

**Informe final\* del Proyecto LI040**  
**Diagnóstico del estado actual de la invasión biológica por Aedes (Stegomyia) albopictus (Skuse) (Díptera: Culicidae) en las principales áreas naturales protegidas de la Península de Yucatán, México\***

**Responsable:** Dr. Juan Guillermo Bond Compeán  
**Institución:** Instituto Nacional de Salud Pública  
Centro Regional de Investigación en Salud Pública  
**Dirección:** 19 Poniente Esquina 4ª Norte s/n, Centro, Tapachula, Chis, 62100, México  
**Correo electrónico:** [gbond@insp.mx](mailto:gbond@insp.mx)  
**Teléfono/Fax:** 01-962-6262219 y 6250044; Ext. 142  
**Fecha de inicio:** Diciembre 15, 2015.  
**Fecha de término:** Julio 30, 2019.  
**Principales resultados:** Base de datos, cartografía, informe final.  
**Forma de citar\*\* el informe final y otros resultados:** Bond, C. J. G., M. Casas M., D. A. Moo, L., Marina F., R. Danis L., Ulloa G., Elizondo Q., A. Ortega M. y C. Nuñez, V. 2019. Diagnóstico del estado actual de la invasión biológica por Aedes (Stegomyia) albopictus (Skuse) (Díptera: Culicidae) en las principales áreas naturales protegidas de la Península de Yucatán, México. **Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. LI040.** Ciudad de México.

**Resumen:**

Aedes albopictus (Skuse), es considerada como la especie de mosquito más invasiva y de más rápida propagación en el mundo. Este mosquito es nativo del Sureste de Asia, donde habita principalmente zonas boscosas y se cría en huecos de árboles, bambú y otros contenedores naturales de agua, pero tiene una alta capacidad para adaptarse a los ambientes urbanos. Debido a su habilidad de colonizar nuevos ambientes, en los últimos 25 años se ha introducido en una gran variedad de hábitats alrededor del mundo, abarcando grandes regiones en todos los continentes. En México su introducción se reportó por primera vez en 1988 en los estados del norte (Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila) y en los últimos años se ha introducido a los estados del centro, golfo, sur y sureste de la república, incluyendo Quintana Roo en el 2012. En base al potencial de las especies invasoras de producir impactos bióticos sobre las especies y ecosistemas nativos, además de los impactos económicos, sociales y a la salud humana, que conlleva su introducción a nuevos ecosistemas, en el presente estudio se plantea realizar un diagnóstico del estado actual de la invasión biológica de Aedes albopictus en las principales áreas naturales protegidas (ANP) de la península de Yucatán, encaminado a proponer estrategias de manejo para la implementación de acciones de prevención y control de esta especie, dado que dichos ecosistemas representan regiones prioritarias para la conservación de la biodiversidad terrestre (y en donde confluyen numerosas especies del Corredor Biológico Mesoamericano), además de ser áreas ecoturísticas de gran importancia a nivel nacional e internacional y que se pueden ver afectadas a nivel económico y a la salud humana

- 
- \* El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en [www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx)
  - \*\* El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.



**Diagnóstico del estado actual de la invasión  
biológica por *Aedes (Stegomyia) albopictus*  
(Skuse) (Diptera: Culicidae) en las principales áreas  
naturales protegidas de la Península de Yucatán,  
México**



**INFORME FINAL**

**Responsable:** Dr. **J. Guillermo Bond Campeán** (INSP/CRISP)

**Colaboradores:** Dr. **Mauricio Casas Martínez** (INSP/CRISP)

**M. en C. David Alejandro Moo Llanes** (UNAM/Fac. Medicina)

**Dr. Carlos Félix Marina Fernández** (INSP/CRISP)

**Dr. Rogelio Danis Lozano** (INSP/CRISP)

**Dr. Armando Ulloa García** (INSP/CRISP)

**Dr. Armando Erick Elizondo Quiroga** (Unidad de  
Bioensayos)

**Dr. Aldo Ortega Morales** (Universidad Antonio Narro)

**Dra. Carolina Núñez Vázquez** (INSP/CRISP)

**Instituciones:** Centro Regional de Investigación en **Salud Pública (CRISP)**

Comisión Nacional para el **Conocimiento y Uso de la  
Biodiversidad (CONABIO)**

## CONTENIDO

Portada	1
1.- Resumen	4
2.- Introducción y Antecedentes	5
3.- Justificación	9
4.- Objetivo General	10
5.- Objetivos Particulares	11
6.- Técnicas y Métodos	11
6.1.- <i>Área de estudio</i>	11
6.2.- <i>Diseño experimental</i>	13
6.3.- <i>Variables fisiográficas y bioclimáticas</i>	13
6.4.- <i>Abundancia</i>	14
6.5.- <i>Riqueza y diversidad de especies</i>	15
6.6.- <i>Tratamiento curatorial de mosquitos</i>	15
6.7.- <i>Determinación taxonómica de los ejemplares</i>	16
6.8.- <i>Bases de datos de Aedes albopictus</i>	16
6.9.- <i>Base de datos de otras especies asociadas</i>	16
6.10.- <i>Generar modelos de nicho ecológico y su evaluación como instrumento para predecir la distribución potencial de Ae. albopictus en la región de la PY, Chiapas y Tabasco</i>	17
6.10.1.- <i>Análisis geoespacial para la predicción de nicho ecológico de Ae. albopictus</i>	17
6.10.2.- <i>Construcción de la base de datos para el MNE</i>	17
6.10.3.- <i>Selección del área accesible M</i>	18
6.10.4.- <i>Selección de las variables bioclimáticas y topográficas</i>	18
6.10.5.- <i>Modelos de nicho ecológico (MNE)</i>	18

6.10.6.- <i>Evaluación del Modelo</i>	19
6.10.7.- <i>Análisis la distribución potencial de Ae. albopictus en las principales áreas naturales protegidas de la PY</i>	20
6.11.- <i>Análisis de Riesgos</i>	20
7.- <b>Resultados</b>	22
7.1.- <i>Abundancia y riqueza de especies</i>	22
7.2.- <i>Diversidad de especies</i>	24
7.3.- <i>Abundancia relativa de Ae. aegypti en criaderos</i>	25
7.4.- <i>Abundancia relativa de adultos de Ae. aegypti y Cx. quinquefasciatus</i>	27
7.5.- <i>Ocurrencia Geográfica</i>	27
7.6.- <i>Área accesible M</i>	29
7.7.- <i>Modelos de nicho ecológico</i>	32
7.8.- <i>MNE en las Reservas de la Biósfera de la Península de Yucatán</i>	39
7.9.- <i>Análisis el riesgo por contacto de la población rural y urbana de Ae. albopictus en la Península de Yucatán, Chiapas y Tabasco</i>	40
8.- <b>Discusión y conclusiones generales</b>	41
9.- <b>Propuesta de manejo de Aedes albopictus</b>	45
10.- <b>Agradecimientos proyecto LI040 Península de Yucatán</b>	50
11.- <b>Referencias bibliográficas</b>	52

## 1.- RESUMEN

*Aedes albopictus* (Skuse), es considerada como la especie de mosquito más invasiva y de más rápida propagación en el mundo. Este mosquito es originario del Sureste de Asia, donde habita principalmente zonas boscosas y se cría en huecos de árboles, bambú y otros contenedores naturales de agua, pero presenta una alta capacidad para adaptarse a los ambientes urbanos y suburbanos. Debido a su habilidad de colonizar nuevos ambientes, en los últimos 25 años se ha introducido en una gran variedad de hábitats alrededor del mundo, abarcando grandes regiones geográficas en todos los continentes. Por lo anterior, en el presente estudio se planteó analizar y diagnosticar el estado actual de la invasión biológica de *Aedes albopictus* en áreas urbanas, suburbanas y rurales aledañas a las principales áreas naturales protegidas de la Península de Yucatán. Se realizaron cuatro colectas a lo largo de las temporadas de secas, lluvias y durante las épocas de transición entre ambas temporadas. Las colectas se llevaron a cabo mediante el empleo de ovitrampas, trampas BG, trampas de doble pabellón y pesquisa larvaria con redes entomológicas y caladores. Se colectaron todos los culícidos y se registró su abundancia, así como, la posición geográfica de su colecta, además de variables fisiográficas y bioclimáticas asociadas a sus sitios de colecta. Los culícidos se determinaron taxonómicamente y se estimaron la riqueza y diversidad de especies. Todos los registros se incorporaron a la base de datos de la Colección Biológica de Mosquitos de Importancia Médica mediante el programa Biotica 5.0. Para la construcción de los Modelos de Nicho Ecológico, se utilizaron dos algoritmos: GARP, MaxEnt y la combinación de ambos. Como resultados del presente estudio se colectaron y determinaron taxonómicamente 10,669 individuos pertenecientes a 15 géneros y 52 especies de las cuales *Psorophora cilipes* y *Culex theobaldi* son nuevos registros para el estado de Quintana Roo. Así mismo, se reconfirmo la presencia de *Aedes albopictus* en ese mismo estado y se reportó como nuevo registro para el estado de Yucatán (datos publicados). Los resultados de diversidad de especies indican que el estado de Campeche presentó el valor de diversidad significativamente más alto, mientras que la Reserva de la Biósfera (RB) de Calakmul presento la mayor diversidad de culícidos entre todas las RB. Por otra parte, se elaboraron Modelos de Nicho Ecológico (MNE) de 14 especies de culícidos de importancia médica mismos que fueron significativos para todas las especies. En base a los resultados obtenidos en el presente proyecto en función de la ocurrencia geográfica y los análisis de distribución potencial (MNE) podemos confirmar la invasión biológica de *Ae. albopictus* en los estados Quintana Roo y Yucatán; sin embargo, aunque los MNE predicen su distribución potencial en toda la PY, la especie no fue registrada en el estado de Campeche, restringiendo su distribución a la región noreste de la PY. El riesgo por contacto de la transmisión de los mosquitos es diferente dependiendo de la población en riesgo (rural o urbana) y particularmente *Ae. albopictus* afecta más a la comunidad rural, mientras que *Ae. aegypti* a la comunidad urbana.

## 2.- INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

*Aedes albopictus* (Skuse), comúnmente conocido como el mosquito tigre asiático, es originario del sureste de Asia, donde habita principalmente zonas boscosas y se cría en huecos de árboles, bambú y otros contenedores naturales de agua, pero presenta una alta capacidad para adaptarse a los ambientes urbanos, en donde se le encuentra durante sus fases larvarias en llantas y una gran variedad de contenedores asociados al uso doméstico. Debido a su habilidad de colonizar nuevos ambientes, en los últimos 25 años se ha introducido en una gran diversidad de hábitats alrededor del mundo, abarcando grandes regiones en todos los continentes (Medley, 2010; Medlock, 2012). Por lo que en base a estos antecedentes, *Ae. albopictus* se enlista como una de las 100 especies invasoras más importantes de acuerdo al Grupo de Especialistas sobre Especies Invasoras (Invasive Species Specialist Group 2009; citado por: Medlock, 2012) y es considerada como la especie de mosquito más invasiva y de más rápida propagación en el mundo (Juliano y Lounibos, 2005; Lambrechts et al., 2010; Medlock, 2012).

Las especies invasoras tienen el potencial de producir impactos bióticos sobre las especies, las comunidades residentes y ecosistemas nativos, tales como: cambios en la distribución, abundancia, estructura y composición de las comunidades, reducción de la biodiversidad e incluso la extinción de especies nativas y la aparición de cambios en el funcionamiento de los ecosistemas con la consecuente degradación de la integridad ecológica (Juliano et al., 2004; Naranjo y Dirzo, 2009; CONABIO, 2010). Un ejemplo de estos impactos se observó en Florida y el sureste de Estados Unidos, donde se ha documentado una disminución en la abundancia de las poblaciones de *Ae. aegypti* (especie introducida establecida en América del Norte durante siglos). En algunos casos tras la invasión de *Ae. albopictus* se han reportado extinciones locales (Juliano et al., 2004). Además de los problemas ecológicos mencionados, las especies invasoras también producen impactos económicos, sociales y sobre la salud humana, al transmitir agentes

etiológicos que causan enfermedades (Lounibos, 2002). Un mosquito invasor que sustituye a una especie residente a través de la competencia puede alterar la transmisión de una enfermedad, si es un vector más eficiente del agente etiológico (Juliano y Lounibos, 2005). Por lo anterior, la introducción de *Ae. albopictus* en nuevos ecosistemas puede ocasionar el reemplazo o desplazamiento de especies de mosquitos nativas y/o endémicas, mediante la competencia por los hábitats de crianza y recursos alimenticios, cuya consecuencia implica una alteración en la dinámica de transmisión de una enfermedad (Juliano y Lounibos, 2005) y en este aspecto de acuerdo a los antecedentes *Ae. albopictus* es un vector competente para la transmisión de enfermedades virales como: dengue, chikunguya, encefalitis equinas, fiebre amarilla, virus del Oeste del Nilo, así como, filariasis (Gratz, 2004; Medlock et al., 2012). En relación a los impactos de *Ae. albopictus* sobre vertebrados, se sabe que este mosquito ataca más hospederos que ninguna otra especie (incluyendo reptiles, aves y mamíferos). En México no existen estimaciones generales de pérdidas económicas relacionadas con especies exóticas. El costo debe ser significativo a juzgar por las estimaciones de otros países. A los costos derivados del efecto y manejo de las especies ya introducidas es necesario sumar los gastos referentes a la prevención, detección y erradicación temprana, siempre menores que el control, la mitigación o la erradicación (Aguirre et al., 2009)

La mayoría de las especies invasoras se introducen por vías directamente relacionadas con las actividades humanas; no obstante, algunas son introducidas accidentalmente por medios naturales (viento, huracanes, tormentas o corrientes marinas). Otros factores de presión, como las modificaciones ambientales y el cambio climático global, exacerbaban la dispersión y establecimiento de especies exóticas invasoras a nuevos entornos (CONABIO, 2010; Medlock et al., 2012; Rochlin et al., 2013). En el caso particular de *Ae. albopictus*, los medios de transporte tales como, aviones, barcos y vehículos terrestres son señalados como los principales formas de traslado para la expansión geográfica de esta especie (Reiter, 1998; Gratz et al., 2000).

*Aedes albopictus* como una especie invasora se ha extendido desde su área de distribución original a un gran número de países alrededor del mundo (Benedict et al., 2007; Paupy et al., 2009), desde Norte, Centro y Sur de América, parte de África, norte de Australia, a partir de su aparición en Albania en 1979 e Italia en 1990 hasta encontrarse en 20 países europeos (Medlock et al., 2012). En América, en 1985 se informó de la introducción y establecimiento de *Ae. albopictus* en los Estados Unidos y un año más tarde en Brasil (Sprenger y Wuithiranyagool, 1986). En México, el primer registro de esta especie fue en el año 1988 en Tamaulipas (Womack, 1993), posteriormente, en 1993 se confirmó su presencia en los estados fronterizos de Tamaulipas y Coahuila (IbáñezBernal y Martínez-Campos, 1994; Rodríguez-Tovar y Ortega-Martínez, 1994). En 1995, se reportó la detección de *Ae. albopictus* infectado naturalmente con virus dengue durante una epidemia en Reynosa, Tamaulipas (Ibáñez-Bernal et al., 1997); posteriormente en 1997 se reporta su presencia en el estado de Nuevo León (Orta-Pesina et al., 2001). Su distribución hacia el sur del país fue reportada por primera vez en Chiapas durante el 2002 (Casas-Martínez y Torres Estrada, 2003) y recientemente en los estados de Morelos en 2009 (Villegas-Trejo et al., 2010) y Quintana Roo en 2011 (Salomón-Grajales et al., 2012). También se tiene conocimiento de la presencia de esta especie en los estados de Veracruz y Oaxaca (Tuxtepec), aunque no existe evidencia científica y únicamente se cuenta con la comunicación personal de las Jurisdicción Sanitaria de ambos estados.

La alarmante expansión global de *Ae. albopictus* en las últimas tres décadas ha aumentado la preocupación de las instituciones y autoridades sanitarias debido a capacidad biológica de este mosquito para transmitir varias arbovirosis, dentro de la que se destaca el dengue, la infección por arbovirus humana más prevalente a nivel mundial (Lambrechts et al., 2010). Actualmente, el único método para prevenir y controlar la transmisión del virus del dengue consiste en la supresión de las poblaciones de vectores (OMS, 2012), sin embargo, debido a la amplia variedad de hábitats larvarios (naturales y artificiales) que utiliza *Ae. albopictus* para su oviposición (Hawley, 1988; Estrada-Franco y Graig, 1995; Rochlin et al., 2013),



aunado a las diferencias en su comportamiento de picadura fuera de las viviendas (Casas-Martínez et al., 2013) y su actividad de reposar en sitios peri y extradomiciliarios de áreas rurales y suburbanas (Bond et al., en prensa) el control de esta especie es más difícil que el de *Ae. aegypti*. Por lo anterior, las estrategias utilizadas en los programas estatales de control de vectores tendrían que ser reorientadas con base a los comportamientos descritos por este mosquito. En el caso particular de *Ae. albopictus* una estrategia de manejo integrado de sus poblaciones sería la mejor opción (Fonseca, et al., 2013), la estrategia deberá contemplar la manipulación o control ambiental (“Patio Limpio”) que consiste en la eliminación o reducción de los hábitats de cría de esta especie, de manera simultánea, se tendrán que implementar actividades de educación para la salud, dirigidas a las poblaciones humanas con alta incidencia de dengue, con el fin de motivar a sus habitantes a participar en las actividades para eliminar y prevenir el dengue. En el caso del control químico, este se llevaría a cabo en caso de brotes epidémicos o emergencias naturales, implementándose el uso de larvicidas y/o adulticidas aplicados por medio de nebulizaciones espaciales (Estrada-Franco y Graig, 1995; NOM-032-SSA2, 2010; Fonseca et al., 2013). Los productos químicos para el control de mosquitos solo se pueden usar de acuerdo con la legislación nacional y la aprobación de los productos. Algunos de los productos químicos mencionados como ejemplos podrían permitirse en algunos países pero no en otros. Dentro de los larvicidas recomendados por la WHO (2003) para su uso en salud pública se tiene el Temefós al 1% representa la opción de mayor costo-eficacia (en poblaciones susceptibles), siendo de baja toxicidad para el humano y el ambiente, sin embargo cuando se detectan problemas de resistencia en las poblaciones larvarias se recomienda el empleo de bioinsecticidas tales como Bti o Spinosad (también reportados como de baja toxicidad al ser humano) (Bond et al., 2004), reguladores del desarrollo (Metopreno) e inhibidores de síntesis de quitina, tales como novaluron (CENAPRECE, 2014), dentro de esta última categorías el Triflumoron ha demostrado ser eficaz en el control de larvas de *Aedes albopictus* y *Ae. aegypti* (Thiago et al., 2013). En lo referente a los adulticidas rociados espacialmente la Fenotrína y la Bifentrína han demostrado gran eficacia y en el

interior de las viviendas los rociados residuales con Deltametrina y Bifentrina representan una buena opción (CENAPRECE, 2014), sin embargo estos aduictidas a pesar de ser recomendados por la WHO (2003), presentan toxicidad moderada al humano y al medio ambiente.

Existen relativamente pocos estudios sobre distribución y taxonomía de culícidos en la zona de estudio, uno de ellos es el que se desarrolló en Yucatán por Nájera-Vazquez y colaboradores (2004) y otro trabajo sobre los mosquitos de Quintana Roo de Ortega-Morales y colaboradores (2010), donde ambos autores describieron la distribución y abundancia de mosquitos de la familia Culicidae, sin embargo, *Ae. albopictus* no fue reportado en ningún estudio. Un antecedente reciente de la presencia de esta especie se encuentra en el trabajo de Ortega-Morales y colaboradores (2010), quienes en agosto del 2009 realizaron un trabajo de monitoreo de *Ae. aegypti* mediante la colecta de huevos con ovitrampas y casualmente registraron la presencia de *Ae. albopictus* en la ciudad de Benque Viejo del Carmen, Distrito del Cayo, Belice, ubicada aproximadamente a 16 Km de la Ciudad de Chetumal, Quintana Roo, México. A la fecha el único antecedente sobre la presencia de *Ae. albopictus* en la región de la Península de Yucatán es el trabajo de Salomón-Grajales y colaboradores (2012), quienes en septiembre de 2011 colectaron larvas de esta especie en un cementerio en la Ciudad de Cancún, Quintana Roo. En base a lo anterior y por considerarse a *Ae. albopictus* como uno de los principales mosquitos invasores, a causa de su rápida expansión geográfica, no se descarta su dispersión hacia localidades urbanas, suburbanas y rurales aledañas a las ANPs, motivo por el cual en el presente estudio se ha planteado la necesidad de llevar a cabo el diagnóstico de su presencia y distribución en la región de la Península de Yucatán.

### **3.- JUSTIFICACIÓN**

*Aedes albopictus* está considerada entre las especies de mosquito más invasivos y de muy rápida propagación en el mundo (Juliano y Lounibos, 2005;

Medlock, 2012). En México, su distribución se ha ampliado desde su introducción en los estados del norte del país en poco más de dos décadas (Womack, 1993; Ibáñez-Bernal y Martínez-Campos, 1994; Rodríguez-Tovar y Ortega-Martínez, 1994; Ibáñez-Bernal et al., 1997; Orta-Pesina et al., 2001) hacia el centro (Villegas-Trejo, et al., 2010), sur (Casas-Martínez y Torres Estrada, 2003) y sureste de México (Salomó-Grajales, et al., 2012). Debido al potencial de este mosquito para producir impactos bióticos sobre las especies y ecosistemas nativos, problemas económicos y sociales y de salud mediante la transmisión de una gran variedad de patógenos a vertebrados y en especial a la población humana, en el presente estudio se ha planteado para llevar a cabo el diagnóstico situacional de la invasión biológica de este mosquito en comunidades urbanas, suburbanas y rurales aledañas a las principales áreas naturales protegidas (ANP) de la Península de Yucatán, debido a que estos ecosistemas representan regiones prioritarias para la conservación de la biodiversidad terrestre (y en donde confluyen numerosas especies del Corredor Biológico Mesoamericano), además de ser áreas ecoturísticas de gran importancia a nivel nacional e internacional que se pueden ver afectadas por el impacto ecológico, económico, social y de salud humana, derivado de la introducción y el establecimiento de esta especie hacia los nuevos ecosistemas del sureste de México, región donde a la fecha, no existen antecedentes sobre su ecología como especie invasora, por lo que dicho diagnóstico nos permitirá desarrollar propuestas para su manejo y control.

#### **4.- OBJETIVO GENERAL**

Analizar y diagnosticar el estado actual de la invasión biológica de *Aedes albopictus* en áreas urbanas, suburbanas y rurales aledañas a las principales áreas naturales protegidas (ANPs) de la Península de Yucatán, encaminado a proponer estrategias de manejo para la implementación de acciones de monitoreo, prevención y control de esta especie.

## 5.- OBJETIVOS PARTICULARES

- 1) Determinar el estado actual de la invasión biológica de *Ae. albopictus* y adicionalmente *Ae. aegypti* y *Clulex quinquefasciatus*, detallando su abundancia y distribución geográfica en el área de estudio.
- 2) Elaborar una base de datos sistematizada y capturada en el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB) sobre las principales especies de Culícidos invasoras en la península de Yucatán.
- 3) Integrar una base de datos con el listado taxonómico al SNIB de las especies de culícidos de importancia médica que cohabitan con *Ae. albopictus*.
- 4) Generar modelos de nicho ecológico y su evaluación como instrumento para predecir la distribución potencial de *Ae. albopictus* en la región de la Península de Yucatán, Chiapas y Tabasco.
- 5) Realizar un análisis de riesgos de la invasión biológica y el contacto de *Ae. albopictus* con las poblaciones rurales y urbanas en la Península de Yucatán.
- 6) Actualizar las fichas de análisis de riesgo de la invasión biológica de *Ae. aegypti* y *Ae. albopictus*.

## 6.- TECNICAS Y METODOS

6.1.- *Área de Estudio.* El área de estudio del presente proyecto comprendió localidades urbanas, suburbanas y rurales aledañas a las Reservas de la Biosfera (RB) de Calakmul, ubicada en el Estado de Campeche, con una superficie de 723,185 ha.; RB Los Petenes, ubicada en el Estado de Campeche (282,858 ha); RB Ría Celestún (81,482 ha.), ubicada entre los Estados de Campeche y Yucatán; RB Ría Lagartos (60,348 ha.), ubicada en el estado de Yucatán y RB Sian Ka'an

(528,148 ha.), ubicada en el Estado de Quintana Roo. Dentro de estas RB se visitaron las áreas núcleo y se consideraron 20 poblaciones o localidades asentadas en sus zonas limítrofes. También, se visitaron los cementerios de Ciudad del Carmen, Ciudad de Campeche, en Campeche; Chetumal y Cancún, en Quintana Roo y la Ciudad de Mérida, en Yucatán (Fig. A).

Coordenadas Extremas: RB Calakmul ( $18^{\circ}23'10.63''$  N;  $89^{\circ}30'16.22''$  O y  $17^{\circ}52'31.95''$  N;  $89^{\circ}53'43.61''$  O). RB Los Petenes y Ría Celestún ( $21^{\circ}01'02.28''$  N;  $90^{\circ}18'10.93''$  O y  $20^{\circ}01'14.46''$  N;  $90^{\circ}17'05.51''$  O). RB Ría Lagartos ( $21^{\circ}35'48.12''$  N;  $88^{\circ}07'18.98''$  O y  $21^{\circ}20'20.47''$  N;  $87^{\circ}36'34.47.63''$  O) RB Sian Ka'an ( $20^{\circ}01'31.71''$  N;  $87^{\circ}31'58.83''$  O y  $18^{\circ}59'39.49''$  N;  $88^{\circ}00'11.92''$  O).

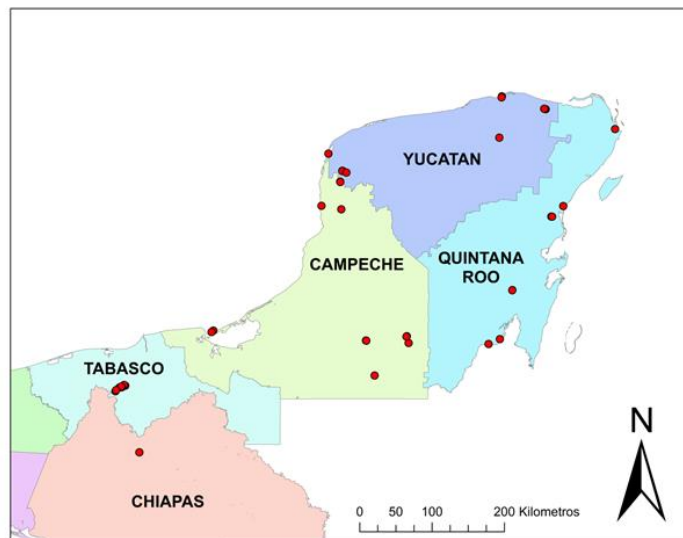


Figura A. Distribución geográfica de los sitios de colecta en el área de estudio.

En cada localidad visitada se establecieron los laboratorios móviles donde se procesaron los especímenes colectados para su preservación y transporte al Laboratorio de Taxonomía y Biogeografía de Vectores del CRISP/INSP.

En lo referente a la colaboración interinstitucional, se solicitó apoyo logístico al Dr. Julian Everardo García Rejón, Investigador del Centro de Investigaciones Regionales Dr. Hideyo Noguchi de la Universidad Autónoma de Yucatán en la Ciudad de Mérida, Yucatán; además, se solicitó el apoyo del Ing. Manuel Lugo,

trabajador del programa de control de vectores del Instituto de Salud de la Ciudad de Chetumal, Quintana Roo, quien nos facilitó sus instalaciones, para el mismo fin. En la Ciudad de Campeche, Campeche, se contó con el respaldo del Dr. Manuel Weber Rodríguez, Investigador Titular del Departamento de Conservación de la Biodiversidad con sede en El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Campeche, en la capital del estado, con la finalidad de disponer de espacios para la instalación de los laboratorios móviles para el manejo y procesamiento curatorial del material biológico colectado en campo.

6.2.- *Diseño Experimental.* Se llevó a cabo un estudio de tipo transversal con cuatro colectas, la primera de 40 días durante la temporada de secas (Abril-Mayo/ 2016), la segunda de 34 días durante la transición entre la temporada de lluvias y secas (Octubre-Noviembre/ 2016), la tercera de 34 días también durante la transición de ambas temporadas (Febrero-Marzo/ 2017) y la última de 43 días durante la temporada de lluvias (Junio-Julio de 2017). Durante cada colecta se realizaron recorridos a las RB del área estudio dentro de la región de la Península de Yucatán. En cada una de las RB se visitaron 4 localidades urbanas, suburbanas y rurales, aledañas a las mismas. En las 20 localidades seleccionadas, se llevaron a cabo entrevistas con las autoridades encargadas de su manejo y/o autoridades municipales y/o ejidales para la solicitud de los permisos correspondientes para el desarrollo de los muestreos del presente estudio, así como para informarles sobre los objetivos del proyecto.

6.3- *Variables fisiográficas y bioclimáticas.* En cada área de estudio se registraron los siguientes parámetros: altitud, tipo de hábitat, tipo de vegetación, topografía, precipitación pluvial, temperatura, humedad relativa, así como su referencia geográfica con ayuda de un receptor GPS portátil (Garmin® eTrex Legend®).

Una vez, seleccionadas las localidades de estudio dentro de las RBs se establecieron los sitios de operación del grupo para iniciar con las actividades de

monitoreo de las poblaciones de *Ae. albopictus*, en donde se registraron su presencia, abundancia poblacional y distribución geográfica, además de monitorear a otras especies de culícidos que cohabitan con este mosquito y disponer de información sobre interacciones biológicas (ej. competencia interespecífica por alimento y espacio) que afecten la riqueza, diversidad, abundancia y distribución de las especies.

6.4.- *Abundancia*. La abundancia poblacional de *Ae. albopictus* y otros culícidos de importancia médica fue determinada por índices (entomológicos) de abundancia relativa, mediante el empleo de las siguientes técnicas de muestreo:

a) BG sentinel trap. Mediante el uso de estas trampas se realizaron capturas de mosquitos durante los horarios de mayor actividad reportados para esta especie (06-09 y 16-19 h; Casas-Martínez et al., 2005), los resultados se expresarán como número de mosquitos por trampa por hora o número de mosquitos por trampa por día (Kröckel et al., 2006; Crepeau et al., 2013).

b) Ovitrapa estándar. Esta técnica de monitoreo nos permitió determinar la presencia o ausencia de *Ae. albopictus*, aunque las densidades sean bajas, ya que ha demostrado ser muy sensible y sencilla de manejar, también nos permitió determinar la distribución del mosquito y medir la fluctuación estacional de sus poblaciones en las diferentes localidades del área de estudio, los resultados podrán ser expresados como porcentaje de ovitrampas positivas por día y/o promedio de huevos por ovitrapa por día.

c) Trampa de doble pabellón de contraste. Esta trampa está construida con un pabellón doble, el primero de 2.2 x 1.9 x 1.8 m y un pabellón interior color negro de 1.0 x 0.7 x 1.8 m, en el que se introdujo una persona que actúo como cebo para atraer a los mosquitos, la trampa ha sido utilizada para el monitoreo de poblaciones de *Ae. albopictus*, demostrando una buena efectividad en sus capturas (Casas-Martínez et al., 2013); la abundancia de mosquitos colectados pueden ser

expresada en número de mosquitos por hora por trampa y, permitirán realizar comparaciones entre localidades.

d) *Pesquisa larvaria.* Adicionalmente, se llevó a cabo la revisión de los receptáculos o cavidades estrechas como los huecos de árboles, hoyos de rocas o troncos de bambú, así como, los contenedores artificiales en las viviendas y panteones, además de los criaderos naturales en las reservas y las comunidades aledañas para la colecta de estados inmaduros de mosquitos. Mediante las diferentes técnicas de colecta y en base a los antecedentes de estudios previos se esperaba obtener un registro de cuando menos 25 especies de culícidos, esta estimación se realizó tomando en cuenta el periodo y los sitios de colecta reportados en los estudios previos (IbáñezBernal, 1995; Nájera-Vázquez et al., 2004; Zapata-Peniche et al., 2007; Ortega et al., 2010).

6.5.- *Riqueza y diversidad de especies.* La riqueza y diversidad de especies fue determinada mediante el índice de diversidad de Shannon, así mismo se calcularon la heterogeneidad y diversidad máxima, estos valores fueron determinados por RB y por estado (Magurran, 2004).

*Manejo del material biológico colectado:* Las larvas de IV estadio y pupas colectadas en campo fueron depositadas en cámaras de emergencia individuales donde se mantuvieron hasta la emergencia de los adultos. Las exuvias obtenidas se conservaron en alcohol al 70% dentro de viales herméticos. Los adultos seleccionados para las determinaciones taxonómicas se mataron con cloroformo y fueron colocados individualmente en viales de plástico perforados para su preservación, que a su vez fueron almacenados en un recipiente hermético de plástico con sílica gel para evitar la humedad y proliferación de hongos.

6.6.- *Tratamiento curatorial de mosquitos.* Los adultos colectados de *Ae. albopictus* y otros culícidos, fueron conservados dentro de viales de plástico perforados y almacenados en recipientes herméticos con sílica gel para su



preservación en seco, una vez llevados a los laboratorios móviles, los ejemplares fueron montados en triángulos de papel insertados en alfileres entomológicos, con sus etiquetas correspondientes.

6.7.- *Determinación taxonómica de los ejemplares.* Para llevar a cabo la identificación a nivel de especie de larvas de IV estadio, pupas y adultos, se utilizaron las claves dicotómicas de Darsie y Ward (1981); Clark-Gil y Darsie (1983); Wilkerson y cols. (1993); y Savage y Smith (1995). Todos los ejemplares fueron etiquetados adecuadamente, antes de ser depositados en la Colección Biológica de Mosquitos de Importancia Médica del Centro Regional de Investigación en Salud Pública (CRISP-INSP).

6.8.- *Bases de datos de Aedes albopictus.* Para el caso de la especie invasora *Ae. albopictus* la base de datos se integró de acuerdo a los criterios y características recomendados en los lineamientos de CONABIO, para ello se utilizará el Sistema de Información Biótica 5.0 (CONABIO, 2013). Los principales datos que fueron sistematizados son: descripción de la especie; estado actual de las poblaciones de la especie en México y en el área de estudio; distribución original y su distribución como especie invasora en México y otros países; la descripción de su ambiente que incluirá tipo de vegetación, descripción y caracterización de sus hábitats, variables fisiográficas y bioclimáticas; abundancia o tamaño poblacional; mecanismos de dispersión; interacciones ecológicas con otras especies; impactos ecológicos, económicos y a la salud, manejo y mitigación; riesgos, etc.

6.9.- *Base de datos de otras especies asociadas.* Después de la identificación taxonómica de especies de los culícidos asociados a *Ae. albopictus*, se sistematizaron los registros o unidades curatoriales contenidas en los muestreos biológicos. Todos los ejemplares identificados hasta género y especie fueron catalogados y depositados en la Colección Biológica de Mosquitos de Importancia Médica del CRISP (CRISP-INSP). Para la sistematización de los registros curatoriales se utilizó el sistema de información Biótica 5.0 (CONABIO, 2013), recomendado para la conformación de bases de datos sobre biodiversidad. En este

proceso, se ha propuesto el uso del Catálogo Sistemático de Culícidae publicado por la Walter Reed Biosystematics Unit (WRBU, 2001).

6.10.- *Generar modelos de nicho ecológico y su evaluación como instrumento para predecir la distribución potencial de Ae. albopictus en la región de la PY, Chiapas y Tabasco.*

6.10.1- *Análisis geoespacial para la predicción de nicho ecológico de Ae. albopictus:* Los modelos de nicho ecológico (MNE) permiten generar modelos predictivos de la distribución espacial de las especies, reduciendo sesgos geográficos en las colectas. Los MNE están basados en el concepto de “nicho”, es decir los requerimientos necesarios de una especie para mantener una tasa de crecimiento demográfico positivo, sin considerar las interacciones bióticas (Pearman et al. 2007). De acuerdo con Hutchinson (1957) el nicho se define como el conjunto de condiciones bióticas y abióticas en las que una especie es capaz de persistir y de mantener poblaciones estables a través del espacio y del tiempo. El conjunto de condiciones abióticas en las que puede subsistir una especie se denomina el nicho fundamental, mientras que el nicho realizado describe las condiciones en las que puede existir en presencia de otras especies. Por lo anterior, el nicho ecológico se construye en un espacio ecológico, para después ser proyectado a un espacio geográfico (Soberón y Peterson, 2005; Murphy y Lovett-Doust, 2007).

6.10.2.- *Construcción de la base de datos para el MNE.* Se construyó una base de datos con información de literatura científica (Torres-Avenidaño et al. 2015; Ortega-Morales et al. 2015; Baak-Baak et al. 2016; Ortega-Morales & Siller-Rodríguez 2016; Ortega-Morales et al. 2016; Pech-May et al. 2016; Baak-Baak et al. 2017), portal de dominio público: Global Biodiversity Information Facility (GBIF; [www.gbif.org/](http://www.gbif.org/)) y colectas realizadas durante este proyecto (cuatro etapas). En total se obtuvieron puntos de ocurrencias de 15 especies principalmente: *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*, *Anopheles albimanus*, *Anopheles pseudopunctipennis*,

*Anopheles vestitipennis*, *Coquiletidia venezuelensis*, *Culex coronator*, *Culex interrogator*, *Culex nigripalpus*, *Culex quinquefasciatus*, *Haemagogus equinus*, *Mansonia titilans*, *Ochlerotatus taeniorhynchus*, *Psorophora confinnis*, y *Sabethes chloropterus*. Estas ocurrencias pertenecen solamente a los estados de Yucatán, Campeche, Quintana Roo, Tabasco y Chiapas (Suplementario 1).

6.10.3.- *Selección del área accesible M*. Los puntos de ocurrencia de las especies se utilizaron para definir el área de calibración. Esta área es conocida como el “área accesible M” que incluye el área geográfica con las condiciones ambientales apropiadas de cada especie para la construcción del modelo de nicho ecológico (MNE) (Barve et al. 2011; Owens et al. 2013). Debido a que el área de calibración influye en la predicción del modelo del nicho ecológico, se definieron cuatro áreas de calibración: 1) buffer de 50km alrededor de los puntos de ocurrencia, 2) buffer de 100km alrededor de los puntos de ocurrencia, 3) buffer de 200km alrededor de los puntos de ocurrencia, y 4) traslape de los puntos de ocurrencias con las ecoregiones basados en el shapefile del World Wildlife Fund (Olson et al. 2001).

6.10.4.- *Selección de las variables bioclimáticas y topográficas*. Para la construcción de los MNE, se usaron 13 variables: nueve variables bioclimáticas (Bio1, Bio4, Bio5, Bio6, Bio7, Bio12, Bio13, Bio14 y Bio15) obtenidas de WorldClim-Global Climate Data (Hijmans et al. 2005). Estas variables fueron seleccionadas de un conjunto de 19 variables, que presentaron una menor inter-correlación ( $r < 0.75$ ) después de realizar un análisis de multicolinealidad (Moo-Llanes et al. 2013). Adicionalmente, cuatro variables topográficas (aspecto, pendiente, elevación e índice topográfico) obtenidas de Hydro 1K (Earth Resources Observations and Science). Todas las variables fueron obtenidas a una resolución de 30 arc segundos ( $\approx 1\text{km}$ ).

6.10.5.- *Modelos de nicho ecológico (MNE)*. Para la construcción de los MNE, se utilizaron dos algoritmos: GARP (Genetic Algorithm for Rule-set Prediction) y

MaxEnt (Maximum Entropy). El algoritmo GARP, se enfoca en la producción de MNE grinellianos; este específicamente relaciona las características ecológicas de los puntos de ocurrencia conocidos y los compara con los puntos aleatoriamente muestreados dentro del área de estudio, con el objetivo de construir una serie de reglas de decisión que describen aquellos factores asociados con la presencia de las especies (Stockwell & Peters 1999). GARP with Best-subsets DesktopGARP implementation fue utilizado en OpenModeller 1.1.0 (de Souza et al. 2011). Los parámetros del software fueron: corridas (100), tipo de reglas utilizadas (todas), límite de convergencia (0.01) y máximo número de iteraciones (1000). El algoritmo MaxEnt 3.3.3k. (Phillips et al. 2006), estima la probabilidad de distribución promedio de encontrar la presencia de probabilidad de máxima entropía sujeta a una serie de restricciones impuestas por la información disponible sobre la distribución observada de las especies y las condiciones ambientales en el área de estudio. Los parámetros del software fueron: features (linear, product, threshold y hinge), regularización múltiple (2), máximo número de iteraciones (500), máximo número de background (10 000), bootstrap (10 réplicas), datos de salida (Logistic), selección de localidades únicas y selección de clamping (Moo-Llanes 2016). Ambos algoritmos dividen los puntos de ocurrencia en dos: datos de entrenamiento para la construcción del modelo (75 %) y datos de evaluación (25 %) (Anderson et al., 2003). Posteriormente, se realizó la sumatoria de los 10 modelos, para obtener un mapa booleano (ausencia/presencia) en base a los umbrales del 95 % de los puntos de ocurrencia (Peterson et al. 2012; Moo-Llanes 2016). Finalmente, se sumaron los modelos booleanos de cada algoritmo (GARP + MaxEnt) por especie y se reclasificaron de la siguiente manera: a) 0 y 1= 0, mientras que 2=1.

6.10.6.- *Evaluación del Modelo.* Para la evaluación de la calidad se crearon mapas binarios (presencia/ausencia) con los siguientes criterios: se usó un umbral mínimo de presencia del 95% de los puntos de ocurrencia para generar el mapa binario (Peterson et al. 2011). Los mapas binarios se analizaron mediante una prueba binomial que evalúa la tasa de clasificación correcta de la presencia de los datos, comparándola con la probabilidad al azar (Raxworthy et al. 2003). Los MNE

fueron evaluados mediante la prueba de Partial-ROC (Receiver Operating Characteristic) (Peterson et al. 2008) utilizando el software desarrollado por Barve (2008). Esta prueba utilizó los datos de área bajo la curva (AUC), siendo el resultado significativo cuando los valores de AUC son mayores de lo esperado al azar (AUC= 1.0) (Peterson et al. 2008). Teóricamente, el resultado perfecto de ROC es de 1.0 mientras que los valores cercanos a 0.5 no muestran un mayor desempeño que los rendimientos aleatorios, en este caso el modelo deberá ser rechazado.

6.10.7.- *Análisis la distribución potencial de Ae. albopictus en las principales áreas naturales protegidas de la PY.* Se utilizaron los mismos MNE, tanto en GARP, MaxEnt y combinado (GARP + MaxEnt) de los puntos de ocurrencias de 14 especies: *Ae. aegypti*, *Ae. albopictus*, *An. albimanus*, *An. pseudopunctipennis*, *An. vestitipennis*, *Cq. venezuelensis*, *Cx. coronator*, *Cx. interrogator*, *Cx. nigripalpus*, *Cx. quinquefasciatus*, *Hg. equinnus*, *Oc. taeniorhynchus*, *Ps. confinnis*, y *Sa. chloropterus*. El área accesible M se había previamente establecido en base a la metodología antes descrita, al igual que la selección de las variables bioclimáticas y topográficas. Se utilizó dos algoritmos GARP y MaxEnt. Finalmente, los modelos fueron evaluados mediante la prueba de Partial-ROC. Los análisis fueron enfocados en las cinco áreas naturales protegidas (ANPs) de la Península de Yucatán: Calakmul (Campeche), Ria Lagartos (Yucatán y Quintana Roo), Ria Celestún (Campeche y Yucatán), Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an (Quintana Roo) y Los Petenes (Campeche).

6.11.- *Análisis de Riesgos.* Se siguió el sistema de ponderación rápida de invasividad propuesto por la CONABIO. Este esquema se divide en tres rubros: A) Status (consta de cuatro preguntas), B) Riesgo de Invasión (tres preguntas), y C) Impactos (cuatro preguntas). Cada pregunta tiene seis valores posibles como respuesta (Muy alto, alto, medio, bajo, nulo y desconocido); el valor se asigna de acuerdo a los lineamientos que se han establecido para clasificar cada criterio. A su vez, a cada valor se le otorga un valor numérico que al término de la evaluación da como resultado un valor total para la especie.

*Analizar el riesgo por contacto de la población rural y urbana de Ae. albopictus en la Península de Yucatán, Chiapas y Tabasco.* Se utilizaron los mismos MNE combinado (GARP + MaxEnt) de los puntos de ocurrencias de 14 especies: *Ae. aegypti*, *Ae. albopictus*, *An. albimanus*, *An. pseudopunctipennis*, *An. vestitipennis*, *Cq. venezuelensis*, *Cx. coronator*, *Cx. interrogator*, *Cx. nigripalpus*, *Cx. quinquefasciatus*, *Hg. equinnus*, *Oc. taeniorhynchus*, *Ps. confinnis*, y *Sa. chloropterus*. El área accesible M se había definido previamente, al igual que la selección de las variables bioclimáticas y topográficas. Se utilizó los algoritmos GARP y MaxEnt. Finalmente, los modelos fueron evaluados mediante la prueba de Partial-ROC. Se utilizó el censo del 2010 (INEGI 2010) para la creación de dos shapefile: población rural (<10,000 habitantes) y población urbana (>10,000 habitantes) basado en la metodología de Moo-Llanes et al. (2013). Estos shapefile fueron traslapados con los MNE combinado (GARP + MaxEnt) para obtener la población rural o urbana que se encuentre en riesgo de contacto en la PY, Chiapas y Tabasco.

*Actualizar de las fichas del análisis de riesgo de la invasión biológica de Ae. aegypti y Ae. albopictus.* Se actualizo las fichas técnicas para *Ae. aegypti* y *Ae. albopictus* siguiendo el Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI) para especies exóticas en México. El MERI consta de 10 preguntas y cada una de ellas tiene seis posibles valores de respuesta (Muy alto, Alto, Medio, Bajo, No, y Se desconoce). Las preguntas están enfocadas en: 1) Reporte de invasora, 2) Relación con taxones invasores cercanos, 3) Vectores de otras especies invasoras, 4) Riesgo de Introducción, 5) Riesgo de Establecimiento, 6) Riesgo de Dispersión, 7) Impactos Sanitarios, 8) Impactos Económicos y Sociales, 9) Impactos en el Ecosistema, y 10) Impactos a la Biodiversidad.

## 7.- RESULTADOS

7.1.- *Abundancia y riqueza de especies.* En total se determinaron taxonómicamente 10,669 individuos pertenecientes a 52 especies de culícidos presentes en la Península de Yucatán. El estado con mayor abundancia de individuos fue Yucatán con 5,987, seguido por Quintana Roo con 2,524 individuos, mientras que Campeche presentó la abundancia menor con 2,158 individuos, sin embargo, Yucatán y Campeche presentaron una riqueza (S) de 34 especies y Quintana Roo 27 (Tabla 1).

**Tabla 1.** Abundancia, riqueza y diversidad de especies de culícidos en los tres estados de la Península de Yucatán.

Reserva de la Biósfera	N	S	H	Varianza de H	E	H <sub>max</sub>
Campeche	2158	34	2.02a	0.0009	0.57	3.53
Quintana Roo	2524	27	1.76b	0.0008	0.53	3.29
Yucatán	5987	34	1.71b	0.0003	0.48	3.53

Al comparar la abundancia por RB, se encontró que Ría Celestún presentó la abundancia de culícidos más alta con 3,608 individuos, seguida por Ría Lagartos, Sian Ka'an y Los Petenes con 2026, 1,161 y 1,100 individuos, respectivamente, mientras que la abundancia más baja se reportó en Calakmul con 515 individuos. En relación a la riqueza de especies (S), Calakmul registró la riqueza más alta con 29 especies, seguido de Sian ka'an, Ría Celestún y Ría Lagartos con 24, 24 y 20 especies, respectivamente, mientras que la riqueza más baja se registró en Los Petenes con 18 especies (Tabla 2).

**Tabla 2.** Abundancia, riqueza y diversidad de especies de culícidos en las Reservas de la Biósfera de la Península de Yucatán.

Reserva de la Biósfere	N	S	H	Varianza de H	E	H <sub>max</sub>
Calakmul	515	29	2.65a	0.0019	0.79	3.37
Sian Ka'an	1161	24	2.06b	0.0013	0.65	3.18
Ría Celestún	3608	24	1.52c	0.0005	0.48	3.18
Los Petenes	1100	18	1.44c	0.0013	0.50	2.89
Ría Lagartos	2026	20	1.35d	0.0008	0.45	2.99

En general para toda la Península de Yucatán se registraron 52 especies de culícidos, de las cuales se halló que 11 especies fueron muy abundantes (verde), 16 presentaron una abundancia intermedia (amarillo) y 25 estaban representadas sólo por unos pocos individuos (naranja), por lo que se consideraron como especies raras. De las especies comunes *Ochlerotatus taeniorhynchus* fue la más abundante y *Anopheles albimanus* la menos abundante. De las especies de abundancia intermedia *Aedes cozumelensis* fue la más abundante y *Ae. terreus* la de menor abundancia. En relación a las especies raras 8 de ellas estuvieron representadas por un solo individuo, en un solo estado, de éstas *Haemagogus equinus* fue la más abundante (Tabla 3).

**Tabla 3.** Especies de culícidos y su abundancia en los tres Estados de la Península de Yucatán. En naranja: especies raras; amarillo: especies de abundancia moderada; verdes: especies comunes.

Especie	Campeche	Quintana Roo	Yucatán	Total	Log N
<i>Culex tritidus</i>	0	0	1	1	0.00
<i>Mansonia indubitans</i>	1	0	0	1	0.00
<i>Mansonia titillans</i>	1	0	0	1	0.00
<i>Ochlerotatus quadrivittatus</i>	1	0	0	1	0.00
<i>Psorophora champerico</i>	0	1	0	1	0.00
<i>Psorophora confinnis</i>	0	0	1	1	0.00
<i>Trichoprosopon digitatum</i>	0	1	0	1	0.00
<i>Uranotaenia lowii</i>	0	0	1	1	0.00
<i>Anopheles apicimacula</i>	2	0	0	2	0.30
<i>Coquillettidia nigricans</i>	2	0	0	2	0.30
<i>Psorophora cilipes</i>	0	2	0	2	0.30
<i>Aedes tormentor</i>	0	0	3	3	0.48
<i>Anopheles punctipennis</i>	0	0	3	3	0.48
<i>Culex corniger</i>	2	0	2	4	0.60
<i>Culex corniger/lactator</i>	4	0	0	4	0.60
<i>Culex theobaldi</i>	0	4	0	4	0.60
<i>Psorophora ciliata</i>	2	0	2	4	0.60



<i>Culex erythrothorax</i>	0	0	5	5	0.70
<i>Ochlerotatus epactius</i>	6	0	0	6	0.78
<i>Toxorhynchites moctezuma</i>	1	3	2	6	0.78
<i>Psorophora lineata</i>	0	7	0	7	0.85
<i>Aedes bimaculatus</i>	1	0	7	8	0.90
<i>Ochlerotatus euplocamus</i>	0	8	0	8	0.90
<i>Sabethes chloropterus</i>	3	5	0	8	0.90
<i>Haemagogus equinus</i>	2	6	2	10	1.00
<i>Aedes terreus</i>	12	0	0	12	1.08
<i>Uranotaenia socialis</i>	16	0	0	16	1.20
<i>Ochlerotatus sollicitans</i>	0	0	17	17	1.23
<i>Psorophora albipes</i>	17	0	0	17	1.23
<i>Anopheles pseudopunctipennis</i>	0	0	20	20	1.30
<i>Culex interrogator</i>	0	0	25	25	1.40
<i>Wyeomyia celaenocephala</i>	8	22	0	30	1.48
<i>Mansonia dyari</i>	5	4	26	35	1.54
<i>Deinocerites cancer</i>	0	4	51	55	1.74
<i>Limatus durhamii</i>	39	19	1	59	1.77
<i>Psorophora cyanescens</i>	27	8	25	60	1.78
<i>Psorophora ferox</i>	37	21	2	60	1.78
<i>Culex erraticus</i>	7	59	7	73	1.86
<i>Ochlerotatus serratus</i>	50	2	22	74	1.87
<i>Anopheles vestitipennis</i>	27	17	32	76	1.88
<i>Aedes cozumelensis</i>	75	10	2	87	1.94
<i>Anopheles albimanus</i>	10	60	38	108	2.03
<i>Culex coronator</i>	72	0	54	126	2.10
<i>Ochlerotatus scapularis</i>	50	86	1	137	2.14
<i>Culex taeniopus</i>	25	0	132	157	2.20
<i>Aedes albopictus</i>	0	273	16	289	2.46
<i>Coquillettidia venezuelensis</i>	19	56	348	423	2.63
<i>Anopheles crucians</i>	2	0	488	490	2.69
<i>Culex quinquefasciatus</i>	222	124	151	497	2.70
<i>Culex nigripalpus</i>	21	26	599	646	2.81
<i>Aedes aegypti</i>	761	1284	742	2787	3.45
<i>Ochlerotatus taeniorhynchus</i>	628	412	3159	4199	3.62

En relación a la abundancia de *Ae. albopictus*, ésta especie fue registrada como una especie común con 289 individuos, sin embargo sólo estuvo presente en dos estados: Quintana Roo con 273 individuos, en donde ya había sido reportada desde 2012; y en Yucatán donde se colectaron 16 individuos y se reportó como nuevo registro para el estado. Adicionalmente se registró en el estado de Tabasco, también como nuevo registro.

7.2.- *Diversidad de especies.* Los valores de diversidad (H) por estados indican que la diversidad de especies fue significativamente mayor ( $P < 0.001$ ) en el estado de Campeche (2.02) comparado con los valores de Quintana Roo (1.76) y Yucatán (1.71), a pesar de que éste último estado presentó la abundancia mayor de

individuos (N), lo anterior se debe a que Campeche presentó la equitatividad (E; reparto de individuos entre las especies) más alta de los tres estados, además de una de las riquezas de especies (S) más alta (Tabla 1).

Al analizar la diversidad de especies por Reservas de la Biósfera (RB) se encontró que la reserva de Calakmul (que se localiza en el estado de Campeche) presentó el valor de diversidad significativamente más alto ( $P < 0.001$ ) con 2.65, seguido de Sian Ka'an con 2.06, mientras que Ría Celestún, Los Petenes y Ría Lagartos presentaron valores de 1.52, 1.44 y 1.35, respectivamente. Además Calakmul presentó la riqueza de especies más alta y el índice de equitatividad (E) mayor de todas las reservas (Tabla 2).

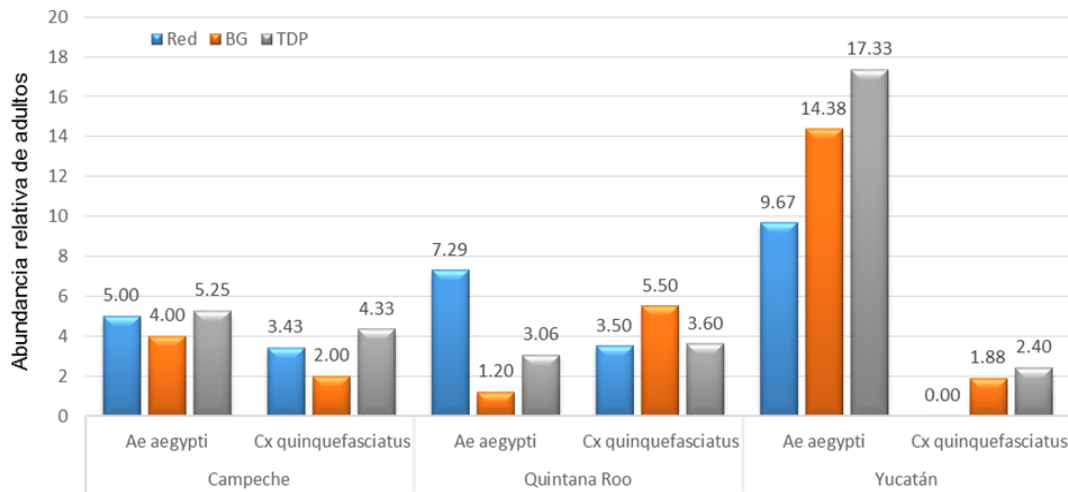
7.3.- *Abundancia relativa de Ae. aegypti en criaderos.* A lo largo del área de estudio se caracterizaron un total de 37 contenedores de agua o criaderos potenciales para *Ae. aegypti* y *Ae. albopictus*. De estos contenedores de agua en Campeche *Ae. aegypti* estuvo presente en 22 (59%) y de ellos en 6 (16%) presentó una abundancia de entre 1 a 10 estadios inmaduros por contenedor, mientras que en 16 (43%) presentó una abundancia de entre 11 a 100 larvas / contenedor. Para el estado de Quintana Roo *Ae. aegypti* estuvo presente en 21 (57%) tipos de contenedores de los cuales en el 13% (5) presentó una abundancia de 1 a 10 larvas / contenedor, en 30% (11) su abundancia fue de entre 11-100 larvas / contenedor y en el 13% restante (5 contenedores) obtuvo una abundancia mayor a 100 larvas/ contenedor. En el estado de Quintana Roo fue el único lugar en donde se encontraron larvas de *Ae. albopictus* en un bote de plástico ubicado en la localidad del Tulum. Para el estado de Yucatán se registraron 16 (43%) de los 37 contenedores caracterizados para la península, de éstos, 5 (13%) presentaron una abundancia de entre 1 a 10 larvas/ contenedor, 9 (24%) registraron una abundancia de entre 11 a 100 larvas / contenedor y 2 (5%) presentaron una abundancia mayor a 100 larvas/ contenedor.

**Tabla 4.** Abundancia relativa de larvas de *Ae. aegypti* en los diferentes criaderos registrados en la península de Yucatán.

Tipo de Contenedor	Estado		
	Campeche	Quintana Roo	Yucatán
Alberca plástico	Azul		
Bolsa plástico			Azul
Bote aluminio		Azul	
Bote metal	Azul		Azul
Bote plástico	Azul	Azul	
Botella plástico		Rosa	
Botella vidrio		Verde	
Bóveda cemento	Verde		
Copa de vidrio			Azul
Cubeta plástico	Azul	Rosa	Azul
Florero barro		Azul	Rosa
Florero cemento	Azul	Azul	Azul
Florero cerámica			Azul
Florero plástico		Azul	Rosa
Florero vidrio	Azul	Rosa	
Frasco plástico	Azul	Azul	Verde
Frasco vidrio	Azul		Verde
Garrafa plástico		Verde	Azul
Hueco árbol	Azul		
Jardinera cemento	Verde		Verde
Jarron barro	Verde		
Jarrón cemento	Verde		
Jarrón vidrio		Verde	
Jicara	Verde		
Kayak plástico		Azul	
Llanta	Azul	Azul	
Olla aluminio		Azul	
Pileta cemento			Azul
Plato unicel		Verde	
Tambo metálico			Verde
Tambo plástico	Azul	Rosa	Azul
Taza de baño	Azul		
Tinaja barro	Azul		
Tumba cemento		Rosa	
Vaso plástico	Azul	Verde	
Vaso unicel	Verde	Azul	Verde
Vaso vidrio	Azul	Azul	

Verde: 1-10 larvas/ contenedor; Azul: 11-100/ larvas/ contenedor y Rosa: > 100 larvas por contenedor.

7.4.- *Abundancia relativa de adultos de Ae. aegypti y Cx. quinquefasciatus.* En relación a la abundancia relativa se llevaron a cabo muestreos con tres métodos de colecta (dos tipos de trampas: BG y TDP; y una red entomológica: RED) (Fig. B). La abundancia de *Ae. aegypti* fue mayor en los tres métodos de colecta para el estado de Yucatán, mientras que *Cx. quinquefasciatus* presento una abundancia mayor para los tres métodos de colecta en el estado de Quintana Roo.



**Figura B.** Abundancia relativa de adultos de *Ae. aegypti* y *Cx. quinquefasciatus* capturados mediante redes entomológicas (Red); trampas centinela (BG); y trampa de doble pabellón (TDP).

7.5.- *Ocurrencia Geográfica.* En total se obtuvieron 3,458 ocurrencias únicas de 15 especies: *Ae. aegypti* (Fig1, N=2,305), *Ae. albopictus* (Fig2, N=78), *An. albimanus* (Fig3; N=195), *An. pseudopunctipennis* (Fig4; N=87), *An. vestitipennis* (Fig5; N=56), *Cq. venezuelensis* (Fig6, N=17), *Cx. coronator* (Fig7; N=103), *Cx. interrogator* (Fig8; N=32), *Cx. nigripalpus* (Fig9; N=71), *Cx. quinquefasciatus* (Fig10; N=378), *Hg. equinnus* (Fig11; N=18), *Ma. titilans* (Fig12; N=4), *Oc. taeniorhynchus* (Fig13; N=82), *Ps. confinnis* (Fig14; N=19), y *Sa. chloropterus* (Fig15; N=13) para los estados de Yucatán, Campeche, Quintana Roo, Tabasco y Chiapas.

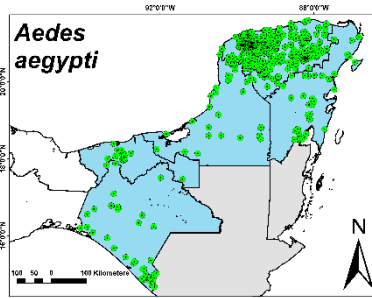


Fig 1. Puntos de ocurrencia *Ae. aegypti*

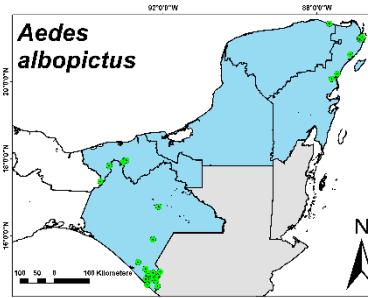


Fig 2. Puntos de ocurrencia *Ae. albopictus*

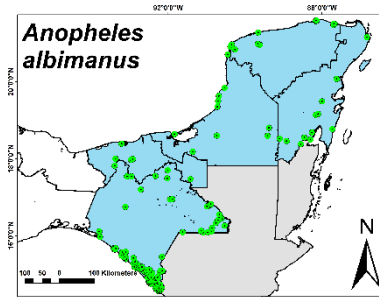


Fig 3. Puntos de ocurrencia *An. albimanus*

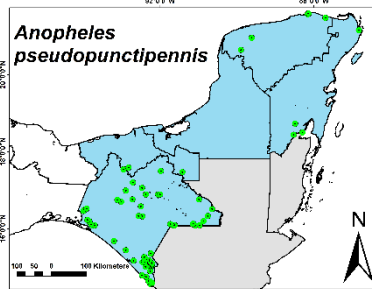


Fig 4. Puntos de ocurrencia *An. pseudopunctipennis*

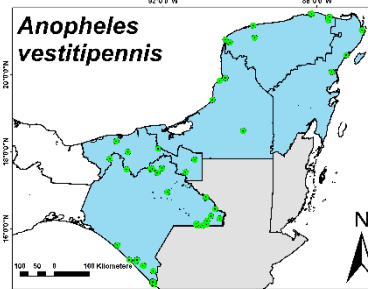


Fig 5. Puntos de ocurrencia *An. vestitipennis*

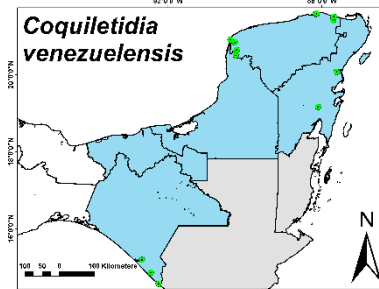


Fig 6. Puntos de ocurrencia *Cq. venezuelensis*

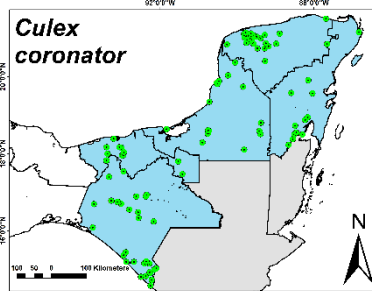


Fig 7. Puntos de ocurrencia *Cx. coronator*

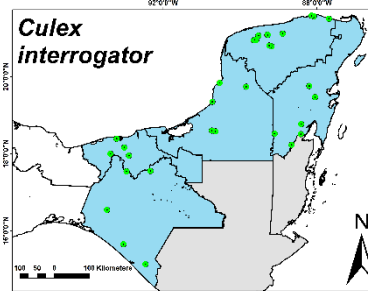


Fig 8. Puntos de ocurrencia *Cx. interrogator*

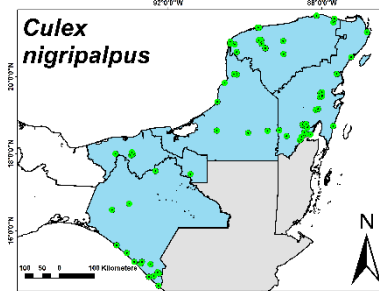


Fig 9. Puntos de ocurrencia *Cx. nigripalpus*

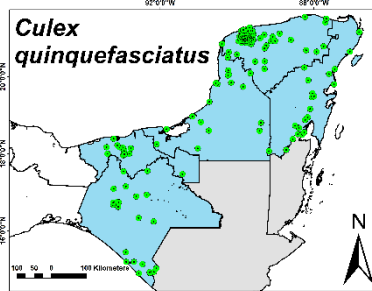


Fig 10. Puntos de ocurrencia *Cx. quinquefasciatus*

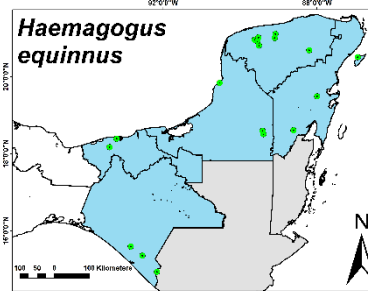


Fig 11. Puntos de ocurrencia *Hg. equinus*.

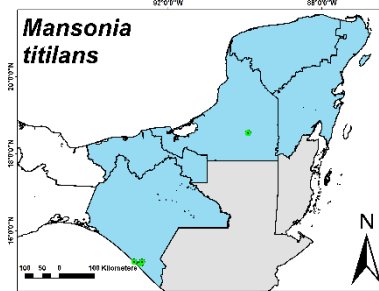


Fig 12. Puntos de ocurrencia *Ma. titilans*

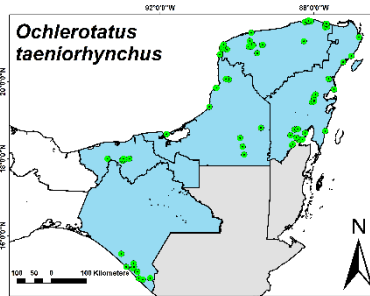


Fig 13. Puntos de ocurrencia *Oc. taeniorhynchus*

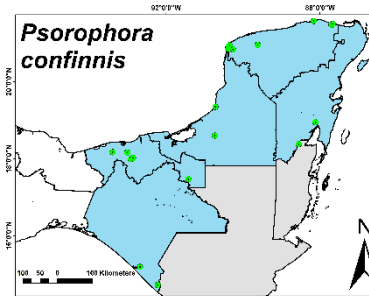


Fig 14. Puntos de ocurrencia *Ps. confinnis*

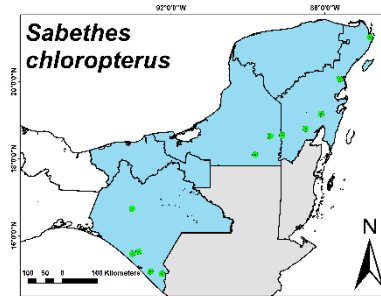


Fig 15. Puntos de ocurrencia *Sa. chloropterus*

### 7.6.- Área accesible M.

El área accesible M para *Ae aegypti*, no fue necesario debido a que este mosquito se distribuye en toda el área de interés, tanto por buffer como ecoregiones. El área accesible M utilizando las diferentes áreas de calibración (50km, 100km, 200km y ecoregiones) no presentó uniformidad para todas las especies (Fig16- Fig44). Por lo cual, dependiendo de la especie, se seleccionó el área de calibración (Tabla 5). Finalmente, tres especies utilizaron las ecoregiones, 11 especies utilizaron el buffer de 100km y una especie (*Ma. titilans*) no se pudo modelar por la cantidad de ocurrencias que presentaba (N=4).

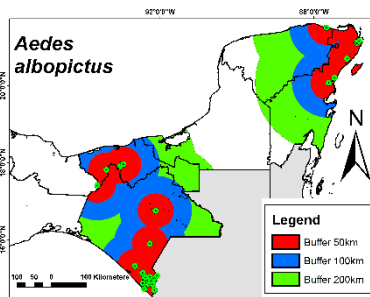


Fig 16. Buffer *Ae. albopictus*

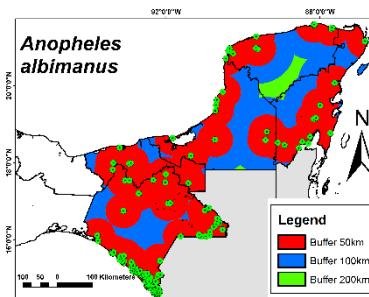


Fig 17. Buffer *An. albimanus*

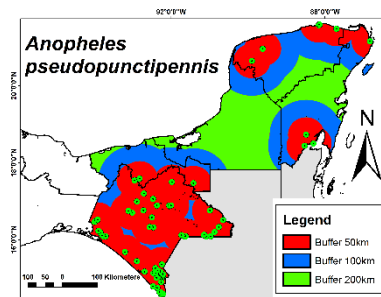


Fig 18. Buffer *An. pseudopunctipennis*

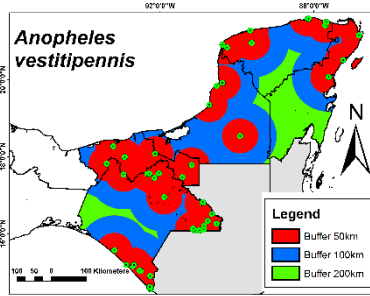


Fig 19. Buffer *An. vestitipennis*

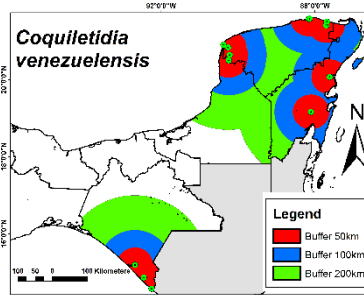


Fig 20. Buffer *Cq. venezuelensis*

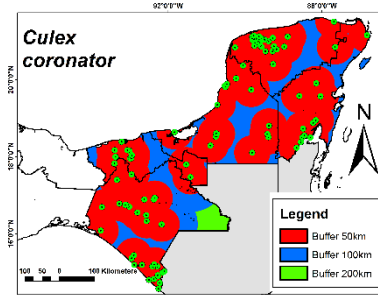


Fig 21. Buffer *Cx. coronator*

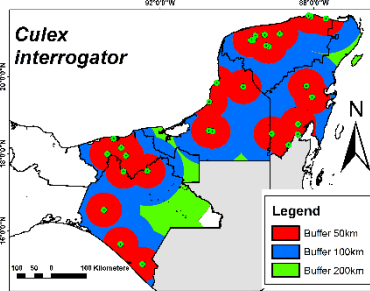


Fig 22. Buffer *Cx. interrogator*

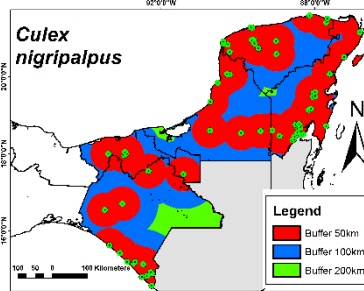


Fig 23. Buffer *Cx. nigripalpus*

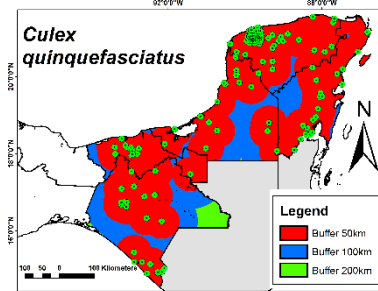


Fig 24. Buffer *Cx. quinquefasciatus*

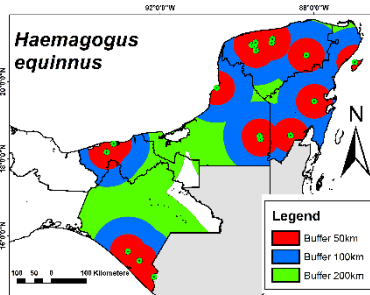


Fig 25. Buffer *Hg. equinus*

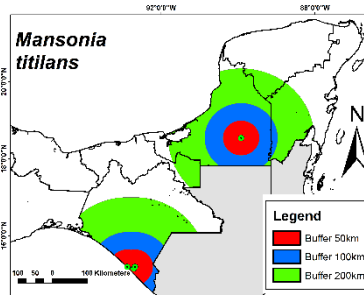


Fig 26. Buffer *Ma. titilans*

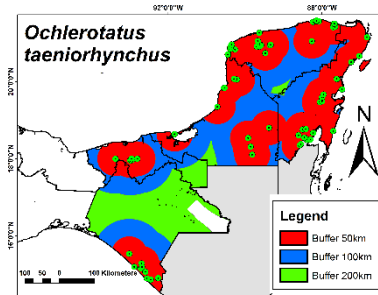


Fig 27. Buffer *Oc. taeniorhynchus*

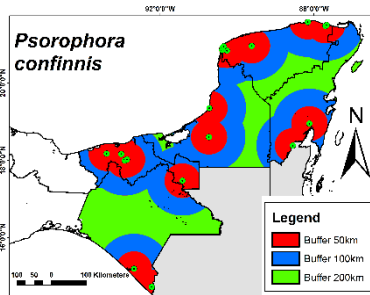


Fig 28. Buffer *Ps. confinnis*

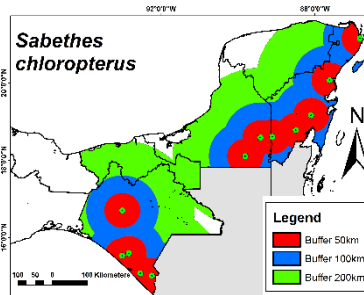


Fig 29. Buffer *Sa. chloropterus*

**Tabla 5.** Elección del área de calibración de 15 especies en el sureste mexicano.

ID	Especie	50km	100km	200km	Ecoregiones
----	---------	------	-------	-------	-------------

1	<i>Ae. aegypti</i>				✓
2	<i>Ae. albopictus</i>				✓
3	<i>An. albimanus</i>		✓		
4	<i>An. pseudopunctipennis</i>		✓		
5	<i>An. vestitipennis</i>		✓		
6	<i>Cq. venezuelensis</i>		✓		
7	<i>Cx. coronator</i>		✓		
8	<i>Cx. interrogator</i>		✓		
9	<i>Cx. nigripalpus</i>		✓		
10	<i>Cx. quinquefasciatus</i>				✓
11	<i>Hg. equinnus</i>		✓		
12	<i>Ma. titilans</i>	NA	NA	NA	NA
13	<i>Oc. taeniorhynchus</i>		✓		
14	<i>Ps. confinnis</i>		✓		
15	<i>Sa. chloropterus</i>		✓		

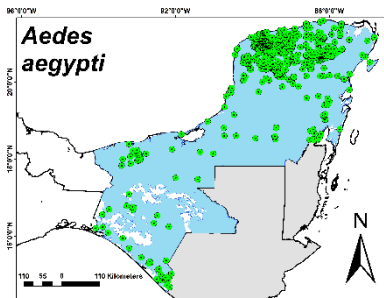


Fig 30. Ecoregiones *Ae. aegypti*

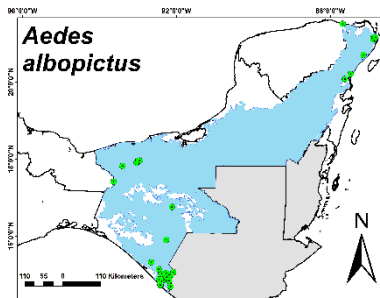


Fig 31. Ecoregiones *Ae. albopictus*

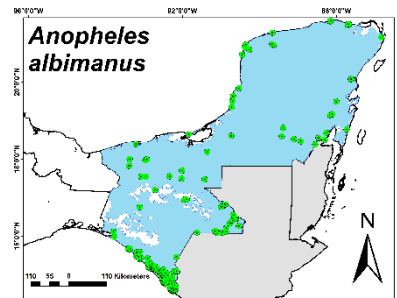


Fig 32. Ecoregiones *An. albimanus*

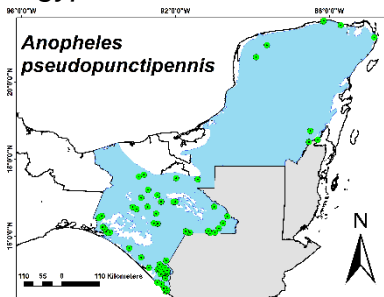


Fig 33. Ecoregiones *An. pseudopunctipennis*

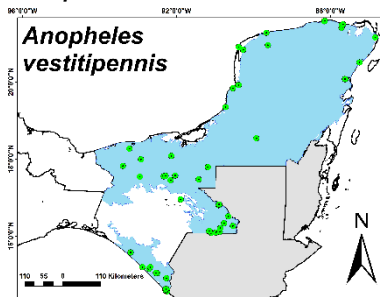


Fig 34. Ecoregiones *An. vestitipennis*

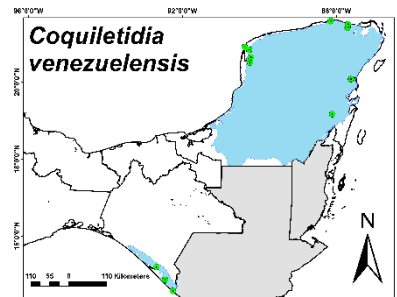


Fig 35. Ecoregiones *Cq. venezuelensis*



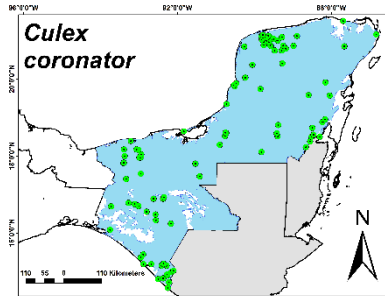


Fig 36. Ecoregiones *Cx. coronator*

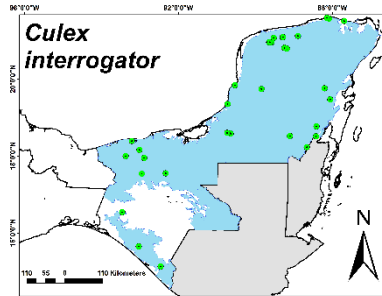


Fig 37. Ecoregiones *Cx. interrogator*

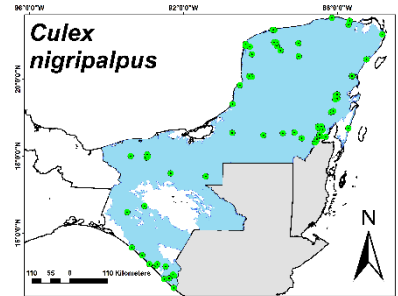


Fig 38. Ecoregiones *Cx. nigripalpus*

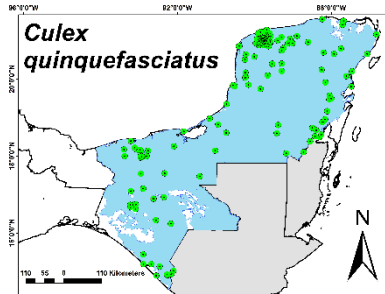


Fig 39. Ecoregiones *Cx. quinquefasciatus*

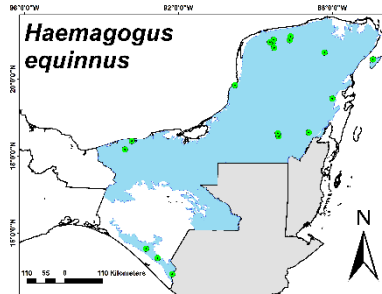


Fig 40. Ecoregiones *Hg. equinus*

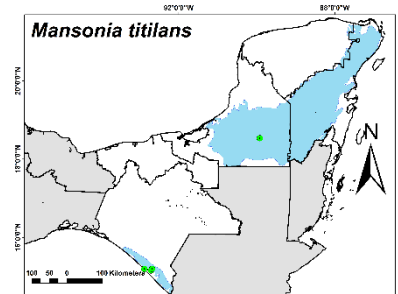


Fig 41. Ecoregiones *Ma. titilans*

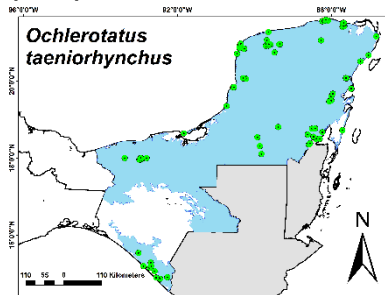


Fig 42. Ecoregiones *Oc. taeniorhynchus*

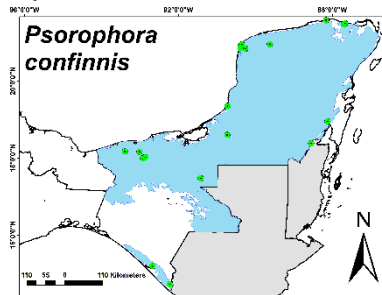


Fig 43. Ecoregiones *Ps. confinnis*

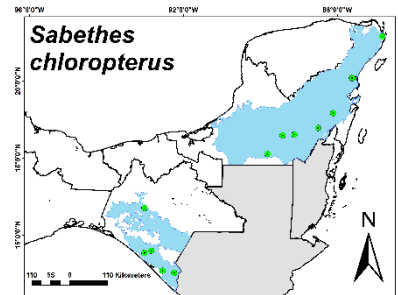


Fig 44. Ecoregiones *Sa. chloropterus*

### 7.7.- Modelos de nicho ecológico.

Los valores del partial-ROC de todos los modelos de nicho ecológico fueron significativos tanto para GARP como MaxEnt (Fig45). Aunque todos los valores fueron significativos, los valores de partial-ROC en MaxEnt presentaron un menor rango. Los modelos de nicho ecológico fueron diferentes en cada algoritmo: GARP (Fig46-59) o MaxEnt (Fig60-73).

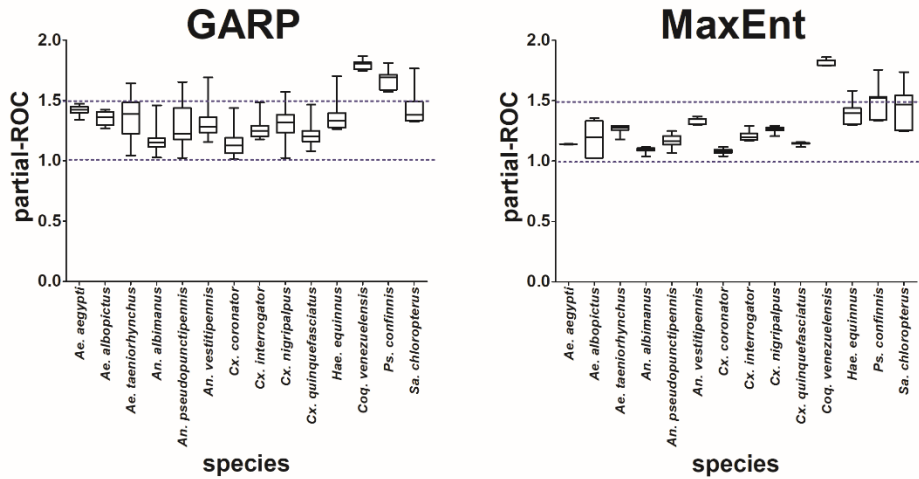


Fig 45. Partial-ROC para las 14 especies de importancia medica en el Sureste de México.

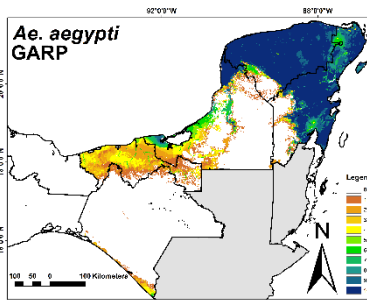


Fig 46. *Ae. aegypti* GARP

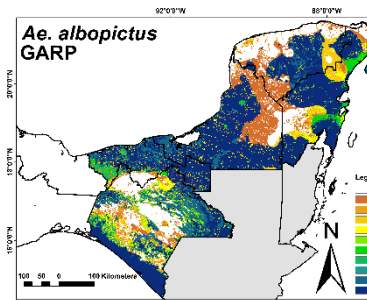


Fig 47. *Ae. albopictus* GARP

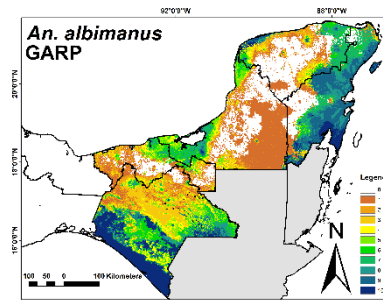


Fig 48. *An. albimanus* GARP

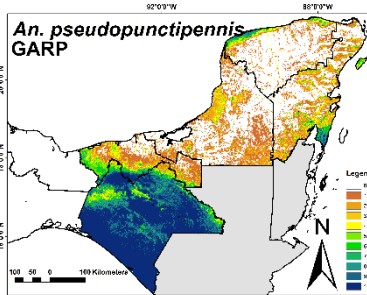


Fig 49. *An. pseudopunctipennis* GARP

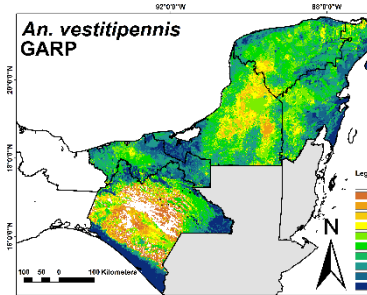


Fig 50. *An. vestitipennis* GARP

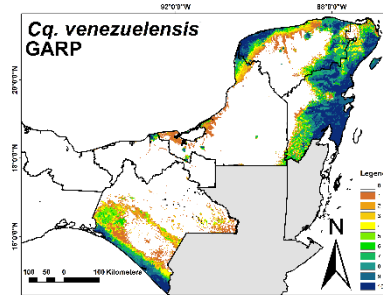


Fig 51. *Cq. venezuelensis* GARP

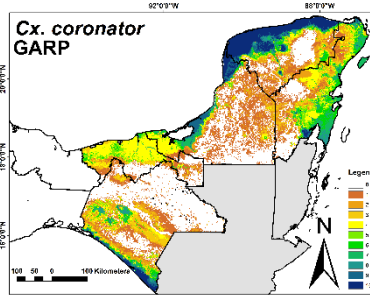


Fig 52. *Cx. coronator* GARP

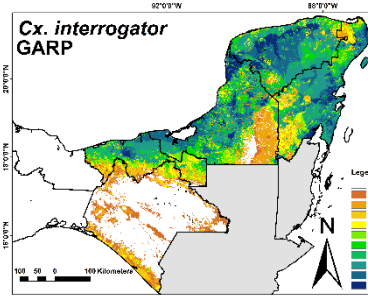


Fig 53. *Cx. interrogator* GARP

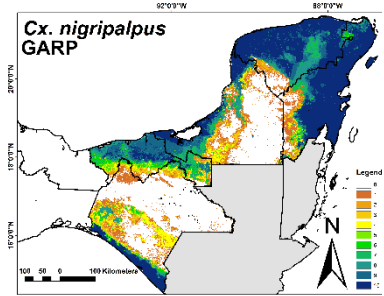


Fig 54. *Cx. nigripalpus* GARP

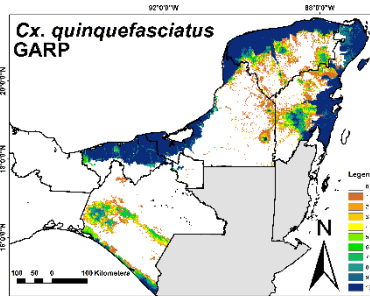


Fig 55. *Cx. quinquefasciatus* GARP

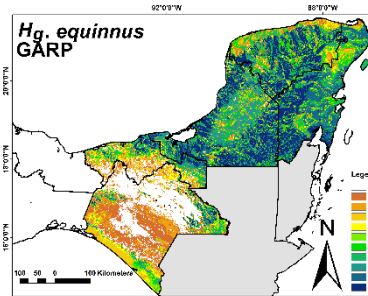


Fig 56. *Hg. equinnus* GARP

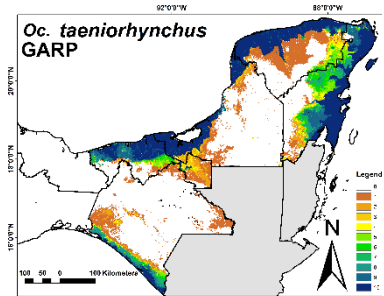


Fig 57. *Oc. taeniorhynchus* GARP

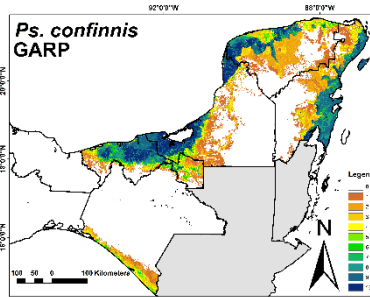


Fig 58. *Ps. confinnis* GARP

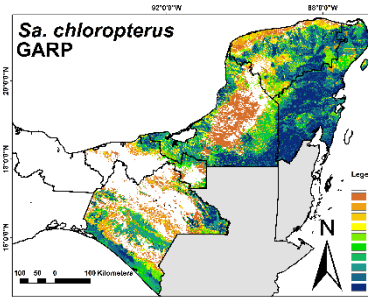


Fig 59. *Sa. chloropterus* GARP

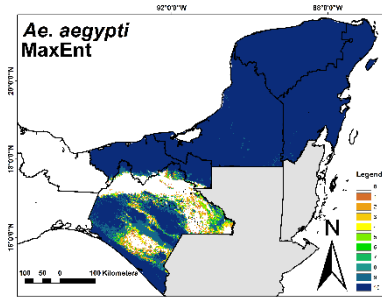


Fig 60. *Ae. aegypti* MaxEnt

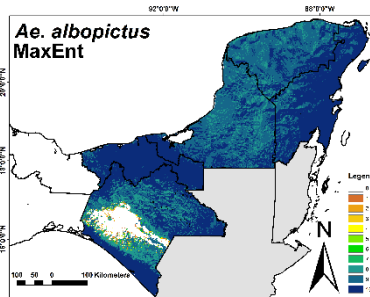


Fig 61. *Ae. albopictus* MaxEnt

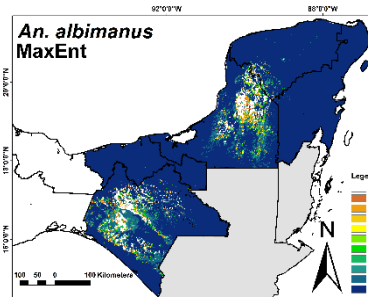


Fig 62. *An. albimanus* MaxEnt

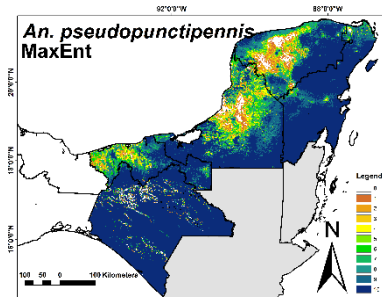


Fig 63. *An. pseudopunctipennis* MaxEnt

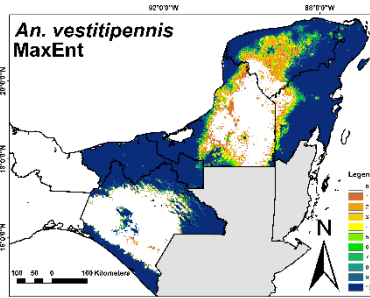


Fig 64. *An. vestitipennis* MaxEnt

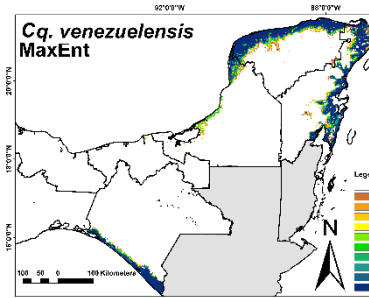


Fig 65. *Cq. venezuelensis* MaxEnt

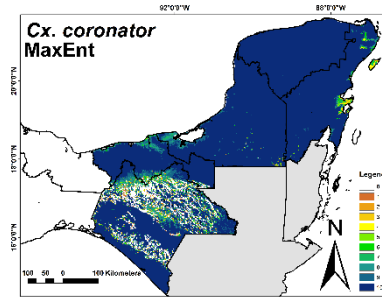


Fig 66. *Cx. coronator* MaxEnt

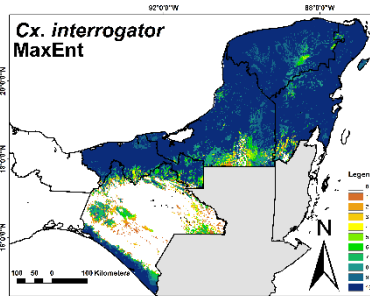


Fig 67. *Cx. interrogator* MaxEnt

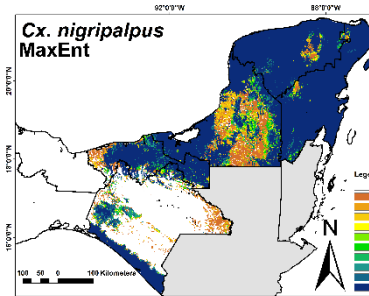


Fig 68. *Cx. nigripalpus* MaxEnt

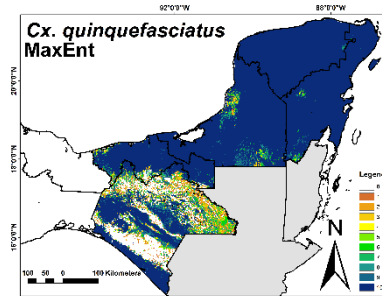


Fig 69. *Cx. quinquefasciatus* MaxEnt

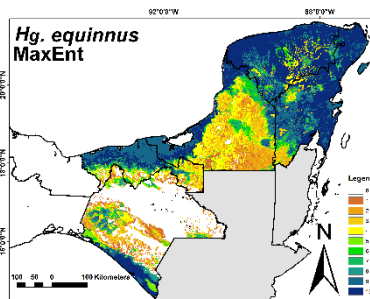


Fig 70. *Hg. equinus* MaxEnt

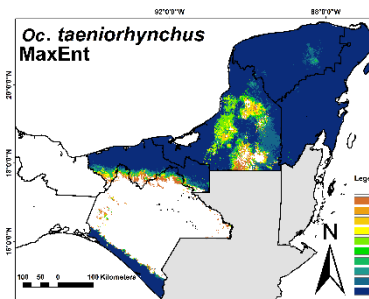


Fig 71. *Oc. taeniorhynchus* MaxEnt

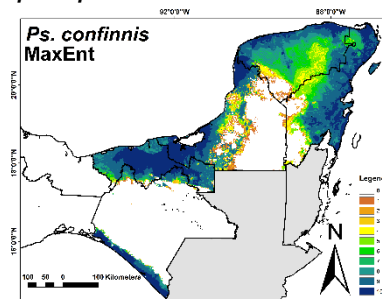


Fig 72. *Ps. confinnis* MaxEnt

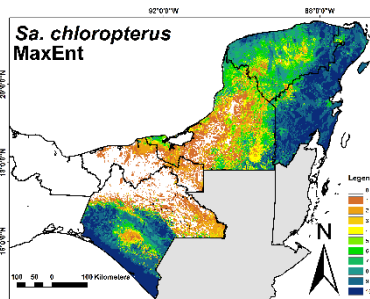


Fig 73. *Sa. chloropterus*

En general, los MNE presentaron una mayor cobertura en km<sup>2</sup> utilizando el algoritmo MaxEnt en comparación con GARP; a excepción de *An. vestitipennis* (Tabla 6; Fig51 y Fig65). El modelo combinado (GARP + MaxEnt) de *Ae. aegypti*,

se distribuye potencialmente en toda la Península de Yucatán, Tabasco y Chiapas a excepción de zona norte de Chiapas (Fig74). El modelo combinado (GARP + MaxEnt) de *Ae. albopictus* se distribuye en todo el territorio a excepción de la costa de Yucatán, región Pucc (unión de los tres estados de la PY) y Altos de Chiapas (Fig75). El modelo combinado (GARP + MaxEnt) de *Oc. taeniorhynchus* se distribuye en todas las costas de la PY, Tabasco y Chiapas (Fig76). El modelo combinado (GARP + MaxEnt) de *An. albimanus* en las costas de la PY, parte de Tabasco y gran parte de Chiapas (Fig77). El modelo combinado (GARP + MaxEnt) de *An. pseudopunctipennis* se distribuye en todo Chiapas y algunas regiones de la PY y Tabasco (Fig78). El modelo combinado (GARP + MaxEnt) de *An. vestitipennis* se distribuye en gran parte de la PY y los otros estados (Fig79). El modelo combinado (GARP + MaxEnt) de *Cq. venezuelensis* se distribuye en las costas de Chiapas, Yucatán y Quintana Roo (Fig80). El modelo combinado (GARP + MaxEnt) de *Cx. coronator* se distribuye principalmente en todas las costas del área de estudio (Fig81). El modelo combinado (GARP + MaxEnt) de *Cx. interrogator* se distribuye en gran parte de la PY, Tabasco y la costa de Chiapas (Fig82). El modelo combinado (GARP + MaxEnt) de *Cx. nigripalpus* se distribuye en gran parte de la PY, Tabasco y la costa de Chiapas (Fig83). El modelo combinado (GARP + MaxEnt) de *Cx. quinquefasciatus* se distribuye en toda el área de estudio (Fig84). El modelo combinado (GARP + MaxEnt) de *Hg. equinnus* se distribuye en toda la parte de la PY y la costa de Chiapas (Fig85). El modelo combinado (GARP + MaxEnt) de *Ps. confinnis* se distribuye en las costas de los estados del área de estudio (Fig86). El modelo combinado (GARP + MaxEnt) de *Sa. chloropterus* se distribuye en gran parte de la PY y Chiapas (Fig87).

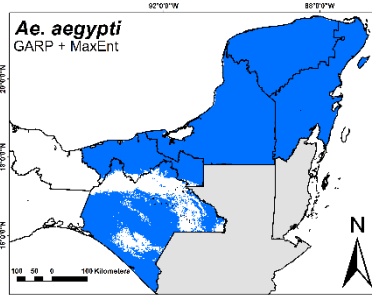


Fig 74. Modelo GARP + MaxEnt de *Ae. aegypti*

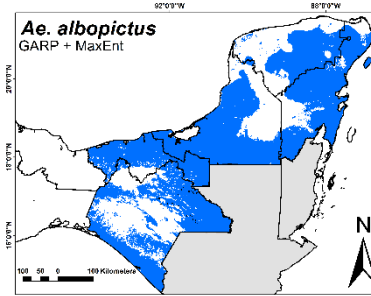


Fig 75. Modelo GARP + MaxEnt de *Ae. albopictus*

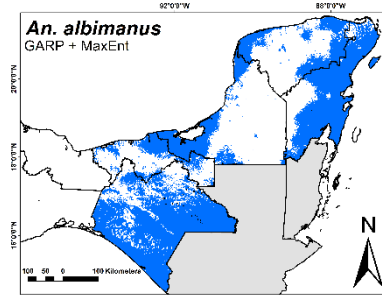


Fig 76. Modelo GARP + MaxEnt de *An. albimanus*

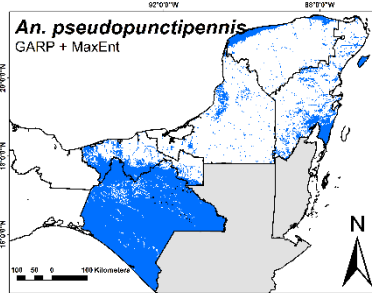


Fig 77. Modelo GARP + MaxEnt de *An. pseudopunctipennis*

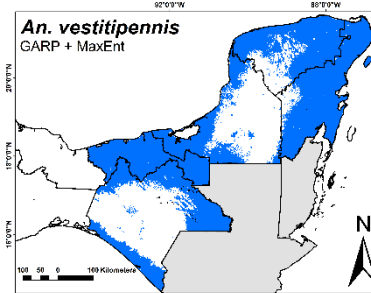


Fig 78. Modelo GARP + MaxEnt de *An. vestitipennis*

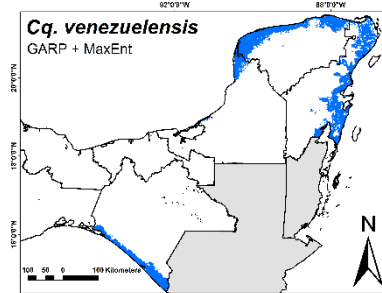


Fig 79. Modelo GARP + MaxEnt de *Cq. venezuelensis*

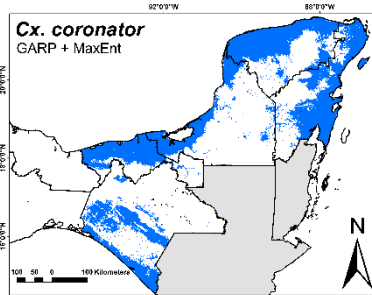


Fig 80. Modelo GARP + MaxEnt de *Cx. coronator*

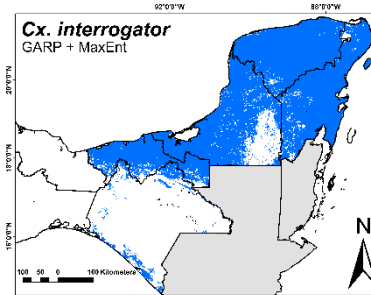


Fig 81. Modelo GARP + MaxEnt de *Cx. interrogator*

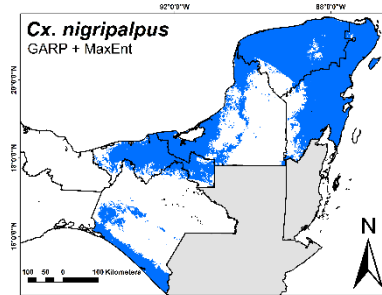


Fig 82. Modelo GARP + MaxEnt de *Cx. nigripalpus*

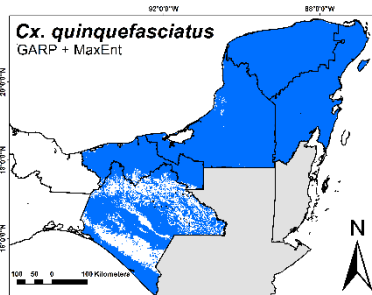


Fig 83. Modelo GARP + MaxEnt de *Cx. quinquefasciatus*

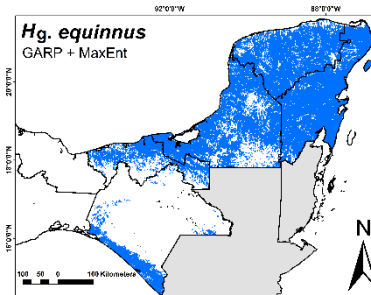


Fig 84. Modelo GARP + MaxEnt de *Hg. equinus*

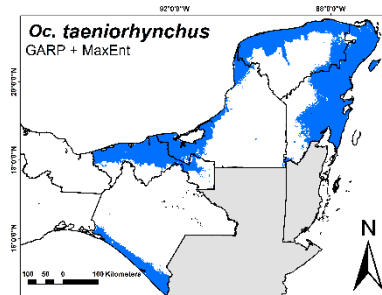


Fig 85. Modelo GARP + MaxEnt de *Oc. taeniorhynchus*

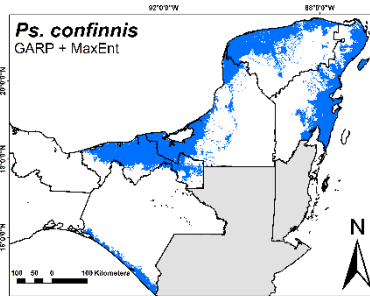


Fig 86. Modelo GARP + MaxEnt de *Ps. confinnis*

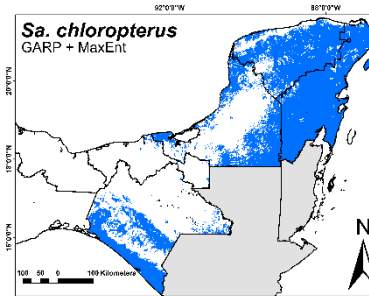


Fig 87. Modelo GARP + MaxEnt de *Sa. chloropterus*

**Tabla 6.** Cobertura en km<sup>2</sup> de la distribución potencial de 15 especies en el sureste mexicano.

ID	Especie	GARP	MaxEnt	GARP + MaxEnt
1	<i>Ae. aegypti</i>	78,312	178,031	178,031
2	<i>Ae. albopictus</i>	137,918	190,161	133,900
3	<i>An. albimanus</i>	110,888	188,339	106,148
4	<i>An. pseudopunctipennis</i>	84,609	185,943	80,195
5	<i>An. vestitipennis</i>	178,756	125,113	123,349
6	<i>Cq. venezuelensis</i>	565,52	25,340	22,357
7	<i>Cx. coronator</i>	77,702	186,529	77,237
8	<i>Cx. interrogator</i>	128,150	153,459	128,150
9	<i>Cx. nigripalpus</i>	110,993	136,934	10,2216
10	<i>Cx. quinquefasciatus</i>	63,678	176,197	176,197
11	<i>Hg. equinnus</i>	138,859	142,218	118,421
12	<i>Ma. titilans</i>	-----	-----	-----
13	<i>Oc. taeniorhynchus</i>	66,509	139,844	66,015
14	<i>Ps. confinnis</i>	55,238	109,498	55,133
15	<i>Sa. chloropterus</i>	119,232	129,927	98,844



## 7.8.- MNE en las Reservas de la Biósfera de la Península de Yucatán.

No todos los MNE de las 14 especies de mosquitos se distribuyen en las cinco Reservas de la Biósfera (RB). Los mosquitos *Ae. aegypti*, *An. pseudopunctipennis*, *Cx. interrogator*, *Cx. quinquefasciatus*, *Hg. equinnus* y *Sa. chloropterus* se distribuyen en las cinco RB; mientras que *Ae. albopictus* se distribuye solamente en la parte sur de Sian Ka'an. Los mosquitos *An. albimanus*, *An. vestitipennis*, *Cq. venezuelensis*, *Cx. coronator*, *Cx. nigripalpus*, *Oc. taeniorhynchus*, *Ps. confinnis* se distribuyen en todas las RB a excepción de Calakmul (Fig88-101).

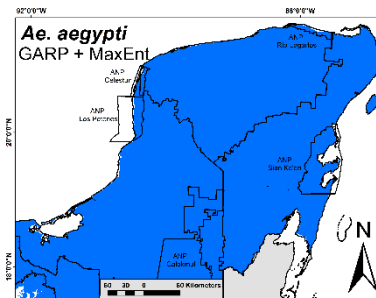


Fig 88. Modelo combinado de *Ae. aegypti* en ANPs

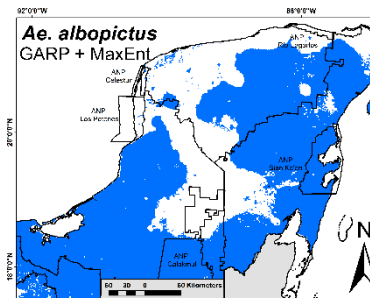


Fig 89. Modelo combinado de *Ae. albopictus* en ANPs

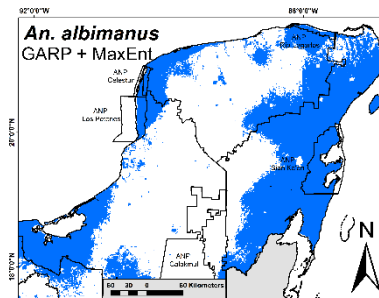


Fig 90. Modelo combinado de *An. albimanus* en ANPs

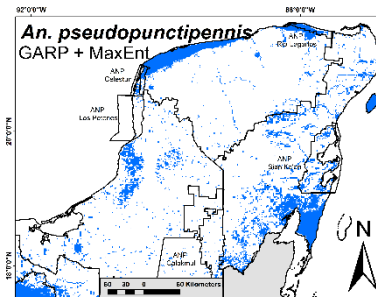


Fig 91. Modelo combinado de *An. pseudopunctipennis* en ANPs

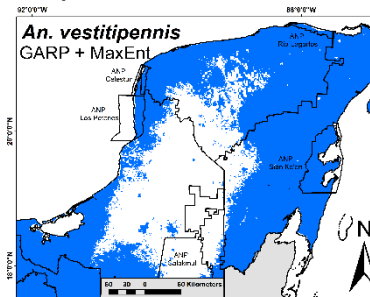


Fig 92. Modelo combinado de *An. vestitipennis* en ANPs

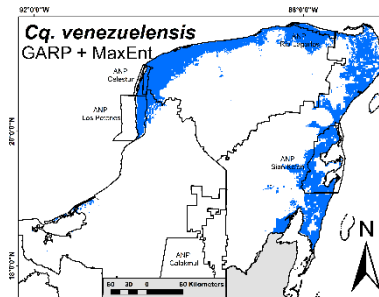


Fig 93. Modelo combinado de *Cq. venezuelensis* en ANPs



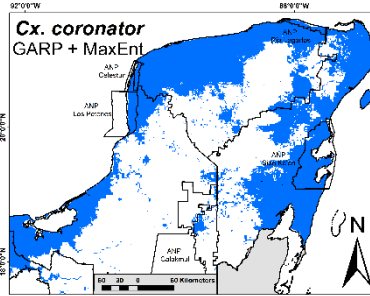


Fig 94. Modelo combinado de *Cx. coronator* en ANPs

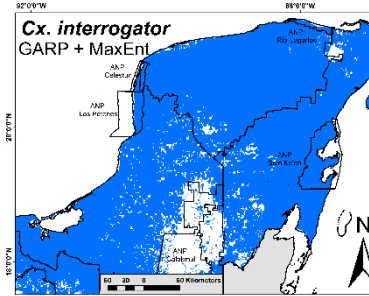


Fig 95. Modelo combinado de *Cx. interrogator* en ANPs

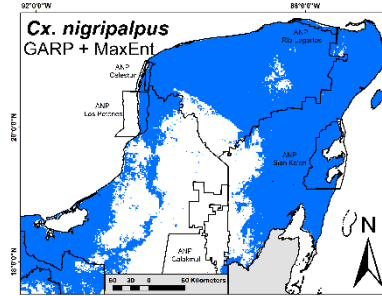


Fig 96. Modelo combinado de *Cx. nigripalpus* en ANPs

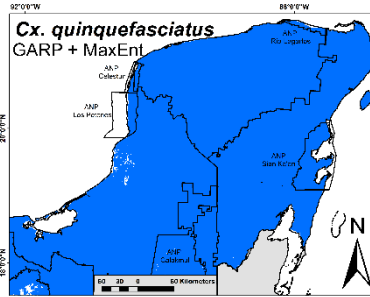


Fig 97. Modelo combinado de *Cx. quinquefasciatus* en ANPs

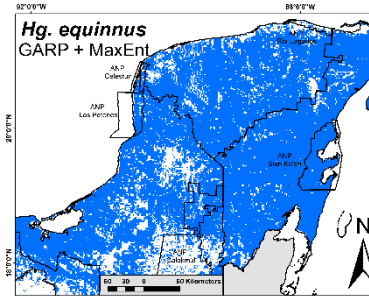


Fig 98. Modelo combinado de *Hg. equinnus* en ANPs

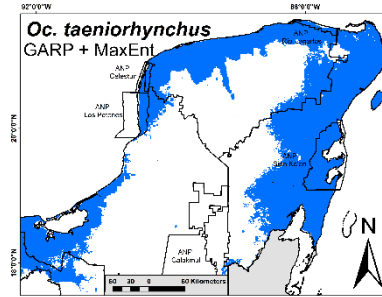


Fig 99. Modelo combinado de *Oc. taeniorhynchus* en ANPs

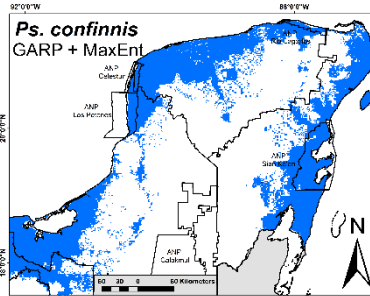


Fig 100. Modelo combinado de *Ps. confinnis* en ANPs

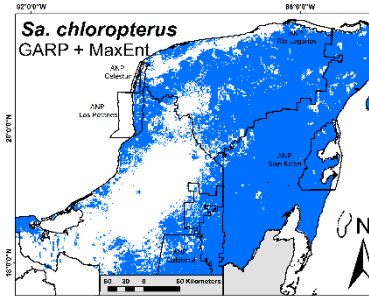


Fig 101. Modelo combinado de *Sa. chloropterus* en ANPs

### 7.9.- Análisis el riesgo por contacto de la población rural y urbana de *Ae. albopictus* en la Península de Yucatán, Chiapas y Tabasco.

El riesgo por contacto de la transmisión de los mosquitos es diferente dependiendo de la población en riesgo (rural o urbana). Los mosquitos *Ae. aegypti*, *Cx. coronator*, *Cx. interrogator*, *Cx. nigripalpus*, *Cx. quinquefasciatus*, *Hg. equinnus*, *Oc. taeniorhynchus*, *Ps. confinnis* y *Sa. chloropterus* afecta principalmente a la

población urbana; en comparación con *Ae. albopictus*, *An. albimanus*, *An. pseudopunctipennis*, *An. vestitipennis* y *Cq. venezuelensis* que afecta principalmente a la población rural (Tabla 7).

**Tabla 7.** Población que se encuentra en riesgos de contacto de la distribución potencial de 15 especies en el sureste mexicano.

ID	Especie	Riesgo de la Población Urbana	Riesgo de la Población Rural	Población Urbana Total	Población Rural Total
1	<i>Ae. aegypti</i>	4,696,591	4,634,915	4,829,467	5,603,084
2	<i>Ae. albopictus</i>	2,559,945	3,640,717	4,829,467	5,603,084
3	<i>An. albimanus</i>	2,020,994	3,105,839	4,829,467	5,603,084
4	<i>An. pseudopunctipennis</i>	1,801,493	3,550,100	4,829,467	5,603,084
5	<i>An. vestitipennis</i>	3,339,336	3,346,661	4,829,467	5,603,084
6	<i>Cq. venezuelensis</i>	384,958	430,843	4,829,467	5,603,084
7	<i>Cx. coronator</i>	3,827,901	2,582,422	4,829,467	5,603,084
8	<i>Cx. interrogator</i>	3,203,067	2,622,246	4,829,467	5,603,084
9	<i>Cx. nigripalpus</i>	4,045,775	2,792,506	4,829,467	5,603,084
10	<i>Cx. quinquefasciatus</i>	4,724,946	4,645,648	4,829,467	5,603,084
11	<i>Hg. equinnus</i>	2,749,384	2,392,381	4,829,467	5,603,084
12	<i>Ma. titilans</i>	-----	-----	-----	-----
13	<i>Oc. taeniorhynchus</i>	2,887,474	1,983,547	4,829,467	5,603,084
14	<i>Ps. confinnis</i>	2,663,130	1,704,778	4,829,467	5,603,084
15	<i>Sa. chloropterus</i>	2,674,494	1,808,325	4,829,467	5,603,084

Actualizar de las fichas del análisis de riesgo de la invasión biológica de *Ae. aegypti* y *Ae. albopictus*. Se actualizaron las fichas técnicas del análisis de riesgos en base al MERI para dos especies de importancia medica en México: *Aedes aegypti* (Anexo 1) y *Aedes albopictus* (Anexo 2).

## 8.- DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES

En base a los resultados obtenidos en el presente proyecto en función de la ocurrencia geográfica (registros de presencia) y los análisis de distribución potencial (MNE) podemos confirmar la invasión biológica de *Ae. albopictus* en dos estados de la Península de Yucatán (PY), Quintana Roo y Yucatán; sin embargo, aunque los MNE predicen en base a los requerimientos básicos de esta especie su distribución potencial en toda la PY, la especie no fue registrada en el estado de Campeche. Por lo que su distribución se restringe a la región noreste de la PY.

En relación a sus antecedentes en México, el primer reporte de *Ae. albopictus* en México fue 1988 en las localidades de Matamoros (Tamaulipas) y Piedras Negras (Coahuila) (Martínez-Muños 1995), después en 1993 en el estado de Coahuila (Ibáñez-Bernal & Martínez-Campos 1994), posteriormente, en Nuevo León, Tamaulipas y Veracruz (Rodríguez-Tovar & Ortega-Martínez 1994; Ibáñez-Bernal et al. 1997). En 2002, fue colectado en la frontera sur (Tapachula, Chiapas) (Casas-Martínez & Torres-Estrada 2003). En el 2010, fue reportado en Morelos (Villegas-Trejo et al. 2010), para el 2012 en Quintana Roo (Salomón-Grajales et al. 2012), y en 2015, en los estados de Hidalgo, San Luis Potosí y Sinaloa (Torres-Avendaño et al. 2015; Ortega-Morales & Siller-Rodríguez 2016; Ortega-Morales et al. 2016). Actualmente, su presencia ha sido reportada en 13 estados (Chiapas, Coahuila, Hidalgo, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Tamaulipas y Veracruz) (Torres-Avendaño et al. 2015; Pech-May et al. 2016). Durante el desarrollo del presente estudio se reconfirmó la presencia de *Ae. albopictus* en Cancún, Quintana Roo (Salomón-Grajales et al., 2012), además de reportar por primera vez su presencia en dos localidades más de éste mismo estado (Múyil y Tulúm). Así mismo, como parte de los productos del presente estudio, se reporta el primer registro de ésta especie en Yucatán (El Cuyo) y adicionalmente Tabasco (Huimanguillo y Villahermosa) (Ortega-Morales et al., 2018).

Durante el desarrollo del presente estudio se colectaron un total de 15 géneros y 52 especies de mosquitos de la familia Culicidae para la Península de Yucatán, lo que representa el 83% de los géneros y 21% de las especies registrados para México (18 géneros y 247 especies; Ibañez-Bernal et al., 1996), aunque nuestra riqueza de géneros y especies representan el 36.6% de los géneros y el 1.42% de las especies de lo reportado a nivel mundial (41 géneros y 3668 especies) (WRBU, 2001). El análisis por estados indica que durante el presente estudio, para el estado de Yucatán se registraron 12 géneros y 34 especies, mientras que Ibañez-Bernal y col. (1996) reportaron para éste estado 14 géneros y 45 especies. Para el estado de Quintana Roo se registraron 15 géneros y 27 especies, dos géneros más y 14 especies menos de lo reportado por Ortega-Morales et al. (2010) (13 géneros y 41 especies). Para el estado de Campeche se registraron 13 géneros y 34 especies, sin embargo no existe literatura reciente de culícidos para este estado, pero Ibañez-Bernal et al. (1996) reportan 61 especies para éste estado.

La diversidad de especies de culícidos de importancia médica fue mayor en el estado de Campeche, lo cual coincide con el análisis por RB, ya que Calakmul se encuentra en éste estado y obtuvo el valor de diversidad más alto.

Las especies de mayor ocurrencia en la Península de Yucatán fueron *Ae. aegypti*, *An. albimanus*, *Cx coronator* y *Cx. quinquefasciatus*, mientras que las especies de menor ocurrencia fueron *Ae. albopictus*, *An. pseudopunctipennis*, *Sa. chloropterus* y *Ma. titilans*. Con relación a las especies de menor ocurrencia, durante el presente estudio se colectaron dos individuos más representados por una sola especie cada uno, *Psorophora cilipes* y *Culex theobaldi*, estos mosquitos no fueron incluidos en los análisis del presente estudio, pero representan el primer registro de estas especies para el estado de Quintana Roo, por lo que se reportaron en una nota científica como un producto más del presente proyecto.

Se elaboraron MNE de 14 especies de culícidos de importancia médica utilizando los algoritmos GARP, MaxEnt y combinado (GARP + MaxEnt). De

acuerdo a la prueba partial-ROC, los 14 MNE fueron significativos para todas las especies.

En virtud de que la presencia de *Ae. albopictus* fue registrada únicamente en cuatro localidades de la PY, para los MNE se tomaron referencias de ocurrencia adicionales de los estados de Tabasco y Chiapas para poder determinar la distribución potencial de ésta especie en la zona de estudio mediante un MNE. De acuerdo a los MNE usando algoritmos GARP y combinado (GARP + MaxEnt), *Ae. albopictus* tiene el potencial de dispersarse por casi toda el área de estudio, con excepción de la costa de Yucatán y el área de los vértices donde ocurren los tres estados; sin embargo, a la fecha *Ae. albopictus* sólo ha sido encontrado en áreas urbanas y rurales de Quintana Roo y Yucatán al noreste de la PY.

De acuerdo a los modelos combinados GARP + MaxEnt para la Península de Yucatán *Ae. albopictus* presentó una cobertura de distribución potencial de 133,900 km<sup>2</sup>, mientras que *Ae. aegypti* presentó una distribución potencial de 178,031 km<sup>2</sup> y *Cx. quinquefasciatus* 176,197 Km<sup>2</sup>.

En relación al riesgo de transmisión por la presencia del mosquito *Ae. aegypti* se encontró que ésta especie afecta principalmente a la población urbana (97.25%); en comparación con *Ae. albopictus* que afecta con mayor frecuencia a la población rural (64.98%).

De acuerdo a las predicciones de los MNE el mosquito *Ae. aegypti* tiene el potencial de distribuirse en las cinco RB, en comparación de *Ae. albopictus* que potencialmente podría distribuirse en Ría Lagartos, Ría Celestún, Los Petenes y Sian Ka'an. Estos resultados coinciden con el hecho de que *Ae. albopictus* no fue registrado en el estado de Campeche donde se encuentra la RB de Calakmul.

En base a los resultados obtenidos y bajo las condiciones del presente estudio confirmamos la presencia de *Ae. albopictus* en el noreste de la Península de

Yucatán. Campeche es el único estado donde a la fecha no se ha reportado la presencia de esta especie. Sin embargo, la invasión de este mosquito a Campeche es inminente debido a que no existe un programa de vigilancia entomológica, ni un plan de manejo para *Ae. albopictus*. Una propuesta de manejo integrado sería lo más recomendable para el control de sus poblaciones, dicha propuesta debe incluir: a) vigilancia, b) reducción de criaderos, c) control biológico y químico con larvicidas y adulticidas; y d) Educación para la salud (WHO, 2012).

## **9.- PROPUESTA DE MANEJO DE Aedes ALBOPICTUS.**

### *Distribución geográfica de Aedes albopictus en la Península de Yucatán.*

Al finalizar los recorridos de muestreo entomológico en el área de estudio, se concluyó que la distribución geográfica de *Ae. albopictus* está restringida. Únicamente se encontró en tres localidades (Cancún, Tulum y Muyil) en el estado de Quintana Roo y en una localidad (El Cuyo) en el estado de Yucatán. Adicionalmente, la especie fue colectada en la ciudad de Villahermosa y Huimanguillo en el estado de Tabasco.

Ante esta situación, la contención de la invasión biológica del mosquito tigre asiático requiere de una participación intersecretarial (SSA, SEMARNAT y SCT) a nivel regional para la implementación de un plan de manejo integrado que lleve a lograr el éxito esperado.

### *Estrategias de prevención.*

*Aedes albopictus* se ha introducido a nuevas regiones geográficas principalmente a través de numerosas actividades humanas, dentro de las que

destacan el comercio internacional de llantas usadas y plantas vivas (bambú). Una vez que *Ae. albopictus* se establece en un área fuera de su rango de origen, es difícil de erradicar, por lo tanto, se requiere de un sistema de vigilancia entomológica permanente, así como, estrategias de control integradas y apropiadas para su contención y control (Bonizzoni, et al., 2013). Al respecto, es necesario establecer un programa de monitoreo para *Ae. albopictus* mediante el uso de ovitrampas y un eficiente tratamiento de desinsectación en los principales puntos de acceso y rutas de transportación de llantas usadas, así como la inspección rutinaria de los contenedores de agua estancada en los patios y viviendas. Por otra parte, la participación de la comunidad es un factor muy importante en la dispersión del mosquito tigre asiático, por tal motivo, se deben llevar a cabo programas de promoción de la salud para la difusión, concientización e implementación de buenas prácticas comunitarias que ayuden a prevenir la introducción y/o dispersión de *Ae. albopictus* a áreas no colonizadas.

#### *Estrategias de Control.*

Las estrategias de control para *Aedes albopictus* se clasifican en manejo ambiental, control químico y control biológico (WHO, 2018).

*Manejo Ambiental* incluye cambios en el entorno para prevenir y/o minimizar el contacto vector-humano, se basa en la eliminación, alteración o reciclado de contenedores de agua naturales y artificiales que proporcionan un hábitat para la cría de estos mosquitos. Estas medidas de control se dividen en: modificación ambiental, manipulación ambiental y cambios en las habitaciones y comportamiento humano . La modificación ambiental incluye las transformaciones físicas a largo

plazo para reducir los hábitats larvarios del vector; incluye el suministro de agua en tuberías para evitar el almacenamiento de agua en contenedores artificiales. La manipulación ambiental consiste en cambios temporales en los hábitats del vector que implica el manejo de contenedores “esenciales”, mediante su vaciado, limpieza y tallado para evitar la proliferación de mosquitos, así como proteger los neumáticos y otros contenedores del llenado por la lluvia, reciclaje o eliminación adecuada. Cambios en la habitación y comportamiento humano implica acciones para reducir el contacto vector-humano, como la instalación de mosquiteros en ventanas, puertas y otros puntos de entrada, así como el uso de mosquiteros para dormir durante el día.

*Control Químico* incluye el uso de larvicidas y adulticidas. Aunque éstos son comúnmente utilizados en las campañas de control de *Ae. aegypti*, su uso debe ser considerado como una medida complementaria al manejo ambiental y sólo se recomienda su aplicación en casos de fuertes epidemias. Sin embargo, los larvicidas pueden ser ineficientes para controlar criaderos naturales difíciles de alcanzar, como las axilas de las hojas, los agujeros de los árboles o en pozos profundos, que son hábitats larvarios comunes de *Ae. albopictus*. El larvicida usado en salud pública es el Abate® (Temefos 1%; a 1 ppm), sin embargo, dicho larvicida presenta problemas de resistencia en las poblaciones de estadios inmaduros de mosquitos. Los métodos de control químico para vectores adultos tienen por objeto reducir la densidad y la longevidad de los mosquitos; se aplican como tratamientos de superficies con efecto residual o como tratamientos espaciales. Para el control de *Ae. aegypti* se emplean piretroides, sin embargo éstos han generado el



desarrollo de mecanismos de resistencia, además de producir daños adversos al ambiente y a la salud de la población humana.

*Control biológico* se basa en la introducción de organismos (o sus derivados), que depreden, parasiten o compitan con la especie que se pretenden controlar para reducir sus poblaciones.

Para el caso de *Ae. albopictus* se sugiere el uso de los larvicidas biológicos tales como *Bacillus thuringiensis var israelensis* (1 gr por cada 200L) o Spinosad (1 ml por cada 500L) (Bond, et al., 2004) aplicado en el medio acuático.

Una alternativa de manejo costo-efectiva para *Ae. albopictus* es la técnica de insecto estéril (TIE), un método de control biológico de plagas basado en liberaciones de machos estériles en un área amplia para reducir la reproducción en una población de campo de la misma especie. La TIE se ha empleado en todo el mundo como parte de los programas de manejo integrado de plagas en los últimos 60 años para prevenir, contener, reducir o eliminar el establecimiento de plagas de insectos de importancia agronómica, veterinaria y médica (Lees et al., 2015; Balestrino 2017). Para su implementación contra *Ae. albopictus*, se tiene que llevar a cabo un monitoreo previo (línea base) de la dinámica poblacional de éste mosquito antes, durante y posterior a la intervención de control con la TIE. Posteriormente, establecer una colonia para su cría masiva que provenga localidades de la región que va a ser tratada. Producir, esterilizar y liberar una gran cantidad de machos (de acuerdo al tamaño de las poblaciones naturales) para inundar en proporción 10:1 a las poblaciones silvestres y poder suprimirlas.

Para el control efectivo de las poblaciones de *Ae. albopictus* se requiere del manejo integrado con las estrategias descritas anteriormente, con el propósito de garantizar un control efectivo de las poblaciones de la especie blanco y prevenir su dispersión a nuevos hábitats. Sin embargo, un programa de manejo integrado para *Ae. albopictus* requiere del esfuerzo conjunto de las autoridades de salud y los habitantes de las localidades para poder incidir en la supresión y control de las poblaciones de éste mosquito.

## **10.- AGRADECIMIENTOS PROYECTO LI040 PENÍNSULA DE YUCATÁN**

Al personal técnico del CRISP, J. de B. Miguel Muñoz Reyes, Aux. de Lab. y Bio. José Luis Aguilar Rodríguez, Aux. de Lab. y Bio. Martín Vázquez Castillo; J. de B. Eufonio Díaz Espinosa y M. en C. Rafael Ángel Avendaño Rabiella, por su valiosa y experimentada participación en las colectas entomológicas de mosquitos.

A la Dra. Ma. Mercedes Castillo, ECOSUR Unidad Villahermosa, Tabasco; Dr. Manuel Weber, ECOSUR Unidad Campeche, Campeche; Dr. Julián E. García Rejón, Universidad Autónoma de Yucatán, Yucatán; Dr. Carlos Ibarra Cerdeña, CINVESTAV Mérida, Yucatán, por su tiempo y disponibilidad de espacio para el grupo de trabajo en campo.

Al Dr. Luis Román López, Centro de Salud de Tenabo; Campeche; Dr. Tadeo Arenas, Centro de Salud de Isla Arena, Campeche; Sr. Gerardo Canul y Sra. Dominga, El Refugio, Campeche; Sra. Ignacia y Srita. Vanessa, Zoh-Laguna, Campeche; Sr. Sergio Pech y Sra. Elsa Barrientos, Conhuas, Campeche; Sra. Demetria Ramírez, Conhuas, Campeche; Lic. Carlos Coutiño, Subdirección ANP Calakmul, Campeche; Sr. Herminio Chan, zona arqueológica Calakmul, Campeche; Dr. Marco Domínguez y Ing. Manuel Lugo, Chetumal, Quintana Roo; Fam. Hernández Becerra, Chetumal, Quintana Roo Sr. Donato Yam, Sra. Rafaela, Sra. Marcelina y Sr. Gualberto, Chan Cah Veracruz, Quintana Roo; Sr. Jorge Alberto Balam, Muyil, Quintana Roo; Sr. Victoriano, Andrés Quintana Roo, Quintana Roo; Dra. Sonia Vargas, Unidad Médica de Salud de Punta Allen, Quintana Roo; Sr. Adrián Pérez y Enf. Claudia, Punta Allen, Quintana Roo; Sr. Romel Alcocer, Sr. Luis Rodríguez y Federación de Pescadores, Río Lagartos, Yucatán; Sra. Daysi Pol, San Felipe, Yucatán; Dr. Freddy Antonio Martínez, Centro de Salud de San Felipe, Yucatán; Sr. Santos Maldonado, El Cuyo, Yucatán; Biól. Miguel Ángel Torres, Estación CONANP El Cuyo, Yucatán; Sr. Felipe Rebolledo y Sra. Ma. Manuela Chan, Moctezuma, Yucatán; Dr. Ramses Moguel, Centro de Salud de Celestún, Yucatán; Sr. Manuel Jesús Flores, Sra. Landy Chac y Sra. Gelmy Pinto, Celestún

Yucatán; Prof. Gualberto Tzuc, Chuchucmil, Yucatán; Sr. Matilde Chan, Tankuche, Campeche; Sra. Ma. Gladys Trejo, Tankuche, Campeche; Sr. Humberto Escamilla y Sra. Dalila Dzul Criollo, Tzodzil, Campeche. A todas ellas por su apoyo logístico y hospitalidad durante la permanencia en los diferentes lugares de muestreo entomológico.

## 11.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre Muñoz, A., R. Mendoza Alfaro et al. 2009. Especies exóticas invasoras: impactos sobre las poblaciones de flora y fauna, los procesos ecológicos y la economía, en Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México, 277-318.
- Anderson R., Lew D., Peterson AT. (2003) Evaluating predictive models of specie's distributions: Criteria for selecting optimal models. *Ecol Mod* 162: 211-232.
- Baak-Baak CM, Cigarroa-Toledo N, Arana-Guardia R, Chi-Chim WA, Chan-Orilla JA, Machain-Williams C, Torres-Chablé OM, Ortega-Morales AI, Moo-Llanes DA, Elizondo-Quiroga A, García-Rejón JE. 2016. Mosquito fauna associated with *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in Yucatan state of southeastern Mexico, and checklist with new records. *Florida Entomologist* 99: 703-709.
- Baak-Baak CM, Moo-Llanes DA, Cigarro-Toledo N, Puerto FI, Machain-Williams C, Reyes-Solís G, Nakazawa NJ, Ulloa-García A, García-Rejón JE. 2017. Ecological niche model for predicting distribution of disease-vector mosquitoes in Yucatan State, México. *Journal of Medical Entomology*. doi: 10.1093/jme/tjw243
- Barve N, Barve V, Jimenez-Valverde A, Lira-Noriega A, Maher SP, Peterson AT, Soberón J, Villalobos F. 2011. The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecological Modelling* 222: 1810-1819.
- Barve, N. 2008. Tool for Partial-ROC versión 1. Lawrence, KS, USA: Biodiversity Institute. Retrieved from <http://kuscholarworks.ku.edu/dspace/handle/1808/10059>.2008.
- Benedict MQ., Levine RS., Hawley WA., Lounibos P., 2007. Spread of the Tiger: Global Risk of Invasion by the Mosquito *Aedes albopictus*. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 7: 7685.
- Bond, JG., Marina CF., and Williams T. 2004. The naturally derived insecticide spinosad is highly toxic to *Aedes* and *Anopheles* larvae. *Medical and Veterinary Entomology* (2004) 18: 50– 56.

- Bond, JG., Facchinelli, L., Valerio, L., Ramsey, J., James, A.A. and Scott, TW. In Press. Seasonal infestation of larvae, pupae and adult of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in a rural area of southern Mexico. The American Society of Tropical Medicine and Hygiene.
- Bonizzoni, M., Gasperi, G., Chen, X., and James, A.A. 2013. The invasive mosquito species *Aedes albopictus*: current knowledge and future perspectives. Trends in Parasitology. Volume 29(9): 460-468.
- Casas-Martínez M., Torres-Estrada JL., 2003. First Evidence of *Aedes albopictus* (Skute) in Southern Chiapas, Mexico. Emerging Infectious Diseases, 9(5), 606-607.
- Casas-Martínez, M., Torres-Estrada JL., Ordóñez-Torres JA., Rendón-Aguilar JJ., and Ortiz-Pérez MF., 2005. Implicaciones etológicas para el control de *Aedes albopictus* en el sur de Chiapas, México. In: Morales-Moreno A, A. Mendoza Estrada, M. P. Ibarra González y S. Stanford Camargo (eds.) Entomología Mexicana, Sociedad Mexicana de Entomología A. C., Colegio de Posgraduados, Texcoco, Estado de México, 4, 802-807.
- Casas-Martínez M., Orozco-Bonilla A., Muñoz-Reyes M., Ulloa-García A., Bond JG., Valle-Mora J., Weber M., and Rojas JC., 2013. A new tent trap for monitoring the biting activity of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. Journal of Vector Ecology. 38(2): 277-288.
- CENAPRECE, 2014. Lista actualizada de insumos recomendados por el CENAPRECE para el combate de insectos vectores de enfermedades a partir de 2014. Secretaría de Salud. Subsecretaría de Prevención y Promoción de la Salud Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades. Dirección del Programa de Enfermedades Transmitidas por Vectores. Disponible en: [http://www.cenaprece.salud.gob.mx/programas/interior/vectores/descargas/pdf/lista\\_insumos\\_recomendados\\_vectores2014.pdf](http://www.cenaprece.salud.gob.mx/programas/interior/vectores/descargas/pdf/lista_insumos_recomendados_vectores2014.pdf).
- Clark-Gill S., and Darsie DF.Jr., 1983. The mosquitoes of Guatemala, their identification, distribution and bionomics, with keys to adult females and larvae. Mosquito Systematics, 15,151-284.

- CONABIO. 2010. Especies Invasoras de México, Prevención, Control y Erradicación. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Disponible en [http://www.conabio.gob.mx/invasoras/images/2/2c/Estrategia\\_Invasoras\\_Mex.pdf](http://www.conabio.gob.mx/invasoras/images/2/2c/Estrategia_Invasoras_Mex.pdf) (consultado en marzo de 2013).
- Crepeau TN., Healy SP., Bartlett-Healy K., Unlu I., Farajollahi A., Fonseca DM. 2013. Effects of Biogents Sentinel Trap field placement on capture rates of adult Asian tiger mosquitoes, *Aedes albopictus*. PLoS One. 8(3): e60524.
- Cuervo-Robayo AP., Téllez-Valdés O., Gómez-Albores MA., Venegas-Barrera CS., Manjarrez J. and Martínez-Meyer E. 2013. An update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico. International Journal of Climatology DOI: 10.1002/joc.3848.
- Darsie, RF. Jr. and Ward RA., 1981. Identification and geographical distribution of the mosquitoes of North America, north of Mexico. Mosquito Systematics Supplement 1, 1313.
- de Souza ME., de Giovanni R., Ferreira M., Sutton T., Brewer P., Scachetti- Pereira R., Lange Canhos DA. And Perez Canhos, V. 2011. Open Modeller: a generic approach to specie's potential distribution modelling. Geoinformatica 15: 111-135.
- Estrada-Franco JG., Craig GB. 1995. Biology, disease relationships, and control of *Aedes albopictus*. Washington, DC: Pan American Health Organization, WHO.
- Fonseca DM., Unlu I., Crepeau T., Farajollahi A., Healy SP., Bartlett-Healy K., Strickman D., Gaugler R., Hamilton G., Kline D., Clark GG. 2013. Area-wide management of *Aedes albopictus*: II. Gauging the efficacy of traditional integrated pest control measures against urban container mosquitoes. Pest Manag Sci. doi: 10.1002/ps.3511.
- Forattini OP. 1986. Identificacao de *Aedes (Stegomyia) albopictus* no Brasil. Revista do Saude Publica 20: 244-245.
- Gratz NG., Steffen R., Cocksedge W., 2000. Why aircraft disinsection?. Bulletin of the World Health Organization, 78, 995-1004.

- Gratz, NG. 2004. Critical review of the vector status of *Aedes albopictus*. Med. And Vet. Entomol. 18: 215-227.
- Hawley WA (1988) The biology of *Aedes albopictus*. Journal of the American Mosquito Control Association Supplement 11–39.
- Hijmans RJ, Cameron SE, Parra LP, Jones PG, Jarvis A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology 25: 1965-1978.
- Hoel DF., Kline DL., Allan SA. 2009. Evaluation of six mosquito traps for collection of *Aedes albopictus* and associated mosquito species in a suburban setting in north central Florida. J Am Mosq Control Assoc. 25: 47-57.
- Hutchinson, G.E. 1957. Concluding Remarks. Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology, 22: 415-427
- 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. 1998. Los díptera hematófagos y taxa relacionados de dos áreas protegidas del estado de Yucatán, México (Insecta). Secretaría de Salud. Instituto Nacional de Diagnóstico y Referencia Epidemiológicos. Informe final SNIB-CONABIO. Proyecto No. G011. México, D.F. 50 pp.
- Ibáñez-Bernal S, Briseño B., Mutebi JP., Argot E., Rodríguez G., Martínez-Campos C., Paz R., De La Fuente-San Roman P., Tapia-Conyer R., Flisser A., 1997. First record in America of *Aedes albopictus* naturally infected with dengue virus during the 1995 outbreak at Reynosa, Mexico. Medical and veterinary Entomology, 11, 305-309.
- Ibáñez-Bernal, S., Strickman, D., Martínez-Campos, C. 1996. Culicidae (Diptera). Cap. 38. pp. 591-602. En: Llorente-Bousquets, J., García-Aldrete, A. N; González-Soriano, E. (Eds.). Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. UNAM-Conabio, México.
- INEGI-Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo de la población Mexicana 2010. Consultado. Disponible en: [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx)



Invasive Species Specialist Group, 2009. Global Invasive Species Database—*Aedes albopictus*. Accessed 25/03/2013 available online: <http://www.issg.org/database/species/ecology.asp?si=109&fr=1&sts=sss&lang=EN>

- Juliano SA., Lounibos LP., and O'Meara GF. 2004. A field test for competitive effects of *Aedes albopictus* on *A. aegypti* in South Florida: differences between sites of coexistence and exclusion? *Oecologia* 139: 583–593.
- Juliano SA., Lounibos LP., 2005. Ecology of invasive mosquitoes: effects on resident species and on human health. *Ecology Letters*, 8, 558–574.
- Kröckel U., Rose A., Eiras AE., and Geier M., 2006. New tools for surveillance of adult yellow fever mosquitoes: comparison of trap catches with human landing rates in an urban environment. *J. Am. Mosq. Control Assoc.* 22, 229-238.
- Lambrechts L., Scott TW., Gubler DJ., 2010. Consequences of the Expanding Global Distribution of *Aedes albopictus* for Dengue Virus Transmission. *Plos Neglected Tropical Disease*, 4(5), e646.
- Levine, R. S., A. T. Peterson and M. Q. Benedict. 2004. Distribution of members of *Anopheles quadrimaculatus* Say s. l. (Diptera: Culicidae) and implications for their roles in malaria transmission in the United States. *J. Med. Entomol.*, 41, 607-613.
- Lounibos LP., 2002. Invasions by insect vectors of human disease. *Ann. Rev. Entomol.*, 47, 233– 266.
- Magurran, A.E. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing. UK. 256 pp.
- Medlock JM., Hansford KM., Schaffner HF., Versteirt V., Hendrickx G., Zeller, H., Bortel, WV., 2012. A review of the invasive mosquitoes in Europe: Ecology, Public Health Risks, and Control Options. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 12(6), 435-447.
- Moo-Llanes, D. Ibarra-Cerdeña CI., Rebollar-Téllez EA., Ibáñez-Bernal S., González C. and Ramsey JM. 2013 Current and future niche of North and Central American sand flies (Diptera: Psychodidae) in climate change scenarios. *7(9): e2421.*

- Moo-Llanes DA. 2016. Nicho ecológico actual y futuro de la Leishmaniasis (Kinetoplastida: Trypanosomatidae) en la región Neotropical. *Revista de Biología Tropical* 64: 1237-1245.
- Murphy HT and Lovett-Doust J. 2007. Accounting for regional niche variation in habitat suitability models. *Oikos* 116: 99-110.
- Nájera-Vázquez R., Dzul F., Sabido M., Tun-ku E. and Manrique-Saide P. 2004. New distribution records of mosquitoes (Diptera: Culicidae) for Yucatan, Mexico. *Entomological News*. 115: 181-190.
- Naranjo, E.J. y R. Dirzo. 2009. Impacto de los factores antropogénicos de afectación directa a las poblaciones silvestres de flora y fauna. En R. Dirzo, R. González y I.J. March (comps.). *Capital natural de México. Vol II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. CONABIO, México, pp. 247-276.
- Olson DM, Dinerstein E, Wikramanayake ED, Burgess ND, Powell GVN, Underwood EC, D'Amico JA, Itoua I, Strand HE, Morrison JC, Loucks CJ, Allnut TF, Ricketts TH, Kura Y, Lamoreux JF, Wettengel WW, Hedao P, Kassem KR. 2001. Terrestrial ecoregions of the World: a new map of life on Earth. *BioScience* 51: 933-938.
- OMS, 2012. Dengue y dengue hemorrágico. Nota descriptiva No. 117. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs117/es/>. Consultado 17 de diciembre de 2013.
- Orta-Pesina H., Mercado-Hernandez R. Valdez-Rodríguez MA., 2001. *Aedes albopictus* in Allende City, Nuevo Leon, Mexico. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 17(4), 260-261.
- Ortega-Morales AI, Cueto-Medina SM, Siller-Rodríguez QK. 2016. First record of the asian tiger mosquito *Aedes albopictus* in Hidalgo State, México. *Journal of American Mosquito Control Association* 32: 234-236.
- Ortega-Morales AI, Siller-Rodríguez QK. 2016. First record of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in San Luis Potosi, México. *Journal Vector Ecology* 41: 314-315.
- Ortega-Morales AI, Zarortink TJ, Huerta-Jiménez H, Sánchez-Ramos FJ, Valdes-Perez-Gasca MT, Reyes-Villanueva F, Siller-Rodríguez QK, Fernández-Salas

- I. 2015. Mosquito records from México: The mosquitoes (Diptera: Culicidae) of Tamaulipas State. *Journal of Medical Entomology* 52: 171-184.
- Ortega Morales AI., Mis AP., Elizondo-Quiroga A., Harbach, RA., Siller-Rodríguez QK. and Fernández-Salas I. 2010. The Mosquitoes of Quintana Roo State, Mexico (Diptera: Culicidae). *Acta Zoológica Mexicana* 26: 33-46.
- Ortega-Morales, AI., Bond, G., Méndez-López, R., Garza-Hernández, J.A., Hernández-Triana, L.M., and Casas-Martínez, M. 2018. First record of invasive mosquito *Aedes albopictus* in Tabasco and Yucatan, Mexico. *Journal of the American Mosquito Control Association*. (En prensa).
- Owens HL, Campbell LP, Dornak LL, Saupe EE, Barve N, Soberón J, Ingenloff K, Lira-Noriega A, Hensz CM, Myers C, Peterson AT. 2011. Constraints on interpretation of ecological niche models by limited environmental ranges on calibration areas. *Ecological Modelling* 263: 10-18.
- Paupy C., Delatte H., Bagny L., Corbel B., Fontenille, D. 2009. *Aedes albopictus*, an arbovirus vector: From the darkness to the light. *Microbes Infect.*, 11, 1177–1185.
- Pearman P., Guisan A., Broenninmann O., Randin C. 2007. Niche dynamics in space and time. *Trends Ecol Evol* 23: 149-158.
- Pech-May A, Moo-Llanes DA, Puerto-Ávila MB, Casas M, Danis-Lozano R, Ponce G, Tun-Ku E, Pinto-Castillo JF, Villegas A, Ibáñez-Piñon CR, González C, Ramsey JM. 2016. Population genetics and ecological niche of invasive *Aedes albopictus* in México. *Acta Tropica* 157: 30-41.
- Peterson AT., Sánchez-Cordero V., Beard CB., and Ramsey JM., 2002. Ecologic niche modeling and potential reservoirs for Chagas disease, Mexico. *Emerging Infectious Diseases*, 8, 662-667.
- Peterson, A. T., Papes, M., & Soberón, J. (2008). Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological Modelling*, 213: 63-72.
- Peterson AT., Soberón J., Pearson RG., Anderson RP., Martínez-Meyer E. et al. 2011. *Ecological niches and geographic distributions*. Princeton University Press. 328 p.

- Peterson AT, Soberón J, Pearson RG, Anderson RP, Martinez-Meyer E, Nakamura M, Bastos-Araujo M. 2012. Ecological niche and geographic distributions. Princeton University Press, Princeton NJ. ISBN 978-0-691-13688-2
- Phillips SJ, Anderson R P, Schapire RE. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231-259.
- Qualls WA and Mullen GR. 2007. Evaluation of the Mosquito Magnet Pro™ trap with and without 1-octen-3-ol for collecting *Aedes albopictus* and other urban mosquitoes. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 23: 131–136.
- Raxworthy CJ., Martínez-Meyer E., Horning N., Nussbaum RA., Schneider GE., Ortega-Huerta MA. and Peterson AT. 2003. Predicting distributions of known and unknown reptile species in Madagascar. *Nature* 426, 837-841.
- Reiter P., 1998. *Aedes albopictus* and the world trade in used tires, 1988–1995: the shape of things to come? *J Am Mosq Control Assoc.*, 14, 83–94.
- Rochlin I, Ninivaggi DV, Hutchinson ML, Farajollahi A. Climate Change and Range Expansion of the Asian Tiger Mosquito (*Aedes albopictus*) in Northeastern USA: Implications for Public Health Practitioners. *PLoS One*. 2013;8(4):e60874. doi: 10.1371/journal.pone.0060874. Epub 2013 Apr 2.
- Rodríguez-Tovar ML., Ortega-Martínez MG., 1994. *Aedes albopictus* in Muzquiz City, Coahuila, Mexico. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 10(4), 587.
- Salomón-Grajales J., Lugo-Moguel GV., Tinal-Gordillo VR., De La Cruz-Velázquez J., Beaty BJ., Eisen L., Lozano-Fuentes S., Moore CG., García-Rejón JE., 2012. *Aedes albopictus* Mosquitoes, Yucatan Peninsula, Mexico. *Emerging Infectious Diseases*, 18(3),525-527.
- Savage HM., Smith GC., 1995. *Aedes albopictus* y *Aedes aegypti* en las Américas: implicaciones para la transmisión de arbovirus e identificación de hembras adultas dañadas. *Boletín Oficina Sanitaria Panamericana*, 118(6), 473-487.
- Soberón, J. and A. T. Peterson (2005) Interpretation of models of fundamental ecological niches and specie's distributional areas. *Biodiversity Informatics* 2:1-10.

- Sprenger D., Wuithiranyagool T., 1986. The discovery and distribution of *Aedes albopictus* in Harris County, Texas. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 2, 217-219.
- Stockwell DRB., and Peters D., 1999. The GARP Modeling System: problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographical Information Science* 13(2), 143-158.
- Torres-Avendaño JI, Castillo-Ureta H, Torres-Montoya EH, Meza-Carrillo E, López-Mendoza RL, Vásquez-Martínez MG, Rendon-Maldonado JG. 2015. First record of *Aedes albopictus* in Sinaloa, Mexico. *Journal of the American Mosquito Control Association* 31: 164-166.
- Villegas-Trejo A., Manrique-Saide P., Che-Mendoza A., Cruz-Canto W., Fernandez MG., González-Acosta C., Dzul-Manzanilla F., Huerta H., Arredondo-Jiménez JI., 2010. First report of *Aedes albopictus* and other mosquito species in Morelos, Mexico. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 26(3),321-323.
- Walter Reed Biosystematics Unit (WRBU). 2001. Systematic Catalog of Culicidae. <http://www.mosquitocatalog.org/entrypage.asp> (fecha de consulta 31/05/18).
- WHO (2003), Space Spray Application of Insecticides for Vector and Public Health Pest Control A Practitioner's Guide, Communicable Disease Control, Prevention and Eradication WHO Pesticide Evaluation Scheme (WHOPES), World Health Organization, Geneva, [http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/68057/WHO\\_CDS\\_WHOPES\\_GCDPP\\_2003.5.pdf?sequence=1 &isAllowed=y](http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/68057/WHO_CDS_WHOPES_GCDPP_2003.5.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- WHO. 2012. Handbook for integrated vector management. Switzerland. 68 pp.
- WHO. 2018. Dengue Control. Control strategies. Disponible en: [http://www.who.int/denguecontrol/control\\_strategies/en/](http://www.who.int/denguecontrol/control_strategies/en/).
- Wilkerson RC., Strickman D., Fernández-Salas I., Ibáñez-Bernal S. y Liwak TR., 1993. Clave ilustrada para la identificación de las hembras de mosquitos anofelinos de México y América Central. Centro de Investigación de Paludismo, Secretaría de Salud. México. p47.

Womack ML., 1993. Distribution, abundance and bionomics of *Aedes albopictus* in southern Texas. Journal of The American mosquito Control Association, 9; 367-369.