

## Estudio ecológico mixto en México de la distribución de *Aedes aegypti* implicaciones en las políticas públicas

Gerardo Candelario-Mejía, Antonio Rodríguez-Rivas, Alejandro Muñoz-Urías, José Luis Ibarra-Montoya, Claudia Chavéz-Lopez, Clemente Mosso-González, Jareth Marco Cruz-Bastida y Sergio Alberto Ramírez-García

### 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.

**Palabras clave:** Dengue, Mosquito *Aedes aegypti*, Modelo de Nicho Potencial distribución de especies, Máxima Entropía, Este de México

**Keywords:**



## Estudio ecológico mixto en México de la distribución de *Aedes aegypti*. Implicaciones en las políticas públicas

Candelario-Mejía G<sup>a</sup>, Rodríguez-Rivas A<sup>b</sup>; Muñoz-Urías A<sup>c</sup>, Ibarra-Montoya JL<sup>d</sup>,  
Chavéz-López C<sup>e</sup>, Mosso-González C<sup>e</sup>, Cruz-Bastida JM<sup>f</sup>, Ramírez-García SA<sup>e</sup>

### Resumen

#### Introducción

El dengue es un problema de Salud pública en México que se tramite por el vector *Aedes aegypti*. Uno de los abordajes para su estudio es mediante el Modelado de Nichos Ecológicos. Además existen diferentes métodos tales como el BIOCLIM y MaxEnt, estos incluyen la presencia de factores bióticos y abióticos para el análisis. En México son limitados los estudios de este tipo, por lo cual el principal objetivo del presente estudio es predecir mediante el uso de MaxEnt, el nicho potencial de *Aedes aegypti* en el país.

#### Material y Métodos

Este trabajo se desarrolló a partir de una base de datos integrada por 51 registros de ocurrencia para *Aedes aegypti* en diferentes localidades de la República mexicana e incorporando cuatro nuevos registros de ocurrencia obtenidos entre 2011 y 2012. Para determinar el nicho potencial de *Aedes aegypti* se utilizó el algoritmo MaxEnt 3.3.3. A dicho modelo se le incorporaron un total de 55 puntos referenciados de la especie como datos de entrada, así como las variables bioclimáticas, con un formato de 30 segundos de resolución. Se determinó 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.

#### Resultados

El análisis de las frecuencias reveló el nicho potencial de *Aedes 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.

#### Discusión

Nuestros resultados mostraron un buen ajuste del modelo con los datos al obtener valores AUC de (0.904) y (0.827) para los datos de entrenamiento y prueba, lo que demuestra que el modelo es correcto, representando características actuales de idoneidad y a nivel predictivo para la especie en Jalisco.

**Palabras clave:** Dengue, Mosquito *Aedes aegypti*, Modelo de Nicho Potencial distribución de especies, Máxima Entropía, Este de México.

- a. Programa de Doctorado en Ecofisiología Vegetal y Recursos Genéticos, Centro Universitario de Ciencias Biológicas Agropecuarias (CUCBA) de la Benemérita Universidad de Guadalajara.
- b. Departamento de Madera, Celulosa y Papel. CUCEI, Benemérita Universidad de Guadalajara.
- c. Departamento de Ecología. CUCBA - Benemérita Universidad de Guadalajara.
- d. CUCBA - Benemérita Universidad de Guadalajara.
- e. División de estudios de Posgrado, Maestría en Salud Pública, Universidad de la Sierra Sur, Sistema de Universidades Estatales del Estado de Oaxaca (SUNEO).
- e. Universidad de La Salle, Campus Oaxaca.
- f. Instituto de Investigaciones Sobre la 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.

# Mixed ecological study in Mexico of the distribution of *Aedes aegypti*. Public policy implications

## Abstract

### Introduction.

Dengue is a public health problem in Mexico and the main vector is *Aedes aegypti*. It may be approached by ecological niche modeling, BIOCLIM and MaxEnt. These models include within the analysis biotic and abiotic factors. There are a limited number of these types of studies in Mexico. The aim of this work is to predict the potential niche of *Aedes aegypti* in the country by using MaxEnt.

### Material y Methods.

This study is developed on a data base that takes in account 51 registries of *Aedes aegypti* occurrence in 51 Mexican locations. Four new registries were added from the 2011 and 2012 period. In order to determine the *Aedes aegypti* niche potential we used the MaxEnt 3.3.3. algorithm. We added to this model a total of 55 referenced points from the species and bioclimatic variables with a 30 second resolution format. Determination was done using the Receiver Operating Characteristic technique, which is used in distribution models based on presence algorithms. The most important climatic variables associated to species were determined using the Jackknife test.

### Results.

The frequency analysis revealed the potential niche of *Aedes aegypti* in the entire coastline of Jalisco, Nayarit and Colima. The model demonstrated a good adjust with the training and testing data. We obtained values near one, 0.904 for sensibility and 0.827 for specificity.

### Discussion.

Our results show a good adjustment of the model to the data with AUC values of 0.904 and 0.827 for training and testing data. This shows that the model is correct and represents current suitability and predictive characteristics for this species in Jalisco.

**Key Words:** Dengue, Mosquito, *Aedes aegypti*, Niche Model, Potential, Species distribution, maximal entropy, East Mexico.

## Glosario y definiciones

**Nicho.** Posición relacional de una especie o población en un ecosistema, que incluye los factores bióticos, abióticos así como antrópicos con los que el organismo se relaciona, los recursos presentes del ambiente, adaptaciones del organismo.

**Máxima entropía.** Es algoritmo de aprendizaje que combina estadística, máxima entropía y métodos bayesianos, cuyo propósito es estimar distribuciones de probabilidad de máxima entropía sujeto a restricciones dadas por la información ambiental. Modela todo lo que es conocido y no supone nada sobre lo desconocido, al no suponer nada sobre lo desconocido permite escoger la distribución más "uniforme".

**BIOCLIM.** Algoritmo de la envoltura bioclimática para analizar la distribución de las especies, el cual solo requiere los datos de presencia, produce mapas binarios, no asigna probabilidades, no considera relaciones entre las variables. Al definir los valores máximos y mínimos de cada variable crea una envoltura ambiental rectangular.

**Prueba de Jackknife.** Conocida el nombre de Quenouille-Tukey Jackknife, es una prueba estadística que consiste en determinar la precisión de una estimación, calcula el sesgo y el error estándar para una estadística, pero no para un intervalo de confianza. Calcula el efecto de cada grupo en que los datos han sido divididos no tomando el resultado de ese grupo individualmente y el efecto del conjunto de datos que resulta de omitir dicho grupo. No requiere reasignación de valores y utiliza muestras de tamaño inferior al de la muestra observada. Se usa para probar hipótesis.

**Curva ROC.** Característica Operativa del Receptor, es una representación gráfica de la sensibilidad frente a  $(1 - \text{especificidad})$  para un sistema clasificador binario según se varía el umbral de discriminación. Gráficamente es la representación de la razón o ratio de verdaderos positivos (VPR = Razón de Verdaderos Positivos) frente a la razón o ratio de falsos positivos (FPR = Razón de Falsos Positivos).

**Curva AUC.** Es una representación gráfica que muestra una medida directa de la capacidad de discriminación del modelo con valores que fluctúan de cero a uno.

**Culicidos.** Familia de dípteros nematóceros conocidos como mosquitos y en América como zancudos. Incluyen los géneros *Anopheles*, *Culex*, *Psorophora*, *Ochlerotatus*, *Aedes*, *Sabethes*, *Culiseta* y *Haemagogus*.

para obtener asociaciones, pueden establecerse efectos con distintos niveles de exposición. Sin embargo, pueden ser más susceptibles de muchos sesgos que los estudios que se basan en observaciones individuales. Los estudios ecológicos se distinguen de otros diseños en su unidad de observación, pues se caracterizan por estudiar grupos. Por lo cual se le ha llegado a nombrar estudios exploratorios dejando la característica de ser estudios etiológicos o probadores de hipótesis. Se les llama también diseños incompletos debidos por emplear promedios grupales.<sup>1</sup>

Considerando estas premisas y la importancia de las enfermedades transmitidas por vector, analizamos la distribución de *Aedes aegypti* en México con el fin de poder establecer un nicho potencial, con un modelo, para generar

información que permita hacer personalizadas las políticas en el control de enfermedades emergentes como la infección por virus del dengue y chikungunya. Además por el interés global de estas, 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

## Introducción

Los estudios ecológicos son uno de los diseños de estudio más sencillos empleados en Medicina en la descripción de la situación de salud o en la investigación de nuevas exposiciones. Tienen la ventaja de no ser costosos, son sencillos, fácil obtención de información agregada, rapidez

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.<sup>2</sup>

El virus del dengue y chikungunya son transmitidos por el mosquito *Aedes aegypti*: díptera-culicidae, considerado hace algunos años como una especie cosmo tropical, 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.<sup>3,4</sup> En términos generales se le ha encontrado en áreas geográficas con una temperatura media anual mayor a los 16.9°C.<sup>5</sup>

Por lo tanto *Aedes 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).<sup>6</sup> Como las enfermedades transmitidas por *Aedes aegypti* (dengue, fiebre amarilla y chikungunya) han sido objetivo de numerosos estudios, ya que son un problema de salud pública en América, incluso estudios de genéticos para caracterizar las especies del vector, como el que se realizó en el noreste de la costa de México, considerándole al principal vector de dengue a *Aedes aegypti*.<sup>7,8</sup>

Entre los años 1941 a 1946 se presentaron las primeras epidemias de dengue en el Caribe (Puerto Rico, Bermuda, Cuba, y las Bahamas), México, Panamá, Venezuela, y Texas.<sup>9</sup> El dengue reingreso a finales de los años setenta a México y se extendió por todo el país. Para el periodo 2001-2007 se observó una tendencia anual ascendente en los estados de Veracruz, Chiapas, Quintana Roo, Tamaulipas, Nayarit, Jalisco y Sonora; en el 2007 se incrementaron los reportes de esta década tanto de dengue clásico, como hemorrágico.<sup>10</sup> El estado de Jalisco por sus características geográficas y climáticas con ubicación geográfica de 18°55'06" hasta los 22°46'24" de latitud N en donde predominan los climas tropicales presenta condiciones de alto riesgo del dengue, ya que tiene condiciones climáticas que favorece el ciclo de vida del vector trasmisor *Aedes aegypti*.<sup>10-11</sup>

Con las consideraciones anteriores, una de las estrategias en salud pública para determinar políticas para el control de

enfermedades infecciosas que transmiten por vector es mediante la determinación de nichos potenciales ubicados en el espacio geográfico y pueden ser aplicados para diversas especies. El uso de modelos empíricos como BIOCLIM (Envoltorios Bioclimáticas), así como el modelo de distribución de especies MaxEnt (Máxima entropía), son alternativas para estimar y predecir nichos potenciales.<sup>12</sup>

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.<sup>13-15</sup> Por lo que el objetivo principal de este trabajo es predecir mediante el uso de MaxEnt, el nicho potencial de *Aedes aegypti* en México.

## Materiales y métodos

### Datos de Distribución para *Aedes aegypti*

Este trabajo se desarrolló a partir de una base de datos integrada por 51 registros de ocurrencia para *Aedes aegypti* en diferentes localidades de la república mexicana 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 del Área Metropolitana de Guadalajara en el Estado de Jalisco; México.<sup>16-21</sup> Todos los puntos de ocurrencia fueron geo-referenciados en línea ser sometidos a su análisis mediante la utilización del modelo MaxEnt, para la modelación del nicho potencial de especies.

### Modelado de Nicho potencial

Para determinar el nicho potencial de *Aedes aegypti*, se utilizó el algoritmo MaxEnt 3.3.3., a dicho modelo se le incorporaron un total de 55 puntos georreferenciados de la especie como datos de entrada, así como las variables bioclimáticas proporcionadas por bioclim, con un formato de 30 arco segundos de resolución. La configuración del modelo MaxEnt para la distribución geográfica potencial de *Aedes aegypti*, 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. Al modelo se le configuraron las siguientes características "Quadratic", "Product" y "Hinge", estas permiten a MaxEnt, la aproximación simple así como sucinta de la respuesta verdadera de la especie con el medio ambiente.<sup>22</sup>

La calidad de la predicción del nicho potencial de *Aedes aegypti*, se determinó con la técnica de evaluación Receiver Operating Characteristic (ROC) utilizada en modelos de distribución basados en algoritmos de solo presencia. 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 al mismo. Y

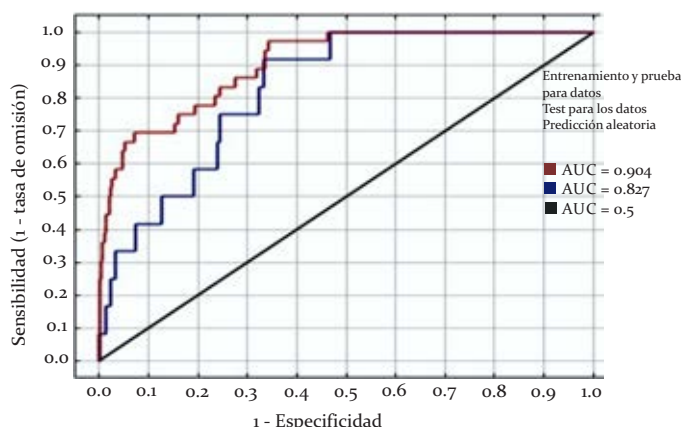
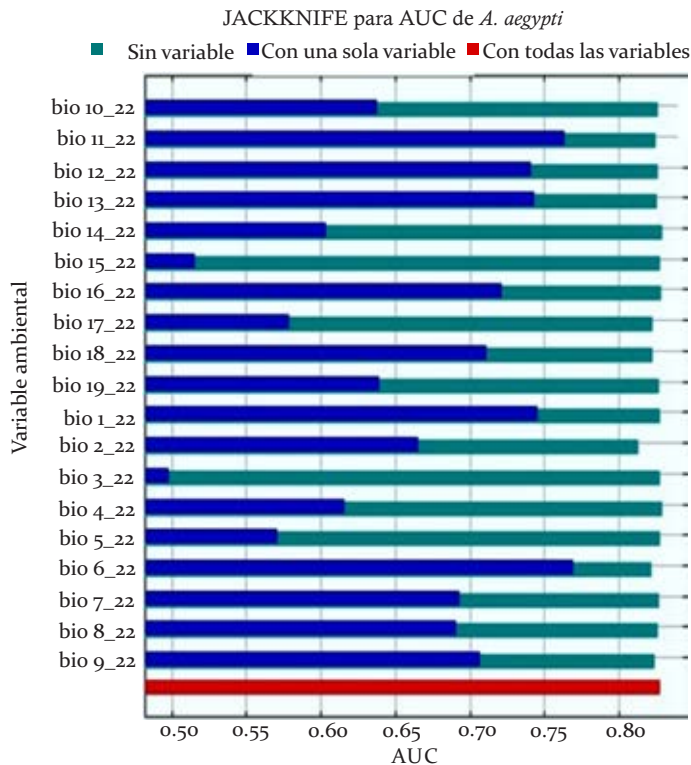


Figura 1. Desempeño del modelo (valores AUC)



Figura 2. Prueba Jackknife para *Aedes aegypti*.

mediante la curva AUC, 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 con los (los mismos); es decir, cuanto más próximo a uno, los datos de entrenamiento y de prueba, el modelo es más confiable.<sup>13,14,23</sup> Las variables climáticas más importantes asociadas a la especie se determinaron con la prueba de Jackknife. Los puntos geográficos de registro de la especie se dividieron al 50% para las accesiones de entrenamiento y 50% para las accesiones de prueba; el propósito de ello es garantizar una significancia estadística y equitativa para el modelo.<sup>24</sup> Con la prueba de Jack-Knife, se creó un gráfico ya que usa cada variable de manera aislada y adicionalmente genera otro con todas las variables en donde indica la ganancia de cada una de estas.

## Resultados

### Predicción de la presencia y distribución de *Aedes aegypti*

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 *Aedes aegypti* (Figura 1).

Variables más importantes asociadas a la especie. Mediante la prueba de Jackknife se observó que las variables de bioclim más importantes fueron temperatura anual promedio (bio1),

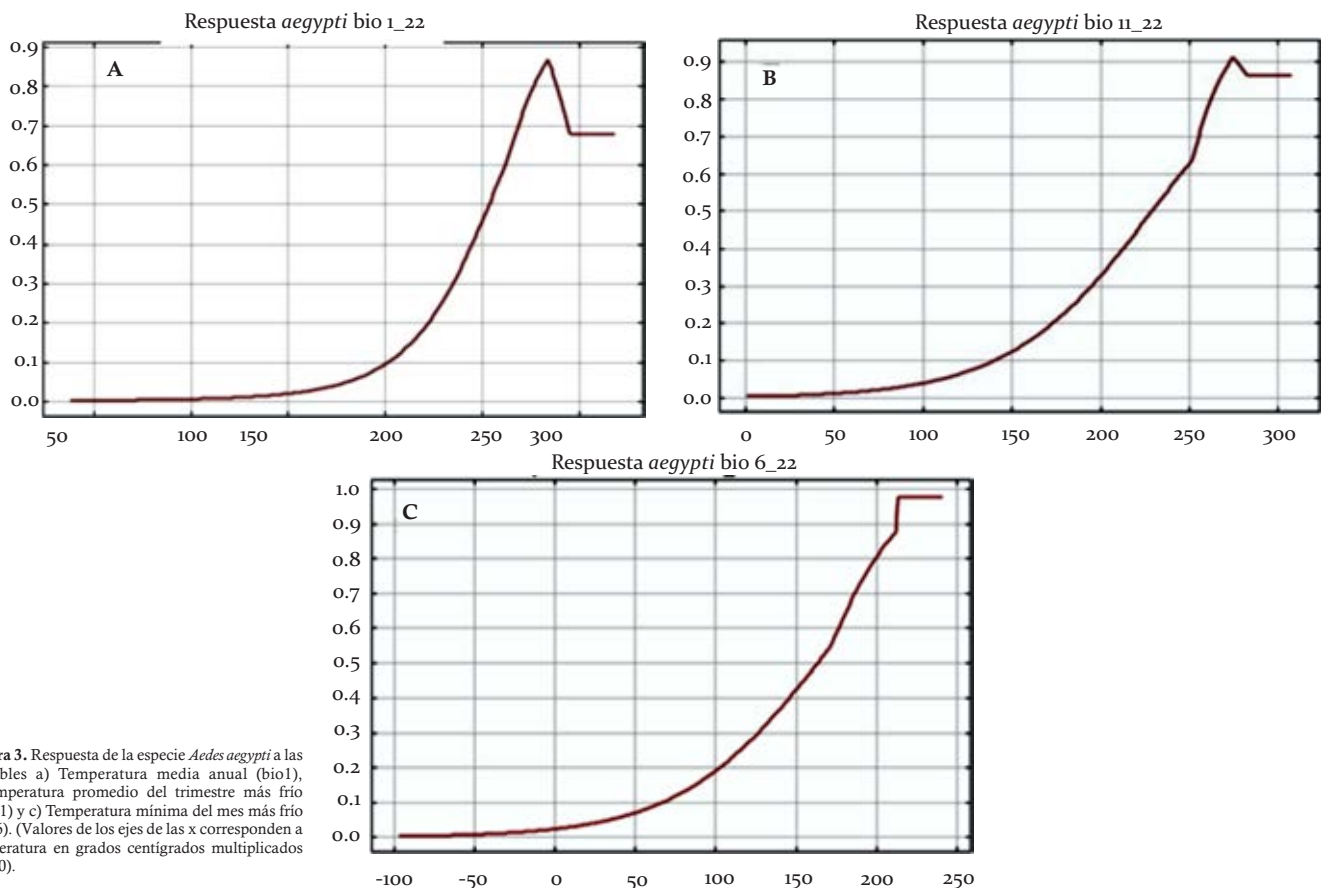


Figura 3. Respuesta de la especie *Aedes aegypti* a las variables a) Temperatura media anual (bio1), b) Temperatura promedio del trimestre más frío (bio11) y c) Temperatura mínima del mes más frío (bio 6). (Valores de los ejes de las x corresponden a temperatura en grados centígrados multiplicados por 10).

temperatura mínima del mes más frío (bio 6) y temperatura mínima promedio del trimestre más frío (bio 11), mientras que las variables relacionadas con la precipitación b12 a bio 19 no son importantes para el modelo y las variables que menos ayudan a explicar el modelo son la isotermalidad (bio3) así como la estacionalidad de la precipitación (bio15)(Figura 2).

#### Respuesta de *Aedes aegypti* a la variable temperatura

El nicho potencial de *A. aegypti* es determinado por las temperaturas promedio mensual, la temperatura promedio del mes más frío y temperatura mínima promedio del trimestre más frío. Estas tres variables están relacionadas, por lo que nos brinda un factor limitante para esta especie. La temperatura mínima sin embargo, es importante en la interpretación de las tres gráficas debido a que *A. aegypti* se puede reproducir todo el año. Con respecto a la temperatura promedio anual, los sitios con temperaturas menores a 20°C tiene 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).

#### Nicho potencial de *A. aegypti* en el occidente de México

El análisis de las frecuencias revela el nicho potencial de *A. aegypti* por toda la costa de Jalisco, Nayarit, Colima. 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 otros municipios considerados parte como: 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 (Figura 4).

### Discusión

Los algoritmos presentados en el presente trabajo permiten estratificar el riesgo ambiental de dengue en el estado de Jalisco. Asimismo los algoritmos para la determinación de riesgo ambiental utilizados representan modelos simples que reflejan de manera aceptable el condicionamiento ambiental en el desarrollo del mosquito y la circulación viral. Nuestros resultados mostraron un buen ajuste del modelo con los datos al obtener valores AUC de (0.904) y (0.827) para los datos de entrenamiento y prueba, lo que demuestra que el modelo es correcto, representando características actuales de idoneidad y a nivel predictivo para la especie en Jalisco. En este sentido se ha reportado que a partir de 451 puntos de presencia de *A. aegypti*, a lo largo del rango de distribución de la especie y mediante la utilización de MaxEnt 3.3.3, generaron los modelos predictivos para la misma, muy similares a los encontrados en el presente estudio.<sup>20</sup>

Con respecto a la confiabilidad de MaxEnt a partir del número de registros de presencia, en un trabajo previo en una investigación sobre modelación potencial del nicho ecológico de especies de mosquito vectores del virus del Nilo, en Iowa; utilizaron 45 registros de estas especies entre ellas *Cx. tarsalis*, con nueve registros de ocurrencia, los cuales fueron suficientes para validar el modelo.<sup>25</sup> En relación a ello la predicción en la distribución de especies a partir de reducidos registros de ocurrencia ha sido estudiada por Pearson, cuyos resultados indicaron que con cinco registros para MaxEnt y diez para el programa llamado Genetic Algorithm for Rule-Set Prediction (GARP) con registros de presencia y ausencia respectivamente, obtuvieron una tasa de eficiencia en sus resultados del 90%. Por lo que nuestros resultados a partir de 55 registros de ocurrencia para *A. aegypti*, se consideran significativos y suficientes para generar modelos predictivos.<sup>26</sup>

Así también nuestros resultados coinciden con lo referido por Micielli y cols. en relación a la estrecha correlación de la temperatura con la actividad de *A. aegypti*.<sup>27</sup> Por su parte Vicenci y cols, en la ciudad de Tuxpan, Veracruz han reportado aspectos coincidentes con el presente reporte en cuanto la mayor diversidad de culícidos encontrada, se atribuye a la existencia de hábitats naturales como son áreas pantanosas así como aquellas de inundación permanente.

Estos resultados son muy importantes en las políticas de

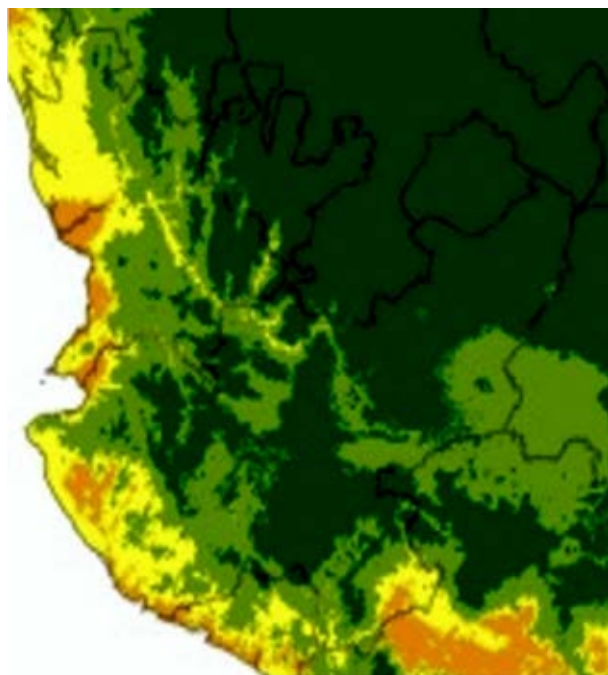


Figura 4. Nicho potencial de *Aedes aegypti* en el occidente de México.

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 dengue. Por lo tanto se deben de movilizar un mayor ramo de recursos para el control del vector como insecticidas, así como mayor cantidad de insumos para el manejo clínico y farmacológico, así 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 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 (ENM) como MaxEnt; en el campo de la biodiversidad, ofrecen una muy buena representación de patrones espaciales sobre la distribución de *A. 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.

## Referencias bibliográficas

- 1.-Borja-Aburto VH. Estudios ecológicos. Salud Pública de México 2000;4(6):533-538.
- 2.Guzmán MG, Kourí G. Dengue: anupdate. *Lancet Infect Dis* 2002; 2:33-42.
- 3.Regis L, Monteiro AM, Varjal MA, Silveira JC, Freire A, et al. Developing new approaches for detecting and preventing Aedes aegypti population outbreaks: basis for surveillance, alert and control system. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 2008;103:50-59.
4. A catalog of the Iposquitoes of the world (Diptera: Culicidae) (Eds). Knight KL, Stone A. 2a. edición. Baltimore, The Thomas Say Foundation 1977; vol 6, pp 611.
5. Aedes aegypti: Biología y ecología (Eds). Nelson MJ. Washington, D.C, Organización Panamericana de la Salud, 1986. pp36.
6. Carrada BT, Vázquez L. Ecología del dengue y del A. aegypti. Investigación preliminar: 2a. parte. Salud Publica Mex 1984;26(2):170-189.
7. Gorrochotegui-Escalante N, Muñoz ML, Fernández-Salas I, Beatty BJ, Black. Genetic isolation by distance among Aedes aegypti populations along the northeastern coast of México. *Am J Trop Med Hyg* 62: 200-209.
8. García C, García L. December 2011. Abundancia y distribución de Aedes aegypti (Diptera: Culicidae). *Rev. Biol. Trop* 2011. Vol. 59(4): 1609-1619
9. Badii M, Landeros J. Ecology and history of dengue in Americas. Daena: *International Journal of Good Consience* 2007; 2(2): 248-273.
10. Cenaprece. Programa de acción específico 2007-2012 dengue. Disponible en: <http://www.cenave.gob.mx/progaccion/dengue.pdf>
11. Barrera RY, Zaragoza F. Geomorfología del estado de Jalisco proyecto "ordenamiento ecológico del estado" las estructuras del relieve del estado de Jalisco. 2007. Disponible en: <http://siga.jalisco.gob.mx/moet/SubsistemaNatural/GeologiaYGeomorfologia/sintgeo.htm>
12. Bonet GFJ. Modelos algorítmicos. In: Réplica del III Taller sobre modelización de nichos ecológicos de GIF. 14-16 marzo de 2007. Madrid, España. <http://www.gbif.es/formaciondetalles.php?IDForm=22#ad-image-0>.
13. Benito de Pando B, Peñas de Giles J. Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica. *Geofocus* 2007;7:100-119.
14. Benito de Pando B. Peñas de Giles J. 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. 2007. pp. 33-47.
15. Contreras MR, Luna V, Rios M. 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* 2010; 83: 421-433.
16. Black IV, William C, Bennett KE, Gorrochotegui-Escalante N. Flavivirus Susceptibility in Aedes aegypti. *Archives of Medical Research* 2002;33379-388.
17. Bennett KE, Olson KE, Muñoz ML. 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* 2002; 67(1):85-92.
18. García GP, Flores AE, Fernandez-Salas I, Saavedra-Rodríguez K, Reyes-Solis G, Solano-Fuentes S, et al. Recent Rapid Rise of a Permethrin Knock Down Resistance Allele in Aedes aegypti in Mexico. *PLoS Negl Trop Dis* 2009;3(10):e531.
19. Micieli M, Casas M, Orozco B, Bond CJ. Diversidad y distribución geográfica de las especies de culicidos 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. 2012.
20. Algoritmos para el Alerta Temprana de Dengue en un Ambiente Geomático. Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich (Eds). Lanfri S, Frutos N, Porcasi X, Rotela C. Comisión Nacional de Actividades Espaciales. Centro Espacial Teófilo Tabanera, Córdoba, Argentina. 40JAIIO - CAIS. 2011. pp 89.
21. Candelario-Mejía G, Rodríguez-Rivas A, Muñoz-Urías A, González-Carcamo J, Candelario VA, Mosso-González C, et al. Estudio observacional de la fluctuación espacial y temporal de Aedes aegypti, en el área metropolitana de Guadalajara, México. *Rev Méd MD*, 2014 6(1): 5-12.
22. Phillips SJ, Dudik M. Modeling of species distributions with Maxent, new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 2008;31: 162-175.
23. García M. 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. 2008. pp188.
24. Hurtado A. Uso de modelos de predicción como herramienta para estimar el área de distribución potencial de la especie Anibaperutis 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 2007. pp 57.
25. Scott R, Larson JP, Degroot LC. Ecological niche modeling of potential. West Nile virus vector mosquito species in Iowa. *J insect Science* 2010;10:110.
26. Pearson RG, Raxworthy CJ, Nakamura M, Peterson AT. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: A test case using cryptic geckos in Madagascar. *J Biogeography* 2007;34(1): 102-117.
27. Micieli MV, García JJ, Achinelly MF, Marti GA. Dinámica poblacional de los estadios inmaduros del vector del dengue Aedes aegypti (Diptera: Culicidae): un estudio longitudinal (1996-2000). *Rev Biol Trop* 2006; 54(3):979-983.
28. De la Cruz FV, Veda-Moreno D, Valdés-Murillo A. Aspectos ecológicos de la incidencia larval de mosquitos (Diptera: Culicidae) en Tuxpan, Veracruz, México. *Rev Colomb Entomol* 2012; 38(1): 128-133.
29. De la Cruz FV, Veda-Moreno D. Aspectos ecológicos de la incidencia larval de mosquitos (Diptera: Culicidae) en Tuxpan, Veracruz, México. *Revista Colombiana de Entomología* 2012;38(1):128-133.