



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Distribución de los vectores del dengue, chikungunya y zika (*Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*) en el estado de Puebla

Tesis para obtener el título de

LICENCIADA EN BIOLOGÍA

PRESENTA:

LUZ MAYRA CALDERÓN HERNÁNDEZ

Director de tesis: DR. CÉSAR ANTONIO SANDOVAL RUIZ

Octubre 2018



Esta investigación fue realizada gracias al apoyo del Consejo de Ciencia y
Tecnología del Estado de Puebla

“Las posibilidades de que cada uno de nosotros haya existido son infinitamente
pequeñas, más allá de que todos algún día dejaremos de vivir, deberíamos
considerarnos increíblemente afortunados de pasar nuestras décadas
acompañados del Sol”.- Richard Dawkins

“La imaginación nos lleva a menudo a mundos que nunca fueron,
pero sin ella no vamos a ninguna parte”.- Carl Sagan

“Nada es demasiado hermoso para ser verdad si es consistente
con las leyes de la naturaleza”.- Michael Faraday

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. César Sandoval-Ruíz le agradezco muchísimo por permitirme trabajar en su laboratorio, por su paciencia, por compartir su experiencia a cerca de este tema y por los agradables momentos. Lo admiro y respeto.

A mis revisores Dr. Christian Vázquez y Dr. José Lino Zumaquero por sus comentarios y sugerencias para mejorar este trabajo.

A mi madre María de la Luz Calderón Hernández, eres una mujer admirable y sé que no ha sido fácil este camino pero aquí estamos compartiendo este logro, te amo. A mis hermanos Tania e Iván, porque ustedes son mi principal fuerza para seguir en este camino, por los buenos momentos que pasamos juntos, los amo y siempre estaré con ustedes.

A mi familia Calderón-Hernández, especialmente a mi abuelita Rosa y tía Juana por siempre apoyarme y darme consejos, ustedes han sido un gran motor para mi crecimiento, estaré eternamente agradecida con ustedes. A mis primos Fabián y Yaremi, por demostrarme que aunque la vida de golpes duros debemos mantenernos fuertes y gracias también porque me han dado a las personas más maravillosas, Raquel y Saúl.

A mis mejores amigos Luzheli, Arelee, Osvaldo y Jaz los momentos que he pasado con ustedes han sido inolvidables, gracias por demostrarme el verdadero significado de la amistad y sé que esto va para muchos años.

A Azu, Isa, Gaby, Leo, Josue y Amaury por ser cómplices desde el inicio de la licenciatura y a Miguel porque aunque fue el poco tiempo que convivimos agradezco mucho tus consejos y tu apoyo. Que cada uno de ustedes tenga éxito en todo lo que realicen.

A mis compañeros de laboratorio Maggi, Aramis (aunque ya no estén), Frida, Mayra, Jhair y Alicia, gracias por los días de botana, por las pláticas y porque al final me llevo un buen recuerdo de todos ustedes.

A Danaee Rojas, te agradezco muchísimo que me hayas acompañado en este proceso, gracias por tus consejos y por motivarme a que puedo lograr lo que me proponga. Sin duda la vida es más bonita cuando encuentras a una persona que te ame y que entienda tus palabras, silencios, sueños, metas y locuras. Te amo.

DEDICATORIA

A mi abuelito Hilario Calderón Sánchez, te extraño, eres la persona que más me hace falta pero siempre te tengo presente y sé que estarías orgullosa de mí.

A Tania por ser mi consejera, mi mejor amiga y mi cómplice durante este tiempo. Gracias por tu apoyo, no sabes lo afortunada que soy por tenerte a mi lado. Te amo mucho hermana.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	- 1 -
1.1. Dengue.....	- 1 -
1.2. Chikungunya	- 2 -
1.3. Zika.....	- 3 -
1.4. Vectores	- 3 -
1.4.1. <i>Aedes (Stegomyia) aegypti</i> (Linnaeus)	- 4 -
1.4.2. <i>Aedes (Stegomyia) albopictus</i> (Skuse)	- 4 -
1.5. Nicho ecológico.....	- 5 -
2. JUSTIFICACIÓN	- 8 -
3. HIPÓTESIS	- 8 -
4. OBJETIVOS	- 9 -
4.1. Objetivo General	- 9 -
4.2. Objetivos Particulares	- 9 -
5. MÉTODOS	- 9 -
5.1. Datos de ocurrencia.....	- 9 -
5.2. Coberturas climáticas	- 11 -
5.3. Escenarios de Cambio Climático	- 12 -
5.4. Modelado de distribución.....	- 12 -
5.5. Municipios y altitud	- 13 -
5.6. Densidad Poblacional	- 13 -
5.7. Análisis estadístico	- 14 -
6. RESULTADOS	- 15 -
6.1. Distribución potencial presente	- 15 -
6.2. Distribución potencial bajo escenarios de cambio climático	- 21 -
6.2.1. Distribución potencial bajo los escenarios RCP 4.5 y 8.5 (2050) para <i>Ae. aegypti</i>	- 21 -

6.2.2. Distribución potencial bajo los escenarios RCP 4.5 y 8.5 (2050) para <i>Ae. albopictus</i>	- 23 -
6.2.3. Distribución potencial bajo escenarios RCP 4.5 y 8.5 (2070) para <i>Ae. aegypti</i>	- 25 -
6.2.4. Distribución potencial bajo escenario RCP 4.5 y 8.5 (2070) para <i>Ae. albopictus</i>	- 27 -
6.3. Altitud	- 29 -
7. DISCUSIÓN	- 29 -
7.1. Distribución potencial presente	- 29 -
7.1.1. Variables ambientales.....	- 32 -
7.1.2. Distribución simpátrica.....	- 35 -
7.2. Escenarios de cambio climático	- 36 -
7.3. Población.....	- 40 -
8. CONCLUSIONES.....	- 41 -
8.1. Recomendaciones	- 42 -
9. BIBLIOGRAFÍA.....	- 43 -

Índice de figuras

Figura 1. Datos de ocurrencia de <i>Ae. albopictus</i> y <i>Ae. aegypti</i>	- 11 -
Figura 2. Área ocupada de la distribución potencial de <i>Ae. aegypti</i> y <i>Ae. albopictus</i> presente y bajo escenarios de cambio climático.....	- 16 -
Figura 3. Población en áreas de riesgo presente y futuro..	- 16 -
Figura 4. Distribución potencial presente de <i>Ae. aegypti</i> en el estado de Puebla.....	- 17 -
Figura 5. Distribución potencial presente de <i>Ae. albopictus</i> en el estado de Puebla.....	- 17 -
Figura 6. Distribución potencial de ambos vectores en el estado de Puebla..	- 18 -
Figura 7. Gráfico de temperatura media anual vs precipitación anual (<i>Ae. aegypti</i>)..	- 19 -
Figura 8. Gráfico de temperatura media anual vs precipitación anual (<i>Ae. albopictus</i>).....	- 20 -
Figura 9. Grado de marginación en la distribución potencial de los vectores <i>Aedes</i> y los casos reportados de dengue.	- 21 -
Figura 10. Distribución potencial de <i>Ae. aegypti</i> bajo el escenario RCP 4.5, año 2050.	- 22 -
Figura 11. Distribución potencial de <i>Ae. aegypti</i> bajo el escenario RCP 8.5, año 2050.	- 23 -
Figura 12. Distribución potencial de <i>Ae. albopictus</i> bajo el escenario RCP 4.5, año 2050.	- 24 -
Figura 13. Distribución potencial de <i>Ae. albopictus</i> bajo el escenario RCP 8.5, año 2050.	- 25 -
Figura 14. Distribución potencial de <i>Ae. aegypti</i> bajo el escenario RCP 4.5, año 2070.	- 26 -
Figura 15. Distribución potencial de <i>Ae. aegypti</i> bajo el escenario RCP 8.5, año 2070.	- 27 -
Figura 16. Distribución potencial de <i>Ae. albopictus</i> bajo el escenario RCP 4.5, año 2070.	- 28 -
Figura 17. Distribución potencial de <i>Ae. albopictus</i> bajo el escenario RCP 8.5, año 2070.	- 28 -

Resumen

En el presente estudio se determinó la distribución potencial presente y futura de *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*, así como su asociación al número de municipios y población del estado de Puebla en riesgo potencial y su correlación con variables ambientales y casos de la enfermedad de dengue, a través de la herramienta de modelado de nicho ecológico. Se generó una base de datos de ocurrencias para cada especie, 125 para *Ae. aegypti* y 77 para *Ae. albopictus*, estos puntos se asociaron con coberturas climáticas de temperatura máxima del mes más cálido, temperatura mínima del mes más frío, precipitación máxima del mes más lluvioso y precipitación del mes más cálido, que se obtuvieron de Climatologías a alta resolución para las áreas de superficie terrestre (siglas en inglés CHELSA) y escenarios de cambio climático RCP 4.5 y 8.5 para los años de 2050 y 2070 de Worldclim. Para proyectar la distribución potencial en el espacio geográfico se utilizó el algoritmo de máxima entropía (MaxEnt). Los modelos mostraron que *Ae. aegypti* fue la especie con mayor distribución en el estado de Puebla presente y a futuro. *Ae. albopictus* tiene menor distribución potencial en ambos periodos. Ambas especies son simpátricas en 53 municipios, teniendo un rango altitudinal mínimo de 201 msnm y máximo de 2601 msnm.

Se observó una reducción de área en relación con los escenarios de cambio climático para *Ae. aegypti* que fue de 13 947 km² a 14 095 km² y para *Ae. albopictus* fue de 4 435 a 4 973 km².

Para los dos vectores su nicho ecológico presentó un rango de temperatura media anual de 14 - 26°C y una precipitación media anual de 406 a 3 088 mm, esto coincidió con el 97% de casos de dengue reportados para el estado de Puebla del 2005 al 2013. Finalmente, el número de población en riesgo a futuro incrementó de 1 138 215 a 1 403 331 habitantes que podrían estar en contacto con *Ae. aegypti* y 607 541 a 790 055 habitantes con *Ae. albopictus*. Por lo que se debe considerar implementar programas de control y vigilancia entomológica para los sitios que presentaron una idoneidad ambiental para la distribución potencial de los vectores y anticipar la aparición de los vectores

1. INTRODUCCIÓN

Las enfermedades transmitidas por vectores (ETV) han sido un problema de salud durante años, principalmente en lugares tropicales y subtropicales (OMS, 2017) logrando emerger y reemerger a través de las interacciones entre el huésped, vector y patógeno (Peterson, 2006., Escobar & Craft, 2016) e involucran factores ecológicos, antropogénicos y climáticos (Ibáñez-Bernal, 2012., Beard *et al.*, 2016., Heras & Sierra, 2016; Arredondo-García *et al.*, 2016).

Entre las ETV que más han afectado a la población humana han sido la malaria, el dengue, leishmaniasis, enfermedad de Chagas, fiebre amarilla y recientemente zika y chikungunya, la mayoría transmitidas por mosquitos (OMS, 2017).

1.1. Dengue

El virus del dengue (DENV) presenta cuatro serotipos: DENV-1, DENV-2, DENV-3 y DENV-4 que pertenecen al género *Flavivirus* (Machado-Machado, 2012, Gómez-Dantés *et al.*, 2014., Torres & Vázquez-Martínez, 2015) y son transmitidos frecuentemente por mosquitos del género *Aedes* (OMS, 2017). Esta enfermedad logra expresarse de manera asintomática o se presentan síntomas días después a la picadura del mosquito como fiebre hemorrágica, cefalea, artralgia, vómito, síndrome de shock e incluso la muerte (Brathwaite *et al.*, 2012, Arredondo-García *et al.*, 2016) y se ha comenzado a relacionar con enfermedades neurológicas (Bordignon *et al.*, 2008).

El DENV es el arbovirus más importante a nivel mundial, clasificándolo como una enfermedad reemergente en regiones tropicales y sub-tropicales (Martínez-Torres, 2008; Arredondo-García *et al.*, 2016) y es endémica en más de 100 países (Mweya *et al.*, 2016) por lo que ha originado un incremento en tasas de morbilidad y mortalidad (Martínez-Torres, 2008) ya que cada año se reportan aproximadamente 100 millones de infecciones en diversos países (Kraemer *et al.*, 2015) y se estima que la mitad de la población ubicada en regiones de los trópicos se encuentra en riesgo (Torres-Galicia *et al.*, 2014).

Los países más afectados por el DENV en América Latina han sido Costa Rica, Honduras y México para el 2013 (OMS, 2017) y para el 2015, México fue uno de los países con el mayor número de casos (Arredondo-García *et al.*, 2016) posiblemente se deba a la circulación de tres serotipos virales en el país (Secretaría de Salud, 2017) y los estados con mayor incidencia de casos de fiebre del dengue y fiebre del dengue hemorrágico fueron Veracruz, Guerrero, Jalisco, Quintana Roo y Yucatán (Gómez-Dantés *et al.*, 2014). Y durante el 2016, se reportaron 17,795 casos confirmados de dengue (Castillo-Macías *et al.*, 2017) en donde los estados con mayor incidencia fueron Guanajuato, Nuevo León, Chiapas, y Veracruz (Secretaría de Salud, 2018).

Actualmente, el panorama epidemiológico de dengue en el 2018 a la semana 08, se reporta el mayor número de casos confirmados para los estados de Chiapas, Jalisco, Michoacán, Veracruz y Guerrero (Secretaría de Salud, 2018).

1.2. Chikungunya

El virus de Chikungunya (CHIKV) pertenece al género *Alphavirus* (OMS, 2017) del cual se conocen tres genotipos: África occidental, asiático y este/centro/sudafricano (Sam *et al.*, 2015). Este virus zoonótico es transmitido por la picadura de mosquitos (OMS, 2017) causando una enfermedad febril asociado con artralgia, dolor de espalda, cefalea y provoca abortos espontáneos y la transmisión materno-infantil en el periodo perinatal (OMS & OPS, 2014) aunque también se han reportado casos de transmisión de este virus a través de transfusiones de sangre (Nava-Frías *et al.*, 2016).

Durante el 2004, se reportaron las primeras epidemias del CHIKV, por lo que fue clasificado como una enfermedad emergente (Arredondo-García *et al.*, 2016) y desde entonces los casos de CHIKV han ido incrementando en poco tiempo (Sam *et al.*, 2015). Para el 2013, se identificó el primer caso en América en los países del Caribe y se extendió a 45 países (Castillo-Macías *et al.*, 2017); siendo el genotipo asiático asociado a los casos (Escobar *et al.*, 2016., Kantor, 2016).

En México, el primer caso importado fue reportado en Jalisco en el 2014 (Arredondo-García *et al.*, 2016) y el primer caso autóctono fue en el estado de Chiapas (Díaz-Quíñonez *et al.*, 2015), a la semana 45 de ese mismo año. La

Dirección General de Epidemiología reportó un total de 25 casos, de los cuales el 56% fueron casos autóctonos en el estado de Chiapas y el 44% fueron notificados como casos importados en los estados de Distrito Federal, Jalisco, Tabasco, Coahuila, Durango Quintana Roo y Veracruz (Secretaria de Salud, 2014). En el 2015, los estados con mayor riesgo fueron los que se encuentran al sur del país (Nava-Frías *et al.*, 2016). Recientemente, la Secretaria de Salud (2018) registró hasta la semana epidemiológica 52 del 2017, 61 casos confirmados de fiebre de Chikungunya y los estados con mayor número de registros correspondían a Jalisco, Quintana Roo, Sinaloa y Veracruz.

1.3. Zika

El virus de Zika (ZIKV) pertenece al género *Flavivirus* (Peterson *et al.*, 2016) y se asocia comúnmente con mosquitos del género *Aedes* (Santos & Meneses, 2017); su manifestación clínica consiste en exantema, fiebre, conjuntivitis, dolor muscular o en articulaciones, malestares que comienzan días después a la picadura del vector (OMS & OPS 2015) y se han registrado casos en el que el virus genera microcefalia en recién nacidos (Santos & Meneses, 2017).

El ZIKV fue detectado por primera vez en Uganda (Leta *et al.*, 2018) y a partir del 2007 pasó a ser un patógeno emergente (Santos & Meneses, 2017), sin embargo, fue hasta el 2014 que fue detectado por primera vez en América Latina (Kantor, 2016) y en el 2015 se confirmó la presencia autóctona en Brasil, Chile, la Isla de Pascua, El Salvador, Guatemala, Colombia, Paraguay, Surinam y Venezuela y ese mismo año se reportaron los primeros dos casos en México, en los estados de Nuevo León y Chiapas (Arredondo-García *et al.*, 2016; Uribarren, 2016). A partir de ese año hasta el 2017, en México se han reportado 11,915 casos confirmados presentándose la mayor incidencia en Veracruz, Yucatán, Nuevo León, Guerrero y Chiapas, siendo las mujeres embarazadas las más afectadas, ya que se han confirmado alrededor de 6,955 casos autóctonos de los cuales, los estados que presentaron el mayor número de casos fueron Veracruz y Yucatán (Secretaria de Salud, 2018).

1.4. Vectores

Los virus del dengue, chikungunya y zika han alcanzado una amplia distribución debido a que son transmitidos por artrópodos hematófagos (Del Carpio-Orantes & González-Clemente, 2017) principalmente por mosquitos del género *Aedes*, donde los vectores potenciales son *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* (Campbell *et al.*, 2015; Kraemer *et al.*, 2015; Yáñez-Arenas *et al.*, 2017).

1.4.1. *Aedes (Stegomyia) aegypti* (Linnaeus)

Es una especie originaria de África y ha logrado su dispersión a otros continentes por el comercio de mercancías y esclavos (Salvatella, 1996., Arredondo-García *et al.*, 2016) adaptándose al ambiente doméstico o peri-doméstico (Martínez, 2008). Las hembras son las responsables de la picadura hacia los humanos (Ibáñez-Bernal & Gómez-Dantés, 1995) y ellas mismas ovopositan en recipientes que almacenan agua y esto les ha permitido el desarrollo de sus estadios inmaduros (Marín *et al.*, 2014). Por lo que ha sido considerada una especie antropofílica (Salvatella, 1996) y su distribución no va más allá de 100 a 500 metros de la vivienda humana (Thirión, 2010., Machado-Machado, 2012).

La distribución que ha tenido a lo largo de los años ha sido determinada, principalmente, por la calidad de vida que ha tenido población (Ibáñez-Bernal & Gómez- Dantés, 1995) a través del transporte de sus estadios en barcos, aviones y transportes terrestres (Salvatella, 1996) y durante años fue determinado como una especie cosmotropical y actualmente es circuntropical y subtropical sin importar la presencia de barreras físicas o biológicas (Candelario-Mejía *et al.*, 2015).

1.4.2. *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Skuse)

El mosquito tigre asiático es originario de regiones tropicales y subtropicales del sudeste asiático (Yáñez-Arenas *et al.*, 2017). Es vector en áreas urbanas y rurales (Arredondo-García *et al.*, 2016) que se alimenta de humanos o animales durante el día y es capaz de transmitir 20 tipos de arbovirus (Bonizzoni *et al.*, 2013) y el serotipo DENV-3 se ha reportado con mayor proporción para este mosquito (Aguilar, 2000). Se caracteriza por la gran plasticidad ecológica que tiene para habitar sitios tanto naturales como artificiales que le permitan desarrollar su ciclo biológico (Bonizzoni *et al.*, 2013) y presenta una tolerancia a temperaturas bajo cero llevando

a cabo la estrategia de diapausa en donde los huevos del mosquito no eclosionan y por ende mejoran la tasa de supervivencia (Jia *et al.*, 2016); estos factores han propiciado su propagación. También ha alcanzado una dispersión geográfica en regiones templadas tropicales (Fernández-Salas *et al.*, 2015) debido al comercio internacional de neumáticos usados y el movimiento de mercancías (OMS, 2018).

La amplia distribución que ha alcanzado este vector se debe a que ha sido mediada por humanos (Bonizzoni, *et al.*, 2013) por lo que su distribución puede superponerse con la de *Ae. aegypti*. La presencia del vector en América se manifiesta en lugares más rurales donde predominan los espacios abiertos con vegetación (Aguilar, 2000., Marquetti-Fernández, 2008).

1.5. Nicho ecológico

El término nicho fue definido por Hutchinson como las variables multidimensionales que influyen sobre una especie o poblaciones que se ve reflejado en tiempo y espacio lo que permite a los organismos existir indefinidamente (Peterson *et al.*, 2011., Peterson, 2014). El nicho puede estimarse a través de técnicas conocidas como modelado de nicho ecológico (MNE) que caracteriza las distribuciones geográficas y ecológicas que requiere la especie para poder establecerse en un sitio (Peterson, 2006., Reyes, 2015) logrando predecir la distribución geográfica actual y futura de la especies (Ortega-Huerta & Peterson, 2008., Reyes, 2015) en sitios que probablemente no se conocían o documentaban (Peterson *et al.*, 2011) involucrando factores bióticos, abióticos y su capacidad de dispersión (Peterson, 2008). El MNE consiste en la asociación de ocurrencias conocidas de las especies y conjuntos variables ambientales (Soberón & Peterson, 2005., Peterson, 2014) proyectado a través de algoritmos como Modelos Aditivos Generalizados (GAM), Modelos Lineales Generalizados (GLM), Algoritmo Genético para la Producción de Reglas (GARP) y Algoritmo de Máxima Entropía (MaxEnt), este último, es el más utilizado en estudios de mapeo de distribuciones potenciales (Tjaden *et al.*, 2018) logrando tener un mayor rendimiento (Khatchikian *et al.*, 2011) debido al ajuste que ha tenido en su regularización para poder emplear tamaños de muestra pequeños (Elith *et al.*, 2006) además de que ha permitido obtener resultados de tal manera que se puedan interpretar fácilmente (Phillips, 2004).

Recientemente, los estudios con MNE han tenido un gran número de aplicaciones enfocadas en el descubrimiento de nuevas áreas que aún no han sido ocupadas por los organismos, así como también, descubrir nuevas especies (Raxworthy *et al.*, 2007), contribuyen a entender problemas taxonómicos y procesos evolutivos (Martínez-Méndez *et al.*, 2016) a través de las diferencias que existen entre las condiciones ecológicas y geográficas implicadas en la especiación (Peterson *et al.*, 2011). Han sido empleados en programas de conservación para proteger especies o poblaciones que se encuentran amenazadas o para la reintroducción de especies a ciertas regiones (Thorn *et al.*, 2009., Del Socorro-Bolívar, 2009., Peterson *et al.*, 2011., Becerra-López *et al.*, 2014., Martínez-Méndez *et al.*, 2016). Otra aplicación que ha tenido esta herramienta ha sido para evaluar las consecuencias del cambio climático (Peterson, 2011) que durante los últimos años se han reportado cambios en la temperatura, precipitación y nivel del mar por efecto de actividades humanas a través de las emisiones de gases de efecto invernadero y se ha manifestado en el ambiente natural y también humano, llevando a la posible extinción de especies, aumentando el desplazamiento geográfico de organismos y de vectores, cambios en los ecosistemas, entre otros (IPCC, 2007). En estos estudios han sido de gran utilidad los diferentes escenarios de cambio climático que se centran en las emisiones antropogénicas y no incluyen impulsores naturales como el forzamiento solar o volcánico emisiones naturales y se han establecido cuatro escenarios denominados Trayectorias de Concentración Representativas (RCP) en relación con los resultados de la quinta fase del proyecto de comparación de modelos acoplados (CMIP5) (IPCC, 2013).

En los últimos años, la técnica de MNE ha tenido un enfoque e interés en el ámbito de enfermedades infecciosas (Peterson, 2014) debido a la disponibilidad de datos y al gran avance que se ha tenido con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Machado-Machado, 2012) logrando identificar las distribuciones de vectores en regiones endémicas (Eisen & Eisen, 2008., Eisen & Lozano-Fuentes, 2009) o las modificaciones que han sufrido a lo largo de los años por efecto del cambio climático (Liria & Navarro 2010., Arboleda *et al.*, 2012., Caminade *et al.*, 2012., Beltrán-Aguilar, 2012., Mweya *et al.*, 2016) y por ende, el riesgo potencial que puedan

provocar a cualquier escala espacial (Eisen & Lozano-Fuentes, 2009., Khatchikian *et al.*, 2011) asociándolos con casos reportados de enfermedades, factores socioeconómicos o escenarios de cambio climático (Peterson, 2014., Cianci *et al.*, 2015., Escobar *et al.*, 2016., Samy, *et al.*, 2016., Baak- Baak *et al.*, 2017., Santos & Meneses, 2017., Leta *et al.*, 2018) por ejemplo vectores de enfermedades de leishmaniasis, chagas, malaria, dengue, zika y chikungunya (Foley *et al.*, 2008., Sandoval-Ruíz *et al.*, 2008., Gurgel-Gonçalves & Cuba, 2009., Costa *et al.*, 2014., McIntyre *et al.*, 2017).

A escala global, Kraemer *et al.* (2015) generaron modelos de distribución para los vectores de dengue y chikungunya combinando variables ambientales y de suelo con los puntos de presencia de las especies y han reportado que las especies han incrementado su distribución potencial en gran parte de los continentes, especialmente Europa y Norte América. De igual forma, se evaluó su distribución potencial presente y futura bajo escenarios de cambio climático obteniendo principalmente que las distribuciones de ambas especies pueden mantenerse constantes debido a las tolerancias que puedan tener los mosquitos ante el efecto de cambio climático (Campbell *et al.*, 2015). A escala regional, Mweya *et al.* (2016) se enfocaron en determinar las áreas de riesgo actuales y futuras en Tanzania debido a la presencia del vector del dengue y los reportes de la enfermedad como resultado identificaron que las zonas de alto riesgo son aquellas en donde se han reportado casos de la enfermedad.

En México, Peterson *et al.* (2005) desarrollaron modelos de nicho ecológicos para predecir la dinámica espacio-temporal para *Ae. aegypti* y por consiguiente brotes de enfermedades utilizando datos mensuales de ocurrencia del vector asociados con coberturas ambientales específicas de cada mes e informaron que gran parte del territorio mexicano es idóneo para la distribución potencial del vector y durante gran parte del año e incluso anticiparon las tasas de casos en humanos. Otro estudio fue elaborado por Machado-Machado (2012) en el que utilizó modelados de distribución de especies e incorpora datos epidemiológicos y variables ambientales y socioeconómicos para predecir las áreas adecuadas para la fiebre de dengue y reportó que las zonas costeras de baja elevación son las más

adecuadas para la fiebre del dengue y que los datos ambientales son lo que contribuyeron mayormente en establecer la idoneidad del dengue. También se han generado MNE para predecir la distribución potencial que tendrían a futuro especies de mosquitos que transmiten enfermedades en sitios montañosos de Veracruz y en el estado de Yucatán, logrando estimar el número de personas potencialmente expuestas (Beltrán-Aguilar, 2012., Baak-Baak *et al.*, 2017., Equihua *et al.*, 2017).

2. JUSTIFICACIÓN

La aplicación de programas de control y vigilancia para vectores a través de las unidades de salud en el estado de Puebla han favorecido en la baja incidencia de las enfermedades transmitidas por mosquitos (SSEP, 2017). Sin embargo, algunos programas funcionan en la eliminación de mosquitos temporalmente. Por lo tanto, aplicar la herramienta de modelado de nicho ecológico para predecir patrones de distribución de las especies permitirá establecer las posibles áreas potenciales actuales y futuras de los vectores *Ae. aegypti* y *Ae. albopictus* del estado de Puebla ya que cuenta con gran diversidad de climas, se encuentra delimitado por estados endémicos, es punto de acceso y tránsito para el transporte y comercio, además la baja calidad de vida que presenta gran parte de la población podría favorecer la presencia de los vectores en localidades del estado. Los resultados de este estudio contribuirán en el desarrollo y eficiencia de estrategias de control y vigilancia a nivel municipal y en especial a nivel de jurisdicción sanitaria que presenten las condiciones idóneas y de esta manera se logre anticipar la aparición de los vectores.

3. HIPÓTESIS

- 1) Debido a las condiciones geográficas y climáticas del estado de Puebla, los vectores tendrán una distribución potencial principalmente hacia regiones con climas cálidos como la Sierra Norte, Nororiental y la Mixteca con temperatura menor de 15°C y máxima de 25°C y con una precipitación de 550 mm y máxima de 3500 mm.
- 2) Los efectos de cambio climático involucran el aumento de temperatura y desarrollo socioeconómico (IPCC, 2007) esto implica modificaciones en varios

aspectos del ciclo de vida de los vectores entre ellos su distribución (Tabachnik, 2009). Por lo que, el modelado de distribución potencial bajo escenarios de cambio climático mostrará un incremento en la propagación de ambos vectores en regiones del estado.

- 3) Por otro lado, *Ae. aegypti* y *Ae. albopictus* son vectores asociados a áreas urbanas y rurales (Arredondo-García *et al.*, 2016) por lo que se espera que incremente el número de población en riesgo, y a su vez, sea la población con grado de marginación alto quienes tengan mayor riesgo de estar en contacto con los vectores.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

- Generar un modelo de nicho ecológico para predecir la distribución potencial presente y futuro de los vectores (*Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*) de dengue, chikungunya y zika en el estado de Puebla.

4.2. Objetivos Particulares

- Generar MNE para las distribuciones actuales de los vectores.
- Obtener la relación que existe entre la distribución potencial de vectores presente y las variables ambientales de temperatura y precipitación.
- Generar modelos de distribución bajo escenarios de cambio climático a futuro para cada vector.
- Delimitar las áreas de riesgo que permitan el desarrollo biológico de los vectores de acuerdo con las condiciones ambientales que presenten.
- Determinar mediante el MNE los municipios y el número de población que se encuentran en riesgo potencial.
- Comprobar que los registros reportados para el estado de Puebla de dengue, zika y chikungunya coinciden con las áreas potenciales predichas.

5. MÉTODOS

5.1. Datos de ocurrencia

Se generó una base de datos con puntos de presencia de las especies *Ae. aegypti* y *Ae. albopictus* que fueron seleccionados a partir de estudios que han reportado geográficamente la presencia de larvas y adultos de los mosquitos en México (Salas-Luévano & Reyes-Villanueva, 1994., Gorrochotegui *et al.*, 2000., Espinoza *et al.*, 2001., Ravel *et al.*, 2001., Flisser *et al.*, 2002., García-Franco *et al.*, 2002., Gorrochotegui-Escalante *et al.*, 2002., Casas-Martínez & Torres-Estrada, 2003., Mercado-Hernández *et al.*, 2003., Flores *et al.*, 2005., Orta-Pesina *et al.*, 2005., Kroeger *et al.*, 2006., Zapata-Peniche *et al.*, 2007., Ponce-García *et al.*, 2009., De la Mora-Covarrubias *et al.*, 2010., Manrique *et al.*, 2010., Sánchez-Casas, 2010., García *et al.*, 2011., Siller *et al.*, 2011., Villegas *et al.*, 2011., De la Cruz-Francisco *et al.*, 2012., Mejía-Bravo & Zumaquero-Ríos, 2012., Lozano-Fuentes *et al.*, 2012., Salomón-Grajales *et al.*, 2012., Aponte *et al.*, 2013., Ordóñez-Sánchez, 2013., Reyes-Villanueva *et al.*, 2013., Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2014., Candelario-Mejía *et al.*, 2015., Mikery-Pacheco *et al.*, 2015., Barrientos-Roldán, 2016 & Pech-May *et al.*, 2016) y datos de la Secretaria de Salud del estado de Veracruz. En total se obtuvieron 1349 puntos para *Ae. aegypti* y 559 para *Ae. albopictus*.

Algunas localidades no contaban con la georreferenciación en latitud y longitud por lo que fueron georreferenciadas usando Google Earth (<https://earth.google.es/>), localidades y pueblos de México (<https://mexico.pueblosamerica.com/>) y bases de datos de INEGI. Los datos que se encontraban en coordenadas sexagesimales fueron convertidos a decimales. Estos datos fueron proyectados en un SIG (ArcMap versión 10.3), en el cual se generó un buffer de 2 km, lo que permite eliminar registros repetidos o que se encuentren autocorrelacionados espacialmente, ya que pueden generar una sobreestimación en el MNE (Segurado *et al.*, 2006., Escobar & Craft, 2016). Finalmente, se obtuvieron 125 datos de ocurrencias para *Ae. aegypti* y 77 para *Ae. albopictus* (**Fig. 1**).

Así mismo, fue necesario obtener datos de casos de dengue en Puebla los cuales se obtuvieron del documento: número de casos de dengue reportados en la entidad desde 2005-2013 (Secretaría de Salud, 2013) en el cual presenta 68 casos para el estado.

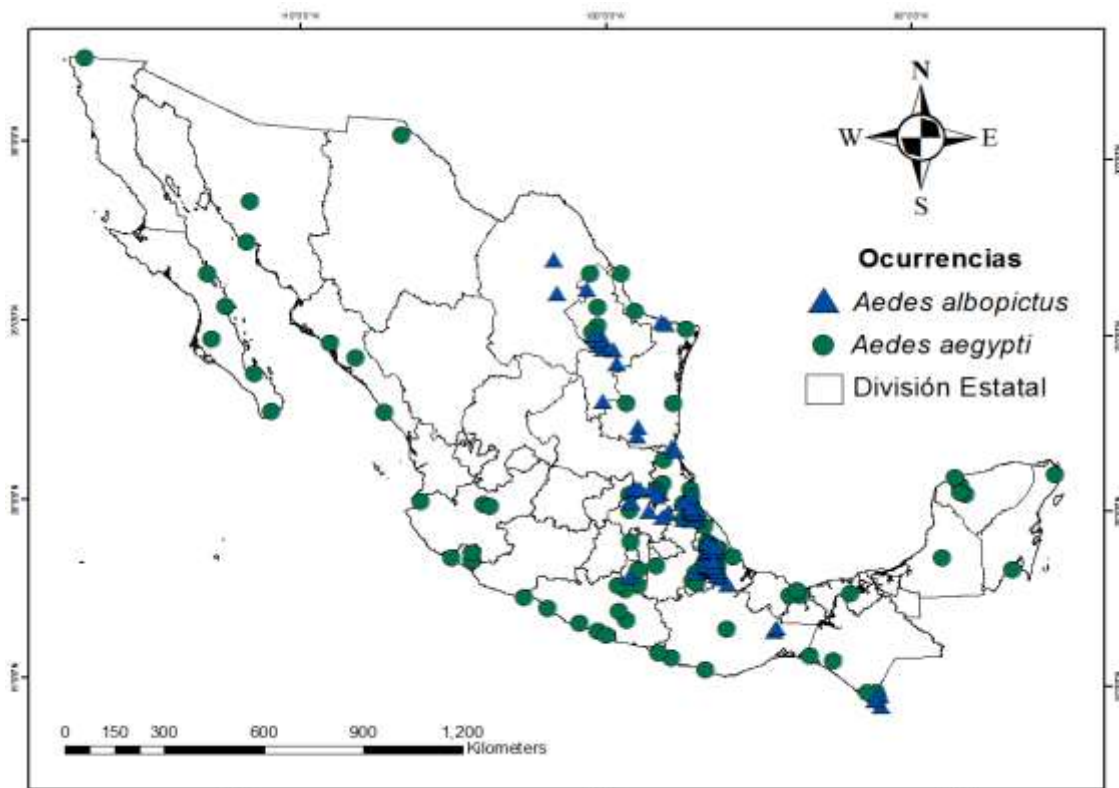


Figura 1. Datos de ocurrencia de *Ae. albopictus* y *Ae. aegypti*

5.2. Coberturas climáticas

Las coberturas climáticas fueron obtenidas de climatologías a alta resolución para las áreas de superficie terrestre (CHELSA) de la página <http://chelsa-climate.org/> para los años 1979-2013, a una resolución de 30 arcseg y en formato GeoTIFF. Estas coberturas han mostrado una relación más acorde a las características del terreno incluyendo campo del viento, exposición del valle y la altura de la capa limite además la temperatura es más precisa con valores observados a escala pequeña, por lo tanto, CHELSA tiene mayor predicción espacial (Karger *et al.*, 2017).

La selección de variables se basó en el conocimiento de las especies y las coberturas aplicadas para este análisis fueron bio5: temperatura máxima del mes

más cálido, bio6: temperatura mínima del mes más frío, bio13: precipitación máxima del mes más lluvioso y bio14: precipitación del mes más seco.

Las coberturas fueron recortadas solamente para México en el SIG Q-gis versión 1.8 y finalmente transformadas en formato ASCII con proyección WGS 84 en el sistema de información ArcMap 10.3.

5.3. Escenarios de Cambio Climático

Los escenarios que se utilizaron para este estudio fueron del Modelo Climático Global (GCM) GISS-E2-R bajo el escenario RCP 4.5 con probabilidad de incremento de temperatura media global a largo plazo de 1.1 a 2.6°C, de estabilización y para RCP 8.5 de 2.6 a 4.8°C con altas emisiones de gases de efecto invernadero, descargadas de la página <http://www.worldclim.org/CMIP5v1> versión 1.4 con resolución de 30 arc-seg en un periodo de tiempo de 2050 (promedio para 2041-2060) y 2070 (promedio para 2061-2080).

Las coberturas seleccionadas fueron bio5: temperatura máxima del mes más cálido, bio6: temperatura mínima del mes más frío, bio13: precipitación máxima del mes más lluvioso y bio14: precipitación del mes más seco, a las cuales se realizó un recorte para el área del territorio mexicano en el software Qgis versión 1.8 y proyectadas a un sistema de coordenadas WGS-84.

5.4. Modelado de distribución

Los mapas de distribución potencial fueron generados en el algoritmo de Máxima Entropía (MaxEnt 3.4.1), este algoritmo se basa en tener datos de ocurrencia proyectados en latitud y longitud de la especie de interés y variables ambientales que pueda influir en la idoneidad de la especie para poder estimar la distribución de máxima entropía, es decir, que está más dispersa o más cerca de ser uniforme, enfocándose a análisis estadísticos (Phillips, 2004., Phillips *et al.*, 2006). La ventaja de este algoritmo es que solo usa datos de presencia, genera una prueba de Jackknife en la que determina la correlación entre variables (Phillips, 2004), además se ha mencionado que MaxEnt tiene mayor rendimiento en comparación con otros algoritmos tradicionales (Elith *et al.*, 2006., Peterson *et al.*, 2011).

Se utilizaron por default los parámetros de MaxEnt con un único modelo, umbral de convergencia de 0.00001, prevalencia de 0.5 y un máximo de 500 iteraciones con un formato de salida Cloglog que es la interpretación recientemente publicada de MaxEnt como un proceso Poisson no homogéneo (IPP), dándole una justificación teórica más sólida que la transformación logística que a la que reemplaza por defecto (Phillips *et al.*, 2017), los mapas resultantes fueron proyectados en ArcMap10.3 para realizar máscaras a la zona de interés y cada mapa fue proyectado a UTM 14N en Qgis versión 1.8 y clasificados con valores de 0 y 1 (ausencia y presencia) en formato GeoTiff.

Los mapas de distribución potencial presente se sumaron para obtener un solo mapa y analizar la distribución potencial de los dos vectores y se sobreponen los datos de casos de dengue.

Por último, se generó el modelado de nicho ecológico en el que se proyecta en el espacio ambiental la distribución potencial presente para cada vector que determinó el algoritmo MaxEnt y los casos reportados de dengue en correlación con las variables de temperatura media anual (bio1) y precipitación anual (bio12) y fueron graficados en SigmaPlot 10.0.

5.5. Municipios y altitud

Se descargaron dos temas en formato vectorial: áreas estadísticas municipales, 2015 y curvas de nivel para la República Mexicana ambos a una escala de 1:250000 (CONABIO, 1998., INEGI, 2016).

Posteriormente, fueron proyectados en ArcMap 10.3 y reproyectados a un sistema de coordenadas mundial WGS84, se realizó un recorte para el estado de Puebla a través de una herramienta de geoprocésamiento de ArcMap y fue proyectado al sistema de coordenadas UTM 14N. Posteriormente, para el polígono de municipios fue calculada el área en km²

5.6. Densidad Poblacional

Los datos de población del censo realizado en el año 2010 proporcionados por INEGI (2010) fue descargado en formato vectorial con un sistema de coordenadas geográficas WGS84 con escala de 1:250000. Posteriormente fue exportado al SIG

ArcMap 10.3 para realizar un recorte en el que solamente se conservaran los datos de población total y altitud de cada localidad del estado de Puebla y fue necesario proyectar los datos en sistema de coordenadas UTM zona 14N . Los mapas de distribución potencial fueron interceptados con este polígono para reportar el número de población que se encuentra en riesgo.

De igual forma, se descargaron datos que contenían el grado de marginación por localidad que van de 1995-2010 (CONAPO, 2012). Las localidades indican que la mayoría de ellas no cuentan con oportunidades de desarrollo en cuanto a educación, vivienda e ingreso y tal vez la más importante dentro de este estudio es el de vivienda debido a que está relacionada con las condiciones en las que se encuentran los pobladores. CONAPO (2012) clasifica en indicadores socioeconómicos a las viviendas habitadas sin excusado, energía eléctrica, agua entubada, promedio de ocupantes por cuarto y viviendas con piso de tierra.

Estos datos se encuentran en extensión csv y fueron proyectados en ArcMap 10.3 para convertirlo en formato vectorial y proyectarlo en sistema de coordenadas UTM para unirlo espacialmente con las localidades de la distribución potencial presente y los casos reportados para dengue. Se debe mencionar que esta base de datos no proporcionada el grado de marginación para las localidades con un número menor de habitantes. Por lo tanto, no fueron consideradas además de las localidades que no coincidían con el nombre de la localidad.

5.7. Análisis estadístico

La calidad de la predicción del nicho potencial se determinó con el análisis ROC (Característica Operativa del Receptor) usando el área bajo la curva (AUC), la cual expresa gráficamente especificidad en el eje "x", lo que indica un error de comisión y en el eje "y" representa la sensibilidad, aquella que muestra la ausencia de omisión de error (Phillips et al., 2006), es decir, a través de estas gráficas se evalúa la capacidad de los modelos para valorar las presencias frente a las ausencias. Por lo que AUC oscila entre 0 y 1 clasificándose en predicciones pobres con valores de 0.5 a 0.7, predicciones razonables con valores de 0.7 a 0.9, y muy buenas predicciones con un valor de 0.9 (Peterson *et al.*, 2011).

6. RESULTADOS

6.1. Distribución potencial presente

El modelado de distribución actual para *Ae. aegypti* comprende 13,964 km² (**Fig.2**) ocupando un 40.72% del total del territorio del estado teniendo una población en riesgo de 1,138,215 habitantes (**Fig. 3**). Su distribución potencial se dirige a dieciocho municipios que pertenecen a la jurisdicción sanitaria I, diez municipios de la jurisdicción sanitaria II, veintisiete municipios de la jurisdicción sanitaria III que se ubican en la Sierra Norte y Nororiental. Cuatro municipios de la jurisdicción sanitaria IV que corresponde al Valle Serdán. Del Valle de Atlixco y Matamoros y de la región Mixteca, tres municipios de la jurisdicción sanitaria V, veintitres municipios de la jurisdicción sanitaria VII, veintiún municipios de la jurisdicción sanitaria VIII y ocho municipios de la jurisdicción sanitaria IX. Por último, de la región de Tehuacán y Sierra Negra su distribución ocupó catorce municipios que pertenecen a la jurisdicción sanitaria X (**Fig. 4**). En total se distribuye en 128 municipios de Puebla a una altitud máxima de 2601 msnm y mínima de 201 msnm.

La especie *Ae. albopictus* presentó una área de distribución equivalente a un 13.03% en relación con el área total del estado de Puebla, siendo de 4,469 km² (**Fig.2**). En relación a la distribución geográfica la altitud mínima a la que se dirige es de 201 msnm y máxima de 2201 msnm, estableciéndose en 59 municipios del estado que pertenecen a las regiones Norte y Nororiental en los que catorce municipios están incorporados a la jurisdicción sanitaria I, once a la jurisdicción sanitaria II, veinticuatro integrados en la jurisdicción sanitaria III. Seguidamente, en la región Valle Serdán solo dos municipios que pertenecen a la jurisdicción sanitaria IV y de la región de Tehuacán y Sierra Negra cinco municipios de la jurisdicción sanitaria X presentan las condiciones idóneas para la distribución y el establecimiento del vector (**Fig. 5**). Respecto al número de habitantes que están establecidos en las jurisdicciones antes mencionadas, el 27.3% del total se encuentran en zona de riesgo, es decir, 607,541 personas (**Fig. 3**)

Ambos mapas de distribución potencial mostraron un valor de AUC de 0.897 y 0.955, respetivamente, indicando que la predicción de los modelos es favorable.

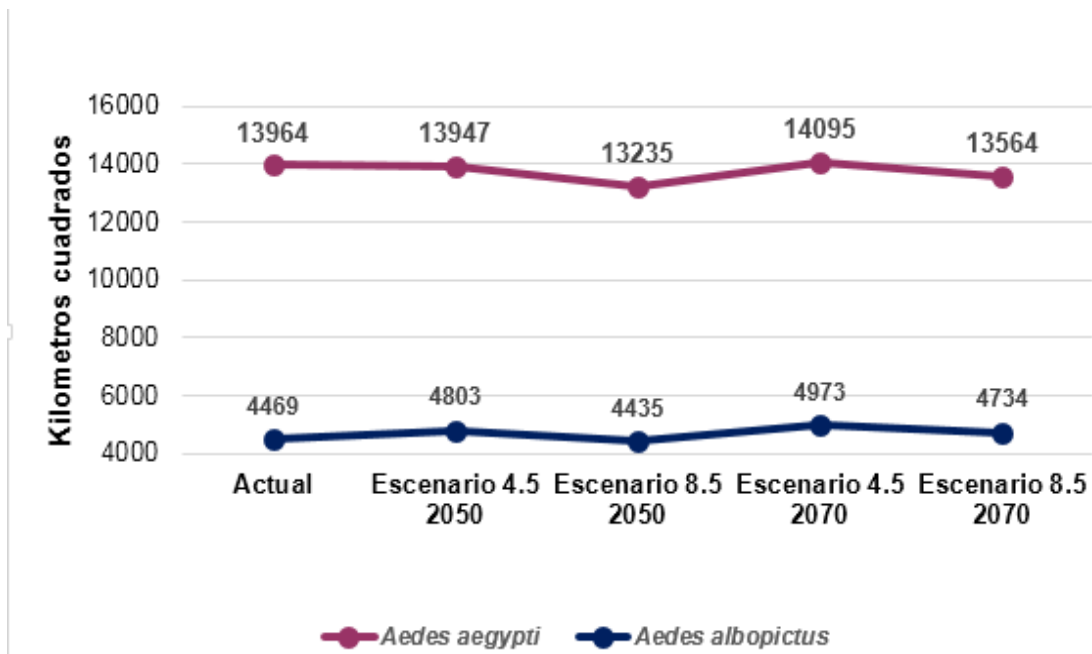


Figura 2. Área ocupada de la distribución potencial de *Ae. aegypti* y *Ae. albopictus* presente y bajo escenarios de cambio climático.

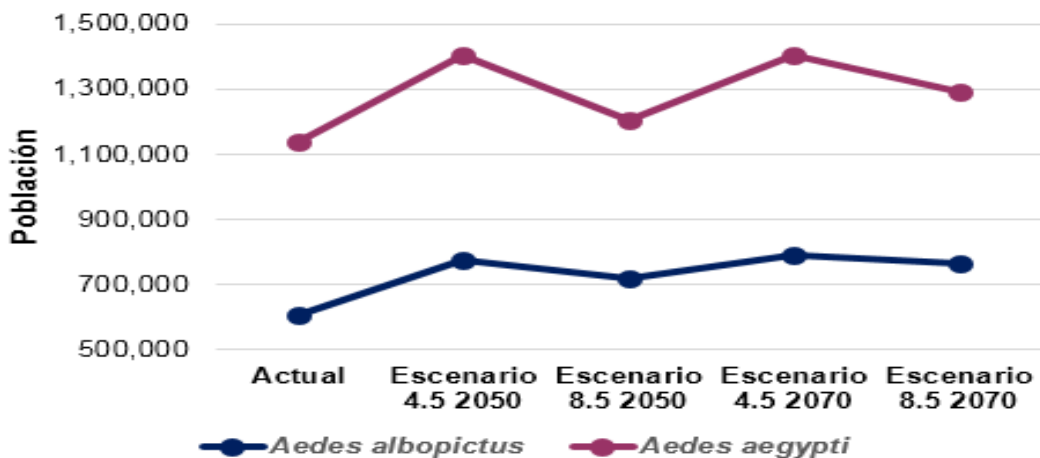


Figura 3. Población en áreas de riesgo presente y futuro. El color rosa corresponde al vector *Ae. aegypti* y el color azul corresponde al vector *Ae. albopictus*.

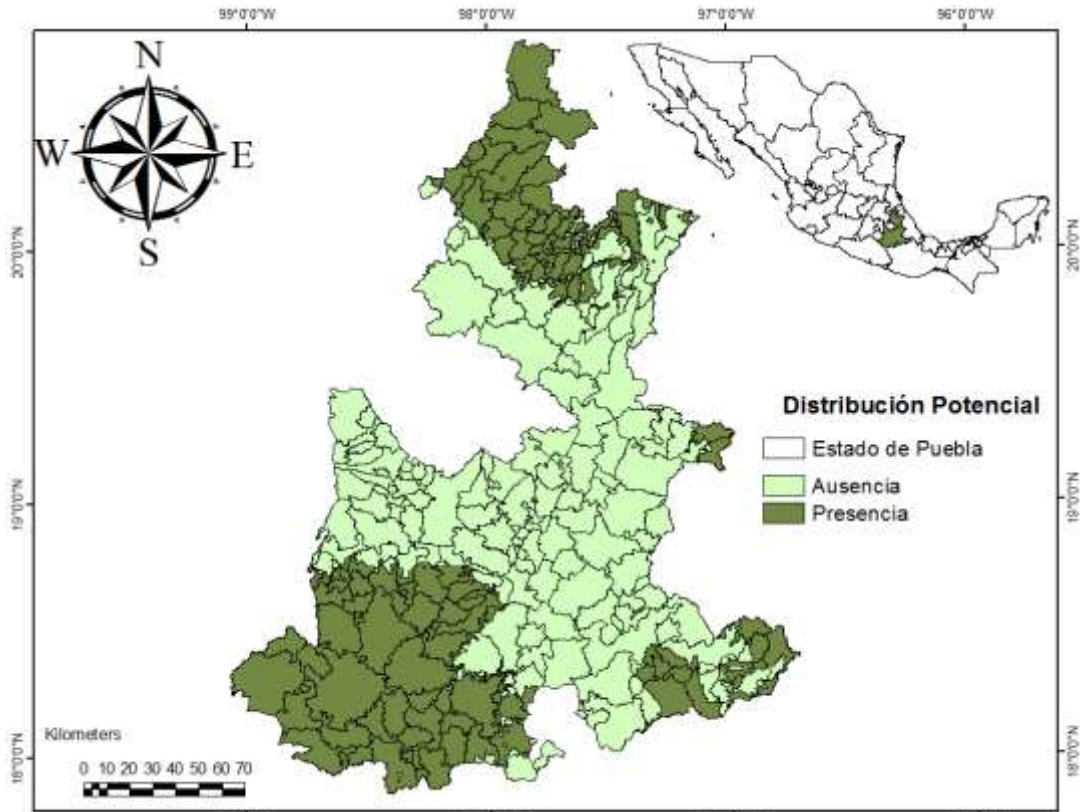


Figura 4. Distribución potencial presente de *Ae. aegypti* en el estado de Puebla.

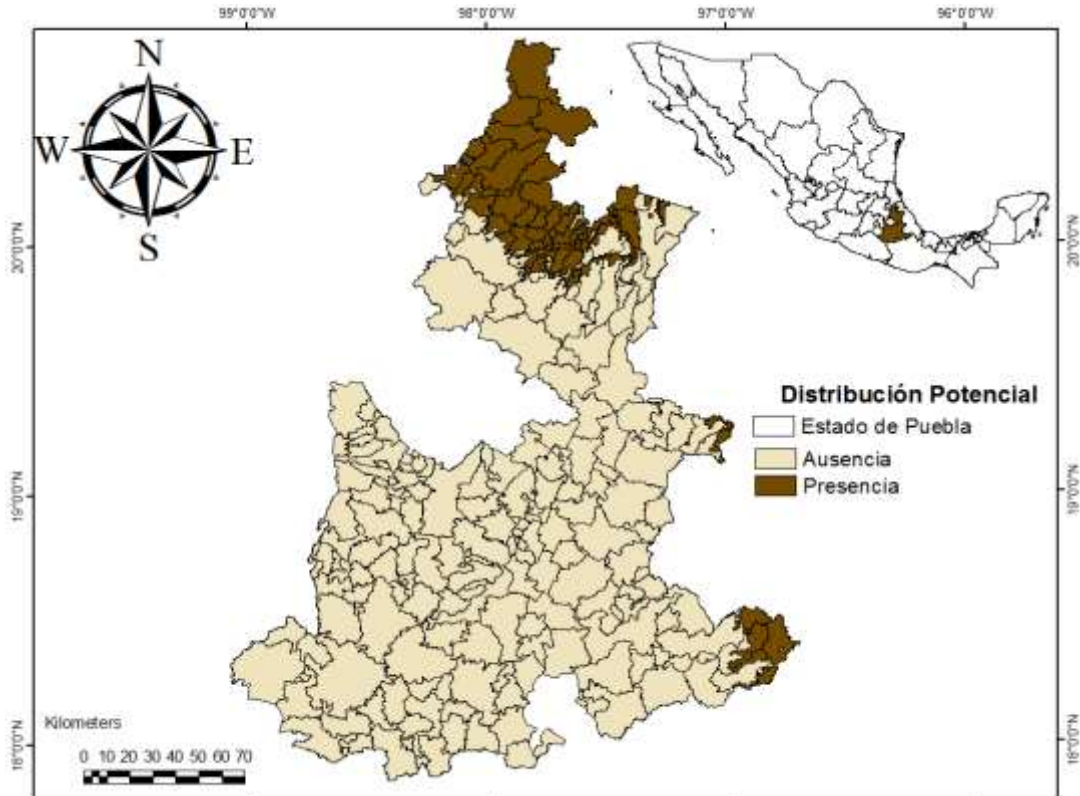


Figura 5. Distribución potencial presente de *Ae. albopictus* en el estado de Puebla.

De igual forma, se observa que los dos vectores se superponen en regiones de la Sierra Norte extendiéndose hacia la Sierra Nororiental., posteriormente ocupa una fracción del Valle Serdán y la región de Tehuacán y Sierra Negra (**Figura 6**); estas regiones corresponden a las Jurisdicciones Sanitarias I, II, III, IV y X, respectivamente, ocupando un área total de 4,377 km². La distribución potencial que genera MaxEnt coincide con los casos reportados de dengue para el estado, en el que más del 50% que coinciden con la distribución potencial de ambos vectores.

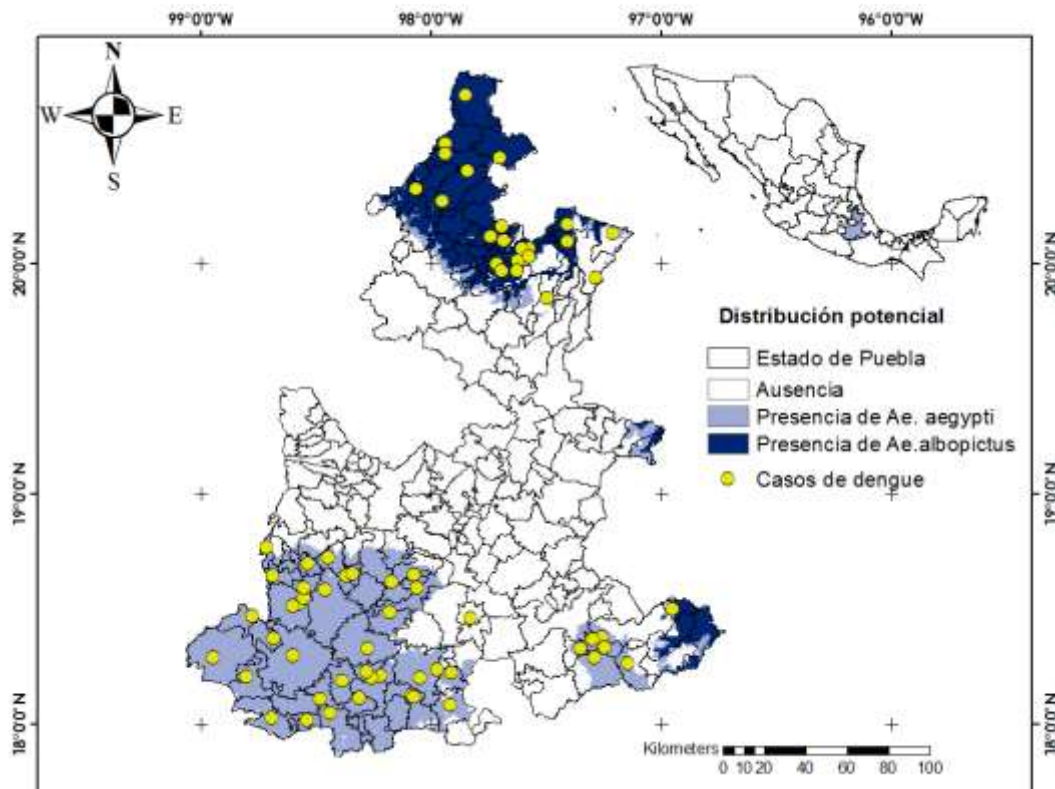


Figura 6. Distribución potencial de ambos vectores en el estado de Puebla.

En el caso de la relación que existe entre la temperatura anual y la precipitación media anual se puede observar en la **figura 7** que el vector *Ae. aegypti* tiene un rango de temperatura media anual de 14-26°C y una precipitación de 406-3088 mm. El MNE en el espacio ambiental indicó que el vector *Ae. albopictus* será encontrado en regiones que presenten una temperatura media anual de 16-26 °C y una precipitación anual de 1003-3088 mm (**Fig. 8**). Los casos de dengue se proyectaron

en ambos modelos de nicho ecológico, sin embargo, se observa que la mayoría de los casos coinciden solamente con las condiciones ambientales del nicho de *Ae. aegypti*.

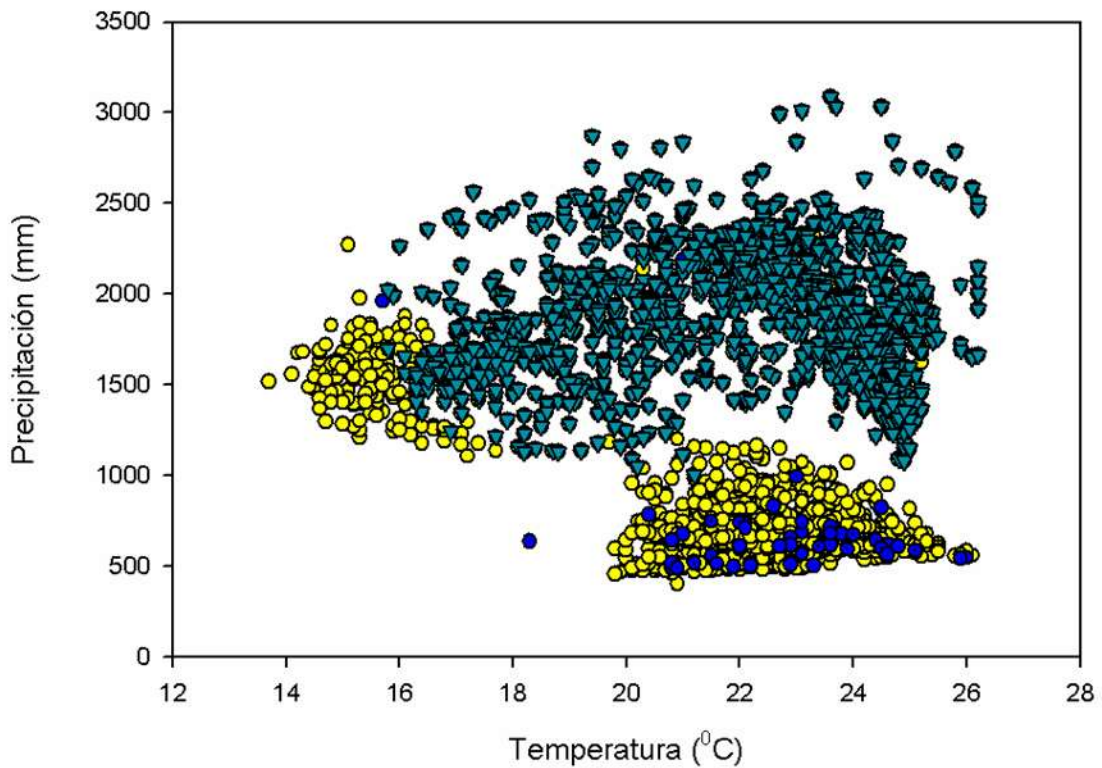


Figura 7. Gráfico de temperatura media anual vs precipitación anual. Representa las condiciones idóneas para la distribución potencial de *Ae. aegypti* (círculos amarillos) comparándose con los casos reportados dengue para el estado de Puebla (círculos azules) y la distribución potencial de ambos vectores (triángulos verdes).

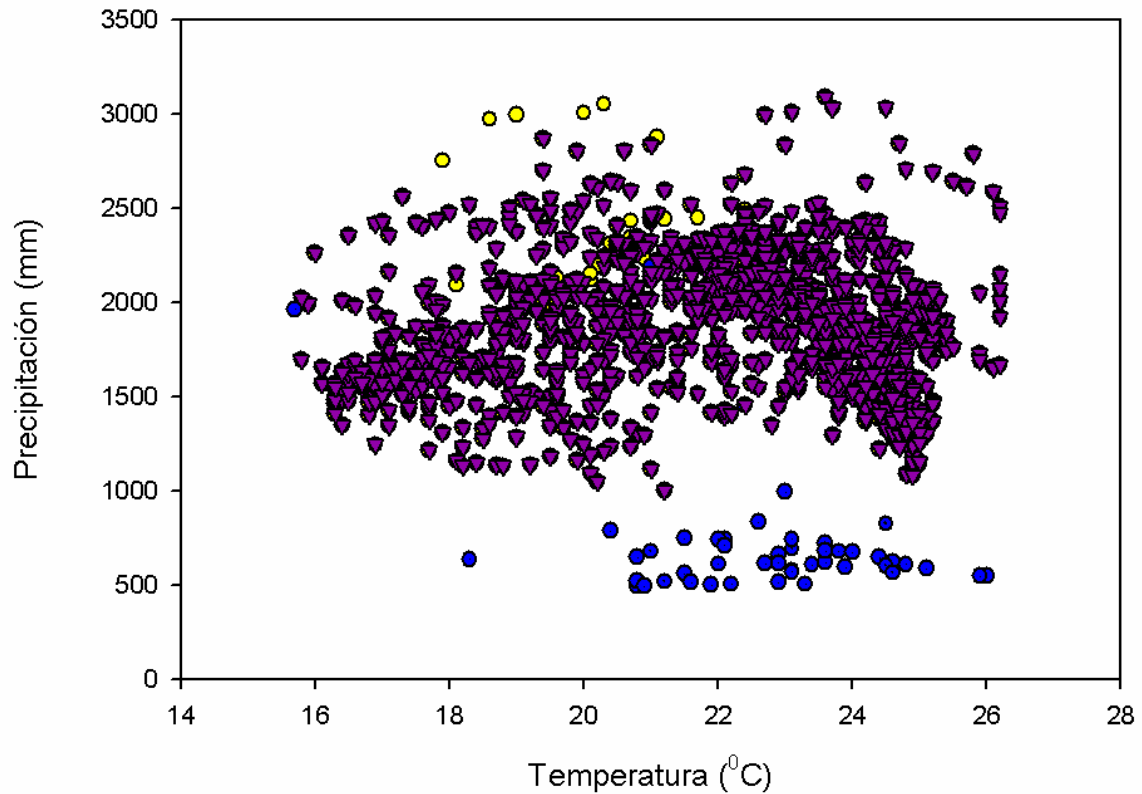


Figura 8. Gráfico de temperatura media anual vs precipitación anual. Representa las condiciones idóneas para la distribución potencial de *Ae. albopictus* (círculos amarillos) comparándose con los casos reportados dengue para el estado de Puebla (círculos azules) y la distribución potencial de ambos vectores (triángulos morados).

Respecto al grado de marginación, en la **figura 9** se puede observar que las localidades que se encuentran en mayor riesgo de estar en contacto con los vectores y de contraer alguna enfermedad transmitida por ellos son aquellas que tienen un alto grado de marginación seguida por la categoría de muy alto. Posteriormente, sigue las categorías media y baja, y por último, la categoría de muy bajo. En este caso la Sierra Norte es la región con alto grado de marginación.

Los casos de dengue se encuentran dentro de la categoría muy alta marginación seguida por media y baja.

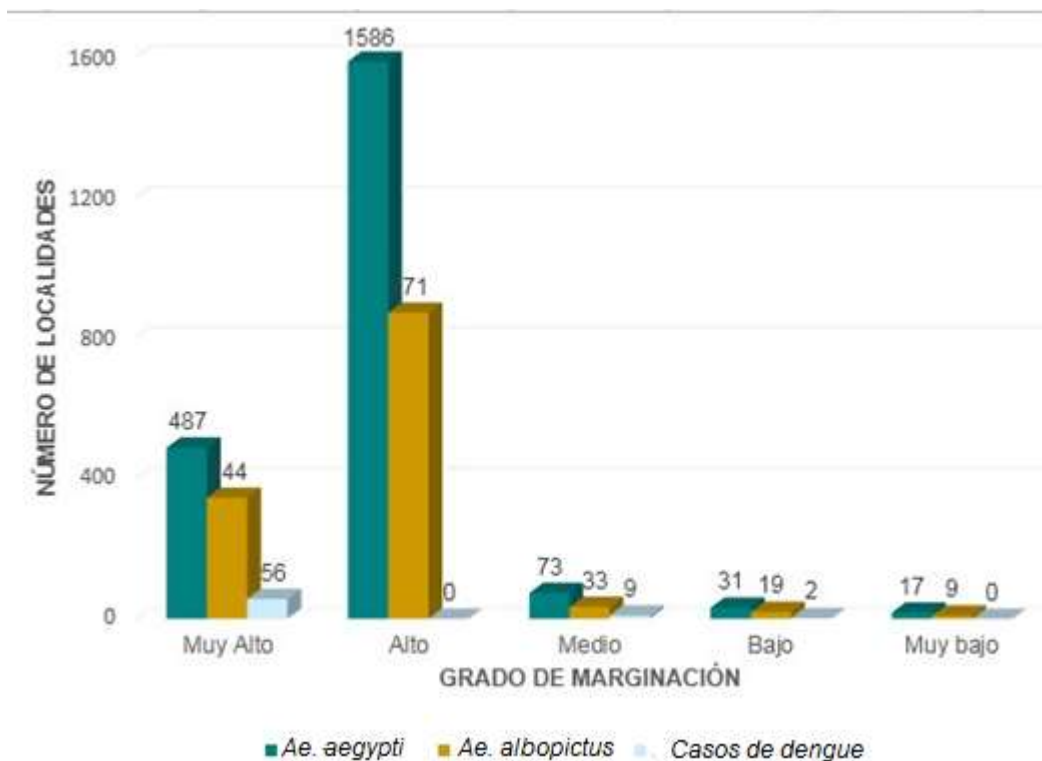


Figura 9. Grado de marginación en la distribución potencial de los vectores *Aedes* y los casos reportados de dengue.

6.2. Distribución potencial bajo escenarios de cambio climático

6.2.1. Distribución potencial bajo los escenarios RCP 4.5 y 8.5 (2050) para *Ae. aegypti*

En el escenario RCP 4.5 2050 *Ae. aegypti* reduce 17 km² su área de distribución respecto a la distribución geográfica potencial presente (**Fig. 2**) y en relación con la población presenta un incremento a 1,403,331 individuos de 127 municipios que estarían en riesgo potencial para el 2050 (**Fig. 3**). Su área de distribución se dirige hacia las regiones del norte y nororiental, Valle Serdán, Valle de Atlixco y Matamoros, Sierra Mixteca, Tehuacán y Sierra Negra en donde se ubican las Jurisdicciones I, II, III, IV, V, VII, VIII, IX y X (**Fig.10**).

Para el escenario de RCP 8.5 2050 su área de distribución potencial es 13,235 km² por lo que se reduce respecto al modelo presente (**Fig. 2**) en donde 126 municipios son los que se encuentran en la distribución potencial del vector y en riesgo potencial de habitantes es de 1,204,239 por lo que disminuye el número de población respecto al escenario anterior., en contraste, si se compara con la distribución actual, los dos modelos indican un aumento en posible riesgo (**Fig.3**) y se dirigen hacia zonas de nueve Jurisdicciones Sanitarias del estado de Puebla (**Fig.11**). Los modelos no presentaron una distribución potencial en la Jurisdicción Sanitaria VI y su valor de AUC para el escenario RCP 4.5 2050 ha sido de 0.896 y 0.893 para el escenario RCP 8.5 2050.

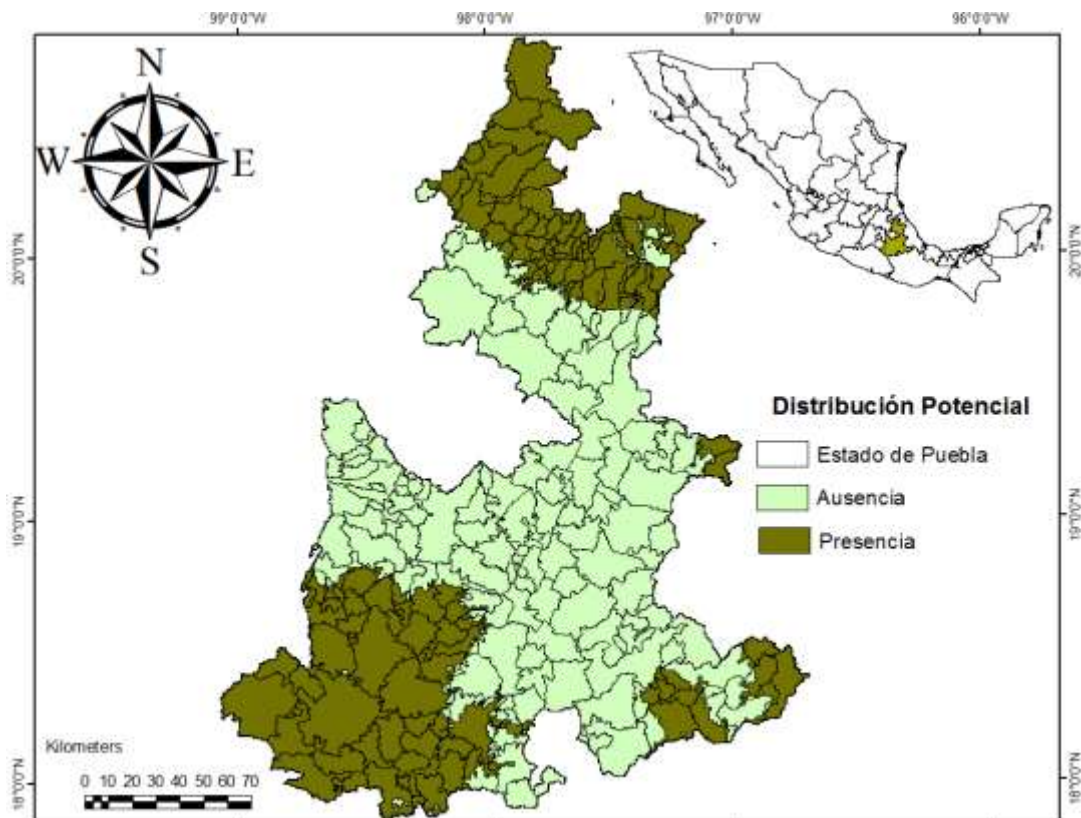


Figura 10. Distribución potencial de *Ae. aegypti* bajo el escenario RCP 4.5, año 2050.

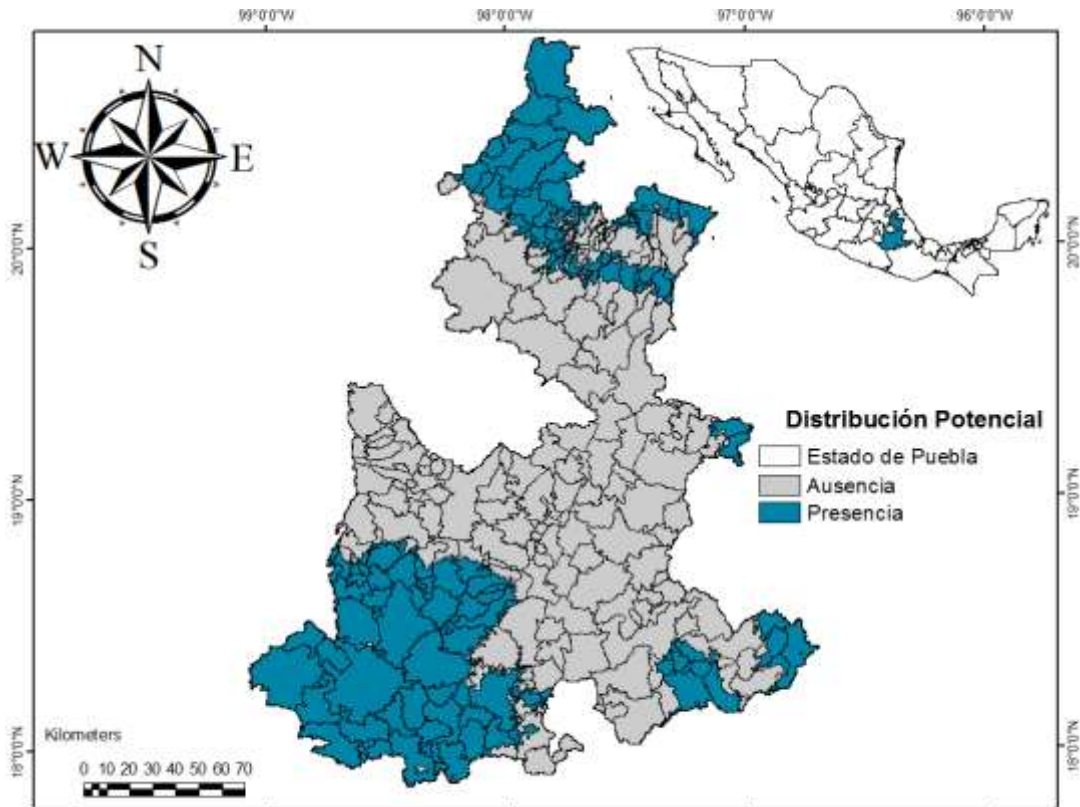


Figura 11. Distribución potencial de *Ae. aegypti* bajo el escenario RCP 8.5, año 2050.

6.2.2. Distribución potencial bajos los escenarios RCP 4.5 y 8.5 (2050) para *Ae. albopictus*.

La distribución potencial para *Ae. albopictus* bajo el escenario RCP 4.5 incrementó 334 km² respecto al modelo de distribución potencial presente (**Fig. 2**) siendo su área potencial de 4,803 km² por lo que ocupa el 12.93% de todo el estado. Para el escenario RCP 8.5 su área potencial es de 4,435 km² y al compararlo con el escenario RCP 4.5 se puede observar que disminuye 360 km² y 34 km² en comparación a la distribución actual (**Fig. 2**).

En relación con el número de población se observó un incremento en ambos escenarios respecto a la distribución actual del vector. Para el escenario RCP 4.5, la población en riesgo es de 775,323 y para el escenario RCP 8.5 son 720,556 habitantes que podrían converger con el nicho potencial de *Ae. albopictus* (**Fig.3**). Sin embargo, entre ambos escenarios disminuye el número de habitantes en riesgo teniendo una diferencia de 54, 767 individuos.

En ambos escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 (**Figs. 12, 13**) la distribución del vector se establece en zonas del Norte y Nororiental, parte del valle Serdán, región de Tehuacán y Sierra Negra que pertenecen a las jurisdicciones sanitarias I, II, III, IV y X. Si bien, *Ae. albopictus* incrementa su desplazamiento a 64 municipios para el escenario RCP 4.5 y para el escenario RCP 8.5 incrementa a 66 municipios. La calidad de estos modelados al evaluarse con AUC mostró valores de 0.945 y 0.941, respectivamente.

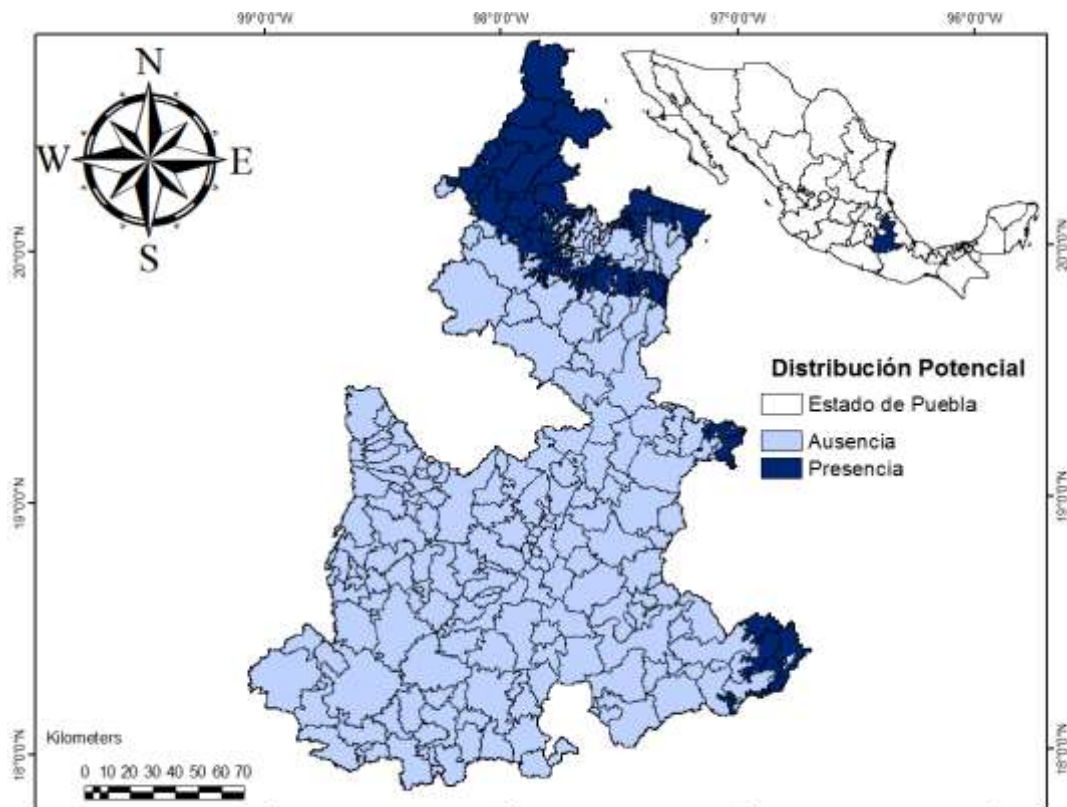


Figura 12. Distribución potencial de *Ae. albopictus* bajo el escenario RCP 4.5, año 2050.

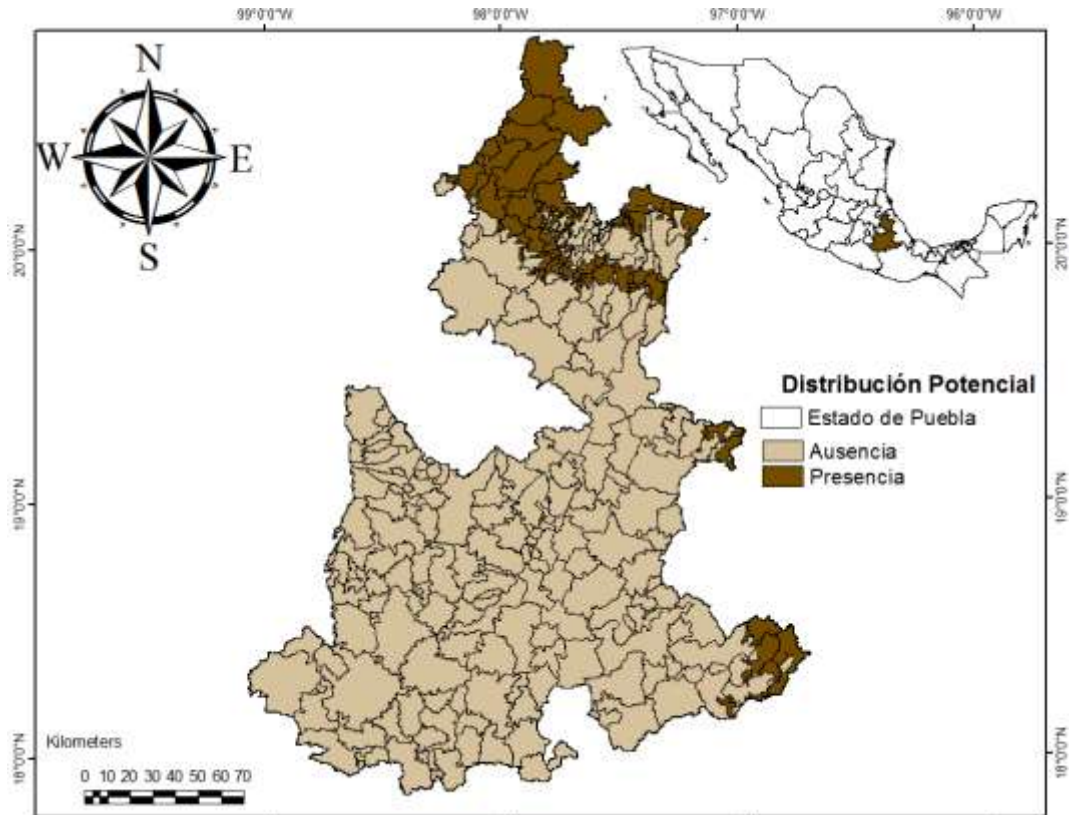


Figura 13. Distribución potencial de *Ae. albopictus* bajo el escenario RCP 8.5, año 2050.

6.2.3. Distribución potencial bajo escenarios RCP 4.5 y 8.5 (2070) para *Ae. aegypti*.

De acuerdo con los resultados obtenidos por MaxEnt no se observan cambios en relación con los municipios y en ambos escenarios son 126 municipios que presentan las condiciones favorables para el establecimiento del vector., sin embargo, en el primer modelo que corresponde al escenario RCP 4.5 tiene un área potencial de 14,905 km² siendo el escenario con mayor extensión de área que los otros modelos de distribución potencial (**Fig. 2**) con una población en riesgo de 1,401,454 habitantes (**Fig. 3**).

Su distribución se dirige hacia municipios que pertenecen a las Jurisdicciones I, II, III de la Sierra Norte y Nororiental, así como también la Jurisdicción IV del Valle Serdán., posteriormente tiende a ocupar sitios de las Jurisdicciones V, VII, VIII IX del Valle de Atlixco y Matamoros y de la Sierra Mixteca. Por último, la Jurisdicción

X de Tehuacán y Sierra Negra se encuentra dentro de la distribución potencial de *Ae. aegypti* (**Fig. 14**).

Para el segundo modelo RCP 8.5, hay un descenso respecto a su área de 1,341 km² al compararlo con la distribución del escenario 4.5 y de 400 km² con la distribución actual (**Fig. 2**). Por lo tanto, también disminuyó la cantidad de individuos que se encuentran en áreas potencialmente en riesgo respecto al escenario anterior pero aumentó 153,947 individuos respecto a la distribución actual (**Fig. 3**) y su distribución potencial se establece en las mismas localidades descritas anteriormente en el escenario RCP 4.5 (**Fig. 15**)

Al evaluarlos el valor de AUC fue de 0.898 para RCP 4.5 y de 0.893 para RCP 8.5, es decir, se obtuvo una perfecta discriminación.

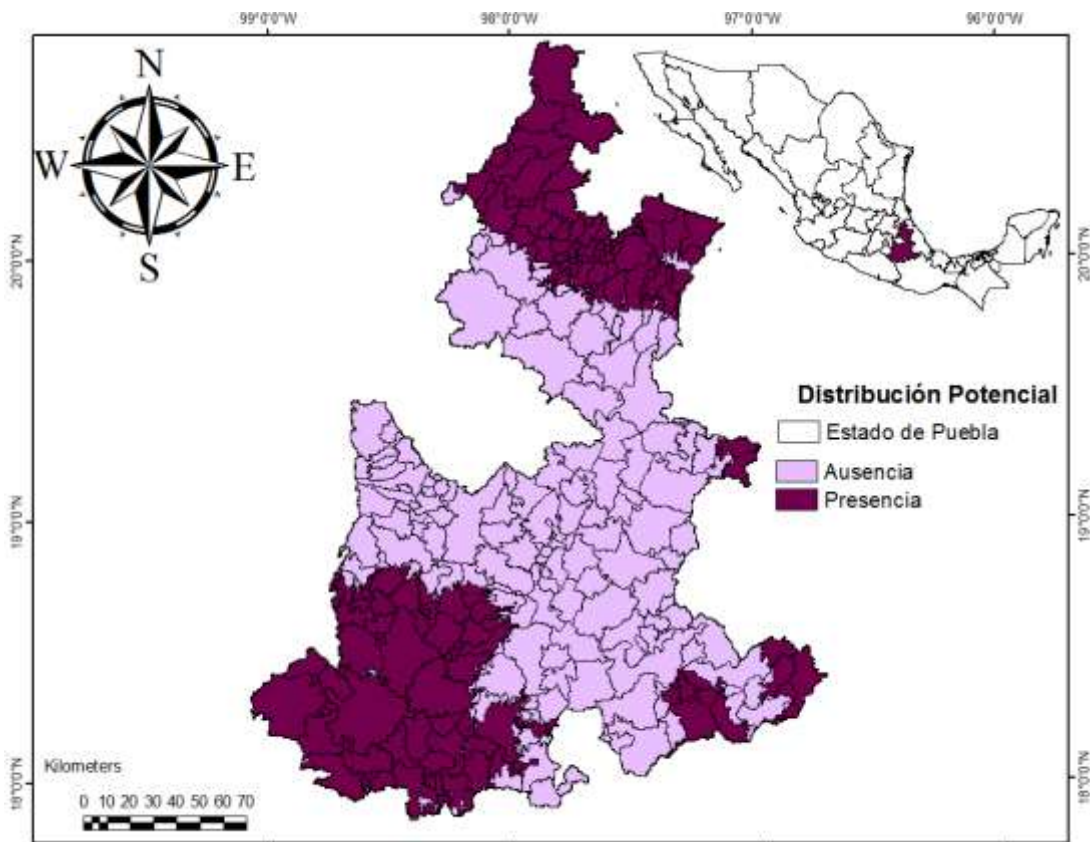


Figura 14. Distribución potencial de *Ae. aegypti* bajo el escenario RCP 4.5, año 2070.

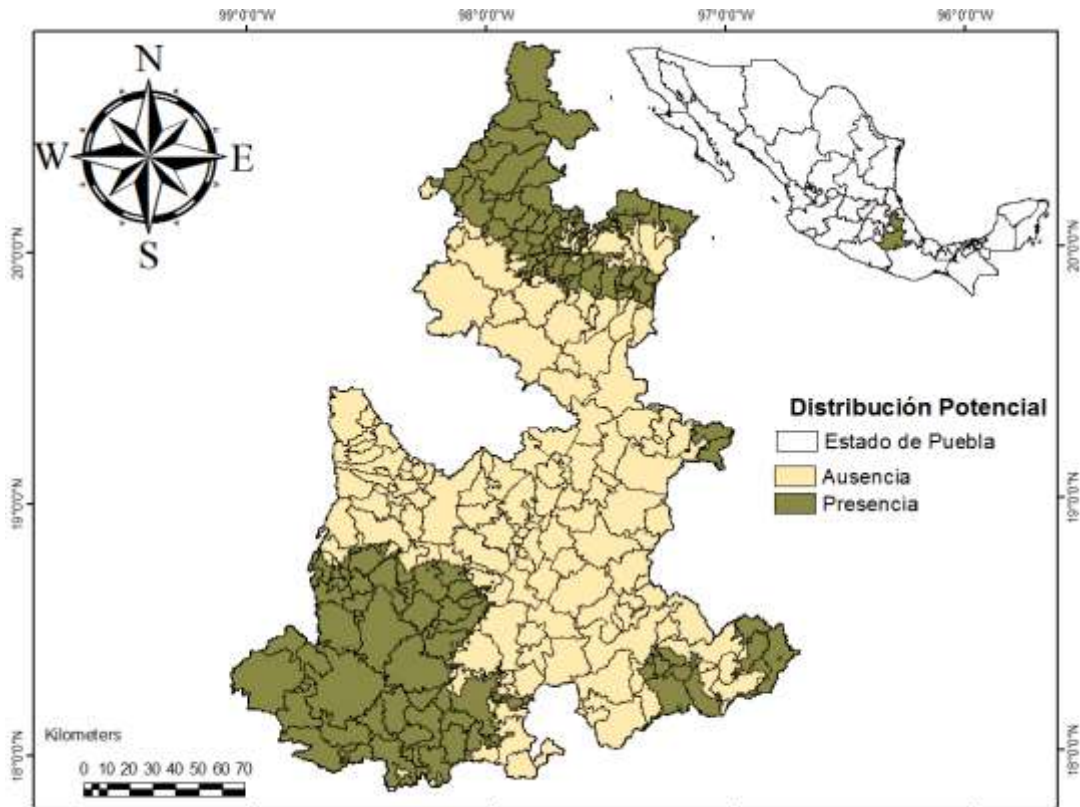


Figura 15. Distribución potencial de *Ae. aegypti* bajo el escenario RCP 8.5, año 2070.

6.2.4. Distribución potencial bajo escenario RCP 4.5 y 8.5 (2070) para *Ae. albopictus*

El modelo de *Ae. albopictus* bajo el escenario RCP 4.5 presenta mayor área de distribución potencial que la actual y bajo los escenarios para el año 2050 (**Fig. 2**) en el que ocupa el 14.05% de todo el estado y a diferencia del modelo bajo el escenario RCP 8.5, su área aumenta 265 km² en relación con el modelo actual y disminuye 239 km² al compararse con el modelo bajo escenario de RCP 4.5 y (**Fig. 2**). En cuanto al riesgo de población, hay un incremento considerable del modelo actual al RCP 4.5 de 182 514 habitantes y de 156 714 para el RCP 8.5 (**Fig. 3**) . Aunque no muestran cambios evidentes en cuanto a su distribución geográfica (**Figs. 16, 17**) ambos modelos coinciden en 64 municipios que pertenecen a las Jurisdicciones Sanitarias I, II, III, IV y X. Ambos modelos fueron evaluados con valores de 0.946 y 0.948 de AUC, respectivamente.

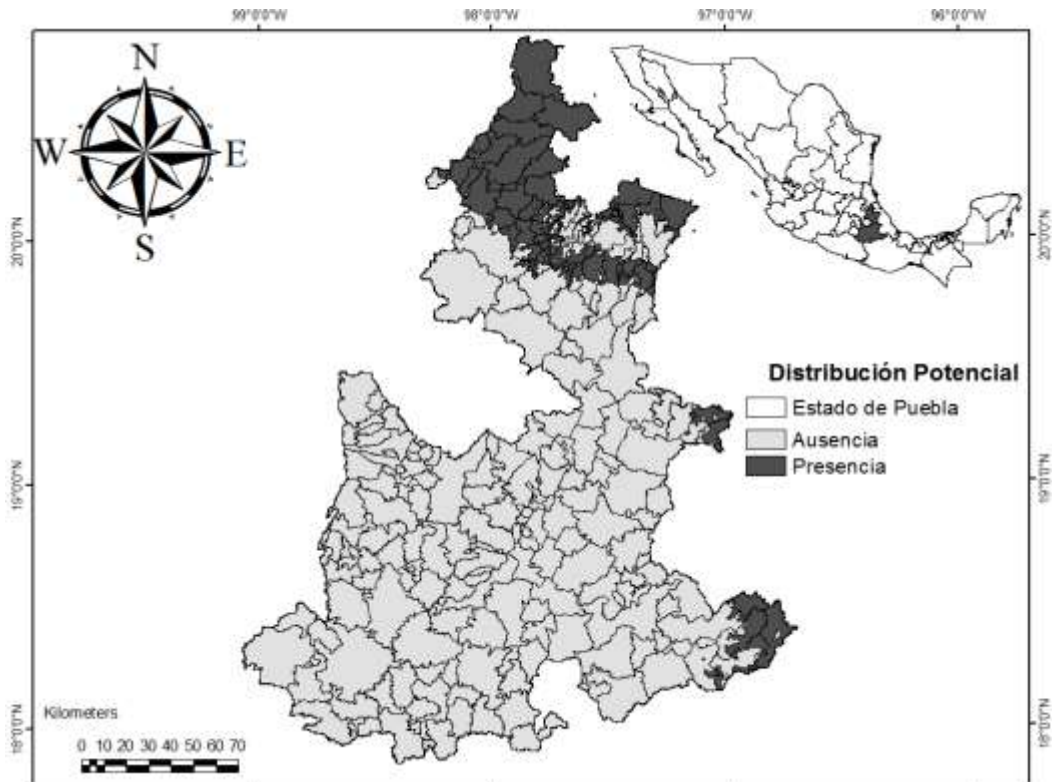


Figura 17. Distribución potencial de *Ae. albopictus* bajo el escenario RCP 4.5, año 2070.

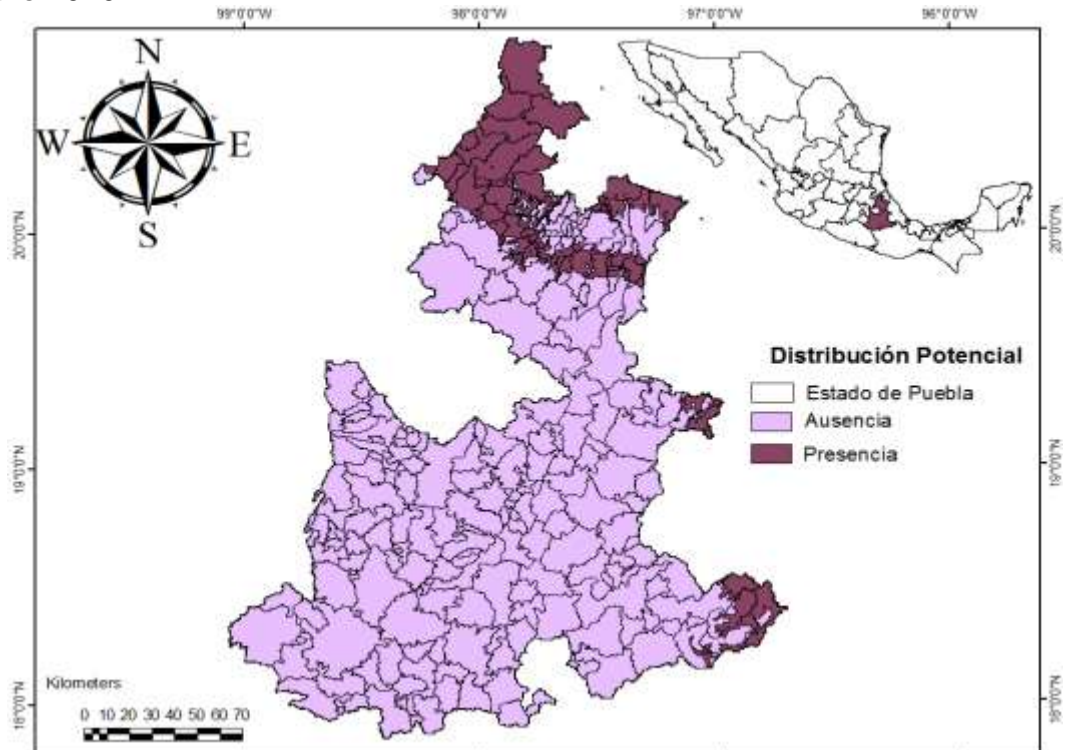


Figura 16. Distribución potencial de *Ae. albopictus* bajo el escenario RCP 8.5, año 2070.

6.3. Altitud

Para ambas especies el rango de distribución potencial bajo los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y 8.5 para los años 2050 y 2070 se observa que tienen un rango de altitud mínimo de 201 msnm y máximo de 2401 msnm.

7. DISCUSIÓN

7.1. Distribución potencial presente

Los resultados obtenidos mostraron que *Ae. aegypti* tiene mayor distribución potencial actual hacia la región Norte y Sierra Mixteca del estado. Lo cual coincide con el estudio reportado por Kraemer *et al.* (2015) en donde han estimado alta probabilidad de presencia del vector en México dirigiéndose hacia localidades del Norte y Sierra Mixteca del estado de Puebla, pero especialmente hacia regiones que colindan con el estado como Veracruz, Oaxaca, Morelos, Guerrero. Santos & Meneses (2017) mostraron que las regiones cercanas al Golfo de México tienen alta probabilidad para el establecimiento del vector incluyendo parte de la Sierra Norte del estado de Puebla, además, sus resultados muestran que la parte centro del país cuenta con las condiciones ambientales aptas para la especie.

Estudios realizados a escala global indican que México es uno de los países con las condiciones adecuadas para la distribución actual de *Ae. aegypti* (Ding *et al.*, 2018). Históricamente, el mosquito *Ae. aegypti* se había reportado a una altitud de 1000 m (Ibáñez-Bernal & Gómez-Dantés, 1995) o por debajo del 2000 msnm (Peterson *et al.*, 2016). Recientemente, se ha documentado que su distribución es amplia en México encontrándose por arriba de los 2130 msnm (Gómez-Dantés *et al.*, 2014). En el 2015, se documentó la presencia de larvas de mosquitos a una altitud de 2240 msnm en la Ciudad de México (Kuri-Morales *et al.* 2017). En este estudio la altitud máxima que podría alcanzar el vector es de 2601 msnm en el estado de Puebla, mayor a lo que reporta Lozano-Fuentes *et al.* (2012) lo que podría indicar que *Ae. aegypti* podría colonizar nuevas áreas por arriba de los 2500 msnm por efecto a la asociación de actividades humanas lo que facilitan la ampliación de su rango geográfico (Capinha *et al.*, 2014).

A una escala regional, se realizó un estudio de nicho ecológico tomando en cuenta las dimensiones espacio - temporal y obtuvieron en un tiempo promedio que el vector tiene una amplia distribución en el territorio mexicano y en tiempo específico determinan áreas más restringidas para su distribución., sin embargo, se puede observar que en ambos modelos el vector puede tener condiciones favorables hacia las regiones Norte, Sierra Mixteca del estado de Puebla (Peterson *et al.*, 2005).

Los estudios realizados para determinar la distribución de este vector en México aplicados a una escala menor han sido pocos. Un ejemplo es el estudio realizado por Equihua *et al.* (2017) quienes reportaron que el 60 % de la región de Veracruz presenta las condiciones adecuadas para la distribución potencial del vector debido a que se han reportado un gran número de casos de dengue y se encuentra cerca de áreas donde el dengue es endémico.

De manera general, los estudios anteriores han sido aplicados a diferentes escalas. No obstante, indican que el estado de Puebla cuenta con las condiciones adecuadas para el establecimiento del vector principalmente en las regiones del Norte, Sierra Mixteca, Tehuacán y Sierra Negra debido a que estas regiones son las que colindan con los estados que se reportan con alta probabilidad de presencia de los vectores. Además, el presente trabajo representa el primer estudio de modelado de distribución potencial y modelado de nicho ecológico aplicado para la distribución de *Ae. aegypti* en el estado de Puebla y confirma que las regiones que colindan con los estados endémicos son las que mayor riesgo potencial presentan para el establecimiento del vector.

Han sido poco los estudios realizados en el estado de Puebla con el objetivo de identificar la presencia de *Ae. aegypti* y estos coinciden con la distribución potencial reportada en este estudio. Mejía-Bravo & Zumaquero-Ríos (2012) y Barrientos-Roldán (2016) indicaron la presencia de larvas de *Ae. aegypti* en Ajalpan y Jolalpan, respectivamente y son localidades caracterizadas por clima cálido . Por lo tanto, el clima cálido fue característico de algunas regiones que forman parte del nicho potencial de *Ae. aegypti* en este estudio. Esto podría indicar que el establecimiento del vector esta evidentemente relacionado con el clima (Capinha *et*

al., 2014., Baak-Baak *et al.*, 2017) siendo las zonas con clima más cálido las que influyen en la fisiología del mosquito permitiéndolo digerir más rápido la ingesta de sangre y como consecuencia tenga la necesidad de alimentarse más provocando mayor probabilidad de transmisión de virus y enfermedades (Githeko *et al.*, 2001). Por otro lado, *Ae. albopictus* presentó una distribución potencial menor a la de *Ae. aegypti* en el estado y solamente las regiones del Norte, Nororiental, Valle Serdán y Sierra Negra tienen las condiciones favorables para la especie. A escala mundial se han realizado estudios que reportan la extensa distribución potencial de *Ae. albopictus* en gran parte del territorio mexicano (Kraemer *et al.*, 2015., Pech-May *et al.*, 2016., Yáñez-Arenas *et al.*, 2017., Proestos *et al.*, 2015) incluyendo regiones del estado de Puebla que coinciden con los reportados en este estudio. De igual forma, Santos & Meneses (2017) mencionan que la distribución actual de este vector es menor que la de *Ae. aegypti*, sin embargo, su distribución se dirige hacia zonas cercanas del Golfo de México.

Aunque los primeros reportes de la presencia de este vector en México fueron a finales del siglo XX en los estados de Coahuila y Tamaulipas, no se descarta la posibilidad de que la especie pueda encontrarse en regiones que tengan las características ambientales adecuadas para su desarrollo o bien dada la altitud de las regiones (Ibáñez-Bernal & Martínez-Campos, 1994., Ibáñez-Bernal *et al.*, 1997). Actualmente su distribución potencial se ha reportado a una elevación promedio de 488-1920 msnm (Pech-May *et al.*, 2016) y en este estudio se podría establecer entre los 201-2201 msnm. Esto podría indicar que el vector podría ampliar su nicho a partir de las actividades mediadas por el humano (Gian-Reto *et al.*, 2002., Leta *et al.*, 2018). También es importante considerar que el clima juega un papel importante en la distribución potencial de enfermedades transmitidas por vectores (Áström *et al.*, 2013) y en este estudio *Ae. albopictus* se dirige hacia zonas con clima cálido o semicálido.

Para ambos vectores se observó que su distribución potencial actual no se dirige hacia la jurisdicción sanitaria V donde se encuentra el municipio de Puebla. Sin embargo, Lozano-Fuentes *et al.* (2012) indican la presencia de *Ae. aegypti* en comunidades de Atlixco y Ciudad de Puebla, lo cual no coincide con la distribución

potencial que se reporta en este estudio y esto puede fundamentarse con estudios que se han realizado recientemente en distintas zonas de Puebla y no se han reportado la presencia de ambos vectores (Viveros-Santos, 2015., Mendez-Andrade, 2016., Díaz-Osorio, 2018)., sin embargo, Puebla por su ubicación geográfica es punto de acceso entre los estados donde ha sido endémico el dengue y se ha mencionado que algunos virus como es el ZIKV han sido propagados en diferentes países a través de los viajes y México es uno de los países que presenta entre un 40 a 60% de riesgo de importación del virus y transmisión local (Nah *et al.*, 2016) aunque no se consideran las regiones del centro del país a pesar de que se ha reportado la transmisión autóctona de tres de las enfermedades que transmiten los mosquitos *Aedes* (Leta *et al.*, 2018).

Por último, este estudio indica que el estado de Puebla tiene las condiciones ambientales para que pueden propiciar a la presencia de las especies principalmente las regiones con clima cálido.

7.1.1. Variables ambientales

La abundancia y estacionalidad de los mosquitos han sido altamente correlacionadas con la temperatura y la precipitación (Caminade *et al.*, 2017) por lo que las variables que se utilizan para este MNE en ambas especies se ajustan al estudio que realizó Equihua *et al.* (2017) quienes utilizaron las variables temperatura máxima del mes más cálido (bio 5), temperatura mínima del mes más frío (bio6), precipitación del mes más húmedo (bio 13) y precipitación del mes más seco (bio14) de Worldclim para predecir la distribución de *Ae. aegypti*, representando el 92% de correlación con 2 componentes principales.

La distribución potencial de los vectores se ve completamente influenciada por la temperatura del mes más frío seguida de la precipitación del mes más húmedo. Esto coincide con Candelario Mejía *et al.* (2015) quienes determinaron que la distribución potencial fue definida principalmente por las variables de temperatura entre ellas se menciona la variable de temperatura promedio del mes más frío. Machado-Machado (2012) indicó que una de las variables que define la idoneidad de la fiebre del dengue y contribuyó más en su estudio fue la temperatura mínima del mes más frío. La variable de temperatura media del trimestre más frío ha sido la

que mayormente ha contribuyó en la distribución de *Ae. aegypti* (Koch *et al.* 2015., Santos & Meneses, 2017). De tal manera que, esta variable climática se puede asociar significativamente en el ciclo de vida de *Ae. aegypti* (Couret & Benedict, 2014) y en relación con la precipitación, esta variable podría aumentar la probabilidad de densidad y presencia de mosquitos (Sallam *et al.*, 2016., Ding *et al.*, 2018) lo que influye a una alta propagación de las enfermedades, una de ellas el DENV (Machado-Machado, 2012). En un estudio realizado por Yáñez-Arenas *et al.* (2017) obtuvieron una contribución alta de la temperatura media anual más el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) variables que determinaron la distribución de *Ae. albopictus* en México. Del mismo modo, Baak- Baak *et al.* (2017) realizaron un MNE para predecir la distribución espacial de *Ae. aegypti* en el estado de Yucatán obteniendo como variables predictoras la temperatura media anual, precipitación anual y elevación. Sallam *et al.* (2016) mostró que las variables que más aportan en la distribución potencial de los vectores del virus Nilo Occidental, *Cx. nigripalpus* y *Cx. quinquefasciatus* son la precipitación de los meses más húmedos y más fríos y el índice de área foliar. Por lo tanto, los estudios realizados de modelo de nicho ecológico para vectores se ajustan al modelo presente en relación con las variables de temperatura y precipitación, teniendo en cuenta que a nivel global se han realizado estudios de MNE en el que han mostrado un mayor poder discriminatorio con la variables de temperatura (Ding *et al.*, 2018) ya que se sabe que los mosquitos son organismos poiquilotermos y su supervivencia depende totalmente de la temperatura (Brady *et al.*, 2014) pero de igual forma hay variables no climáticas como la altitud, la pendiente, la distancia de la localidad a la carretera, la distancia de la localidad del río y formaciones geológicas que influyen en la presencia del vector en un sitio (Shabani *et al.*, 2018).

El modelo de nicho ecológico y distribución potencial de *Ae. aegypti* y *Ae. albopictus* proyectan una idoneidad ambiental para su establecimiento a un rango de temperatura media anual de 14-26°C y una precipitación media anual de 406 a 3088 mm. Por lo tanto, Puebla cuenta con las condiciones ambientales para que los vectores logren distribuirse debido a que se caracteriza por una temperatura media

anual de 2-24°C y una precipitación con valores anuales de 350-4250 mm (CONABIO, 2011) .

En cuanto a la temperatura media anual máxima obtenida en este estudio para *Ae. aegypti* que fue de 26°C puede permitir que los huevos eclosionen., considerando que la temperatura ambiente para que esto suceda es de 26.6- 27°C y en etapa de pupa podrían verse favorecidos los mosquitos debido al rango que requieren que va de los 24 a 33°C (Mohammed & Chadee, 2011., Morin *et al.*, 2016). La temperatura media anual es una variable que determina la presencia de *Ae. aegypti* a una isoterma invernal de 10°C (Machado-Machado, 2012) o en regiones con temperatura media anual de 16. 9°C (Candelario-Mejía *et al.*, 2015). Este vector se ha reportado en el estado de Yucatán una temperatura media anual de 20°C (Baak-Baak *et al.*, 2017). Una hipótesis que sugirió Mohammed & Chadee (2011) fue que al aumentar la temperatura los mosquitos podrían regresar a hábitats naturales en ambientes peridomésticos y como consecuencia los vectores podrían expandir su rango de manera indirecta debido a que la población humana ante las condiciones secas se verá en la necesidad de almacenar agua, los cuales serán sitios de ovoposición para los mosquitos (Morin *et al.*, 2016). En contraste, Espinoza *et al.* (2001) mencionan que los criaderos se reducen cuando hay temperaturas altas y en épocas secas evitando el crecimiento de la población de mosquitos. Debido a lo anterior, se puede concluir que la distribución potencial de *Ae. aegypti* tiene las condiciones abióticas favorables para establecerse además se asocia a que la población que se encuentran en zonas potenciales tengan la necesidad de almacenar agua y no tanto por las temperaturas altas sino que muchas de ellas no cuentan con los servicios adecuados por lo que tendrían sitios propicios para el vector.

Ae. aegypti en el espacio ambiental mostró una preferencia por sitios que tengan una temperatura mínima de 14°C aunque algunos autores consideran que el nicho de *Ae. aegypti* tiene una temperatura mínima de 15°C (De la Mora-Covarrubias *et al.*, 2010., Khormi & Kumar, 2014). Tal vez la especie no podrá establecerse en sitios con menor temperatura a la reportada en este estudio debido a que imposibilitaría a la especie buscar su alimento, provocaría una deshidratación

en los huevos o disminuiría el ciclo reproductivo de la hembra (Morín *et al.*, 2016., Ogden & Lindsay, 2016).

Por otra parte, el modelo de nicho ecológico, *Ae. albopictus* está distribuido potencialmente a una temperatura media anual que va de 16-26°C y una precipitación anual 1003-3088 mm. En tanto, se ha reportado que la probabilidad de presencia de *Ae. albopictus* se ha asociado a una temperatura media anual de 25°C (Yáñez-Arenas *et al.*, 2017) o entre los 22-27°C (Santos & Meneses, 2017). Aun cuando la especie se estableciera en temperaturas menores a las mencionadas anteriormente., este vector se caracteriza por tener una estrategia denominada diapausa que le permite la supervivencia de sus huevos (Jia *et al.*, 2016) y se ha demostrado en laboratorio que es capaz de ser tolerante a temperaturas de -10°C y posterior a su diapausa ha tenido éxito en que eclosionen sus huevos (Thomas *et al.*, 2012).

En correlación a la precipitación anual, el rango para los vectores mencionado anteriormente puede influir en la disponibilidad de hábitats debido a que se ha demostrado que existe una relación entre la precipitación y la presencia de *Ae. aegypti* ya que aumenta el número de hábitats potenciales para sus larvas (Espinoza *et al.*, 2001). En México, se han colectado larvas de *Ae. aegypti* con una precipitación promedio de 600-800 mm (Kuri-Morales *et al.*, 2017) y a través de un modelo de nicho ecológico se ha correlacionado la presencia del vector a una precipitación >1000mm en el estado de Yucatán (Baak-Baak *et al.*, 2017).

7.1.2. Distribución simpátrica

En los resultados obtenidos las especies presentaron una distribución simpátrica en regiones del Norte, Nororiental, valle Serdán, Tehuacán y Sierra Negra. Se sabe que éstas especies han logrado distribuirse en altitudes similares (Santos & Meneses, 2017) ya sean bajas o medias a nivel mundial (Campbell *et al.*, 2015) lo que les ha permitido compartir el mismo nicho (Escobar & Craft, 2016., Baak-Baak *et al.*, 2017) como lo han hecho los vectores del virus de Nilo Occidental *Cx. nigripalpus* y *Cx. quinquefasciatus* en Florida (Sallam *et al.*, 2016). Ambas especies coexisten independientemente de la presencia de una respecto de la otra porque existe una segregación de hábitats evitando la competencia directa (Aguilar-Gueta,

2000., Rey & Lounibos, 2015) aunque *Ae. aegypti* tiene mayor rango de distribución que *Ae. albopictus* (Kraemer *et al.*, 2015., Campbell *et al.*, 2015., Santos & Meneses, 2017) y este último es un vector menos eficiente (Sallam *et al.*, 2016), sin embargo, se ha considerado como una especie mayormente susceptible a los cuatro serotipos de dengue y con la capacidad de transmitir virus de manera transovárica y transestadial (Ibáñez-Bernal *et al.*, 1995). En cambio, se ha reportado que *Ae. albopictus* ha logrado desplazar al vector principal del dengue haciendo referencia a la competencia interespecífica en la etapa larval (Juliano *et al.*, 2004) especialmente en entornos rurales (Morin *et al.*, 2016).

El mosquito *Ae. albopictus* tiene mayor preferencia por los sitios no domésticos, alimentándose tanto de humanos como de animales siendo un organismo oportunista (Braks *et al.*, 2004., Paupy *et al.*, 2009., Kraemer *et al.*, 2015). En contraste, *Ae. aegypti* se sitúa en áreas urbanas con alta resistencia a la desecación de huevos y se alimenta principalmente de humanos (Braks *et al.*, 2004., Juliano *et al.*, 2004., Rey & Lounibos, 2015). Lo antes mencionado podría ser explicado por el efecto de divergencia que tuvo su ancestro selvático *Ae. aegypti formosus* (Tabachnik, 2009). Y en general, ambas especies se han caracterizado por depositar sus huevos en sitios donde se almacena agua (Rey & Lounibos, 2015., Kraemer *et al.*, 2015).

Se ha identificado que el nicho que comparten estos vectores es caracterizado por ser cálido y estacionalmente seco (Juliano *et al.*, 2004., Rey & Lounibos, 2015). Esto se pudo observar en las regiones donde existe traslape de distribuciones que se caracterizaron por tener clima cálido, seco y templado. Pudiera ser que este solapamiento que existe es por el ancestro común que comparten (Tabachnik, 2009) y de alguna manera les ha permitido asociarse a las actividades que realiza el hombre (Rey & Lounibos, 2015) lo que atribuyó a su establecimiento en el continente americano (Erickson *et al.*, 2010., Odgen & Lindsay, 2016).

7.2. Escenarios de cambio climático

En este estudio se observa que ambas especies no tienen un incremento tan perceptible en su distribución geográfica potencial hacia los años 2050 y 2070 al

compararlas con la distribución actual. Estos resultados son similares con lo reportado por Campbell *et al.* (2015) en donde evalúan la distribución potencial a futuro para ambas especies e indican que sus distribuciones son similares con las actuales, sin embargo, emplean el uso del escenario de cambio climático A1B para el año 2050. Por lo que, las diferencias que se presentan con este estudio se deban a los escenarios de cambio climático empleados.

Por otra parte, se muestra que el mayor incremento en la distribución potencial de *Ae. aegypti* que fue de 0.38% bajo el escenario 4.5 en 2070 respecto a la distribución potencial presente, este resultado es similar a la distribución potencial que reportó Beebe *et al.* (2009) el cual menciona que *Ae. aegypti* tendría un incremento en su distribución potencial futura bajo un patrón de cambio climático Mk2 con escenario SRES marcador A1B en los periodos de 2030 y 2050 respecto a su distribución actual en Australia. Mweya *et al.* (2016) indicaron que el cambio climático puede ampliar el rango de *Ae. aegypti* debido a que las condiciones ambientales influyen en la duración de etapas inmaduras y favorece en la eclosión de sus huevos (Jia *et al.*, 2016) también el virus tiene mayor velocidad de replicación dentro del vector y logran acortar el periodo de incubación extrínseco del patógeno (Espinoza *et al.*, 2001., Mohammed & Chadee, 2011., Machado-Machado, 2012., Morin *et al.*, 2013).

En los modelos bajo los escenarios 4.5 y 8.5 en 2050 y 8.5 en 2070 hay una reducción de área al ser comparados con la distribución potencial presente (**observar figura 2**). Algo semejante se mostró cuando se realizaron modelos de escenarios globales (GCM), CSIRO Mk3.0 (CS) y MIROC-H (MR) y con escenarios de emisión A1B y A2 a los años 2030 y 2070 para *Ae. aegypti* en el que se reportó una ligera reducción en el área de distribución en ambos periodos aunque se acentúa especialmente para el 2070. No obstante, el vector mostró una preferencia por las regiones tropicales y subtropicales (Khormi & Kumar, 2014). En México, en el estado de Veracruz se estimó la distribución potencial del vector primario del dengue bajo los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5 y se observa que hay una reducción de área en comparación con la distribución actual, aunque

el vector *Ae. aegypti* ampliaría su distribución a altitudes más elevadas (Equihua *et al.*, 2017).

Estos cambios podrían aumentar el riesgo de propagación de las enfermedades que transmiten los vectores (Hales *et al.*, 2002., IPCC, 2007., Rogers *et al.*, 2013., Liu-Helmersson *et al.*, 2016) de tal manera que son capaces de buscar nuevos nichos ecológicos (Mweya *et al.*, 2016) debido a que sus umbrales fisiológicos les permiten ser tolerantes al incremento de temperatura y la población que habita en las zonas donde se distribuyen los vectores pueden ser tolerantes a los cambios climáticos y esto permita que sigan estableciendo sitios para el desarrollo de las especies (Beebe *et al.*, 2009., Gian-Reto *et al.*, 2002., Machado-Machado, 2012). Pero este cambio puede ser solo episódico (Gian-Reto *et al.*, 2002) como ejemplo se menciona que durante el fenómeno de La Niña los rangos de mosquitos incrementan contrario al fenómeno El Niño en donde reducen sus rangos (Morin *et al.*, 2016) pero también se ha expuesto que algunas variaciones de este efecto favorecen y amplían la transmisión de enfermedades como sucedió en Sudamérica durante el 2015 en el que la transmisión de ZIKV incrementó (Caminade *et al.*, 2017).

En cuanto al escenario de cambio climático 4.5 2050 y 2070 y 8.5 para el año 2070 se encontró un aumento en el área de distribución potencial para *Ae. albopictus* y se ha observado que el cambio climático influye en la distribución potencial del vector en zonas del norte, centro y sur de México (Proestos *et al.*, 2015). Esto coincide con Koch *et al.* (2015) quienes indicaron en su estudio para Alemania que *Ae. albopictus* tendría una extensión en su área potencial a futuro, sin embargo, hay un aumento de área en el modelo bajo escenario RCP 8.5 y en este estudio se obtuvo mayor área de distribución potencial en los escenarios RCP 4.5 2050 y 2070. Se debe mencionar que este vector muestra variación ecológica en cuestión de sitios de ovoposición, alimentación o adaptación climática resultado de su plasticidad o la adaptación local que presentan sus genotipos lo que le permite ampliar su rango de distribución (Bonizzoni *et al.*, 2013).

El escenario 8.5 para el 2050 muestra una ligera reducción en el área de distribución, lo que coincide con el estudio realizado para la distribución de *Ae.*

albopictus en Estados Unidos en el que muestra que la idoneidad del vector disminuirá para el año 2055 esto a través del modelo CSIRO-MK30 (Shabani et al., 2018). Durante el 2016, Pech-May *et al.* elaboraron un estudio para estimar la distribución potencial de este vector en México con escenarios de cambio climático ECHAM6 RCP 4.5 para los años 2050 y 2070 y obtiene mayor distribución en la península de Yucatán y la costa del Golfo de México, sin embargo, también existe alta probabilidad para el año 2050 y 2070 de que *Ae. albopictus* se distribuya en gran parte del estado de Puebla incluyendo las regiones reportadas en este estudio, aunque para el 2070 el vector reduce su distribución potencial pero las zonas del norte del estado de Puebla siguen teniendo mayor probabilidad de riesgo.

En cambio, al comparar los modelos entre escenarios se observa que la distribución potencial de ambos vectores no presenta cambios relevantes en cuanto a su distribución geográfica. Esto puede deberse a que el cambio climático no tendrá mayor efecto en la distribución de vectores o en la incidencia de enfermedades (Morin *et al.*, 2016) y se ha mencionado que los cambios de temperatura que predicen los escenarios de cambio climático logren mantenerse o incluso disminuyan (Koch *et al.*, 2015). Por ejemplo, en México, Beltrán-Aguilar (2012) reportó que los vectores de malaria *Anopheles pseudopunctipennis* y *Anopheles albimanus* tienen una reducción en su distribución potencial a futuro bajo escenarios de cambio climático y explica que esos cambios se deban al efecto de contaminación en sus sitios de ovoposición o también a la plasticidad fenotípica que presentan los mosquitos lo que les permitiría una adaptación.

En este estudio, se pudo observar que *Ae. aegypti* tuvo la distribución con mayor área, esto posiblemente se deba a que ha logrado mantener su población estable o en crecimiento. Así mismo, las altas temperaturas pueden que no sean el único factor que influyan en la distribución de los vectores debido a que se han encontrado en un amplio rango de temperaturas (Braks *et al.*, 2004) involucrando su resistencia a la desecación lo que puede ser importante para el rendimiento de la población (Reiskind & Lounibos, 2009).

En contraste, *Ae. albopictus* tuvo menor distribución, esto podría deberse a que en climas cálidos y secos hay mayor mortalidad de esta especie debido a la

sensibilidad de sus huevos a la desecación (Lounibos *et al.*, 2002). Aunque no se debe descartar la posibilidad de que *Ae. albopictus* pueda presentar una distribución más amplia debido a que la distribución de los vectores es dinámica en el espacio-tiempo (Campbell *et al.*, 2016) y ha estado influenciada por otros factores ambientales y genéticos e incluso la capacidad de dispersión geográfica de los vectores (Brady *et al.*, 2014) y se ha demostrado que *Ae. albopictus* tiene mayor tasa de supervivencia que *Ae. aegypti* (Braks *et al.*, 2014).

7.3. Población

Los modelos bajo escenarios de cambio climático mostraron un incremento en el número de habitantes. Estos resultados coinciden con lo obtenido por Equihua *et al.* (2017) quienes reportaron un incremento en el número de personas que podrían estar expuestas al virus del dengue en Veracruz, proporcionando sitios de refugio para los mosquitos y sus poblaciones (Ogden & Lindsay, 2016). Por lo anterior, la exposición que se tiene con los mosquitos y el riesgo de dengue varía en relación con los factores socioeconómicos, estilo de vida e incluso etnia (Erickson *et al.*, 2010), edad y sexo (Gómez-Dantés *et al.*, 2014).

A nivel mundial se ha estimado que en el 2050 hay un incremento de población que puede estar en riesgo potencial de contraer dengue tomando en cuenta solamente los cambios en el clima. Por otra parte, al considerar el cambio climático y el desarrollo socioeconómico, el riesgo no es constante y en algunos escenarios aplicados para modelar la enfermedad de dengue disminuye el número de población en riesgo (Aström *et al.*, 2013).

La distribución potencial se dirige hacia zonas con alto grado de marginación que no cuentan con las necesidades básicas. En contraste, en varios estudios han indicado que actualmente la población en entornos urbanos se encuentra en mayor riesgo de estar en contacto con *Ae. aegypti*. (Baak-Baak *et al.*, 2017., Equihua *et al.* 2017). Por otra parte, *Ae. albopictus* es el vector que a un futuro estaría relacionado con la población que se encuentra en zonas rurales (Pech-May *et al.*, 2016).

Los factores que pueden contribuir en la distribución del vector de acuerdo con Khormi & Kumar (2014) son la urbanización, densidad de población, pobreza, ausencia de sistemas de agua y migración. Aunque se ha dicho que, en las zonas

urbanas, la población ha influido en el establecimiento de recipientes artificiales que permiten a los mosquitos mantener a sus poblaciones (Chaves *et al.*, 2014). Sin embargo, en este estudio puede indicarse que la población rural es la que podría estar principalmente en riesgo debido a que no cuentan con las condiciones adecuadas, la OMS (2017) menciona que la mayor carga de enfermedades transmitidas por vectores se dirige hacia la gente de bajos recursos.

Es importante mencionar que el asociar casos de enfermedades con las distribuciones de sus vectores permite determinar la relación espacio-temporal que existe entre ellos (Peterson *et al.*, 2005., Arboleda *et al.*, 2012) además de las condiciones ecológicas o la idoneidad real (Eisen & Lozano-Fuentes, 2009., Machado-Machado, 2012) que requieran cada uno de los involucrados dentro del sistema de transmisión de enfermedades (Peterson, 2008).

En este estudio, el 97% de los casos reportados para el estado durante el 2005-2013 coincidieron con la distribución potencial presente de *Ae. aegypti*, principal vector de dengue, chikungunya y zika. Y durante el 2018, la Secretaria de Salud solamente expone un caso de dengue en la localidad de Acatlán el cual también coincide con la idoneidad ambiental obtenida en este estudio.

De tal manera que, si hay presencia de casos, se habla de la presencia del vector debido a una correlación geográfica y ambiental (Eisen & Lozano-Fuentes, 2009., Peterson, 2014) lo que podría evitar la propagación de las enfermedades como lo informaron Peterson *et al.* (2005) al superponer datos de casos de la enfermedad con la predicción de mosquitos lograron anticipar el 62% de los casos de dengue y Escobar *et al.* (2016) al considerar los datos importados a través de datos de transporte aéreo lograron anticipar la ocurrencia de CHIKV.

8. CONCLUSIONES

El vector *Ae. aegypti* presenta mayor área de distribución geográfica potencial que *Ae. albopictus* en el estado, sin embargo, son especies simpátricas en municipios caracterizados por un clima cálido y seco.

Los escenarios de cambio climático no mostraron cambios geográficamente en su distribución potencial y se observó que solamente en el escenario de 4.5 para el año 2070 ambos vectores incrementan su distribución potencial.

Las variables de temperatura y precipitación han sido consideradas las principales variables correlacionadas con la distribución de los vectores, siendo la temperatura mínima del mes más frío la que mayor contribuye en este estudio.

Los modelos proyectaron un incremento del número de habitantes que se encuentra en riesgo potencial, siendo la población la más susceptible de estar en contacto con los vectores aquella que se encuentra en un alto grado de marginación.

El 97% de los registros de casos de dengue coincidieron con las distribuciones geográficas potenciales del vector principal *Ae. aegypti*.

8.1. Recomendaciones

- Realizar muestreos en las zonas potenciales para corroborar este estudio.
- Generar modelos de nicho ecológico con el uso de distintas variables ambientales y socioeconómicas que puedan contribuir en la distribución de los mosquitos en el estado.
- Elaborar y fortalecer los programas de control considerando los aportes que brindan los estudios de modelado de nicho ecológico, además de promover la información correcta y necesaria a la población que se encuentra en riesgo.

9. BIBLIOGRAFÍA

Aguilar-Gueta, J. (2000) *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Skuse), su asociación con *Aedes (Stegomyia) aegypti* (Linnaeus) y otros culícidos en Allende, N.L., México. Tesis de Maestría en Ciencias. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.

Aponte, H., Penilla, R., Dzul-Manzanilla, F., Che-Mendoza, A., López, A., Solís, F., Manrique-Saide, P., Ranson, H., Lenhart, A., McCall, P. & Rodríguez, A. (2013) The pyrethroid resistance status and mechanisms in *Aedes aegypti* from Guerrero state, Mexico. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 107, 226-234.

Arboleda, S., Jaramillo-O, N. & Peterson, A. T. (2012) Spatial and temporal dynamics of *Aedes aegypti* larval sites in Bello, Colombia. *Journal of Vector Ecology*, 31 (1), 37-48.

Arredondo-García, J., Méndez-Herrera, A. & Medina-Cortina, H. (2016) Arbovirus en Latinoamérica. *Acta Pediátrica Mexicana*, 37 (2), 111-131.

Aström, C., Rocklöv, J., Hales, S., Béguin, A., Louis, V. & Sauerborn, R. (2013) Potential distribution of dengue fever under scenarios of climate change and economic development. *EcoHealth*, 9 (4), 448-454.

Baak-Baak, C., Moo-Llanes, D., Cigarroa-Toledo, N., Puerto, F., Machain-Williams, C., Reyes-Solis, G., Nakazawa, Y., Ulloa-García, A. & García-Rejon, J. (2017) Ecological niche model for predicting distribution of disease-vector mosquitoes in Yucatán State, México. *Journal of Medical Entomology*, 54 (4), 854-861.

Barrientos-Roldán, M. (2016) Mosquitos (Díptera: Culicidae) de selva baja caducifolia del sur de estado de Puebla. Tesis de Licenciatura. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México.

Beard, C., Eisen R., Barker C., Garofalo J., Hahn M., Hayden M., Monaghan A., Ogden N. & Schramm P., (2016) The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment Ch. 5: Vector-borne Diseases. . U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, 129–156.

Becerra-López, J., Romero-Méndez, U., Anadón-Herrera, J. & García- De La Peña. (2014) Modelo de nicho potencial de las madrigueras de *Gopherus flavomarginatus* en la Reserva de la Biosfera de Mapimí. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85 (2), 523-531.

Beebe, N., Cooper, R., Mottram, P. & Sweeney, A. (2009) Australia's dengue risk driven by human adaptation climate change. *Plos Neglected Tropical Diseases*, 3 (5), 1-9.

Beltrán-Aguilar, A. (2012) Modelo predictivo del efecto del cambio climático en la distribución de los mosquitos vectores de malaria humana en el estado de Veracruz, México (Díptera: Culicidae, Anophelinae). Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto de Ecología A.C. Xalapa, Veracruz, México.

Bonizzoni, M., Gasperi, G., Chen X. & James, A. (2013) The invasive mosquito species *Aedes albopictus*: current knowledge and future perspectives. *Trends in parasitology*, 29 (9), 460-468.

Bordignon, J., Probst, C., Mosimann, A., Stella, V., Pavoni, D., Buck, G., Fawcett, P., Zanata, S., Noronha, L., Krieger, M. & Nunes, C. (2008) Dengue virus pathogenesis in mouse central nervous system: studies on host response to dengue virus infection. *BioMed Central*, 2, 1.

Brady, O., Golding, N., Pigott, D., Kraemer, M., Messina, J., Reiner Jr, R., Scott, T., Smith, D., Gething, P. & Hay, S. (2014) Global temperature constraints on *Aedes aegypti* and *Ae. Albopictus* persistence and competence for dengue virus transmission. *Parasites & Vectors*, 7 (338), 1-17.

Braks, M., Honório, N., Lounibos, L., Lourenço-De-Oliveira, R. & Juliano, S. (2004) Interspecific competition between two invasive species of container mosquitoes, *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Díptera: Culicidae), in Brazil. *Annals of the Entomological Society of America*, 97, (1), 130-139.

Brathwaite, O., San Martín, J., Montoya, R., Del Diego, J., Zambrano, B., & Dayan, G. (2012) Review: The history of dengue outbreaks in the Americas. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 87(4), 584–593.

Caminade, C., Medlock, J., Ducheyne, E., McIntyre, K., Leach, S., Baylis, M., Morse, A. (2012) Suitability of European climate for the Asian tiger mosquito *Aedes albopictus*: recent trends and future scenarios. *Journal of the Royal Society Interface*, 9, 2708-2717.

Caminade, C., Turner, J., Metelmann, S., Hesson, J., Blagrove, M., Solomon, T., Morse, A. & Baylis, M. (2017) Global risk model for vector-borne transmission of Zika virus reveals the role of El Niño 2015. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114 (1), 119-124.

Campbell, L., Luther, C., Moo-Llanes, D., Ramsey, J., Danis-Lozano, R. & Peterson, A. (2015) Climate change influences on global distributions of dengue and chikungunya virus vectors. *Philosophical Transactions B: Biological Sciences*, 370 (1665), 1-9.

Candelario-Mejía, G., Rodríguez-Rivas, A., Muñoz-Urías, A., Ibarra-Montoya, J., Chávez-López, C., Mosso-González, C., Cruz-Bastida, J. & Ramírez-García, S. (2015) Estudio ecológico mixto en México de la distribución de *Aedes aegypti* implicaciones en las políticas públicas. *Revista Médica MD*, 7 (1), 13-19.

Capinha, C., Rocha, J., & Sousa, C. (2014) Macroclimate determines the global range limit of *Aedes aegypti*. *EcolHealth* 11 (3), 420-428.

Casas-Martinez, M., Torres-Estrada, J. (2003) First evidence of *Aedes albopictus* (Skuse) in Southern Chiapas, Mexico. *Emerging Infectious Diseases*, 9 (5), 606-607.

Castillo-Macías, A., Salinas-Carmona, M. & Torres-López, E. (2017) Immunology of viral infections with a high impact in Mexico: Dengue, Chikungunya, and Zika. *Medicina Universitaria*, 19 (77), 198-207.

Chaves, L., Scott, T., Morrison, A. & Takada, T. (2014) Hot temperatures can force delayed mosquito outbreaks via sequential changes in *Aedes aegypti* demographic parameters in autocorrelated environments. *Acta Tropica*, 129, 15-24.

Cianci, D., Hartemink, N. & Justicia-Ibáñez, A. (2015) Modelling the potential spatial distribution of mosquito species using three different techniques. *International Journal of Health Geographics*, 14 (10), 1-10.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (1998) Curvas de nivel para la República Mexicana. Escala 1:250000. Extraído del Modelo Digital del Terreno. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). México.

CONABIO Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2011) La Biodiversidad en Puebla: Estudio de Estado. México. Gobierno del Estado de Puebla, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 440 pp.

CONAPO (2012) Anexo 2 Índice de marginación por localidad 2010. Recuperado de http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indice_de_Marginacion_por_Localidad_2010

Costa, J., Dornak, L., Almeida, C., Peterson, A.T. (2014) Distributional potential of the *Triatoma brasiliensis* species complex at present and under scenarios of future climate conditions. *Parasites & Vectors*, 7 (238), 1-10.

Couret, J. & Benedict, M. (2014) A meta-analysis of the factors influencing development rate variation in *Aedes aegypti* (Díptera: Culicidae). *BMC Ecology*, 14 (3), 1-15.

De la Cruz-Francisco, V., Veda-Moreno, D., & Valdés-Murillo, A. (2012) Aspectos ecológicos de la incidencia larval de mosquitos (Díptera: Culicidae) en Tuxpan, Veracruz, México. *Revista Colombiana de Entomología*, 38 (1), 128-133.

De la Mora-Covarrubias, A., Jiménez-Vega, F., & Treviño-Aguilar, S. (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.

Del Carpio-Orantes, L. & González-Clemente, M. (2017) Zika y sus vectores, más que *Aedes*. *Revista Médica de Instituto Mexicano del Seguro Social*, 55 (1), 63-66.

Del Socorro-Bolívar, B. (2009) Análisis el hábitat óptimo y modelado de nicho ecológico para la conservación de venado cola blanca en el centro de Veracruz. Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto de Ecología A.C. Xalapa, Veracruz, México.

Díaz- Osorio, A. (2018) Larvas de mosquitos (Díptera: Culicidae) y sus criaderos en la zona metropolitana del estado de Puebla. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México.

Díaz-Quiñonez, J., Ortiz-Alcántara, J., Fragoso-Fonseca, D., Garcés-Avala, F., Escobar-Escamilla, N., Vázquez-Pichardo, M., Núñez-León, A., Torres-Rodríguez, M., Torres-Longoria, B., López-Martínez, I., Ruíz-Matus, C., Kuri-Morales, P. & Ramírez- González, J. (2015). Complete genome sequences of chikungunya virus strains isolated in Mexico: first detection of imported and autochthonous cases. *Genoma Announcements*, 3 (3), 1-2.

Ding, F., Fu, J., Jianga, D., Haoa, M. & Lin, G. (2018) Mapping the spatial distribution of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. *Acta Tropica*, 178, 155-162.

Eisen, L. & Lozano-Fuentes, S. (2009) Use of mapping and spatial and space-time modeling approaches in operational control of *Aedes aegypti* and dengue. *Plos Neglected Tropical Diseases*, 3 (4), 1-7.

Eisen, R. & Eisen, L. (2008) Spatial modeling of human risk of exposure to vector-borne pathogens based on epidemiological versus arthropod vector data. *Journal of Medical Entomology*, 45 (2), 181-192.

Elith, J. (2000) Quantitative methods for modeling species habitat: comparative performance and an application to Australian plants. 39-58.

Elith, J., Graham, C., Anderson, R., Dudik, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R., Huettmann, F., Leathwick, J., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L., Loiselle, B., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., McC. Overton, J., Peterson, A., Phillips, S., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R., Soberón, J., Williams, S., Wisz, M. & Zimmermann, N. (2006) Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29, 129-151.

Environmental Systems Research Institute, Inc. (2014) ArcMap (Versión 10.3). Recuperado de <http://desktop.arcgis.com/es/desktop/>

Equihua, M., Ibáñez-Bernal, S., Benítez, G., Estrada-Contreras, I., Sandoval-Ruiz, C. A. & Mendoza-Palmero, F. (2017) Establishment of *Aedes aegypti* (L.) in mountainous regions in Mexico: Increasing number of population at risk of mosquito-borne disease and future climate conditions. *Acta Tropica*, 166, 316-327.

Erickson, R., Presley, S., Allen, L., Long, K. & Cox., S. (2010) A dengue model a dynamic *Aedes albopictus* vector population. *Ecological Modelling*, 221 (24), 2899-2908.

Escobar, L. & Craft, M. (2016) Advances and limitations of disease biogeography using ecological niche modeling. *Frontiers in Microbiology*, 7 (1174), 1-21.

Escobar, L., Qiao, H. & Peterson, A. T. (2016) Forecasting chikungunya spread in the Americas via-data driven empirical approaches. *Parasites & Vectors*, 9 (112), 1-12.

Espinoza, F., Hernández, C. & Coll, R. (2001) Factores que modifican los índices larvarios de *Aedes aegypti* en Colima, México. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 10 (1), 6-12.

Fernández-Salas, I., Danis-Lozano, R., Casas-Martínez, M., Ulloa, A., Bond, J., Marina, C., López-Ordoñez, T., Elizondo-Quiroga, A., Torres-Monzón, J., Díaz-

González, E. (2015) Historical inability to control *Aedes aegypti* as a main contributor of fast dispersal of chikungunya outbreaks in Latin America. *Antiviral Research*, 124, 30-42.

Flisser, A., Velasco-Villa, A., Martínez-Campos, C., González-Domínguez, F., Briseño-García, B., García-Suárez, R., Caballero-Servín, A., Hernández-Monroy, I., García-Lozano, H., Gutiérrez-Cogco, L., Rodríguez-Angeles, G., López-Martínez, I., Galindo-Virgen, S., Vázquez-Campuzano, R., Balandrano-Campos, S., Guzmán-Bracho, C., Olivo-Díaz, A., De la Rosa, J., Magos, C., Escobar-Gutiérrez & Correa, D. (2002) Infectious diseases in México. A survey from 1995-2000. *Archives of Medical Research*, 33 (4), 343-350.

Flores, A., Albeldaño-Vázquez, W., Fernández, I., Badii, M., Loaiza, H., Ponce, G., Lozano, S., Brogdon, W., Black IV, W. & Beaty, B. (2005) Elevated α - esterase levels associated with permethrin tolerance in *Aedes aegypti* (L.) from Baja California, Mexico. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 82 (1), 66-78.

Foley, D., Rueda. L., Peterson, .A.T. & Wilkerson, R. (2008) Potential distribution of two species in the medically important *Anopheles minimus* complex (Díptera: Culicidae). *Journal Medical Entomology*, 45 (5), 852-860.

García, C., García, L., Espinosa-Carreón, L. & Ley, C. (2011) Abundancia y distribución de *Aedes aegypti* (Díptera: Culicidae) y dispersión del dengue en Guasave Sinaloa, México. *Revista de Biología Tropical*, 59 (4), 1609-1619.

García-Franco, F., Muñoz, M., Lozano-Fuentes, S., Fernández-Salas, I., García-Rejon, J., Beaty, B. & Black IV, W. (2002) Large genetic distances among *Aedes aegypti* populations along the south pacific coast of Mexico. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 6 (5), 594-598.

Gian-Reto, W., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T., Jean-Marc, F., Hoegh-Guelberg, O & Bairlein, F. (2002) Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416, 389-395.

Githeko, A., Lindsay, S., Confalonieri, U. & Patz, J. (2001) El cambio climático y las enfermedades transmitidas por vectores: un análisis regional. *Boletín de la Organización Mundial de la Salud*, (4), 72-82.

Gómez-Dantés, H., Farfán-Ale, J. & Sarti, E. (2014) Epidemiological trends of dengue disease in Mexico (200-2011): A systematic literature search and analysis. *Plos Neglected Tropical Diseases*, 8, (11), 1-13.

Gorrochotegui-Escalante, N., Gómez-Machorro, C., Lozano-Fuentes, S., Fernández-Salas, I., Muñoz, M., Farfán-Ale, J., García-Rejón, J., Beaty, B. & Black IV, W. (2002) Breeding structure of *Aedes aegypti* populations in Mexico varies by region. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 66 (2), 213-222.

Gorrochotegui-Escalante, N., Muñoz, N., Fernández-Salas, Beaty, B. & Black IV, W. (2000) Genetic isolation by distance among *Aedes aegypti* populations along the northeastern coast of Mexico. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 62(2), 200-239.

Gurgel-Goncalves, R. & Cuba, C. (2009) Predicting the potential geographical distribution of *Rhodnius neglectus* (Hemiptera, Reduviidae) based on ecological niche modeling. *Journal of Medical Entomology*, 46 (4), 952-960.

Hales, S., de Wet, N., Maindonald, J. & Woodward, A. (2002) Potential effect population and climate changes on global distribution of dengue fever: an empirical model. *The Lancet*, 360 (9336), 830-834.

Heras, C. & Sierra, M. (2016) Enfermedades transmitidas por vectores. Un nuevo reto para los sistemas de vigilancia y la salud pública. *Gaceta Sanitaria*, 30 (3), 167-169.

Ibáñez-Bernal, S. & Martínez-Campos, C. (1994) *Aedes albopictus* in Mexico. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 10 (2), 231-232.

Ibáñez-Bernal, S. & Gómez-Dantés, H. (1995) Los vectores del dengue en México: una revisión crítica. *Salud Pública de México*, 37(Sup 1), 53-63.

Ibáñez-Bernal, S. (2012) Zoonosis transmitidas por artrópodos: enfermedades emergentes y reemergentes de la actualidad. *MedLab*, 4 (1), 4-16.

Ibáñez-Bernal, S., Briseño-B., Mutebi, J., Argot, E., Rodríguez, G., Martínez-Campos, C., Paz, R., De la Fuente-San Román, P., Tapia-Conyer, R. & Flisser, A. (1997) First record America of *Aedes albopictus* naturally infected with dengue virus during the 1995 outbreak at Reynosa, Mexico. *Medical and Veterinary Entomology*, 11(4), 305-309.

INEGI. (2010) Localidades de la República Mexicana, 2010, escala: 1:1. Obtenido de Principales resultados por localidad (ITER). Censo de Población y Vivienda 2010. Editado por Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). México, D.F.

INEGI. (2016) Áreas geoestadísticas municipales, 2015, escala: 1:250000. Edición: 2015. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México.

IPCC. (2007) Cambio climático 2007. Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Equipo de redacción: Pachauri, R. & Reisinger, A. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 pp.

IPCC. (2013) Cambio climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Equipo de redacción: Stocker, T., Qin, D., Plattner, G., Tignor, M., Allen, S., Boschung, j., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. & Midgley, P. (eds.). Cambridge University Press, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América, 222 pp.

Jia, P., Lu, L., Chen, X., Chen, J., Guo, L., Yu, X. & Liu, Q. (2016) A climate-driven mechanistic population model of *Aedes albopictus* with diapause. *Parasites & Vectors*, 9 (175), 1-15.

Juliano, S., Lounios, L., O'Meara, G. (2004) A field for competitive effects of *Aedes albopictus* on *A. aegypti* in South Florida: differences between sites of coexistence and exclusion?. *Oecologia*, 139(4), 583-593.

Kantor, I. (2016) Dengue, Zika y Chikungunya. *Medicina (Buenos Aires)*, 76, 93-97.

Karger, D., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R., Zimmermann, N., Linder H. & Kessler, M. (2017) Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific Data*, 4 (170122), 1-20 .

Khatchikian, C., Sangermano, F., Kendell, D. & Livdahl, T. (2011) Evaluation of species distribution model algorithms for fine-scale container breeding mosquito risk prediction. *Medical and Veterinary Entomology*, 25 (3), 268-275.

Khormi, H. & Kumar, L. (2014) Climate change and the potential global distribution of *Aedes aegypti*: spatial modelling using geographical information system and CLIMEX. *Geospatial Health*, 8 (2), 405-415.

Koch, L., Cunze, S., Werblow, A., Kochmann, J., Dörge, D., Mehlhorn, H. & Klimpel, S. (2015) Modeling the habitat suitability for the arbovirus vector *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in Germany. *Parasitology Research*, 115(3), 957-964.

Kraemer, M., Sinka, M., Duda, K., Mylne, A., Shearea, F., Barker, C., Moore C., Carvalho, R., Coelho, G., Van, W., Hendrickx, G., Schaffner, F., Elyazar, I., Teng, H., Brady, O., Messina, J., Pigott, D., Scott, T., Smith, D., Wint, W., Golding, N. & Hay, S. (2015) The global distribution of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. *E life ecology, epidemiology and global* 4 (e08347)1-18.

Kroeger, A., Lenhart, A., Ochoa, M., Villegas, E., Levy, M., Alexander, N. & McCall, P. (2006) Effective control of dengue vectors with curtains and water container covers treated with insecticide in Mexico and Venezuela: cluster randomized trials. *BMJ*, 332 (1247), 1-6.

Kuri-Morales, P., Correa-Morales, F., González-Acosta, C., Sánchez-Tejeda, G., Dávalos-Becerril, E., Juárez-Franco, F., Díaz-Quiñones, A., Huerta-Jiménez, H., Mejía-Guevara, M., Moreno-García, M. & González-Roldán, J. (2017) First report of *Stegomyia aegypti* (= *Aedes aegypti*) in Mexico City, Mexico. *Medical and Veterinary Entomology*, 31(2), 240-242.

Leta, S., Jibat, T., De Clercq, E., Amenu, K., Revie, C. & Kraemer, M. (2018) Global risk mapping for major diseases transmitted by *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. *International Journal of Infection Diseases*, 67, 25-35.

Liria, J., & Navarro, J. (2010) Modelo de nicho ecológico en *Haemagogus* Williston (Díptera: Culicidae), vectores del virus de la fiebre amarilla. *Revista Biomédica*, 21 (3), 149-161.

Liu-Helmersson, J., Qua, M., Wilder-Smith, A., Stenlund, H., Ebi, K., Massad, E. & Rocklöv, J. (2016) Climate change and *Aedes* vectors: 21st century projections for dengue transmission in Europe. *EBioMedicine*, 7, 267-277.

Lounibos, L., Suárez, S., Menéndez, Z., Nishimura, N., Escher, R., O'Connell, S. & Rey, J. (2002) Does temperature affect the outcome of larval competition between *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*? *Journal of Vector Ecology*, 27(1), 86-95.

Lozano-Fuentes, S., Hayden, M., Welsh-Rodríguez, C., Ochoa Martínez, C., Tapia-Santos, B., Kobylinski, K., Uejio, C., Zielinski-Gutierrez, E., Delle, L., Monaghan, A., Steinhoff, F.D. & Eisen, L. (2012) The dengue virus mosquito vector *Aedes aegypti* at high elevation in México. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 87 (5), 902-909.

Machado-Machado, E. (2012) Empirical mapping of suitability to dengue fever in Mexico using species distribution modeling. *Applied Geography*, 33, 82-93.

Manrique, P., Solís, A., Martínez, D., Koyoc, E., Medina, A. & Castillo, C. (2010) Distribución y abundancia de *Aedes aegypti* (Díptera: Culicidae) y *Triatoma*

dimidiata (Hemiptera: Reduviidae) en viviendas de Molas, México. Componente Entomológico: Informe preliminar, 1-18.

Marín, R., Díaz, M., Álvarez, Y. & Calderón, O. (2014) Sitios de cría de *Aedes aegypti* (Linnaeus) y distribución geográfica de *Aedes albopictus* (Skuse) en la provincia de Limón, Costa Rica. *Revista Cubana de Medicina Tropical*, 66 (2), 219-227.

Marquetti-Fernández, M. (2008) Aspectos bioecológicos de importancia para el control de *Aedes aegypti* y otros culícidos en el ecosistema urbano. Tesis de Doctorado. Instituto de Medicina Tropical Pedro Kourí, Ciudad de La Habana, Cuba.

Martínez-Torres, E. (2008) Dengue. *Estudios Avanzados*, 22(64), 33-52.

Martínez-Méndez, N., Aguirre-Planter, E., Eguiarte, L. & Jaramillo-Correa, J. (2016) Modelado de nicho ecológico de las especies del género *Abies* (Pinaceae) en México: algunas implicaciones taxonómicas y para la conservación. *Botanical Sciences*, 94 (1), 2-24.

McIntyre, S., Rangel, E., Ready, P. & Carvalho, B. (2017) Species-specific ecological niche modelling predicts different range contractions for *Lutzomyia intermedia* and a related vector of *Leishmania braziliensis* following climate change in South America. *Parasites & Vectors*, 10 (157), 1-15.

Mejía-Bravo, G. & Zumaquero-Ríos, J. (2012) Diversidad de mosquitos (Diptera: Culicidae) en panteones de Tehuacán y Ajalpan, Puebla. *Entomología Mexicana*, 913-918.

Mendez-Andrade, A. (2016) Relación microclimática de ritmo de picadura de mosquitos (Diptera: Culicidae) silvestres y urbanos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla. México.

Mercado-Hernández, R., Fernández-Salas, I. & Villarreal-Martínez, H. (2003) Spatial distribution of the larval indices of *Aedes aegypti* in Guadalupe, Nuevo León, Mexico, with circular distribution analysis. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 19 (1),15-18.

Mikery-Pacheco, O., Serrano-Domínguez, K., Marcelín-Chong, P. & Sánchez-Guillén, D. (2015) Efficiency of the separation of *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Díptera: Culicidae) male and female using a sieving device. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s), 31 (1), 113-115.

Mohammed, A. & Chadee, D. (2011) Effects of different temperature regimens on the development of *Aedes aegypti* (L.) (Díptera: Culicidae) mosquitoes. *Acta Tropica*, 119(1), 38-43.

Morin, C. Comrie, A. & Ernst, K. (2016) Climate and dengue transmission: evidence and implications. *Environmental Health Perspectives*, 121 (11-12), 1264-1272.

Mweya, C., Kimera, S., Stanley, G., Misinzo, G., Mboera, L. (2016) Climate change influences potential distribution of infected *Aedes aegypti* co-occurrence with dengue epidemics risk areas in Tanzania. *PLoS ONE* 11(9), 1-13.

Nah, K., Mizumoto, K., Miyamatsu, Y., Yasuda, Y., Kinoshita, R. & Nishiura, H. (2016) Estimating risks of importation and local transmission of Zika virus infection. *PeerJ*, 4: e1904, 1-15.

Nava-Frías, M., Searcy-Pavia, R., Juárez-Contreras, C. & Valencia-Bautista, A. (2016) Chikungunya fever: current status in Mexico. *Boletín Médico del Hospital Infantil de México*, 73 (2), 67-74.

Ogden, N & Lindsay, L. (2016) Effects of climate and climate change on vectors and vector-borne diseases: ticks are different. *Trends in Parasitology*, 32 (8), 646-656.

Ordóñez-Sánchez, F. (2013) Registros de mosquitos XI: los mosquitos del estado de Hidalgo, México (Díptera: Culicidae). Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Torreón, Coahuila, México.

OMS & OPS (Organización Mundial de la Salud & Organización Panamericana de la Salud). (2014) Información para proveedores de asistencia sanitaria: fiebre chikungunya. Recuperado de http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_docman&task=doc_download&Itemid=270&gid=23977&lang=es el 12 de septiembre del 2017.

OMS & OPS (Organización Mundial de la Salud & Organización Panamericana de la Salud). (2015) Alerta epidemiológica. Infección por virus de Zika. Recuperado de http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_docman&task=doc_view&Itemid=270&gid=30076&lang=es el 15 de octubre del 2017.

OMS (Organización Mundial de la Salud). (2017) Dengue y dengue grave. Recuperado de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs117/es/> el 26 de enero del 2018.

OMS (Organización Mundial de la Salud). (2017) Chikungunya. Recuperado de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs327/es/> el 15 de octubre del 2017.

OMS (Organización Mundial de la Salud). (2017) Enfermedades transmitidas por vectores. Recuperado de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs387/es/> consultado el 03 de octubre del 2017.

OMS (Organización Mundial de la Salud). (2018) Lucha contra el dengue. El mosquito. Recuperado de <http://www.who.int/denguecontrol/mosquito/es/> el 06 de abril del 2018.

Orta-Pesina, H., Mercado-Hernández, R. & Elizondo-Leal, J. (2005) Distribución de *Aedes albopictus* (Skuse) en Nuevo León, México, 2001-2004. *Salud Pública de México*, 47 (2) ,163-165.

Ortega-Huerta, M. & Peterson, A. T. (2008) Modeling ecological niches and predicting geographic distributions: a test of six presence-only methods. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 79, 205-216.

Pech-May, A., Moo-Llanes, D., Puerto-Ávila, M., Casas, M., Danis-Lozano, R., Ponce, G., Tun-Ku, E., Pinto-Castillo, J., Villegas, A., Ibáñez-Piñon, C., González, C. & Ramsey, J. (2016) Population genetics and ecological niche of invasive *Aedes albopictus* in Mexico. *Acta Tropica*, 157, 30-41.

Peterson, A. T., Martínez-Campos, C., Nakazawa, Y. & Martínez-Meyer, E. (2005) Time-specific ecological niche modeling predicts spatial dynamics of vector insects and dengue cases. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 99(9), 647-655.

Peterson, A. T. (2006) Ecologic niche modeling and spatial patterns of disease transmission. *Emerging infectious diseases*, 12 (12), 1822-1826.

Peterson, A. T., Osorio, J., Qiao, H. & Escobar, L. (2016) Zika virus, elevation, and transmission risk. *Plos Currents Outbreaks*.

Peterson, A. T. Soberón, J., Pearson, R., Anderson, R., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M. & Bastos, A. M. (2011) Ecological niches and geographic distributions. Princeton University Press, 311 pp.

Peterson, A.T. (2008) Biogeography of diseases: a framework for analysis. *Naturwissenschaften*, 95(6), 483-491.

Peterson, A.T., Soberón, J., Pearson, R., Anderson, R., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M. & Bastos, M. (2011) Ecological niches and geographic distributions. Princeton University Press, 316 pp.

Peterson, A.T. (2014) Mapping disease transmission risk: enriching models using biogeography. Johns Hopkins University Press Baltimore, 210 pp.

Phillips, S. (2004) A maximum entropy approach to species distribution modeling. Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning, 655-662.

Phillips, S., Anderson, R. & Schapire, R. (2006) Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190 (3-4), 231-259.

Phillips, S., Anderson, R., Dudík, M., Schapire, R. & Blair, M. (2017) Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography*, 40, 887-893.

Phillips, S., Dudik, M., & Schapire, R. Maxent software for modeling species niche and distributions (Version 3.4.1). Recuperado http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/

Ponce-García, G., Badii, M., Roberto, M. & Flores, A. (2009) Esterases in *Aedes albopictus* (Skuse) from Northeastern Mexico. *Southwestern*, 34 (4), 477-484.

Proestos, Y., Christophides, G., Ergüler, K., Tanarhte, M., Waldock, J. & Lelieveld, J. (2015) Present and future projections of habitat suitability of the Asian tiger mosquito, a vector of viral pathogens, from global simulation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370 (1665), 1-16.

QGIS Development Team. (2018) QGIS Geographic Information System (Version 1.8). Open Source Geospatial Foundation Project. <https://qgis.org>.

Ravel, S., Monteny, N., Velasco, D., Escalante, J. & Cuny, G. (2001). A preliminary study of the population genetics of *Aedes aegypti* (Diptera:Culicidae) from Mexico using microsatellite and AFLP markers. *Acta Tropica*, 78(3), 241-250.

Raxworthy, C., Ingram, C., Rabibisoa, N. & Pearson, R. (2007) Applications of ecological niche modeling for species delimitation: a review and empirical evaluation using day geckos (*Phelsuma*) from Madagascar. *Systematic Biology*, 56 (6), 907-923.

Reisking, M. & Lounibos, L. (2009) Effects of intraspecific larval competition on adult longevity in the mosquitoes *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. *Medical and Veterinary Entomology*, 23 (1), 62-68.

Rey, J. & Lounibos, P. (2015) Ecología de *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* en América y transmisión de enfermedades. *Biomédica*, 35 (2), 177-185.

Reyes, M. (2015) Efecto del cambio climático en la distribución geográfica de árboles de bosque de niebla en la parte centro de México: Hidalgo, Puebla y Veracruz. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México.

Reyes-Villanueva, F., Garza-Hernández, J., García-Munguía, A., Howard, A., Ortega-Morales, A., Adeleke, M. & Rodríguez- Pérez, M. (2013) *Aedes albopictus* in northeast Mexico: an update on adult distribution and first report of parasitism by *Ascogregarina taiwanensis*. *Journal of Vector Borne Diseases*, 50(3), 202-203.

Rogers, D., Suk, J. & Semenza, J. (2013) Using global maps to predict the risk of dengue in Europe. *Acta Tropica*, 129, 1-14.

Salas-Luévano, M. & Reyes-Villanueva, F. (1994) Variación estacional de las poblaciones de *Ae. aegypti*. *Salud Pública de México*, 36 (4), 385-392.

Sallam, M., Xue, R, Pereira, R. & Koehler, P. (2016) Ecological niche modeling of mosquito vectors of West Nile virus in St. John's County, Florida, USA. *Parasites & vectors*, 9 (371), 1-14.

Salomón-Grajales, J., Lugo-Moguel, G., Tinal-Gordillo, V., de La Cruz-Velázquez, J., Beaty, B., Eisen, L., Lozano-Fuentes, S., Moore, C. & García-Rejón, J. (2012) *Aedes albopictus* mosquitoes, Yucatan Peninsula, Mexico. *Emerging Infectious Diseases*, 18 (3), 525:527.

Salvatella, R. (1996) *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus* (Diptera, Culicidae) y su papel como vectores en las Américas. La situación de Uruguay. *Revista Médica Uruguay*, 12, 28-36.

Sam, I., Kümmerer, B., Chan, Y., Roques, P., Drosten, C. & AbuBakar, S. (2015) Updates on chikungunya epidemiology, clinical disease and diagnostics. *Vector-Borne and Zoonotic Disease*, 15 (4), 223-230.

Samy, A., Thomas, S., El Wahed, A., Cohoon, K. & Peterson, A.T. (2016) Mapping the global geographic potential of zika virus. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro*, 111 (9), 559-560.

Sánchez- Rodríguez, O., Sánchez-Casas, R., Laguna-Aguilar, M., Alvarado-Moreno, M., Zarate-Nahon, Ramírez- Jiménez, R., Medina de la Garza-C., Torres-Zapata, R., Domínguez-Galera, M., Mis-Ávila, P. & Fernández-Salas, I. (2014) Natural transmission of dengue virus by *Aedes albopictus* at Monterrey, Northeastern Mexico. *Southwestern Entomologist*, 39 (3), 459-468.

Sánchez-Casas, R., Torres-Zapata, R., Segovia-Salinas, F., Reyes-Villanueva, F., Alvarado-Moreno, M. & Fernández-Salas, I. (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*, 11 (1), 1-7.

Sandoval-Ruiz, C. A., Zumaquero-Ríos, J. L., & Rojas-Soto, O. (2008) Predicting geographic and ecological distributions of triatomine species in the southern Mexican state of Puebla using ecological niche modeling. *Journal of Medical Entomology*, 45(3), 540–546.

Santos, J. & Meneses, B. (2017) An integrated approach for the assessment of the *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* global spatial distribution, and determination of the zones susceptible to the development of Zika virus. *Acta Tropica*, 168, 80-90.

Secretaria de Salud. (2013) Número de casos de dengue reportados en la entidad desde 2005 al 2013. Recuperado de <https://www.scribd.com/document/238268689/Cifras-Sobre-Dengue-en-Puebla> el 28 de febrero del 2018.

Secretaria de Salud. (2014) Lineamientos estandarizados para la vigilancia epidemiológica y diagnóstico por laboratorio de Fiebre Chikungunya. 50 pp.

Secretaria de Salud. (2017) Panorama epidemiológico de dengue, 2017. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/285237/Pano_dengue_sem_52_2017.pdf el 13 de marzo del 2018.

SSEP (Secretaria de Salud del Estado de Puebla). (2017) Participación ciudadana fundamental para prevenir dengue, zika y chikungunya: SSEP. Recuperado de <http://ss.pue.gob.mx/participacion-ciudadana-fundamental-para-prevenir-dengue-zika-y-chikungunya-ssep/> el 13 de marzo del 2018.

Secretaria de Salud. (2018) Casos confirmados de Fiebre de Chikungunya a la Semana Epidemiológica 08 de 2018. Recuperado el https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/312854/Cuadro_Casos_y_Def_CHIK_SE_08_2018.pdf el 21 de marzo del 2018.

Secretaria de Salud. (2018) Casos Confirmados de Infección por Virus de Zika 2018. Recuperado de <https://www.gob.mx/salud/documentos/casos-confirmados-de-infeccion-por-virus-zika-2018> el 22 de marzo del 2018.

Secretaria de Salud. (2018) Informes semanales para la vigilancia epidemiológica de dengue 2017- semana epidemiológica 52. Recuperado de <https://www.gob.mx/salud/documentos/informes-semanales-para-la-vigilancia-epidemiologica-de-dengue-2017-semana-epidemiologica-52> el 26 de enero del 2018.

Secretaria de Salud. (2018) Panorama Epidemiológico de Dengue, 2018-Semana Epidemiológica 08. Recuperado de

<https://www.gob.mx/salud/documentos/panorama-epidemiologico-de-dengue-2018-semana-epidemiologica-08> el 22 de marzo del 2018.

Segurado, P. Araújo, M. & Kunin, W. (2006) Consequences of spatial autocorrelation for niche-based models. *Journal of Applied*, 43 (3), 433-444.

Shabani, F., Shafapour, M., Solhjoui-fard, S. & Kumar, L. (2018) A comparative modeling study on non-climatic and climatic risk assessment on Asian Tiger mosquito (*Aedes albopictus*). *PeerJ*, 6, 1-25.

Siller, Q., Ponce, Lozano, S. & Flores, A. (2011) Update on the frequency of Ill1016 mutation in voltage-gated sodium channel gene of *Aedes aegypti* in Mexico. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 27(4):357–362.

Soberón, J. & Peterson, A.T. (2005) Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*, 2, 1-10.

Systat Software Inc. (2007) SigmaPlot (Versión 10.0). Recuperado de <https://systatsoftware.com/products/sigmaplot/>

Tabachnick, W.J. (2009) Challenges in predicting climate and environmental effects on vector-borne disease epistystems in a changing world. *The Journal of Experimental Biology*, 213 (6), 946-954.

Thiri6n, J. (2010) El mosquito *Aedes aegypti* y el dengue en M6xico. *Bayer Environmental Science*, 137 pp.

Thomas, S., Obermayr, U., Fischer, D., Kreyling, J. & Beierkuhnlein, C. (2012) Low-temperature threshold for egg survival of a post- diapause and non-diapause European aedine strain, *Aedes albopictus* (D6ptera: Culicidae). *Parasites & Vectors*, 5, (100), 1-7.

Thorn, J., Nijman, V., Smith, D. & Nekaris, K. (2009) Ecological niche modelling as a technique for assessing threats and setting conservation threats and setting

conservation priorities for Asian slow lorises (Primates: *Nycticebus*). *Diversity and distributions*, 15 (2), 289-298.

Tjaden, N., Caminade, C., Beieruhlein, C. & Thomas, S. (2018) Mosquito-borne diseases: advances in modelling climate-change impacts. *Trends in Parasitology*, 34 (3), 227-245.

Torres, E. J. & Vázquez-Martínez, M. (2015) Copépodos (Crustacea : Copépoda) como agentes de control biológico de larvas de mosquitos *Aedes* (Díptera: Culicidae) en Chiapas, México. *Hidrobiológica*, 25 (1), 1–6.

Torres-Galicia, I., Cortés-Poza, D. & Becker, I. (2014) Dengue en México: incremento en la población juvenil durante la última década. *Boletín Médico del Hospital Infantil de México*, 71 (4), 196-201.

Uribarren, T. (2016) Dengue y otras infecciones no hemorrágicas: fiebre chikungunya, Zika, fiebre del Nilo Occidental y otros arbovirus. Recuperado de: <http://www.facmed.unam.mx/deptos/microbiologia/virologia/dengue.html> el 10 de octubre del 2017.

Villegas-Trejo, A., Che-Mendoza, A., González-Fernández, M., Guillermo-May, G., González-Bejarano, H., Dzul-Manzanilla, F., Ulloa-García, A., Danis-Lozano, R. & Manrique-Saide, P. (2011) Control enfocado de *Aedes aegypti* en localidades de alto riesgo de transmisión de dengue en Morelos, México. *Salud Pública de México*, 53 (2), 141-151.

Viveros-Santos, V. (2015) Diversidad de mosquitos (Díptera: Culicidae) asociados a ambientes antropizados en la ciudad de Puebla. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Yáñez-Arenas, C., Rioja-Nieto, R., Martín, G., Dzul-Manzanilla, Chiappa-Carrara, X., Buenfil-Ávila, Manrique-Saide, P., Correa-Morales, F., Díaz-Quinónez, J., Pérez-Rentería, C., Ordoñez-Álvarez, J., Vazquez-Proopec, G. & Huerta, H. (2017) Characterizing environmental suitability of *Aedes albopictus* (Diptera:Culicidae) in

Mexico based on regional and global niche models. *Journal of Medical Entomology*, 55 (1), 69-77.

Zapata-Peniche, A., Manrique-Saide, P., Rebollar-Téllez, E., Che-Mendoza, A. & Dzul-Manzanilla, F. (2007) Identificación de larvas de mosquitos (Díptera: Culicidae) de Mérida, Yucatán, México y sus principales criaderos. *Revista Biomédica*, 18(1), 3-17.