios peridomésticos.

- a. Programa de Doctorado en Ecofisiología Vegetal y Recursos Genéticos, Centro Universitario de Ciencias Biológicas Agropecuarias (CUCBA) de la Benemérita Universidad de Guadalajara.
- b. Grupo Multidisciplinario para el Estudio Integral de las Enfermedades Metabólicas e Infecciosas en población Mexicana, Programa de Incorporación a la Investigación Temprana en Ciencias Biomédicas y Sociales.
- c. Profesor-Investigador, Departamento de Madera, Celulosa y Papel, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías de la Benemérita Universidad de Guadalajara.
- d. Profesor-Investigador, Departamento de Ecología, CUCBA, de la Benemérita Universidad de Guadalajara.
- e. Licenciatura en Biología, CUCBA, Benemérita Universidad de Guadalajara.
- f. Licenciatura de Médico Cirujano y Partero, Centro Universitario de Ciencias de la Salud, Benemérita Universidad de Guadalajara.
- g. Profesor-Investigador, Programa de Maestría en Salud Pública, Universidad de la Sierra Sur, Sistema de Universidades Estatales del Estado de Oaxaca (SUNEO).

Autor para correspondencia

Dr. en C. Sergio Alberto Ramírez García, Profesor Investigador Titular B, de la Universidad de la Sierra Sur. Sistema Nacional de Investigadores Nivel C, del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), Calle Guillermo Rojas Mijangos S/N, Esq. Av. Universidad Col. Ciudad Universitaria, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oax., México C.P. 70800. Tel: 01 (951) 57 31 41 00. Contacto al correo electrónico: sergio7genetica@hotmail.com.

Spatial and temporal fluctuation observational study of *Aedes aegypti* in the metropolitan area of Guadalajara, Mexico

Abstract

Introduction.

One of the main emerging diseases in the Mexico is the Dengue fever, mosquito-borne genus *Aedes aegypti*. The most important challenges in the public health policies is knowing the biological and molecular bases of the disease; there is a support through ecological studies in the populations. The transmitter vector of the virus dengue may present spatial and temporal variations, this sort of studies are in Mexico. To estimate the spatial and temporal fluctuations of the *Aedes Aegypti*, during 2011 and 2012; within the metropolitan area in Guadalajara and considering the abiotic local variables such as abundance as a response variable and the locations, months, years, temperature, relative humidity, as well as rainfall.

Material y Methods.

A descriptive observational study. 8 Locations were sampled with immature *Aedes aegypti*, through the method of ovitraps which were distributed in 4 municipalities of Guadalajara. From 5 of these places (San Rafael, Agua Azul, Centro Universitario de Ciencias de la Salud, Federalismo and Monterrey), the first one is considered domestic (adjacent to the address), the second and third considered non domestic, but with the variable presence and transit of people; the last two considered per domestic (distant from the nearest house, Federalismo 22.1 m. and Monterrey 26.56 m. All of them located in Guadalajara. Also, the municipality of Tonalá (Peridomestic 201.13 m.) and La Estancia in the municipality of Zapopan (31.68 m) The results were validated by the statistical tests with the program GLIM 3.77.

Results.

. Between May and September of 2011 and 2012, there were significant heterogeneity in average abundance of immature by ovitrap ($p < 2.2e-16$) regarding the location, month and year. As well as significant interactions ($p < 2.2e-16$) amongst location: month/location/year; month/year and location/month/year, in matters of abundance. The highest amounts of *Aedes aegypti* abundance, were shown in housings: San Rafael (52.41) and Tlaquepaque (31.18), in which abundance was reduced at peridomestic level from the nearest housing as follows: Federalismo 23.10 m (1.59), Monterrey 26.56 m. (1.37), La Estancia 31.68 m. (0.73) and La Solidaridad 201.13 m. (0). During the 12 consecutive months the distribution in abundance of immature in the vector was highest in May (30.98); December, January and February had (0) presence. In March there were the first records (4.73). The mean temperature during the hottest period (May-September, 17.7°C) was the local variable with greater deviation (0.0647 $p < 2e-16$).

Discussion.

This is the first western study in Mexico presenting the Spatial and temporal variation of *Aedes aegypti*.

Key Words: Dengue, environmental ovitraps, immature domestic locations, peridomestic sites, urban ecosystems.

Glosario y abreviaciones

Biocenosis: Conjunto de organismos de todas las especies que coexisten en un espacio definido llamado biotopo, que ofrece las condiciones ambientales necesarias para su supervivencia.

Biotopo: Área de condiciones ambientales uniformes que provee espacio vital a un conjunto de flora y fauna.

Doméstico: Referente a casa o domicilio.

Ovitrapa: Son trampas sencillas utilizadas en las aéreas urbanas para la vigilancia de moscos, basados en las necesidades de hembras grávidas de los mosquitos de procurar sitios con agua para desovar y colocar sus huevos.

Peridoméstico: Cercano a los domicilios o casas, alrededor de las casas o domicilios, circundante a los domicilios.

Variable abiótica: Variable factor que no tiene vida, inanimado, puede ser físico, químico, que no forma parte o no es producto de los seres vivos como los factores inertes: climático, geológico o geográfico.

Vector: Es un mecanismo, generalmente un ser vivo, que transmite un agente infeccioso desde los individuos afectados a otros que aún no portan este, por ejemplo los mosquitos.

ZMG: Zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México.

Introducción

El dengue es la enfermedad viral más importante a nivel mundial en términos de morbilidad, mortalidad y afectación económica,¹⁻³ la cual es transmitida por mosquitos, de manera particular por *Aedes aegypti*.^{4,5} En América Latina se ha producido un incremento progresivo de casos de dengue durante las tres últimas décadas.⁶ La OMS coloca a México en el quinto lugar de incidencia.⁷ En México, *Ae aegypti*, reingresó a finales de los años setenta, extendiéndose por todo el país.⁸ En 1947, la Oficina Sanitaria Panamericana tomó a su cargo las campañas de erradicación de

Ae. aegypti en las Américas. En diciembre de 1963, 17 países y territorios del continente americano certificaron su erradicación, sin embargo en la década de 1970 el apoyo a los planes de vigilancia y control disminuyó de modo que hacia finales de la misma, numerosos países habían sido recolonizados por *Ae. aegypti*.⁹

Asimismo en octubre de 2007, los países de las Américas representados en la 27 conferencia sanitaria panamericana, alertan sobre la presencia de factores condicionantes de la transmisión como: la pobreza, crecimiento y hacinamiento poblacional y urbanización no controlada ni planificada,^{1,10-12} factores o aspectos que se presentan en diversas ciudades, entendiendo estas como parte integrante de un ecosistema, es decir el ecosistema urbano.¹³

Ae. aegypti, se caracteriza por una alta plasticidad ecológica al utilizar como criaderos una amplia gama de recipientes artificiales,¹⁴ así como diversos sitios naturales.¹⁵⁻¹⁶ Es un mosquito asociado al ámbito urbano vinculado en forma estrecha con la vivienda, puede desplazarse y vivir en el peridomicilio.¹⁷⁻¹⁹

La variabilidad de algunos factores abióticos, así como las particularidades de cada localidad determinan el periodo de vida e influyen en la variabilidad biológica de *Ae. aegypti*. La Norma Oficial Mexicana NOM-032-SSA2-2002, para la vigilancia epidemiológica, prevención y control de enfermedades transmitidas por vector, reconoce la necesidad de efectuar investigación esencial, con particular atención en factores de riesgo.²⁰⁻²⁵

Por su parte la Zona Metropolitana de Guadalajara Jalisco (ZMG), no se encuentra exenta de los contrastes que existen en el resto del país y así como existen áreas de pleno confort, también se encuentran otros en los que impera la desigualdad y la pobreza.²⁶ El presente trabajo tiene como objetivo; estimar las fluctuaciones espacio temporal de *Ae. aegypti*, durante 2011 y 2012; en un contexto urbano como lo es, la ZMG; considerando algunas variables locales de carácter abiótico.

Materiales y métodos

Se trata de un trabajo observacional descriptivo ambispectivo, realizado en la ZMG, la cual se ubica en el centro del estado de Jalisco; a 20°46'00" latitud norte, y 20°32'08" latitud sur; a una altitud promedio de 1,540 msnm. Comprende áreas de los municipios de Guadalajara, Tlaquepaque, Tonalá y Zapopan, así como sus Cabeceras Municipales.²⁷ Otros municipios como: Tlajomulco de Zúñiga, El Salto, Juanacatlán, Ixtlahuacán de los Membrillos, comparten en conjunto con los ya citados una constante conurbación.

La Zona Metropolitana de Guadalajara tiene 4.434.878 habitantes y se estima que en el año, 2013, ascendió a 4.641.511 distribuidos en los ocho municipios ya señalados, es decir en una superficie de 2.734 km², esta cantidad arroja una densidad poblacional de 1,622 habitantes por km², siendo Guadalajara el municipio más poblado con cerca de 1.5 millones.²⁶

Este trabajo abarcó el periodo comprendido entre mayo de 2011 a octubre de 2012, dividiendo dicho periodo para su mejor análisis en uno que comprendió de mayo a septiembre

de 2011 y 2012; lo anterior por presentar las temperaturas y precipitaciones más altas del año. Otro que abarcó de forma consecutiva de septiembre de 2011 hasta agosto de 2012. Comprendiendo muestreos de inmaduros de *Ae. aegypti* (huevos, larvas y pupas), debido a su utilidad cuando se trata de pronosticar el tamaño potencial de poblaciones de mosquitos, aún cuando la densidad de la población sea baja.²⁷

Para el muestreo se utilizaron 16 ovitrampas formando un polígono y distribuidas en pares en 8 sitios (Figura 1), considerados áreas verdes (Reglamento de Parques, Jardines, y Recursos Forestales para el Municipio de Guadalajara, 2001), cinco de estos sitios (San Rafael, Agua azul, CUCS, Federalismo y Monterrey), el primero considerado doméstico (adjunto al domicilio), el segundo y tercero considerados no domésticos, es decir; no viviendas, pero con flujo y presencia variable de personas; y dos más considerados peridomésticos (alejados de viviendas en este caso Federalismo 23.10 Mt, Monterrey 26.56 Mt), localizados todos en el municipio de Guadalajara. Así también se consideraron 3 sitios más, localizados uno en el municipio de Tlaquepaque (doméstico), La Solidaridad en el municipio de Tonalá (peridoméstico 201.13 Mt) y la Estancia en el municipio de Zapopan (peridoméstico 31.68 Mt). Los sitios fueron seleccionados al azar. No se consideraron aspectos de carácter sociocultural ni socioeconómico, únicamente la fluctuación espacio temporal a partir de abundancia de inmaduros de este vector, considerando como variables locales abióticas a la temperatura, la humedad relativa, la precipitación pluvial, así como los sitios, meses y años; asimismo la variable biótica considerada, fue la conducta de dispersión del vector, durante 2011 y 2012. Dichos muestreos se realizaron con una frecuencia de dos a cuatro veces por mes, por sitio. Colocando cada par de ovitrampas de manera adjunta y alejada de las viviendas, registrando la distancia mediante el uso de un distanciómetro (Disto-D5 by Leica Geosystems®).

Las ovitrampas consistieron en frascos de plástico

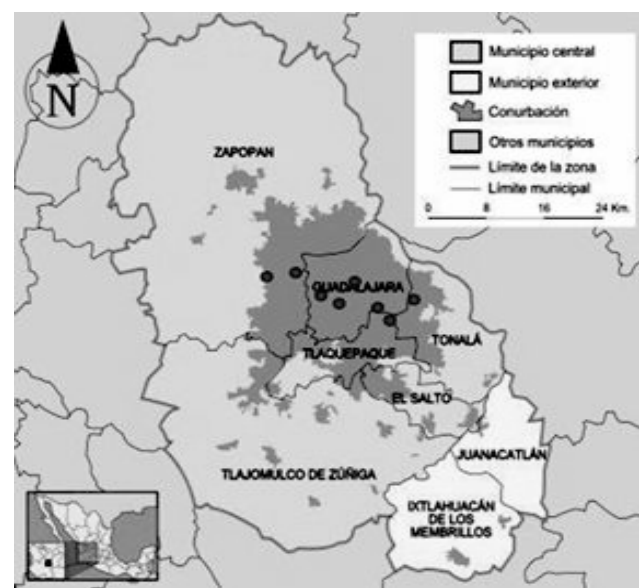


Figura 1. Sitios de Muestreo (Ubicación geográfica de la Zona Metropolitana de Guadalajara. Fuente: modificada de; SEMARNAP/SS/GEJ 1997).

transparentes y no transparentes (11 cm de diámetro x 14 cm de alto), donde en el interior de cada ovitrampa se colocó un abate lengua de madera (13 cm de largo, 2 cm de ancho y 0,1 cm de espesor), dispuesto verticalmente junto a la pared del recipiente y sujeto con un clip, con la finalidad que sea el área de ovipostura. A cada ovitrampa se le colocaron 250 ml de agua de garrafón al momento de ser colocadas en el sitio de muestreo.²⁸

El reemplazo de las ovitrampas por otras nuevas, se realizó en cada visita al sitio con la frecuencia mencionada, controlando la presencia y niveles de agua en campo para efectos positivos principalmente de ovipostura, eclosión de huevos y formación de pupas. La variable evaluada fue la abundancia de inmaduros.

Revisión y análisis de inmaduros

Todo el material colectado en el reemplazo (ovitrampas) fue tapado y llevado al laboratorio de Entomología del Instituto de Madera Celulosa y Papel de la Universidad de Guadalajara, en donde se procedió mediante el uso de estereomicroscopio; Zeiss®, Stemi modelo DV429, a la identificación y respectivo conteo de huevos de *Ae. Aegypti*, de cada abate lengua por ovitrampa, a partir de características morfológicas. Mediante el uso de las claves, propuestas por Ibáñez-Bernal y Martínez-Campos,³⁰ se procedió a la identificación y conteo de larvas del IV estadio. Asimismo, las pupas fueron contabilizadas en el total y consideradas como de *Ae. aegypti* en función de la especie predominante en cada ovitrampa. Previo a inducir la eclosión de los huevos con el propósito de corroborar que correspondieran a *Ae. Aegypti*, éstos fueron retirados con un pincel del abate lengua de cada ovitrampa y colocados por 48 h, en papel de filtro húmedo.

Tabla 1. Abundancia y distribución promedio de inmaduros de *Ae. aegypti*

Zona geográfica	Abundancia y distribución promedio de inmaduros	Características del sitio	Diferencias/igualdades p< 0.001 ***
San Rafael	52.41	Doméstico	A
Tlaquepaque	31.18	Doméstico	B
Agua Azul	3.89	No-doméstico	C
CUCS	1.71	No-doméstico	D
Federalismo	1.59	No-doméstico	D
Monterrey	1.37	Peridoméstico	D
Estancia	0.73	Peridoméstico	D
Solidaridad	0	Peridoméstico	-

Abundancia y distribución promedio de inmaduros de *Ae. aegypti*, durante doce meses entre 2011 y 2012, en 8 sitios de muestreo distribuidos en 4 municipios que conforman parte del ZMG. Diferencias/igualdades =letras diferentes/ mismas letras, Promedios por ovitrampa. CUCS. Centro Universitario de Ciencias de la Salud, Universidad de Guadalajara.

Tabla 2. Abundancia y distribución promedio durante el periodo 2011 y 2012 de inmaduros de *Ae. aegypti*

Mes	Abundancia promedio de inmaduros	Diferencias/Igualdades P< 0.001 ***
Mayo	30.98	A
Septiembre	16.18	B
Abril	15.37	B
Julio	14.94	B
Junio	13.57	C
Noviembre	12.4	CD
Octubre	8.84	D
Agosto	8.34	D
Marzo	4.73	E

Eliminado el mes de Diciembre, Enero y Febrero por nula abundancia. Diferencias/igualdades =letras diferentes/ mismas letras, Promedios por ovitrampa.

Luego, los huevos se sumergieron en agua de garrafón para inducir su eclosión bajo condiciones controladas de temperatura y humedad mediante una (cámara de cría) y las posteriores larvas fueron criadas en recipientes de plástico de 1000 ml con agua de garrafón, la cual se dejó reposar de 2-3 días en recipiente abierto previo a su uso, hasta alcanzar el IV estadio.²⁸

Análisis estadístico

El análisis estadístico se basó en la generación de una matriz, a partir de los valores de abundancia absoluta de inmaduros, y las probables fuentes de variación (mes, año, localidad, así como: temperatura, y precipitación pluvial) estas últimas registradas durante 2011 y 2012 en la estación climatológica del instituto de Astronomía y Meteorología de la Universidad de Guadalajara (IAM), la cual está localizada dentro del AMG. Para determinar si existían diferencias significativas entre las variables se realizó un análisis de devianza, considerado análogo al análisis de varianza utilizando una función de ligamiento logit que considera una distribución del error tipo Poisson con el programa estadístico GLIM 3.77®. Los modelos lineales fueron valorados por los coeficientes de determinación (r^2), estimados mediante la ecuación siguiente: $r^2 = \text{devianza total} - \text{devianza residual} / \text{devianza total}$. Donde la "devianza" o medida de bondad de ajuste del modelo a los datos, fue una función de X^2 , mediante el programa GLIM 3.77®.29-32

Resultados

La variable abundancia en relación al carácter de sitio revela mayor cantidad de mosquitos en los sitios domésticos y de alto flujo de personas, correspondientes a San Rafael y Tlaquepaque con un nivel de significancia de $p < 0.0001$

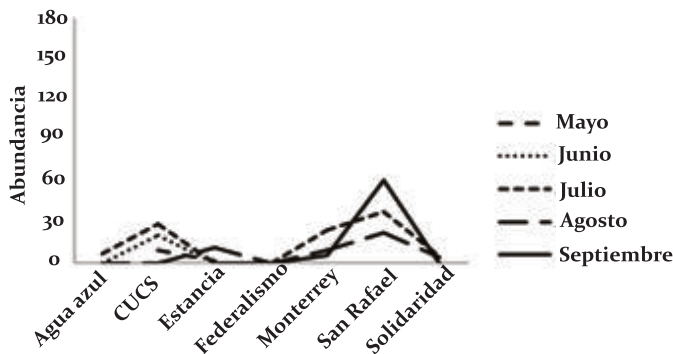


Figura 2. Abundancia y distribución promedio de inmaduros en 2011, considerando el periodo más cálido de mayo a septiembre en siete sitios, descartando Tlaquepaque por inconsistencias en el muestreo.

(Tabla 1). Al analizar los promedios por ovitrampa. Se encontraron diferencias importantes de mayo a noviembre con un nivel de significancia de $p < 0.0001$ (Tabla 2). El mes con la mayor abundancia fue mayo. En 2011 las mayores abundancias se presentaron en los meses de septiembre y julio, en sitios considerados domésticos y de alto flujo de personas (Figura 2). Durante el 2012, las mayores abundancias se presentaron en los meses de mayo y septiembre, en sitios domésticos y de alto flujo de personas (Figura 3). Al Interpretar las diferencias con respecto a la abundancia de y entre variables, durante mismo periodo mayo a septiembre, mediante un modelo lineal generalizado con una distribución Poisson; hubo diferencias significativas con respecto a la abundancia de sitios, meses y años, asimismo interacciones entre las mismas variables (Tabla 3). Entre mayo y septiembre de 2011 y 2012, hubo heterogeneidad significativa en abundancia promedio de inmaduros por ovitrampa ($p < 2.2e-16$), con respecto a cada sitio, mes y año. Así como interacciones significativas ($p < 2.2e-16$) entre sitio: mes/sitio/año; mes/año y sitio/mes/año, con respecto a la abundancia. Las mayores abundancias de *Ae aegypti*, se presentaron a nivel domiciliario; San Rafael (52.41) y Tlaquepaque (31.18), las cuales se redujeron a nivel peridoméstico, con respecto a la vivienda más cercana en el siguiente orden: Federalismo 23.10 Mt (1.59), Monterrey 26.56 Mt (1.37), la Estancia 31.68 Mt (0.73) y la Solidaridad 201.13 Mt (0). Durante 12 meses consecutivos la distribución en abundancia de inmaduros de

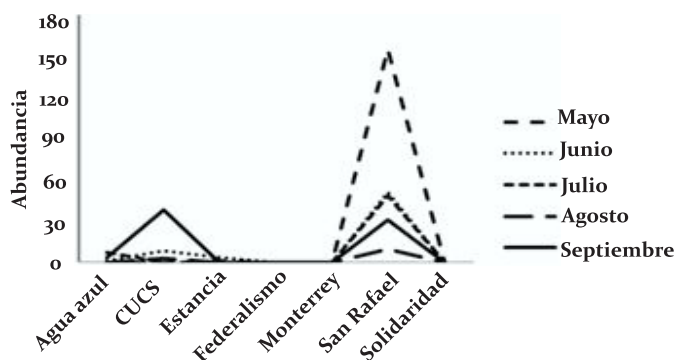


Figura 3. Abundancia y distribución promedio de inmaduros en 2012, considerando el periodo más cálido de mayo a septiembre en siete sitios, descartando Tlaquepaque por inconsistencias en el muestreo.

Tabla 3. Diferencias e interacciones con respecto a la abundancia de y entre variables

Variable	Df	Devianza	Resid	Df Resid	Dev P(> Chi)
Sitio	6	7013.5	299	7762	< 2.2e-16 ***
Mes	4	792.6	295	6969.5	< 2.2e-16 ***
Año	1	47.6	294	6921.8	5.202e-12 ***
Sitio:mes	24	1654.6	270	5267.3	< 2.2e-16 ***
Sitio:año	6	3871	264	4880.2	< 2.2e-16 ***
Mes:año	4	133.2	260	4747	< 2.2e-16 ***
Sitio:mes:año	18	155.8	242	4591.2	< 2.2e-16 ***

Resultados obtenidos corresponden al periodo 2011 y 2012 en los meses de mayo a septiembre.

este vector, fue mayor en mayo (30.98); diciembre, enero y febrero tuvieron presencia (0). En marzo se presentaron los primeros registros (4.73). La temperatura media mínima durante el periodo más caluroso mayo-septiembre, (17.7°C) fue la variable local con mayor devianza (0.0647 $p < 2e-16$). Al analizar los factores abióticos la temperatura mínima explica el mayor porcentaje de la varianza total $p < 2e-16$ (Tabla 4). En general existen diferencias estadísticamente significativas entre localidad y mes $p < 0.05$ (Tabla 5).

Discusión

El presente estudio muestra la heterogeneidad significativa en abundancias de inmaduros de *Ae. aegypti*, con respecto a cada sitio de muestreo, meses y el periodo que comprendió parte de 2011 y 2012 en algunos municipios de la ZMG, incluyendo el más densamente poblado (Guadalajara), como se ha reportado para la ciudad de Buenos Aires, por Carbajo y cols.,³³ donde la actividad de ovipositora de *Ae aegypti*, mostró patrones de distribución heterogéneos en el tiempo y el espacio. Previamente Barrera en el 2000,³⁴ obtuvieron que en un periodo de tres años se presente una estabilidad interanual en el vector, así como una homogeneidad

Tabla 4. Efecto sobre la abundancia de las variables abióticas, mediante análisis de devianza

Variables	Devianza	P
Tmax	0.0378	<2e-16 ***
Tmin	0.0647	<2e-16 ***
PP	0.0049	<2e-16 ***

Tmax= Temperatura Máxima. Tmin=Temperatura mínima. PP=Precipitación pluvial. La temperatura media máxima entre mayo-septiembre de 2011 y 2012 en el área metropolitana de Guadalajara fue de 29.6 grados centígrados. La temperatura media mínima entre mayo-septiembre de 2011 y 2012 fue de 17.7 grados centígrados. La precipitación pluvial media acumulada entre mayo-septiembre de 2011 y 2012 fue de 130.57 mm.

Tabla 5. Diferencias entre localidad y mes en el periodo 2011 y 2012

Variable	Df	Desviación	Resid	Df Resid	Dev P(> Chi)
Localidad	6	8099.5	16	8472.9	< 2.2e-16 ***
Mes	8	803.9	256	7669.1	< 2.2e-16 ***

interanual en el patrón espacial de dengue respectivamente, lo que permitiría en un momento dado particularmente en el primero de los casos, estimar el patrón de distribución anual del vector, característico de la ciudad. En este aspecto nuestros resultados son discordantes, y esto se puede explicar debido a la heterogeneidad interanual presentada. En futuros estudios se deberá ampliar los periodos de muestreo para obtener patrones de distribución del vector, a partir de posibles distribuciones homogéneas. Las interacciones significativas obtenidas en nuestros resultados entre: sitio/mes, sitio/año, mes/año y sitio/mes/año, con respecto a la abundancia, muestras frecuencias similares a las reportadas por Tinker y Olano, Jacob, Leisnham,³⁵⁻³⁷ mostrando en los centros urbanos una variedad de factores como tamaño de la población, áreas ecológicas, áreas culturales, tipos de viviendas, niveles socioeconómicos, así como diversos microclimas, cuyas interacciones influyen positiva o negativamente, sobre la ecología y biología de mosquitos.

Al preguntarnos, si la ciudad puede considerarse un auténtico ecosistema;³⁸ refiere que un sistema, es un conjunto de elementos que interactúan entre sí, de igual modo un ecosistema es un sistema en el que parte de esos elementos son organismos (biocenosis) ocupantes de un biotopo, están sometidos a la acción de una serie de factores de carácter abiótico. Con respecto a ello la ciudad cumple con los requisitos para ser considerada un ecosistema, nuestros resultados demuestran que no obstante, la plasticidad ecológica de *Ae aegypti*, este vector en los diversos ecosistemas urbanos de la ZMG, durante el periodo de estudio, continua vinculado estrechamente con el ambiente domiciliario, ya que las mayores abundancias se presentaron a nivel doméstico; las cuales se redujeron a nivel peridoméstico; es decir con respecto a la vivienda más cercana. Lo anterior concuerda con lo reportado por Troyes y cols.,³⁹ quienes refieren que *Ae aegypti*, es un mosquito domiciliario y urbano. Por su parte Sánchez y cols.,⁴⁰ señalan la conveniencia de medidas de intervención en comunidades a nivel doméstico y peridoméstico, las cuales deberán argumentarse a partir de hábitos de vida de *Ae aegypti*. En relación a hábitos de vida de este vector, nuestro resultados aportan información sobre dispersión desde un ambiente doméstico a un peridoméstico, destacándose una disminución gradual y nula presencia de inmaduros a una distancia de 201.13 m a la vivienda más cercana. Lo anterior coincide también con Sánchez y cols.,⁴⁰ sobre el radio de vuelo de *Ae aegypti*; el cual por lo general no es mayor de 100 m, aunque en condiciones de necesidad se estima puede alcanzar hasta 1 Km.

Si se toma en cuenta las mayores abundancias de

inmaduros encontradas a nivel doméstico en el presente estudio, será conveniente tener información local sobre densidades poblacionales estratificadas y tasas de prevalencia de dengue; lo anterior para que nos permitiría contrastar los resultados con los encontrados por Barrera y cols.,³⁹ quienes encontraron relaciones directas entre el número de habitantes y tasas de prevalencia de dengue, así como entre la densidad poblacional y la densidad de dengue, lo cual no fue parte de los objetivos del presente trabajo.

Finalmente los resultados reportados del presente trabajo en marzo, presentaron los primeros registros de inmaduros (4.73), coincidiendo con lo que reporta Carbajo y cols.,³³ en la ciudad de Buenos Aires, donde la actividad de oviposición de *Ae. aegypti* inicia en octubre, es decir en ambos casos en primavera. Mayo fue el mes que presentó la mayor abundancia (30.98) caracterizado por una temperatura media máxima de (33.2 °C), lo anterior similar a lo descrito previamente por Barrera y cols. en Venezuela,³⁹ donde la actividad máxima del mosquito *Ae. aegypti*, fue durante las épocas secas, cuando normalmente la evaporación excede a la precipitación.

En el presente reporte diciembre, enero y febrero (nuestro invierno) fueron meses con una temperatura media mínima de 11.7°C, hubo presencia cero. Dichos resultados muestran similitudes a los resultados reportados por Carbajo en Buenos Aires,³³ donde no se detectó actividad en su invierno; es decir a partir del 21 de junio. Por lo que nuestros resultados señalan que la temperatura media mínima durante el periodo más caluroso mayo-septiembre (17.7°C) fue la variable local con mayor desviación (0.0647 p<2e-16), a diferencia de las demás variables evaluadas.

Es importante resaltar que en la patogénesis del dengue existen nuevas fronteras, el presente estudio solo describe la ecología de poblaciones y la salud pública, lo cual está estrechamente relacionado con las diferencias epidemiológicas de la infección por virus del dengue, sin embargo se debe analizar los mecanismos de la patogénesis del virus del dengue, como la endocitosis mediada por las clatras, y la influencia en los niveles de LDL, y su relación con la actividad de la 3-metil-hidroxiglutaril coA reductasa en la práctica clínica.⁴¹⁻⁴³

Conclusión

Se demostró la plasticidad ecológica de *Ae. aegypti*, en una parte del ecosistema urbano de la ZMG. No se registraron cambios en la biología del vector, ya que su comportamiento se encuentra más estrechamente vinculado con el ambiente doméstico, que con el peridoméstico. Nuestros resultados nos permitirán contar con información local sobre la distribución del vector del dengue en espacio y tiempo; lo cual coadyuvará a implementar mejores medidas preventivas y de control dentro de la ZMG. Sin embargo se sugiere mayor investigación que contemple variables económicas, sociales, culturales, urbanística y micro-climáticas y sus posibles correlaciones con bioecología del vector. Es importante aclarar que con frecuencia los registros procedentes de las observaciones meteorológicas convencionales, no son suficientes para el estudio del clima urbano, ya que, su

representación suele cubrir una escala espacial diferente, lo que impone la necesidad de observar directamente a los elementos climáticos, de forma directa como parte de la plasticidad ecológica de *Ae. aegypti*.

Declaración de intereses y agradecimientos

Los autores del presente trabajo declaramos que no existe conflicto de intereses y que el presente fue parte de un proyecto de tesis del Doctorado en Ecofisiología Vegetal y Recursos Genéticos, del CUCBA de la Benemérita Universidad de Guadalajara.

Se agradece a Luz María Valencia Chávez, por su apoyo así como el financiamiento para la realización de este trabajo, miembro honorario del Grupo Multidisciplinario para el Estudio Integral de las Enfermedades Metabólicas e Infecciosas en Población Mexicana.

Referencias bibliográficas

- Mora C, Jiménez VA, Treviño AF, Maritza S. Distribución geoespacial y detección del virus del dengue en mosquitos *Aedes (Stegomyia) aegypti* de Ciudad Juárez, Chihuahua, México. *Salud Pública de México* 2010; 52(2): 127-133.
- Guzmán MG, Kouri G. Dengue diagnosis, advances and challenges. *Int J Infect Dis* 2004; 8: 69-80.
- Kindhauser MK. Dengue y fiebre hemorrágica dengue. En: Defensa Global ante la amenaza de Enfermedades Infecciosas. Organización Mundial de la Salud (Eds), Ginebra, 2003, pp140-3.
- García C, García L. Abundancia y distribución de *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Rev Biol Trop* 2011; 59(4): 1609-1619.
- OPS. Number of reported cases of dengue and dengue hemorrhagic fever (DHF), region of the Americas (by country and subregion). En línea: <http://www.paho.org/english/hcp/hctvbd//dengue-cases-2002> [Revisado 2013 nov 26]
- Kouri G. El dengue, un problema creciente de salud en las Américas. *Rev Panam Salud Pública* 2006; 19(3):143-5.
- Ramírez ZM, Velasco MH, Ramos C, Peñuelas JE, Maradiaga CM, Murillo LJ, et al. Caracterización clínica y epidemiológica de los casos de dengue: experiencia del Hospital General de Culiacán, Sinaloa, México. *Rev Panam Salud Pública* 2009; 25:16-23.
- Cenavece. Programa de acción específico 2007-2012 dengue. [En línea] <http://www.cenavece.gob.mx/progaccion/dengue.pdf> . [Revisado: junio 2013].
- Kerr JA, Camargo SD, Abedi ZH. Erradicación of *Aedes aegypti* in Latinoamérica. *J Am Mosq Control Assoc* 1964; 24:276-82.
- Prevenición y Control del Dengue en las Américas. En: Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud (Eds). Memorias 27.a Conferencia Sanitaria Panamericana Sesión del Comité Regional Resolución CSP27.R15. Washington, D.C., 2007, pp 59.A.
- Gubler DJ. Dengue and dengue hemorrhagic fever: its history and resurgence as a global public health problem. En: Gubler DJ, Kuno G (Eds). *Dengue and dengue hemorrhagic fever*. New York: *Cab International*; 1997. pp. 1-22.
- Cruz PC, Sebrango CR, Cristo HM, Pina C, Marquetti M del C, Sánchez LV. Comportamiento estacional y temporal de *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) en Sancti Spiritus, 1999-2007. *Rev Cubana Med Trop* 2010; 62(1): 5-10.
- Amaya CA. El Ecosistema Urbano: Simbiosis Espacial entre lo Natural y lo Artificial. *Rev For Lat* 2005; 1-16.
- Marquetti M del C, Bisset J, Suárez S, Pérez O, Leyva M. Bebederos de animales: depósitos a tener en cuenta por el Programa de Control de *Aedes aegypti* en áreas urbanas de Ciudad de La Habana, Cuba. *Rev Cubana Med Trop* 2006; 58(1): 40-43.
- Hoyos RA, Rodríguez PA. Actualización en aspectos epidemiológicos y clínicos del dengue. *Revista Cubana de Salud Pública* 2010; 36(1):149-164.
- Cunha SP, Carreira JR, Lima M, Duarte JR, de Barros CV, L da Silva J, et al. Presença de *Aedes aegypti* em Bromeliaceae e depósitos com plantas no Município do Rio de Janeiro, RJ. *Rev Saúde Pública* 2002; 36(2):244-245.
- Marquetti M del C, Bisset J, Leyva M, García A, Rodríguez M. Comportamiento estacional y temporal de *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* en La Habana, Cuba. *Rev Cubana Med Trop* 2008; 60(1): 62-67
- Pozo E, Neyra C, Vilchez ME, Méndez M. Factores asociados a la infestación intradomiciliar por *Aedes aegypti* en el distrito de Tambogrande, Piura 2004. *Rev Perú Med Exp Salud Pública* 2007; 24(2): 144-151.
- Sánchez CR, Torres ZR, Segovia SF, Reyes VF, Alvarado MM, Fernández SI (2010). Localización de Criaderos No-Residenciales De *Aedes Aegypti* Y Su Asociación Con Casos De Dengue En La Zona Metropolitana De Monterrey, Nuevo León, México. *Revista Salud Pública y Nutrición*, 2011;11(1).
- Marquetti MC, Carús F, Aguilera L, Navarro A. Influencia de factores abióticos sobre la incidencia de *Aedes aegypti* en el Municipio 10 de Octubre, 1982-1992. *Rev Cub Med Trop*. 1995;47(2):131-35.
- Calosi P, Bilton DT, Spicer JI. Thermal tolerance, acclimatory capacity and vulnerability to global climate change. *Biol Lett* 2008; 4(1): 99-102.
- Schoof HF. Mating, Resting Habits and Dispersal of *Aedes aegypti*. *Bull Wild Hlth Org* 1967; 36: 600-601.
- Rodhain F, Rosen L. Mosquito vectors and dengue virus-vector relationships. En: Gubler DJ, Kuno G (Eds). *Dengue and dengue hemorrhagic fever*, Cambridge. 1997. Ed. University Press; pp. 45-61.
- Calosi P, Merckx T, Van Dyck H, Baguette M. Habitat fragmentation impacts mobility in a common and widespread woodland butterfly: do sexes respond differently?. *BMC Ecology* 2012; 12(1):5.
- NOM-032-SSA2-2002. Norma Oficial Mexicana para la vigilancia epidemiológica, prevención y control de enfermedades transmitidas por vector. 2002. Ed. SSA. México.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). Disponible en: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/jal/territorio/clima.aspx>. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010 (INEGI).
- Laurence B. *Mosquito ecology: field sampling methods* MW Service. 2nd ed. 1993. Essex: Elsevier Science Publishers.
- Stein M, Griselda IO, Walter RA, Willener JA. Fluctuación estacional de *Aedes aegypti* en Chaco, Argentina. *Rev Saúde Pública* 2005; 39(4): 559-564.
- Vezzani D, Velázquez SM, Schweigmann N. Seasonal pattern of abundance of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in Buenos Aires city, Argentina. *Mem Inst Oswaldo* 2004; 99(4): 351-356.
- Ibáñez BS, Martínez CC. Clave para la identificación de larvas de mosquitos comunes en las áreas urbanas y suburbanas de la República Mexicana. *Folia Entomologica Mexicana* 1994; 92:43-73.
- Crawley M.J. *GLIM for Ecologists*. 1993. Blackwell Scientific Publications. Oxford.
- Royal Statistical Society. 1985. *GLIM 3.77*. Royal Statistical Society. London, England
- Carbajo E, Gómez S, Curto S. Variación espacio-temporal del riesgo de transmisión de dengue en la Ciudad de Buenos Aires. *Medicina (B. Aires)* 2004; 64(3):231-234.
- Barrera R, Delgado N, Jiménez M. Estratificación de una ciudad hiperendémica en dengue hemorrágico. *Pan Am J Public Health* 2000; 8(4):225-233.
- Tinker ME; Olano VA. Ecología del *Aedes aegypti* en un pueblo de Colombia, Sur América / *Aedes aegypti*'s ecology in a little town in Colombia, South America. *Biomédica (Bogotá)* 1993; 13(1):5-14
- Jacob B G, Regens JL, Mbogo CM. Occurrence and distribution of *Anopheles* (Diptera: Culicidae) larval habitats on land cover change sites in urban Kisumu and urban Malindi, Kenya. *J Med Entomol* 2003;40(6):777-84
- Leishnam PT, Lester PJ, Slaney DP. Anthropogenic Landscape change and vectors in New Zealand: effects of shade and nutrient level on mosquito productivity. *Eco-Health* 2004; 1: 306-316.
- Melic A. Entomología urbana. *Bol SEA* 1997; 20: 293-300.
- Troyes L, Villegas BZ, Troyes RM. Expansión del *Aedes aegypti* a localidades rurales de Cajamarca. *Rev Perú Med Exp. Salud Pública* 2006; 23(3): 163-167.
- de La Guardia S, Mederos JL, Cepero RI, Hidalgo MC, Valdés GL. Organización y acciones contra el *Aedes aegypti* en una comunidad. *Rev Cub Med Mil* 2003;32(4).
- Soto-Acosta R, Mosso C, Cervantes-Salazar M, Puerta-Guardo H, Medina F, Favari L, et al. The increase in cholesterol levels at early stages after dengue virus infection correlates with an augment in LDL particle uptake and HMG-CoA reductase activity. *Virology* 2013;442(2):132-47.
- Puerta-Guardo H, Mosso C, Medina F, Liprandi F, Ludert JE, del Angel RM. Antibody-dependent enhancement of dengue virus infection in U937 cells requires cholesterol-rich membrane microdomains. *J Gen Virol* 2010;91(Pt 2):394-403.
- Mosso C, Galván-Mendoza JJ, Ludert JE, del Angel RM. Endocytic pathway followed by dengue virus to infect the mosquito cell line C6/36 HT. *Virology* 378:193-199. 2008.

CAPITULO 5

RELACIÓN DENSIDAD DE POBLACIÓN- ABUNDANCIA DE (*Aedes aegypti*), EN UN CONTEXTO URBANO.

INTRODUCCION

El *A. aegypti* se le considera portador y transmisor de diversos Arbovirus que ocasionan enfermedades tales como: dengue 1, 2, 3 y 4, chikungunya, encéfalomiелitis equina venezolana y fiebre amarilla (Karabatsos, 1985). Las hembras de *A. aegypti*, parecen haberse adaptado a los ambientes urbanos donde el acceso a azúcares puede ser limitado, en contraste con la disponibilidad de sangre (Foster, 1995). Consecuentemente por ello la obtención de ésta, cubre sus requerimientos energéticos y reproductivos (Scott, *et al.* 1997; Costero, *et al.* 1998b). Fisiológicamente esta adaptación alimenticia es estratégica en *A. aegypti*, ya que su utilización se ve reflejada en mayores tasas de supervivencia (Nayar y Sauerman, 1975). Atribuible a presencia de isoleucina, aminoácido presente en la sangre humana (Briegel, *et al.* 1990; Chow, *et al.* 1993). Por lo que se le considera un mosquito antropofílico (Marquetti, 2008).

La extensión geográfica de *A. aegypti*, parece estar vinculado con el acelerado crecimiento no planificado de asentamientos urbanos (Barrera, *et al.* 2000). En América *A. aegypti*, muestra sinantropía clara, encontrándose solo en relación con los asentamientos humanos, tanto urbanos, suburbanos y rurales (Ibañez, 1995). Dichos asentamientos humanos, crean condiciones para su establecimiento debido entre otras cosas a la gran cantidad de criaderos artificiales existentes en estos, tales como: latas, cazuelas, floreros, macetas, veladoras, fosas, alcantarillas, neumáticos y cajas de batería (Stein, *et al.* 2002; Marquetti, *et al.* 2009). Contribuyendo de esta manera a la presencia de cuerpos de agua lénticos relativamente pequeños y no contaminados con permanencia tal que permita completar la biología de *A. aegypti*.

La Zona Metropolitana de Guadalajara; Jalisco, México (ZMG), no se encuentra exenta de la presencia de este mosquito, por lo que el objetivo de este trabajo fue determinar la relación entre la abundancia de estadios inmaduros de *A. aegypti*, con la densidad poblacional en algunos sitios de la ZMG, mediante la colocación de ovitrampas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

En la ZMG, hasta 2010 tiene 4,434,878 habitantes y se estima que en el año, 2013, ascenderá a 4,641,511 distribuidos en además de los municipios ya mencionados en (Tlajomulco, El Salto, Ixtlahuacán y Juanacatlán), es decir en una superficie de 2,734 km², esta cantidad arroja una densidad poblacional de 1,622 habitantes/km², siendo Guadalajara el municipio más poblado con cerca de 1.5 millones (Ramírez, 2015).

Este trabajo se desarrolló dentro de la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG), la cual comprende áreas de los Municipios de Guadalajara, Tlaquepaque, Tonalá y Zapopan, así como sus Cabeceras Municipales (Semarnap/SS/GEJ 1997; Ramírez, et al. 2008). Se ubica en el centro del Estado de Jalisco; México, a 20° 46'00'' latitud norte y 20° 32'08'' latitud sur; longitud este 103° 12' 30"; longitud oeste 103° 29' 00", a una altitud promedio de 1,540 m s. n. m.

Sitios de Muestreo y Colecta de Inmaduros

Se realizaron recolectas mensuales de Septiembre de 2011 a Agosto de 2012, mediante el método de ovitrampas (8 trampas/mes/sitio) es decir 768 en total. Los sitios de muestreo fueron (San Rafael, Tlaquepaque, Agua azul, Centro Universitario de Ciencias de la Salud (CUCS), Federalismo, Parque Monterrey, Estancia y Solidaridad) distribuidas en 4 municipios del ZMG (Guadalajara, Zapopan, Tonalá y Tlaquepaque) (Candelario, et al. 2014).

Esfuerzo de Muestreo

Se realizaron estimaciones de la densidad poblacional en un radio de 100 m alrededor de las ovitrampas. Lo anterior a partir de la sumatoria de las abundancias de estadios inmaduros de *A. aegypti* obtenidas por Candelario, et al. (2014) así como de la información consultada en línea del Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI) en la ZMG, sobre población y vivienda

(<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mapa/inv/default.aspx>).

Análisis Estadístico

Se realizó un modelo lineal generalizado (GLM), el cual es una extensión natural del modelo lineal clásico, adecuado para modelos de dependencia con datos no métricos (Ato y Vallejo, 2007) asimismo se utilizó una distribución Poisson.

RESULTADOS

La mayor densidad poblacional se encontró en los sitios ubicados en Tlaquepaque y San Rafael, ya que en un radio de 100 m, ambos cuentan con cifras igual o superiores a 300 habitantes/ha. En los sitios Tlaquepaque y San Rafael se ubicaron los nidos trampa en jardines peridomésticos, mientras que en el resto de los sitios se ubicaron las ovitrampas en jardines públicos o camellones, por lo que el número de habitantes alrededor de los sitios donde se colocaron las ovitrampas fue bajo (Tabla 5.1).

Los sitios de muestreo dentro de la Zona Metropolitana de Guadalajara con las mayores densidades poblacionales, presentaron las mayores abundancias de estadios inmaduros de *A. aegypti*. Y al ser analizados a través de modelos generalizados lineales con distribución de Poisson, esta variable explica el 74% de la varianza total (Figura 5.1) (Tabla 5.2).

Sitios dentro de la ZMG	Densidad poblacional (habitantes/ha)	Abundancia de estadios inmaduros de <i>Aedes aegypti</i>
SAN RAFAEL	389	2650
TLAQUEPAQUE	490	1858
AGUA AZUL	2	202
CUCS	21	374
FEDERALISMO	123	78
MONTERREY	81	55
ESTANCIA	171	38
SOLIDARIDAD	0	2

Tabla 5.1. Sitios de muestreo, Densidad poblacional y Registros de abundancia de *A. aegypti* (En la Zona Metropolitana de Guadalajara. Fuente: modificada de; (Candelario *et al.* 2014).

Figura 5.1. Muestra las menores abundancias de inmaduros de *A. aegypti* en densidades inferiores a 200 habitantes/ha, y las mayores en densidades superiores a 400 habitantes /ha

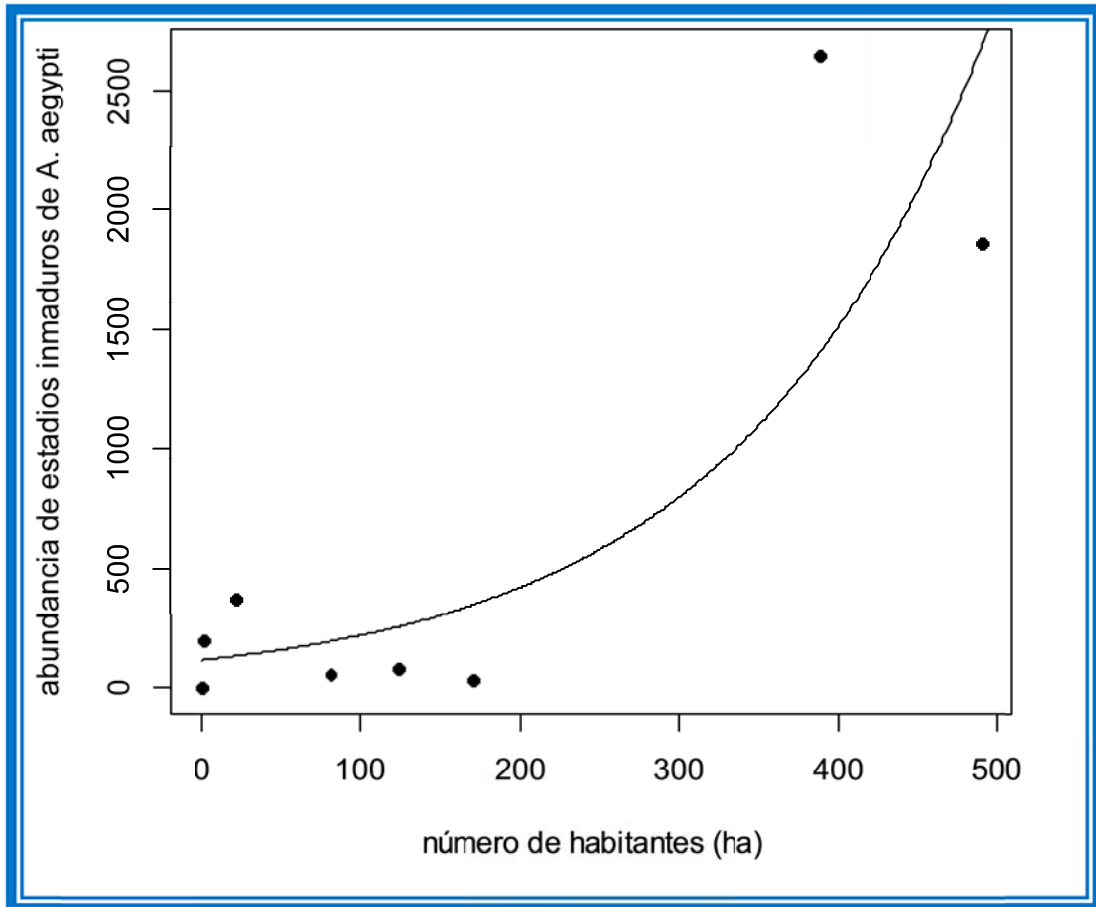


Figura 5.1. Distribución de abundancias de inmaduros de *A. aegypti*, obtenido a partir del Modelo lineal Generalizado (GLM)

Tabla 5.2. Muestra la cantidad de varianza explicada por el GLM, obteniéndose un buen ajuste de este con los datos de abundancia de inmaduros de *A. aegypti*/número de habitantes.

Devianza Nula(D ²)	Devianza Residual(D ²)	Varianza explicada	P
9509.6	73.4	0.74	< 0.01 ***

Tabla 5.2. Porcentaje de varianza a partir del análisis de devianza

DISCUSION

Los sitios de San Rafael y Tlaquepaque son las localidades con mayor abundancia poblacional, en los que se colocaron las ovitrampas a nivel peridoméstico obteniendo las abundancias más altas de estadios inmaduros, lo que confirma los hábitos sinantrópicos de este insecto (Scott, *et al.* 1993; Tinker y Olano, 1993; Ibáñez 1995; Barrera, *et al.* 2000; Bottinelli, *et al.* 2002; Pozo, *et al.* 2007; Niño, 2011).

La sinantropía de *A. aegypti* mostrada durante nuestro trabajo, puede ser explicada de acuerdo a Davis (1996), donde se menciona que los comportamientos más importantes en los mosquitos y que pueden incidir en la transmisión de enfermedades son: la búsqueda y preferencia por sangre y lo relativo a la puesta de sus huevos; actividades indispensables para la reproducción.

Si bien el estado fisiológico de los mosquitos determina su comportamiento, la expresión de este es influido por estímulos físicos del ambiente y es mediada por señales químicas. Estas señales emanan de sitios con características adecuadas para la ovoposición y de los posibles hospederos que son fuentes de sangre; esta aseveración hecha por Cork (1996), podría explicar los resultados obtenidos en nuestra investigación sobre todo en aquellos sitios como: La estancia, Monterrey, CUCS, Federalismo, La solidaridad y Agua azul en donde la presencia esporádica y temporal de hospederos (humanos) así como la emisión de señales no óptimas, determinaron las diferencias reflejadas en la actividad de ovipostura de *A. aegypti*.

CONCLUSION

Existe relación entre la abundancia de estadios juveniles de *A. aegypti* y la densidad poblacional de su hospedero en la zona metropolitana de Guadalajara.

Podrían existir diferencias en la abundancia de estadios inmaduro entre áreas peridomésticas y jardines públicos, debido a diferencias en la permanencia y abundancia de sus hospederos.

La existencia de otras variables (físicas, químicas y biológicas) no consideradas, así como posibles interacciones entre estas, podrán coadyuvar a explicar más satisfactoriamente la abundancia y distribución de este vector dentro del mosaico de espacios existentes en la ZMG.

LITERATURA CITADA

- Ato M. y Vallejo G. 2007. Diseños experimentales en Psicología (Madrid, Piramide).
- Barrera R, Delgado N, Jiménez M. 2000. Estratificación de una ciudad hiperendémica en dengue hemorrágico. Revista Panamericana Salud Publica [online]. vol.8, n.4 [cited 2015-05-17], pp.225-233. Available from: <http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1020-
- Bottinelli OR, Marder G, Ulón S, Ramírez L, Sario HR. 2002. Estratificación de áreas de Riesgo-Dengue en la ciudad de Corrientes mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfico (SIG). Corrientes, Argentina: UNNE.
- Briegel H. 1990. Metabolic relationship between female body size, reserves and fecundity of *Aedes aegypti*. Journal Insect Physiology 36: 165-172.
- Candelario-Mejía G, Rodríguez-Rivas A, Muñoz-Urías A. 2014. Estudio observacional de la fluctuación espacial y temporal de *Aedes aegypti*, en el área metropolitana de Guadalajara, México. Revista Médica MD, 6(1): 5-12 pp en línea: www.revistamedicamd.com

- Chow ER, Wirtz A and Scott TW .1993. Identification of blood meals in *Aedes aegypti* by antibody sandwich enzyme-linked immunosorbent assay. Journal American Mosquito Control Association 9:196-205.
- Cork A. 1996. Olfactory basis of host location by mosquitoes and other haematophagous Diptera. En: Bock GR, Cardew G, Ed. Olfaction in mosquitoes-host interactions. Ciba Foundation Symposium 200. Chichester: John Wiley & Sons, p.71-88.
- Costero A, Edman JD, Clark GG and Scott TW. 1998b. A life table study of *Aedes aegypti*. (Diptera: Culicidae) in Puerto Rico fed only human blood versus blood plus sugar. J. Med. Entomol. 35: 809-813.
- Davis EE. 1996. Introduction II. Olfactory control of mosquito behaviour. En: Bock GR, Cardew G, Ed. Olfaction in mosquitoes-host interactions. Ciba Foundation Symposium 200. Chichester: John Wiley & Sons, :48-54.
- Foster WA. 1995. Mosquito sugar feeding and reproductive energetics. Annual Review Entomology 40:443-474.
- Ibáñez S, Gómez H. 1995. Los vectores del dengue en México: una revisión crítica salud pública de México [en línea [Fecha de consulta: 17 de mayo de 2015] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10609207>> ISSN 0036-3634
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [Internet]. 2012. [actualizado 2012]. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mapa/inv/default.aspx>
- Karabatsos N. 1985. International catalog of arboviruses, including certain other viruses of vertebrates. Am. Soc. Trop. Med. Hyg. 1-1147 pp.
- Marquetti-Fernández M de C y Bisset-Lazcano JA. 2008. Aspectos bioecológicos de importancia para el control de *Aedes aegypti* y otros culícidos en el ecosistema urbano. Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias de la Salud (Instituto de Medicina Tropical Pedro Kouri). -- Ciudad de Habana : Editorial Universitaria, 186 pp.

- Marquetti- Fernández MdeC, Maureen LS, Bisset-Lazcano J, y Garcíaa-Sol A. 2009. Recipientes asociados a la infestación por *Aedes aegypti* en el municipio Lisa. Rev Cubana MedTrop [online] vol.61, n.3 [citado 2015-05-17], pp. 232-238. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0375-07602009000300005&lng=es&nrm=iso>. ISSN 1561-3054.
- Nayar JK and DM Sauerma, Jr. 1975. The effects of nutrition on survival and fecundity in Florida mosquitoes. Part 2. Utilization of a blood meal. For survival. J. Med. Entomol. 12: 99-103.
- Niño L. 2011. Interpolación espacial de la abundancia larval de *Aedes aegypti* para localizar focos de infestación. RevPanam Salud Publica.; 29(6): 416-422.
- Pozo Edwar J, Neyra C Miguel, Vilchez P, Ehunise y Melendez M Mónica. 2007. Factores asociados a la infestación intradomiciliaria por *Aedes aegypti* en el distrito de Tambogrande, Piura Rev. Perú. med. exp. Salud pública [online]. vol.24, n.2 [citado 2015-05-26], pp. 144-151. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342007000200008&lng=es&nrm=iso>. ISSN 1726-4634
- Ramírez H, Andrade M, De la Torre O, García M, Meulenert A, García O, Alcalá J. 2008. Evaluación de eventos climáticos extremos y su impacto en la salud en América Latina. Universidad de Guadalajara. ISBN: 978-970-27-1324-1. Págs. 180. México
- Ramírez G. 2015. Zona Metropolitana de Guadalajara [Internet]. Disponible de: <http://www.jalisco.gob.mx/es/jalisco/guadalajara>
- Scott T, Naksathit WA, Day JF, Kittayapong P and Edmar JD. 1997. A fitness advantage for *Aedes aegypti* and the viruses it transmits when females feed only on human blood. Am. J. Trop. Med. Hyg. 57: 235-239.
- Scott TS, Chow S, Strickman D, Kittapong P, Wirtz RA. 1993. Blood-feeding patterns of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) collected in a rural Thai village. J. Med. Entomol. 30:922-927
- SEMARNAP/ SS / GEJ. 1997. Programa para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en la ZMG, 1997-2001. Secretaria del medio ambiente, recursos naturales y pesca- Secretaria de Salud- Gobierno del Estado de Jalisco, 240 p.

Stein M, Oria GI y Almirón WR. 2002. Principales criaderos para *Aedes aegypti* y culícidos asociados, Argentina. Rev. SaudePública [online].vol.36, n.5 [cited 2015-05-18], pp. 627-630.Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89102002000600013&lng=en&nrm=iso>.

Tinker M. y Olano V. 1993. Ecología del *Aedes aegypti* en un Pueblo de Colombia, Sur America. Vol 13, Nol-1993, "Biólogo Grupo de Entomología. Instituto Nacional de Salud.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES GENERALES

La predicción del nicho potencial para *Aedes aegypti*, mediante el uso del programa MAXENT, representa una alternativa en la elaboración de mapas de riesgo de Dengue, a partir de los patrones de distribución obtenidos.

Los cauces de los ríos Ameca, Tomatlán y Santiago, constituyen potenciales hábitats para esta especie. De acuerdo a nuestros resultados, la cercanía de estos cauces con municipios densamente poblados a los nichos potenciales obtenidos, representan un factor de riesgo sobre posibles brotes de dengue clásico y/o hemorrágico así como chikungunya a partir de la dispersión de este vector. En Jalisco su distribución podría tener impacto en municipios como Puerto Vallarta y Tomatlán, así como algunos otros que integran la zona metropolitana de Guadalajara (Tonalá, Tlaquepaque, Zapopan, Tlajomulco de Zúñiga, el Salto y Guadalajara), municipios considerados cercanos al cauce del río Santiago en el tramo denominado barranca Huentitan-Oblatos, por su parte del estado de Nayarit; municipios como Bahía de banderas y del estado de Colima; municipios como Manzanillo y Tecomán.

Como factores limitantes del nicho potencial de *A. aegypti*, se encontró la temperatura anual promedio, mínima del mes más frío y la temperatura promedio del trimestre más frío.

Se demostró la presencia de *A.aegypti* en la mayoría de los sitios de muestreo ubicados en los municipios de Guadalajara, Zapopan, Tlaquepaque y Tonalá. Las temperaturas promedio mínimas y máximas registradas entre 2011 y 2012 en la zona metropolitana de Guadalajara (ZMG) están relacionadas con la actividad de ovipostura, coincidiendo con los resultados del nicho potencial de *A. aegypti*, donde la ovipostura disminuye al disminuir la temperatura.

La mayor actividad de ovipostura y por lo tanto las mayores abundancias se encontraron en los sitios con mayor densidad poblacional en un radio de 100 m por lo que la abundancia fue mayor en aquellos sitios de muestreo considerados peridomésticos (San Rafael y Tlaquepaque) a diferencia de los sitios ubicados en parques públicos y camellones de la ZMG. Por lo que el desplazamiento y presencia de este vector puede estar asociado con las densidades poblacionales de sus hospederos. Variables como la temperatura y la densidad poblacional explicaron el mayor porcentaje de varianza obtenida respecto a la abundancia de los estadios inmaduros.

La estratificación obtenida en el presente trabajo coadyuvará en la toma de decisiones y acciones de aquellos organismos responsables de la salud pública en México y específicamente en algunos estados del occidente del país, entre ellos el estado de Jalisco; con respecto a *A. aegypti* y sus implicaciones principalmente en padecimientos como dengue, fiebre amarilla y chikungunya.