

Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación
Programa Universitario de Investigación Interdisciplinaria en Salud –PUIIS-

Informe Final
Cambio climático y vectores de dengue en Guatemala: modelación de escenarios
presentes y futuros para toma de decisión epidemiológica

Equipo de investigación
Manuel Lepe, Coordinador
Miriam Canet, Investigadora auxiliar (Titular III)
Amílcar Dávila, auxiliar
Luis Villeda, auxiliar

Guatemala, septiembre de 2016

Unidad Académica Avaladora
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Programa Universitario de Investigación
Programa Universitario de Investigación Interdisciplinaria en Salud –PUIIS-



M.Sc. Gerardo Arroyo Catalán
Director General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas

Manuel Lepe López, Coordinador

Miriam Johanna Canet Elgueta, Investigadora auxiliar (Titular III)

Amílcar Dávila, auxiliar

Luis Villeda, auxiliar

Partida presupuestaria: No. 4.8.63.1.86

Año de ejecución: 2016

Índice

Tema	Página
I. Resumen / Abstract	1 y 2
II. Introducción.....	3
III. Marco Teórico.....	5
IV. Materiales y Métodos.....	9
V. Resultados.....	13
VI. Impacto Esperado.....	15
VII. Análisis y Discusión de Resultados.....	16
VIII. Conclusiones.....	21
IX. Referencias.....	22
X. Apéndice.....	24
XI. Actividades de Gestión, Vinculación y Divulgación.....	30
XII. Orden de Pago.....	31

Índice de Figuras

Figura 1. Base de datos mundial de sitios donde se reporta <i>Aedes aegypti</i>	24
Figura 2. Base de datos mundial de sitios donde se reporta <i>Aedes albopictus</i>	24
Figura 3. Base de datos en Guatemala donde se reporta presencia de <i>Aedes aegypti</i>	25
Figura 4. Base de datos en Guatemala donde se reporta presencia de <i>Aedes albopictus</i>	25
Figura 5. Distribución de <i>Aedes aegypti</i> en escenario de clima presente en CA.....	26
Figura 6. Distribución de <i>Aedes aegypti</i> en escenario de clima 2050 en CA	26
Figura 7. Distribución de <i>Aedes aegypti</i> en escenario de clima 2070 en CA.....	27
Figura 8. Distribución de <i>Aedes albopictus</i> en un escenario de clima presente en CA.....	27
Figura 9. Distribución de <i>Aedes albopictus</i> en escenario de clima 2050 en CA.....	28
Figura 10. Departamentos en Guatemala con mayor probabilidad de presencia de <i>Aedes aegypti</i>	28
Figura 11. Departamentos en Guatemala con mayor probabilidad de presencia de <i>Aedes albopictus</i>	29
Figura 12. Calculo de valor predictivo para <i>Aedes albopictus</i>	29
Figura 13. Calculo de valor predictivo para <i>Aedes aegypti</i>	30

Cambio climático y vectores de dengue en Guatemala: modelación de escenarios presentes y futuros para toma de decisión epidemiológica

I. Resumen:

Dengue es una enfermedad producida por arbovirus que representa una amenaza creciente para salud pública, generando alta morbilidad y mortalidad; esto se ha visto incrementado por la propagación de las dos especies de vectores, *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*. Si bien una combinación de factores puede explicar su acelerada extensión, la distribución geográfica y la dinámica poblacional de las enfermedades vectoriales se ve afectada principalmente por cambios climáticos. Los reportes de ocurrencias y modelos permiten un mejor entendimiento de las regiones donde se deben priorizar los esfuerzos de investigación y prevención. En este estudio se presentan las ocurrencias de ambos vectores en el territorio nacional, así como modelos (método de máxima entropía) de la posible distribución de los vectores de acuerdo a 19 variables climáticas en un escenario presente y dos futuros, 2050 y 2070. Se reporta en el país, la presencia de *Aedes albopictus* en 11/22 departamentos (75 ocurrencias) y de *Aedes aegypti* en 21/22 departamentos (133 ocurrencias), siendo Totonicapán el único departamento con ausencia del vector. Se evidencia una expansión de ambos vectores para los años 2050 y 2070, los departamentos más afectados Zacapa, el Progreso, Baja Verapaz, Guatemala, Jalapa, Chiquimula, Peten, Izabal, Escuintla, Santa Rosa y Jutiapa.

Palabras clave: arbovirus, presencia, modelos, variables climáticas, Guatemala

Abstract:

Dengue is the most common arboviral disease, representing a growing threat to public health with high rates of morbidity and mortality worldwide; this has been increased by the spread of the two vector species, *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. While a combination of factors may explain its accelerated expansion, geographical distribution and population dynamics of the vector-borne diseases is primarily affected by climate changes. Occurrence reports and models allow a better understanding of the regions where efforts should be prioritized in research and prevention. In this study the occurrences of both vectors in the

country, as well as models of their possible distribution in three different scenarios, according to climate variables, are presented. We report the presence of *Aedes albopictus* in 11/22 departments (75 occurrences) and *Aedes aegypti* in 21/22 departments (133 occurrences), Totonicapan being the only one with absence of the vector. An expansion of both vectors for the years 2050 and 2070 is evident, being Zacapa, El Progreso, Baja Verapaz, Guatemala, Jalapa, Chiquimula, Peten, Izabal, Escuintla, Santa Rosa and Jutiapa the most affected departments.

Keywords: arboviruses, presence, models, climatic variables, Guatemala

II. Introducción

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud, las enfermedades transmitidas por vectores representan más del 17% de todas las enfermedades infecciosas provocando anualmente más de 1 millón de defunciones. Según una estimación reciente, 128 países están en riesgo de infección por los virus del dengue (Brady, et al, 2012), produciéndose aproximadamente 390 millones de infecciones anuales (95%IC; 284 a 528 millones), de las cuales 96 millones (95%IC; 67 a 136 millones) se manifiestan clínicamente (cualquiera que sea la gravedad de la enfermedad) (Bhatt, et al, 2013). En Guatemala, de acuerdo a los datos publicados por el Centro Nacional de Epidemiología del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, a la semana 52 del 2015, la tasa de infección de dengue por 100,000 habitantes fue de 111.6 reportándose 39 casos de dengue grave y 9 defunciones.

Las enfermedades producidas por arbovirus han sido de considerable preocupación en los últimos años generando una alta carga de morbilidad y mortalidad siendo aún un desafío en salud pública; esto se ha visto incrementado por la propagación de las dos especies de vectores, *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* (Weaver y Lecuit, 2015). El aumento en la incidencia de casos en áreas endémicas, así como el apareamiento en nuevas regiones puede explicarse además por el aumento poblacional, globalización, migración, urbanización no planificada, como por aspectos relacionados al cambio climático (Yang, 2016).

La evidencia ha demostrado que la incidencia de dengue en áreas endémicas presenta estacionalidad y periodicidad inter-anual, reflejo de cambios en las condiciones de temperatura y humedad (Ochoa, 2015). La distribución geográfica y la dinámica poblacional de las enfermedades vectoriales se ven afectada por cambios en el calentamiento global; las temperaturas más altas aceleran el metabolismo de los insectos, incrementan la producción de huevos y la necesidad de alimentarse. Las lluvias además tienen un efecto indirecto sobre la longevidad del vector, creando un hábitat favorable para su desarrollo. Las inundaciones pueden generar efectos catastróficos en la naturaleza al disminuir las fuentes de alimentación, que al igual que la deforestación favorece el desplazamiento de los insectos a zonas habitadas por el hombre (Berberian, 2012).

A pesar de ser patógenos de importancia para la salud pública mundial, el conocimiento de la distribución mundial y local de *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* sigue siendo irregular y escaso (Kraemer, 2015). Numerosos estudios recientes han arrojado luz sobre las distribuciones globales de casos humanos del dengue y otras enfermedades

transmitidas por mosquitos, sin embargo, las distribuciones potenciales de las principales especies de vectores no se han incorporado integralmente en los esfuerzos de mapeo (Campbell, 2015).

En vista de que ya que ocurren cambios en el clima y el clima produce efectos sobre la distribución potencial de los mosquitos durante sus invasiones globales una visión predictiva de su potencial distributivo en las próximas décadas es bastante útil, especialmente porque un mejor entendimiento permitiría conocer las regiones donde se deben priorizar los esfuerzos de control preventivos y específicos (Kraemer, 2015).

El aporte del presente estudio es proporcionar un modelo que permita visualizar y discutir los departamentos y localidades vulnerables al dengue en un mapa de distribución de vectores, que represente escenarios de clima presente y dos futuros (2050 y 2070) aportando información para una efectiva planificación epidemiológica de los sistemas de salud, para una enfermedad vectorial con alto impacto en la población guatemalteca.

III. Marco teórico y Estado del Arte

A. Dengue en las Américas

La situación epidemiológica del dengue sigue siendo extremadamente compleja e inestable. Entre los años 2000 y 2014 se han registrado 14.2 millones de casos y 7,000 muertes por dengue. La incidencia se ha mantenido con una tendencia al incremento, en parte debido a mejoras en los sistemas de vigilancia epidemiológica y notificación de los países en la región. Sin embargo, la incidencia en 2014 (193.7 casos/100,000 habitantes) mostró una reducción de 31% comparada con la incidencia promedio de los últimos 5 años (282.4 casos/100,000 habitantes) y una reducción de 57% comparada solamente con el año 2013 (455.9 casos/100,000 habitantes). La tasa de letalidad para los años 2013 y 2014 se mantuvo en 0.06%.

En el año 2015, al cierre de la semana epidemiológica (SE) número 21, se han contabilizado 1.206,172 casos de dengue en todo el continente americano, con una incidencia promedio de 198 casos/100,000 habitantes. Los datos registrados hasta la fecha, superan desde ya el total de casos reportados al cierre del 2014. Sin embargo, a pesar de este incremento en el número de casos, la cantidad de casos graves (2,824) y muertes (459) aún se mantienen muy por debajo de los valores observados durante el mismo periodo en 2014, finalmente, la tasa de letalidad promedio para las Américas es de 0.04%. Hasta la SE 21 del 2015, la sub-región del Cono Sur suma 1.054,188 casos (87% de todos los casos del continente), seguido de la sub-región Andina y la sub-región de Centroamérica-México con un aporte cada uno del 6%. Únicamente Brasil, aporta el 85% de todos los casos del continente (1.021,004 registros).

El mayor número de casos graves se observan en la sub-región de Norte y Centroamérica, con un total de 1,415 registros, es decir la mitad del total de los casos graves de dengue del continente, seguido de la sub-región del Cono Sur (736 casos graves, 26%) y la sub-región Andina (647 casos graves, 23%). A pesar que la mayoría de los casos graves se observan en el hemisferio norte, es la sub-región del Cono Sur quien aporta el 82% (378 muertes) de las defunciones por esta enfermedad, todas ellas ocurridas en Brasil, seguida de la sub-región Andina (11%, 52 muertes), en donde Colombia y Perú aportan la mayor cantidad de fallecidos en esa sub-región. Los países del continente con una tasa de letalidad superior a la regional (0.04%) son; República Dominicana (1.54%), Perú (0.12%), Guatemala (0.07%) y Colombia (0.07%).

Específicamente, en la región Norte y Centroamérica: el total de casos reportados es de 72,683 para una incidencia promedio de 43.4 casos/100,000 habitantes, con 1,415 registros de casos graves y 3 muertes. México (30,497) y Honduras (20,471) son los países con el mayor número de casos de esta sub-región, siendo este último país quien reporta también la mayor incidencia. Todas las muertes registradas en esta sub-región ocurrieron en Guatemala. Los cuatro serotipos del virus del dengue se encuentran circulando en las Américas, lo que aumenta el riesgo de casos graves de dengue (respuesta inmunológica secundaria). En siete países de las Américas se ha reportado la circulación simultánea de los 4 serotipos, incluyendo Brasil, Ecuador, Guatemala, México, Nicaragua, Perú y Venezuela.

B. Dengue en Guatemala

En Guatemala se reportaron un total de 19,791 casos en 2014, con una tasa 125.21/100,000 habitantes. Los casos acumulados de dengue reportados por las área de salud durante el año 2014 en relación al año 2013, identifican un incremento de 36.03%. El grupo de edad más afectado es el de 25-39 años para ambos sexo, con un incremento de 9.39% más casos reportados en mujeres en comparación con los hombres. A la semana epidemiológica 53-2014, se reportan 121 casos de dengue hemorrágico resultando trece fallecidos. Los departamentos que más casos reportan son: Zacapa (593/100,000), Santa Rosa (550/100,000), El Progreso (524/100,000), Retalhuleu (383/100,00) y Sacatepéquez (345/100,000). De acuerdo a los datos publicados por el laboratorio de vigilancia nacional en el año 2012, el porcentaje de positividad de muestras trabajadas fue de 21.40% (virología), 23.33% (serología) y 28.45% (papel filtro). Se reporta circulación de los 4 serotipos, con predominio del D1 y D2.

C. Prevención y Control del dengue en las Américas y Guatemala

En vista del aumento de los casos de dengue en las Américas y debido a que los programas nacionales de control del dengue eran predominantemente verticales y basados en el uso de insecticidas, en 2003 se implementó la estrategia de gestión integrada para la prevención y control del dengue en las Américas (EGI-Dengue), que incluye los componentes: atención al paciente, vigilancia epidemiológica, laboratorio, manejo integrado de vectores, comunicación social y medio ambiente. El proceso de implementación de la EGI-Dengue fue gradual en cada subregión, permitiendo que los países y territorios cuenten con una herramienta metodológica sólida para la prevención y el control del dengue.

En Guatemala, la EGI-dengue se ha extendido a departamentos y municipios, lo que ha facilitado las negociaciones del Ministerio de Salud con los gobiernos municipales y las organizaciones no gubernamentales (ONG) y comunitarias para el desarrollo de un proyecto COMBI (25) y para extender esta estrategia a todo el país (Rizzo et al., 2012). Ha mejorado el control del dengue en los niveles intermedios y las acciones de prevención, vigilancia y alerta epidemiológica se mantienen activas sin esperar que ocurra un brote. Con los programas de la EGI- dengue se ha logrado movilizar recursos financieros del Club Rotario, la Unión Europea y el Gobierno de España (Luis, Martín, &Brathwaite-dick, 2007)

El uso de la guía clínica de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para la atención de enfermos con dengue, acompañada por un proceso de capacitación y entrenamiento por parte de expertos del GT-Dengue al personal médico y paramédico de los diferentes niveles de atención sanitaria de los países ha logrado reducir la tasa de letalidad por dengue en las Américas.

La red de laboratorios para el diagnóstico del dengue en las Américas (RELDA), ha logrado mantener la notificación periódica de datos de dengue de 50 países y territorios. Así mismo se han creado programas para establecer un sistema genérico de vigilancia epidemiológica integrada así como para estimar la carga económica del dengue en varios países.

D. Estudios de mosquitos del dengue en Guatemala

De acuerdo a los datos proporcionados por el Ministerio de Salud en 2012, los indicadores de vigilancia entomológica, el índice de vivienda infestada se encontraba en 15.2, índice de recipiente infestado 4.1 y el índice de Breteau en 29.35 (alto riesgo). Se han reportado para el departamento del Petén (región norte de Guatemala), la presencia de 33 especies de culícidos, pertenecientes a 16 géneros, como resultado de las prospecciones entomológicas realizadas entre 1999-2001. La distribución no resultó ser homogénea en todo el territorio, siendo los más abundantes en especies y de mejor dispersión, el género *Culex* y *Anopheles*, respectivamente. El área de salud Petén Norte, aportó la mayor variedad de culícidos durante el estudio con 93,9 % del total reportado. (Docente et al., 2006)

E. Estado del arte: dengue y vectores en Guatemala

Durante los años noventa estudiantes de medicina de la USAC estudiaron el grado de infestación de *Aedes aegypti* y la eficacia de las campañas de control del vector (Mendez, 1996; Medina, 1998). En el departamento de Santa Rosa se hallaron casos de dengue, así como en otras regiones focales del país (Gallardo, et al. 2014). Se ha establecido que en Guatemala de un estudio de 85 personas con dengue clínico, el 71% fue positivo a pruebas de diagnóstico y que perdieron 10 días laborales o estudiantiles (Suaya et al., 2009). Se estableció como es el comportamiento hematológico y químico de los pacientes con dengue (Klassen et al., 2001). Se ha descrito en Centroamérica como son los signos de los pacientes con dengue (Flores-Figueroa et al., 2011). Varios estudios señalan la negligencia política del sistema de salud con respecto al dengue (Hotez et al., 2014). Diferentes autores han recopilado información sobre la distribución de vectores de dengue en Guatemala (Cark-Gil et al., 1983; Añez et al., 2011; Usuku et al., 2001).

Por su parte la Dirección General de Investigación de la USAC ha generado conocimiento acerca de la caracterización clínica, aislamiento viral y determinación de anticuerpos en pacientes con diagnóstico clínico de dengue clásico y/o hemorrágico, y sobre la capacidad de respuesta institucional ante situaciones de emergencia, caso específico del dengue hemorrágico en el área centroamericana (Molina, L. P. 2002).

IV. Materiales y métodos

A. Ubicación geográfica: La investigación tomo como área de referencia 6 países de América Central: Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica y Panamá. Esto debido que, para el análisis espacial, Guatemala es muy pequeño. Los objetivos de la investigación fueron limitados finalmente a territorio guatemalteco.

B. Tipo de investigación: El tipo de la investigación es no experimental predictiva, donde se explica la variable respuesta (presencia/ausencia de los vectores) por medio de 19 variables explicativas (variables climáticas disponibles en worldclim.org).

C. Técnicas e Instrumentos/Procedimiento:

Para la obtención de sitios de ocurrencia y ausencia: Se solicitó al MSPAS por medio de la Ley de Acceso a la Información Pública (Decreto 57-2008) (Congreso de la República de Guatemala, 2008) los datos de vigilancia entomológica nacional de larvas de *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*, realizada durante el primer trimestre del 2016. Se examinaron los informes de los 22 Departamentos del país, extrayendo los datos que señalaran los sitios de presencia de larvas de los vectores (Araújo & Williams, 2000). Se ingresó en una hoja electrónica de Excel los siguientes datos: género y especie colectada, nombre del Departamento, Municipio, Aldea, Caserío y localidad. Los reportes que no cumplieron con la información necesaria fueron descartados. La información geográfica de los reportes fue validada por medio de la herramienta gratuita *address validation tool* (http://www.aus-emaps.com/bulk_geocoder.php), obteniendo un ajuste de salida *delimitado por comas* (.csv) de coordenadas geográficas en decimal longitud y latitud (Pearce & Boyce, 2006; Brotons, et al. 2004). Los datos fueron trasladados a una nueva hoja electrónica de Excel para eliminar duplicados. Las coordenadas fueron proyectadas en un sistema de información geográfica libre y de código abierto QGIS (<http://www.qgis.org/es/site/>), en un mapa por cada especie con los límites políticos y divisiones departamentales de Guatemala, lo cual fue obtenido de la base de archivos *shape* de SEGEPLAN (<http://www.segeplan.gob.gt>).

Se realizó una colecta de larvas de mosquitos durante el mes de mayo 2016, debido a que el MSPAS reportó al Departamento de Totonicapán con ausencia de los vectores. Se identificaron 19 sitios con agua estancada (recipientes plásticos) en el Cementerio General de la Cabecera Municipal. Las larvas fueron colectadas del recipiente con una pipeta Pasteur, retirando los residuos de agua y detritos en una placa de Petri, colocando únicamente las larvas en tubos de ensayo con alcohol al 70% (MSPAS, 1997; 2015). La muestra fue

trasladada al Laboratorio de Entomología del Programa PETV-MSPAS donde fueron identificadas las larvas por medio del método de morfología por estereoscopio (Clark-Gil & Darsie, 1983; MSPAS, 2015).

En relación a la realización de modelos: Las técnicas e instrumentos utilizados se pueden abordar bajo el tema de Sistemas de Información Geográfica SIG, y Modelos de Distribución de Especies MDs, ampliamente conocidos como Modelos de Nicho Ecológico. Se colectaron 19,000 ocurrencias para la especie, *Ae. aegypti*, y 22,000 ocurrencias para la especie *Ae. albopictus*, en coordenadas decimales de longitud y latitud, en formato .csv delimitado por comas. En un archivo shape con las divisiones políticas de los 194 países del mundo, donde se proyectaron las ocurrencias para cada especie y se calculó un área de dispersión promedio para delimitar el área de estudio. Por medio del programa QGIS, se calculó un punto central entre toda la nube de ocurrencias de cada especie, se creó un polígono a la borde de la nube y se calculó la distancia promedio entre todas las ocurrencias y el centro, para utilizarlo en la formación de una zona buffer, alrededor de las ocurrencias.

Se obtuvieron 19 variables climáticas en formato raster .tiff para un escenario presente. Utilizando la zona buffer para cada especie, se cortaron las 19 capas por medio de QGIS. Posteriormente las 19 capas cortadas con el área de estudio, fueron ingresadas a una Análisis de Componentes Principales CPA, en el programa ARCGIS 10.1. Los valores de los vectores propios según el PCA, mostro que se podría explicar la variable y, utilizando 4 variables x, en un 99%. La matriz de covarianza del PCA permitió evaluar que 4 variables eran independientes ($p > 0.08$). Para construir los modelos se utilizaron las variables: Bio1=temperatura media anual, Bio2=rango de temperaturas diurnas, Bio12=precipitación anual y Bio15=estacionalidad de la precipitación.

Para realizar los modelos de utilizaron variables climáticas de un escenario presente, y dos escenarios futuros, 2050 y 2070. El tipo de escenario RCPs utilizado fue 8.5, esto quiere decir que utilizamos el peor escenario de emisiones de gas invernadero, debido a la realidad en política ambiental que presenta Guatemala. Las capas las 4 variables climáticas fueron cortadas en QGIS para el área de Centroamérica, y posteriormente se utilizó el programa Niche Analyst para trasladarlas de .tiff a .asc, debido a que el análisis de los modelos en el programa Mexent acepta únicamente este tipo de formato.

Previo a la modelación se realizó una calibración general para obtener los modelos que mejor se ajusten a la realidad. Se ingresaron para cada especie las ocurrencias encontradas en archivo formato .csv, se ingresaron las capas de las 4 variables ambientales del escenario presente del área calculada para todo el globo terráqueo, en formato .asc, en las capas de proyección se ingresaron las capas de variable climática por cada escenario. El ajuste de regularization multiplier se realizó en 0.5, 1, 1.5., 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, y 5. El formato de salida de los modelos se colocó en Raw y se utilizaron los ajustes de random seed, con un random test percentage del 20%, 1 réplica por cada modelo y un tipo de réplica estadística de bootstrap. Se desactivaron los ajustes de extrapolate y do clamping. En total se corrieron 10 modelos para cada escenario de cada especie, para obtener 60 modelos a evaluar. Atraves del programa Niche Analyst se calculó para cada modelo el valor AIC y AICc. Se seleccionaron los modelos para cada escenario que obtuvieron el menor valor de AIC y AICc.

Los modelos de la posible distribución de los vectores se realizaron por medio del método de máxima entropía, por medio del software Maxent. Se ingresaron para cada especie las ocurrencias encontradas en archivo formato .csv, se ingresaron las capas de las 4 variables ambientales del escenario presente del área calculada para todo el globo terráqueo, en formato .asc, en las capas de proyección se ingresaron las capas de variable climática por cada escenario. El formato de salida de los modelos se colocó en Raw y se utilizaron los ajustes de random seed, con un random test percentage del 20%, regularization multiplier de 0.5, 100 réplicas por cada modelo y un tipo de réplica estadística de bootstrap. Se desactivaron los ajustes de extrapolate y do clamping.

En la carpeta de salida de cada modelo se utilizó el archivo .asc que muestra el promedio de máxima entropía calculado. Este se ingresó al programa QGIS para modificarlo a pseudocolor, colocando el valor de la probabilidad de presencia en color rojo, y el valor de probabilidad de ausencia en color azul. Debido a que el análisis SIG se realizó en los países de Centroamérica, por medio de QGIS se realizaron mapas para observar la probabilidad de presencia y ausencia en el territorio guatemalteco.

Debido a que los mapas señalan en color rojo la presencia y en color azul la posible ausencia, se agregó una capa de la división política de los Departamentos de Guatemala. Con esto se diferencia visualmente cuales son los Departamentos con alta probabilidad de presencia de los vectores. Finalmente se calculó el valor AUC de los modelos finales, para

conocer la exactitud predictiva, midiendo la probabilidad de que un sitio de presencia al azar, este clasificado por encima de un sitio al azar de ausencia, a la espera que este valor sea mayor a 0.5.

Los instrumentos para el moldeamiento de la distribución de vectores son principalmente programas de libre acceso: Quantum GIS (QGIS; <http://www.qgis.org/en/site/>) el cual es una plataforma para manipular capas geográficas, Maxent (<https://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>) programa para el modelado de la distribución geográfica de las especies en base a la máxima entropía, y Niche Analyst (NicheA; <http://nichea.sourceforge.net/>) un programa que permite mostrar y analizar los modelos de nichos ecológico en espacios ambientales de tres o dos dimensiones, de acuerdo con el análisis requerido.

D. Operacionalización de las variables o unidades de análisis:

Se utilizó una variable respuesta (distribución del vector) y 19 variables explicatorias

Tabla 1. *Operacionalización de variables o unidades de análisis*

Objetivo	Variable	Definición teórica de la variable	Definición operativa	Técnica	Instrum ento	Escala de medición
1	Distribución del vector	Es el espacio geográfico sobre el que se distribuye la especie en un ecosistema y todo su entorno.	Variable dependiente	Modelos de distribución computacionales	QGIS, Excel	Nominal
2	Cambio Climático	Es la modificación del clima con respecto al historial climático a una escala global o regional. Para el presente estudio se limita a 19 variables climáticas de los años presente, 2050 y 2070.	Variable independiente	Modelos de distribución computacionales	QGIS, Maxent, Niche Analyst,	Nominal

V. Resultados

Objetivo	Resultados esperados	Resultados obtenidos
<p>Colectar sitios de reporte de los vectores de dengue a través de toda su distribución.</p>	<p>Generar una base de datos electrónica para cada una de las especies de vectores relacionados a dengue, indicando el lugar del hallazgo, la autoría de quién realizó el descubrimiento y la fecha.</p>	<p>-Colecta de 19,000 coordenadas a nivel mundial de presencia para <i>A aegypti</i>, y 22,000 coordenadas para <i>A albopictus</i>. -Colecta de 170 coordenadas para Guatemala de <i>A aegypti</i>, y 73 para <i>A albopictus</i> -Realización de base de datos electrónica</p>
<p>Establecer la distribución de los sitios de ocurrencia de los vectores con variables climáticas en condiciones actuales y para los años 2050 y 2070.</p>	<p>Modelar la distribución potencial presente y futura de los mosquitos asociados a dengue según variables climáticas: Junto con la asociación estadística de las variables climáticas se espera hacer modelos geográficos, de escenarios para años presentes y futuros y seleccionar el mejor modelo que se ajuste a la realidad de cómo están y estarán distribuidos los vectores en el país.</p>	<p>- Realización de mapas en formato JPG sobre la distribución de los vectores con variables climáticas en condiciones actuales -Modelación en formatos tipo raster para <i>Aedes aegypti</i> y <i>Aedes albopictus</i> utilizando capas de clima futuro para el año 2050 y 2070 donde se observa una posible distribución de los vectores con las características de una ruta de concentración representativa (RCPs)</p>

<p>Identificar sitios de posible vulnerabilidad para el riesgo de transmisión de dengue.</p>	<p>Proporcionar un instrumento para identificar las localidades vulnerables al dengue en toda la república de Guatemala, indicando los departamentos donde se deben incrementar los esfuerzos en prevención, control, e investigación</p>	<p>-Realización de mapas en formato JPG donde se muestran la presencia y ausencia de ocurrencias para <i>Aedes aegypti</i> y <i>albopictus</i> en Guatemala</p> <p>-Tonicapán fue identificado como el único departamento con ausencia de vectores por lo que se realizó una colecta en el Cementerio Municipal, obteniéndose 5 larvas identificadas como <i>Culex quinquefasciatus</i>.</p> <p>- El modelo para <i>Aedes aegypti</i> señala que los Departamentos con presencia del vector son: Zacapa, el Progreso, Baja Verapaz, Guatemala, Jalapa, Chiquimula, Peten, Izabal, Escuintla, Santa Rosa y Jutiapa.</p> <p>-El modelo para <i>Aedes albopictus</i> señala que los Departamentos con presencia del vector son: Zacapa, el Progreso, Baja Verapaz, Guatemala, Jalapa, Chiquimula, Peten, Izabal, Santa Rosa y Jutiapa, Quiche, Huehuetenango y Sololá.</p>
<p>Difundir los resultados del estudio para hacer la información accesible para los tomadores de decisiones.</p>	<p>Socializar los resultados de los modelos con las organizaciones involucradas en el control y prevención de dengue en Guatemala, para que</p>	<p>-Artículo para publicación sobre ocurrencias del vector <i>Aedes aegypti</i> y <i>albopictus</i> en Guatemala</p> <p>-Redacción del informe final</p>

	<p>utilicen la información en su planificación: En una reunión se espera hacer del conocimiento público de los involucrados en control y prevención de dengue los mapas resultados de la investigación, sensibilizándolos sobre la metodología, y las aplicaciones y limitaciones de los resultados.</p>	
--	--	--

VI. Impacto esperado:

Se espera proporcionar un instrumento para identificar las localidades vulnerables al dengue en toda la república de Guatemala, indicando los departamentos donde se deben incrementar los esfuerzos en prevención, control, e investigación.

VII. Análisis y Discusión de Resultados:

Dado el impacto en la salud pública de dengue y la rápida propagación mundial de sus vectores, *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*, la comprensión de la distribución actual y futura, así como la determinación de los límites geográficos de la transmisión y la intensidad de la transmisión, permitirán una planificación más eficiente para su control y prevención (Messina et al, 2015).

Kraemer en 2015, en una base de datos de ocurrencias mundiales para *Aedes aegypti* (19,930) y *Aedes albopictus* (22,137); reporta 14 ocurrencias en 4 departamentos de Guatemala. En el presente estudio se reporta en el país, la presencia de *Aedes aegypti* en 21/22 departamentos (133 ocurrencias) y *Aedes albopictus* en 11/22 departamentos (75 ocurrencias). Los datos proporcionados por el MSPAS que no contenían la información necesaria para ser validados a coordenadas geográficas fueron excluidos, por lo que debe considerarse que la presencia de ambos vectores en el país puede ser mayor. Los hallazgos podrían sugerir una ampliación de la distribución de los vectores en el país lo que coincide no solo con el aumento en el número de casos de dengue, sino con la aparición de enfermedades como Chikungunya y el reciente brote de Zika en el país. Se debe considerar que la disponibilidad de datos sobre la presencia de mosquitos a nivel mundial y local es una limitación; estos datos son todavía escasos e incluso carecen de algunas regiones clave, no presentando información de coordenadas geográficas. Claramente, existen más datos, pero son enclaustrados en la investigación nacional, institucional e incluso bases de datos personales que no han sido publicadas. Según nuestro conocimiento, esta base de datos es la más grande y representativa de las ocurrencias de *Aedes aegypti* y *albopictus* en Guatemala, misma que puede ser utilizada para la modelación a escala mundial de la distribución de ambos vectores.

La evidencia ha demostrado que la incidencia de dengue en áreas endémicas presenta estacionalidad y periodicidad inter-anual, reflejo de cambios en las condiciones de temperatura y humedad (Ochoa, 2015). De allí, que para que los datos de ocurrencias sean válidos debe incluirse el reporte en diferentes épocas del año y no solamente en el período de época seca. De hecho, el nuevo enfoque de la vigilancia pone énfasis en el período inter-epidémica, ya que la información sobre la endemidad del dengue es importante en la predicción de las epidemias (Naish, 2014)

En relación a *Aedes aegypti*, en Guatemala se reporta ausencia del vector únicamente en el departamento de Totonicapán. Las larvas recolectadas en el Cementerio Municipal del departamento fueron identificadas como *Culex quinquefasciatus*. Este hallazgo puede indicar un sitio de ausencia estricta del género *Aedes*, lo que sería explicado por condiciones bióticas y abióticas que no permiten la reproducción del vector, así como por las variables climáticas y geográficas del lugar. Sin embargo, a pesar de existir probablemente una ausencia estricta del vector en Totonicapán, el Centro Nacional de Epidemiología (CNE), reporta presencia de casos clínicos (6 casos de Dengue en 2014 y 5 en 2015). Debe analizarse que el reporte de datos de vigilancia clínica incluye tanto casos confirmados como sospechosos. La definición de caso utilizada por el MSPAS incluye enfermedad febril aguda, cefalea, exantema, mialgias y otros síntomas que a menudo suelen ser inespecíficos y cuyo diagnóstico diferencial es muy amplio, incluido otros arbovirus como chikungunya, zika además de enfermedades como fiebre tifoidea, leptospirosis, influenza, entre otras. Así mismo, debe tomarse en cuenta además la posible migración de casos de áreas aledañas. Los supuestos de ausencia de los vectores en una región pueden limitar la vigilancia en estos lugares y convertirse en futuros focos de brotes y epidemias, de allí que deban continuarse los intentos por verificar los sitios de presencia y establecer sistemas de vigilancia epidemiológica estricta. De acuerdo a Naish en 2014 se necesitan medidas urgentes para mejorar el control de calidad de los datos de vigilancia, incluidos mejoras en las definiciones de caso, confirmación del diagnóstico y reportes incompletos de datos por medios de notificación manuales.

La valoración de los límites de transmisión del virus del dengue a nivel mundial y local se complica por diferencias en las distribuciones del vector primario, *Aedes aegypti*, y lo que a menudo se considera un vector secundario, *Aedes albopictus* (Brady et al., 2014). El patrón de los sucesos conocidos y los mapas de potencial distribuciones para las dos especies sugieren que la distribución de *Aedes aegypti* es más extensa. Las distribuciones de ambas especies son dependientes de la temperatura, un factor limitante en la supervivencia de los mosquitos adultos y en el ciclo gonotrófico (Brady et al., 2013).

Aedes albopictus es una especie más tolerante de las bajas temperaturas y mantiene una amplia variedad de criaderos, tanto en recipientes artificiales como naturales. Tales características lo transforman en un vector de más difícil control e improbable eliminación,

una vez que éste radica. Se ha detectado una verdadera "competencia", con *Aedes aegypti* por los mismos tipos de criaderos en ambientes urbanos, donde *Aedes albopictus* logra desplazar gradualmente a su competidor, con posterioridad a un tiempo de coexistencia (Agrelo, 1996)

Aun cuando en las interacciones entre las dos especies: *Aedes albopictus* parece ser superior competidor, los papeles relativos y la importancia de estas dos especies en la transmisión del dengue parece ser desigual (Campbell et al, 2015). Un reciente análisis indicó que *Aedes albopictus* no parece conducir principales brotes de dengue, de manera que *Aedes aegypti* emerge como el principal impulsor de la transmisión del dengue a gran escala (Naish, 2014). Estos desequilibrios, sin embargo, no son constantes para otras enfermedades virales como Chikungunya, que se transmite fácilmente por *Aedes albopictus*, al menos en algunos casos, y que ha mostrado recientemente una importante expansión geográfica, importación y potencial de colonización del vector (Fischer, 2013).

Evaluaciones de laboratorio de la competencia vectorial asocian la reciente aparición del virus de Chikungunya con una única mutación que aumenta la eficiencia de la transmisión por *Aedes albopictus*, la mutación parece conferir una ventaja selectiva al virus en lugares donde éste predomina sobre *Aedes aegypti*. No se puede descartar entonces que el desplazamiento de *Aedes aegypti* por *Aedes albopictus* se acompañe de adaptaciones virales a esta especie de mosquito vector invasivo y cada vez más abundante, seguido de un resurgimiento mundial de otras enfermedades por arbovirus (Lambrechts, 2010)

Nuestros modelos se desarrollaron para explorar implicaciones del cambio climático para estas dos especies; en las proyecciones futuras se establece un considerable potencial de desplazamiento de estos vectores en varias direcciones, especialmente en los departamentos de Zacapa, el Progreso, Baja Verapaz, Guatemala, Jalapa, Chiquimula, Peten, Izabal, Escuintla, Santa Rosa y Jutiapa. De acuerdo a la vigilancia epidemiológica y los reportes del CNE para el 2015, los departamentos con mayor tasa por 100,000 habitantes de casos acumulados fueron: Guatemala Central (309.43), Baja Verapaz (307.56), Santa Rosa (303.73), Sacatepéquez (293.98), Escuintla (155.15) y Zacapa (151.75). Es importante recalcar que Chiquimula (78.74), Izabal (73.91), El Progreso (65.57), Jutiapa (50.39) y Jalapa (11.53) presentan tasas más bajas, por lo que de acuerdo a los modelos debieran ser áreas de intensificación en el control y erradicación del vector, a fin de prevenir futuros brotes o

epidemias. Debe mencionarse que, en la vigilancia de salud, existen áreas donde la información no se notifica oportunamente lo que puede producir un déficit en el análisis.

Varios estudios de modelización han intentado predecir la futura distribución mundial del dengue. Sin embargo, las proyecciones resultantes son difíciles de comparar y son a veces contradictorios porque los modelos difieren en su enfoque, en la calidad de los datos de la enfermedad que utilizan y en la elección de las variables que impulsan distribución de la enfermedad (Messina, 2015). Los modelos presentados en este documento están lejos de ser definitivos. Una ventaja de los modelos es que se utilizaron una gama amplia de variables climáticas incluyendo la precipitación; esto es un factor crucial para limitar la distribución de las dos especies y discriminar entre las áreas en las que pueden y no pueden persistir las especies (Brady, 2014; Campbell et al, 2015).

Existen algunas limitaciones en la realización de modelos. En primer lugar, las interacciones competitivas entre las dos especies y la urbanización no planificada no se reflejan en estos modelos, por lo que modelos multi escalares se hacen necesarios (Kraemer, 2015). Predecir con exactitud las distribuciones futuras de estas especies también requerirán estimaciones basadas en modelos de la velocidad a la que estas especies colonizan nuevas áreas. Tales predicciones pueden ser informados por los patrones de movilidad humana y comerciales entre las regiones endémicas y no endémicas, así como datos sobre el pasado y la propagación de los vectores (Campbell, 2015). Los modelos de distribución de especies *Aedes* futuras podrían mejorarse mediante la inclusión de una covariable mundial integral que distingue a los asentamientos humanos usando herramientas de procesamiento de imágenes de satélite compleja (Schneider, 2012)

En segundo lugar, estudios previos han proporcionado información crucial sobre la variación genética dentro y entre las poblaciones de estas dos especies de vectores (Brown et al., 2011). Los análisis filogeográficos ofrecen una forma única para inferir los patrones recientes del vector de propagación e identificar las principales rutas de importación (Allicock et al., 2012). Esta información es crucial para informar a los modelos que predicen el riesgo de introducción de vectores y para caracterizar las subespecies de diferentes de vectores. Esto podría ser particularmente útil en el caso de *Aedes albopictus*, donde la variación genética es conocida por ser la base de la capacidad de sufrir diapausa y por lo

tanto pasar el invierno en lugares más fríos (Takumi et al., 2009). El mapeo de la distribución de los subgrupos genéticos distintos puede también mejorar nuestra comprensión de las complejas interacciones entre las poblaciones de mosquitos vectores y cepas de virus y cómo esto se relaciona con la variación espacial de la intensidad de transmisión (Weaver, 2015).

Finalmente, Tanto *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* tiene una historia de expansión global asociado con el comercio, los viajes y la mayor conectividad global (Brown et al, 2014). A medida que estos procesos continúan y el mundo se vuelve cada vez más conectado y urbanizado, el riesgo de la importación y la transmisión autóctona subsiguiente de dengue y otros arbovirus seguirá aumentado (Messina et al., 2015). La mejora de nuestra capacidad para predecir las tasas de importación de vectores será, por tanto, crucial para inferir el riesgo futuro (Kraemer, 2015)

Aunque es evidente que las poblaciones de vectores pueden existir sin presencia de virus, tales poblaciones preparan el terreno para que las enfermedades sean de fácil introducción. El desarrollo de umbrales útiles requiere de un esfuerzo constante para asegurar que los índices de vigilancia y su asociación con el riesgo en seres humanos puedan compararse con el paso del tiempo. Los datos sobre la vigilancia de los mosquitos y la incidencia de la enfermedad en los seres humanos, recopilados durante varias temporadas de transmisión, son necesarios para establecer indicadores predictivos útiles. Investigadores del IRD han analizado los datos epidemiológicos y climatológicos registrados durante cuarenta años en Numea pudiendo demostrar la correlación que existe entre las condiciones climatológicas particulares y la aparición de brotes de dengue. A partir de allí, se han elaborado modelos estadísticos explicativos y predictivos de los episodios virales que son utilizados por las autoridades de salud pública como herramientas en la toma de decisiones.

Los mapas presentados comprenden una estimación de la distribución actual y potencial futuro de *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* en el país. A medida que se disponga de más datos sobre la presencia, estos mapas pueden ser refinados. Específicamente, estos mapas se pueden usar para dar prioridad a las estrategias de prevención en los sitios vulnerables identificados.

VIII. Conclusiones:

1. En Guatemala, se obtuvo un total de 133 ocurrencias para *Aedes aegypti*, siendo Totonicapán el único departamento con ausencia del vector. Para *Aedes albopictus* el total de ocurrencias fue de 75 distribuidos en 11 de los 22 departamentos.
2. De acuerdo a los modelos para *Aedes aegypti* se señala que los departamentos con mayor presencia del vector en escenarios actuales y futuros son: Zacapa, El Progreso, Baja Verapaz, Guatemala, Jalapa, Chiquimula, Peten, Izabal, Escuintla, Santa Rosa y Jutiapa.
3. El modelo para *Aedes albopictus* señala que los departamentos con mayor presencia del vector en 2030 y 2050 son: Zacapa, el Progreso, Baja Verapaz, Guatemala, Jalapa, Chiquimula, Peten, Izabal, Santa Rosa y Jutiapa, Quiche, Huehuetenango y Sololá
4. La presencia o ausencia de los vectores responde a variables climáticas no siendo un fenómeno al azar.
5. El modelo propuesto puede ser fortalecido, ampliando las variables exploratorias propuestas. En el presente caso se utilizaron variables cuantitativas climáticas, por lo que sería sensato en un futuro, incluir en modelos lineales generalizados y mixtos, otras variables tal como el saneamiento ambiental.
6. El valor predictivo de los modelos se presentó en valores de $AUC=0.755$ para *Aedes aegypti* y $AUC=0.785$ para *Aedes albopictus*. El valor superior a $AUC=0.5$ sugiere poder predictivo, sin embargo, podría ser mejorado significativamente a valores superiores a 0.8, idealmente 0.9.

IX. Referencias

- Allcock, O. M., Lemey, P., Tatem, A. J., Pybus, O. G., Bennett, S. N., Mueller, B. A., ... & Carrington, C. V. (2012). Phylogeography and population dynamics of dengue viruses in the Americas. *Molecular biology and evolution*, 29(6), 1533-1543.
- Agrelo, R. S. (1996). *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus* (Diptera, Culicidae) y su papel como vectores en las Américas. La situación de Uruguay. *Rev Med Uruguay*, 12, 28-36.
- Berberian, Griselda, & Rosanova, María Teresa. (2012). Impacto del cambio climático en las enfermedades infecciosas. *Archivos argentinos de pediatría*, 110(1), 39-45. <https://dx.doi.org/10.5546/aap.2012.39>
- Bhatt, S., Gething, P. W., Brady, O. J., Messina, J. P., Farlow, A. W., Moyes, C. L., ... & Myers, M. F. (2013). The global distribution and burden of dengue. *Nature*, 496(7446), 504-507.
- Brady, O. J., Gething, P. W., Bhatt, S., Messina, J. P., & Brownstein, J. S. (2012). Refining the Global Spatial Limits of Dengue Virus Transmission by Evidence.
- Brady, O. J., Golding, N., Pigott, D. M., Kraemer, M. U., Messina, J. P., Reiner Jr, R. C., ... & Hay, S. I. (2014). Global temperature constraints on *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus* persistence and competence for dengue virus transmission. *Parasites & vectors*, 7(1), 1.
- Brown, J. E., McBride, C. S., Johnson, P., Ritchie, S., Paupy, C., Bossin, H., ... & Black, W. C. (2011). Worldwide patterns of genetic differentiation imply multiple 'domestications' of *Aedes aegypti*, a major vector of human diseases. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 278(1717), 2446-2454.
- Campbell, L. P., Luther, C., Moo-Llanes, D., Ramsey, J. M., Danis-Lozano, R., & Peterson, A. T. (2015). Climate change influences on global distributions of dengue and chikungunya virus vectors. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 370(1665), 20140135.
- Centro Nacional de Epidemiología CNE. (2016). Situación de semanas epidemiológicas 2015. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Recuperado de: <http://epidemiologia.mspas.gob.gt/index.php/dos/salas-situacionales/situacion-de-semanas-epidemiologicas>
- Fischer D, Thomas SM, Suk JE, Sudre B, Hess A, Tjaden NB, Beierkuhnlein C, Semenza JC. 2013 Climate change effects on Chikungunya transmission in Europe: geospatial analysis of vector's climatic suitability and virus' temperature requirements. *Int. J. Health Geogr.* 12, 51. (doi:10.1186/1476- 072X-12-51)
- Kraemer, M. U., Sinka, M. E., Duda, K. A., Mylne, A. Q., Shearer, F. M., Barker, C. M., ... & Hendrickx, G. (2015). The global distribution of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus*. *Elife*, 4, e08347.

- Lambrechts, L., Scott, T. W., & Gubler, D. J. (2010). Consequences of the expanding global distribution of *Aedes albopictus* for dengue virus transmission. *PLoS Negl Trop Dis*, *4*(5), e646.
- Messina, J. P., Brady, O. J., Pigott, D. M., Golding, N., Kraemer, M. U., Scott, T. W., ... & Hay, S. I. (2015). The many projected futures of dengue. *Nature Reviews Microbiology*, *13*(4), 230-239.
- Naish, S., Dale, P., Mackenzie, J. S., McBride, J., Mengersen, K., & Tong, S. (2014). Climate change and dengue: a critical and systematic review of quantitative modelling approaches. *BMC infectious diseases*, *14*(1), 1.
- Ochoa Zaldivar, M., Castellanos Martínez, R., Ochoa Padierna, Z., & Oliveros Monzón, J. L. (2015). Variabilidad y cambio climáticos: su repercusión en la salud. *MediSan*, *19*(7), 873-885.
- Vezzani, D. (2007). Review: Artificial container-breeding mosquitoes and cemeteries: a perfect match. *Tropical Medicine & International Health*, *12*(2), 299-313.
- Weaver, S. C., & Lecuit, M. (2015). Chikungunya virus and the global spread of a mosquito-borne disease. *New England Journal of Medicine*, *372*(13), 1231-1239.
- Yang, Y. T., & Sarfaty, M. (2016). Zika virus: A call to action for physicians in the era of climate change. *Preventive Medicine Reports*, *4*, 444-446.

X. Apéndice

Figura 1. Base de datos mundial de sitios donde se reporta la presencia de *Aedes aegypti*

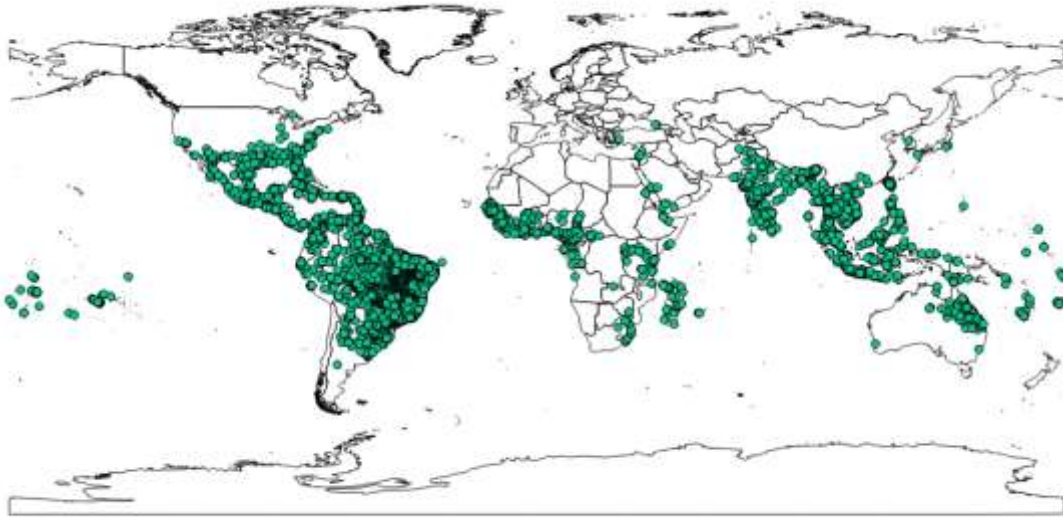


Figura 2. Base de datos mundial de sitios donde se reporta la presencia de *A. albopictus*

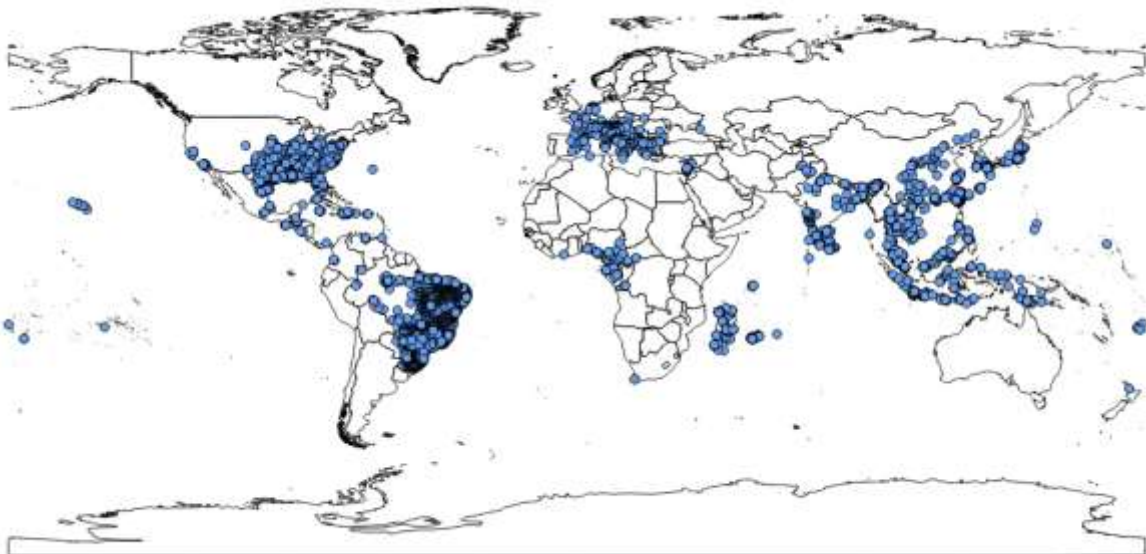


Figura 3. Base de datos Guatemala en sitios donde se reporta presencia de *Aedes aegypti*.

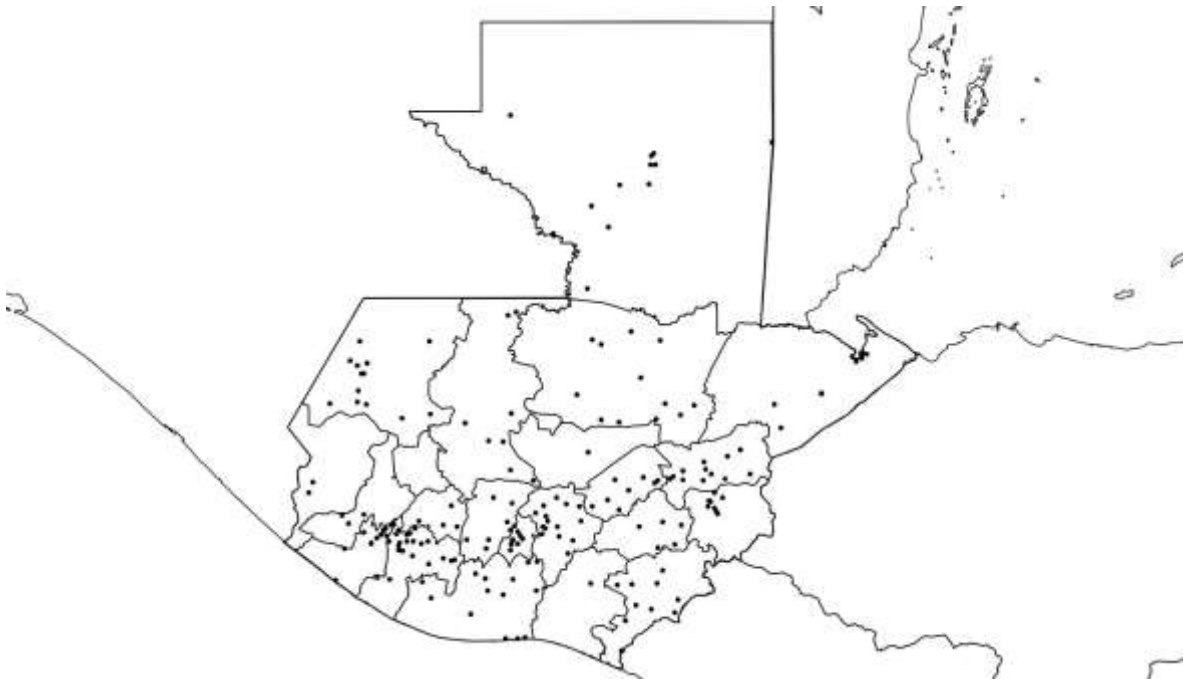


Figura 4. Base de datos Guatemala en sitios donde se reporta presencia de *A. albopictus*



Figura 5. Distribución de *Aedes aegypti* en un escenario de clima presente en territorio centroamericano

Valores de probabilidad de presencia se encuentran en rojo

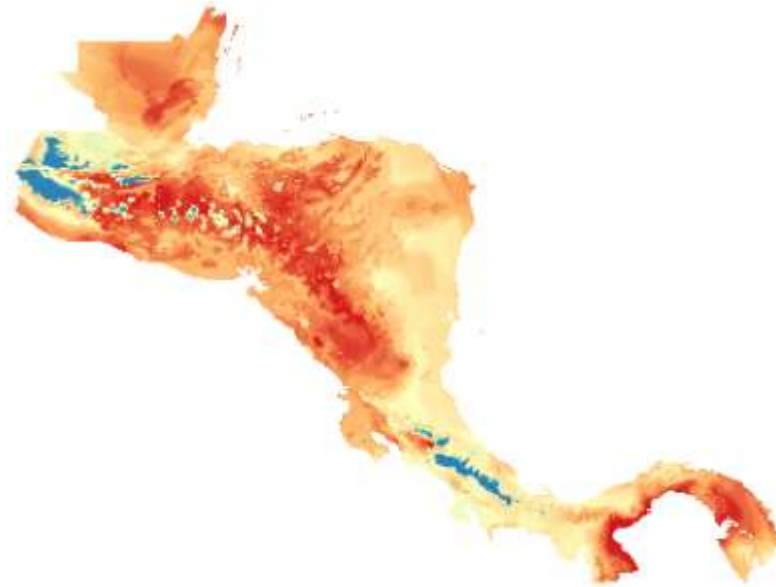


Figura 6. Distribución de *Aedes aegypti* en un escenario de clima modelado para el año 2050 en territorio centroamericano

Valores de probabilidad de presencia se encuentran en rojo

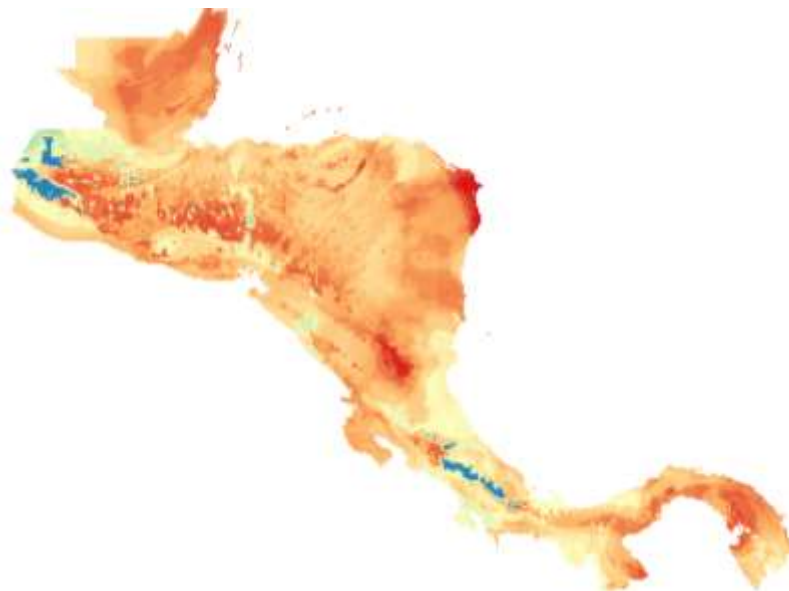


Figura 7. Distribución de *Aedes aegypti* en un escenario de clima modelado para el año 2070 en territorio centroamericano

Valores de probabilidad de presencia se encuentran en rojo

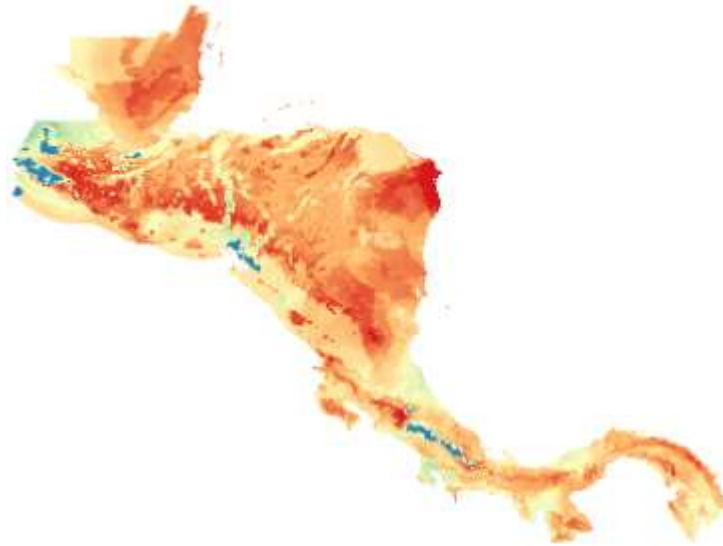


Figura 8. Distribución de *Aedes albopictus* en un escenario de clima presente en territorio centroamericano

Valores de probabilidad de presencia se encuentran en rojo

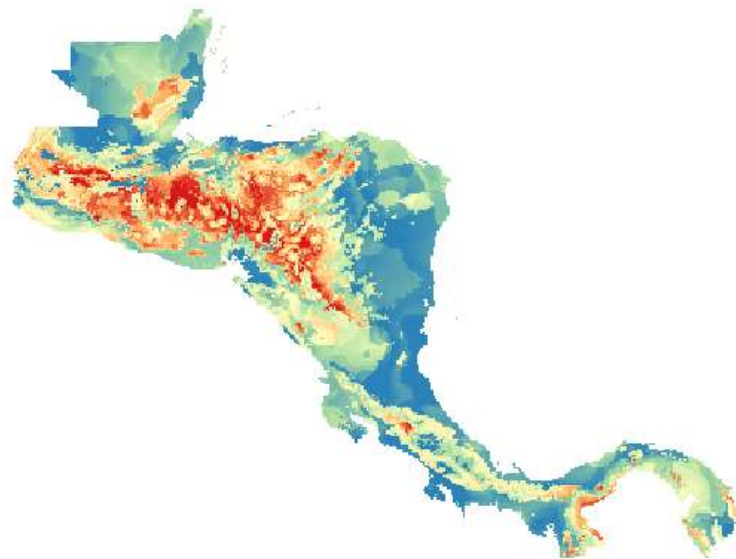


Figura 9. Distribución de *Aedes albopictus* en un escenario de clima futuro para el año 2050 en territorio centroamericano

Valores de probabilidad de presencia se encuentran en rojo

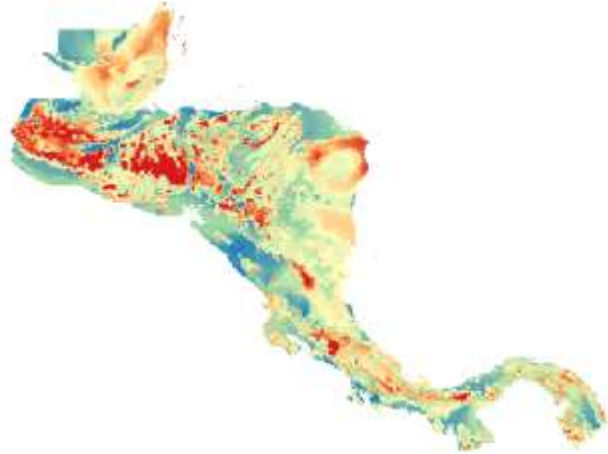


Figura 10. Departamentos de Guatemala con mayor probabilidad de presencia del vector *Aedes aegypti* en color rojo.

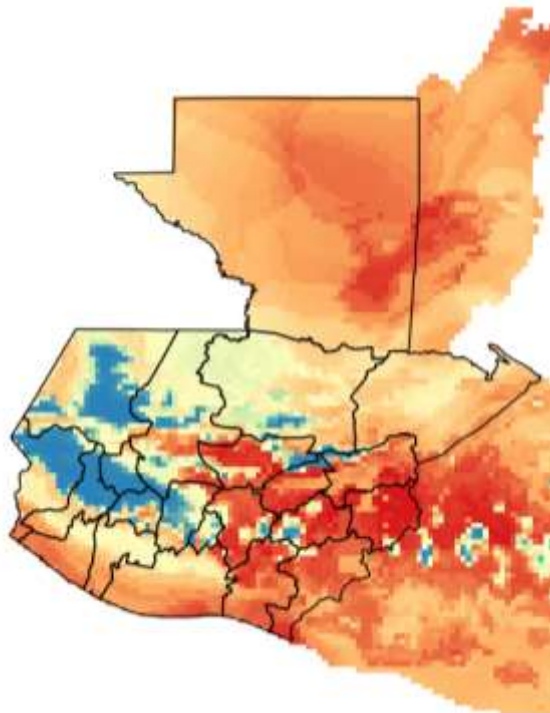


Figura 11. Departamentos de Guatemala con mayor probabilidad de presencia del vector *Aedes albopictus* en color rojo

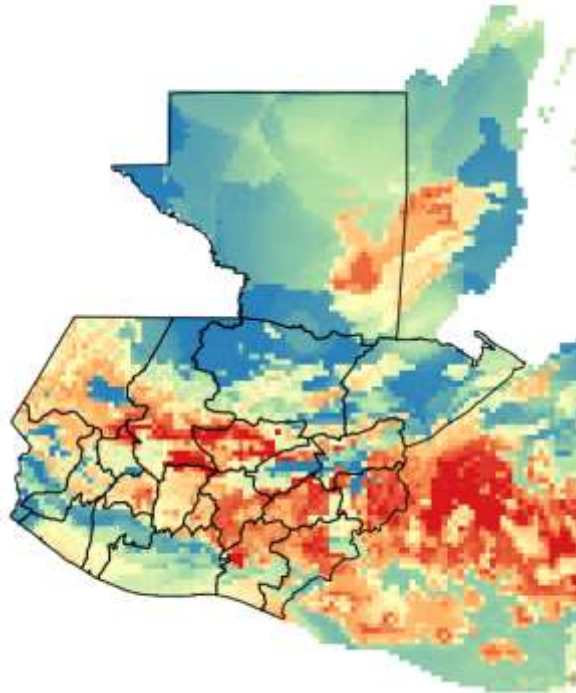


Figura 12. Calculo del valor predictivo AUC para *Ae. albopictus*.

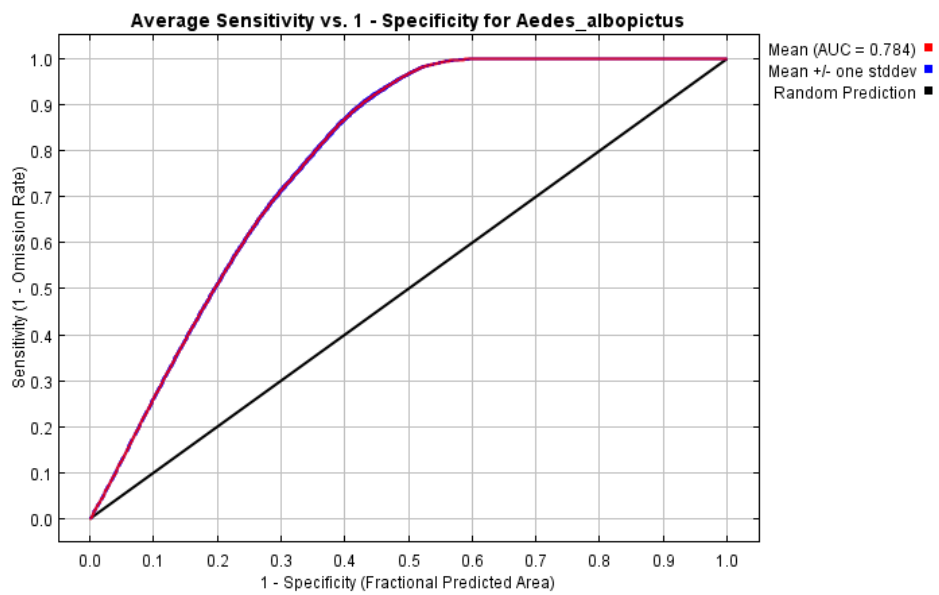
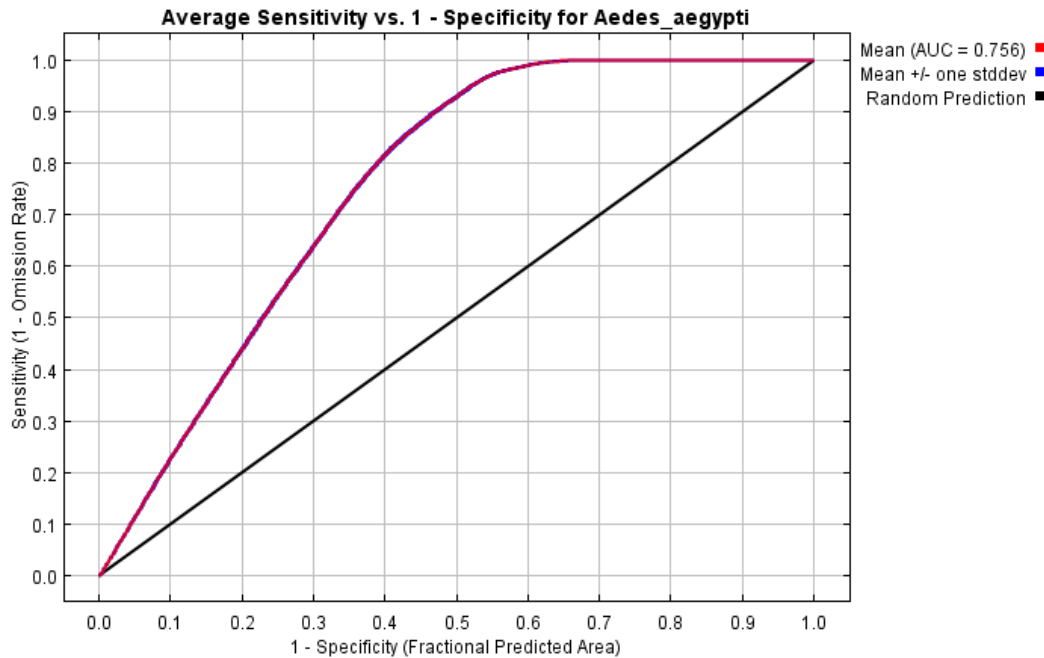


Figura 13. Calculo del valor predictivo AUC para *Ae. aegypti*



XI. Actividades de Gestión, vinculación y divulgación realizadas (docencia, extensión):

Se realizó una presentación a 52 estudiantes que están realizando su Ejercicio Profesional Supervisado EPS, de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Se explicó el propósito y la metodología del proyecto con la intención de hacerlos participar activamente. Una estudiante fue anuente a involucrarse y actualmente a colectadas muestras de larvas de zancudo para el Departamento de Huehuetenango, con la ayuda de técnicos del Programa de Control de Vectores de Ministerio de Salud y Asistencia Social, con quienes se realizaron gestiones para el apoyo. El estudio tiene la participación de un investigador en el extranjero, PhD. Luis Escobar, egresado de la USAC que actualmente es investigador en Veterinary Population Medicine Department Veterinary Medical Center, 1365 Gortner Avenue University of Minnesota, St. Paul, MN 55108, USA. Su contacto por cualquier información es E-mail: lescobar@umn.edu

XII. Orden de Pago:

Equipo de Investigación

Contratados por unidad avaladora	Otros colaboradores
Manuel Lepe Amílcar Dávila Luis Villeda	Marcela Dávila (estudiante 5to año de veterinaria)

Contratados por la Dirección General de Investigación					
Nombre	Categoría	Registro de personal	PAGO DIGI		Firma
			Si	No	
Manuel Lepe	Coordinador	20141246		X	
Miriam Canet	Investigadora		x		

Manuel Lepe López
Coordinador(a) proyecto de investigación

Dra. Hilda Valencia de Abril
Coordinador(a) Programa Universitario de Investigación.

Ing. Agr. Julio Rufino Salazar,
Coordinador General de Programas.