



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
Facultad de Ciencias Naturales
Maestría en Salud y Producción Animal Sustentable

**"Distribución potencial en México de garrapatas del género
Amblyomma de importancia en salud"**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestro en Salud y Producción Animal Sustentable

Presenta

L.G. Israel Ugalde Villanueva

Dirigido por:

Dra. Gabriela Aguilar Tipacamú

Co-dirigido por:

M. en C. Pablo Francisco Colunga Salas

Centro Universitario, Querétaro, Qro.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
Facultad de Ciencias Naturales
Maestría en Salud y Producción Animal Sustentable

**"Distribución potencial en México de garrapatas del género
Amblyomma de importancia en salud"**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de

Maestro en Salud y Producción Animal Sustentable

Presenta

Israel Ugalde Villanueva

Dirigido por:

Dra. Gabriela Aguilar Tipacamú

Co-dirigido por:

M. en C. Pablo Francisco Colunga Salas

Dra. Gabriela Aguilar Tipacamú
Presidente

M. en C. Pablo Francisco Colunga Salas
Secretario

Dr. Daniel Sokani Sánchez Montes
Vocal

M. G. Hugo Luna Soria
Vocal

Dra. Tércia Cesária Reis de Souza
Vocal

Centro Universitario, Querétaro, Qro.

Fecha

México

Resumen

Las enfermedades transmitidas por vectores se han incrementado en las últimas décadas, debido a factores como el cambio de hábitat, así como por la invasión de hábitats por parte de poblaciones humanas. Tal es el caso de algunas especies del género *Rickettsia*, causantes de enfermedades como las Fiebres Maculosas y el Tifo epidémico, las cuales se han asociado con la presencia de *Amblyomma maculatum*, *Amblyomma mixtum*, *Amblyomma ovale* y *Amblyomma triste*. Debido a la importancia de estas garrapatas en salud pública, el objetivo de este trabajo fue estimar las zonas con factores ambientales propicios para la presencia de *A. maculatum*, *A. mixtum*, *A. ovale* y *A. triste* en México. A partir de registros obtenidos de colecciones públicas universitarias y de artículos, se construyó una base de datos con los registros puntuales para cada especie de garrapata. Las predicciones de las áreas con factores ambientales propicios para las garrapatas se realizaron mediante el uso del algoritmo de nicho ecológico de MaxEnt, utilizando las 19 variables climáticas de BioClim. La cobertura vegetal, precipitación, temperatura y humedad fueron las variables que tuvieron más relevancia en este proceso de modelado, puesto que con su presencia existe una mayor probabilidad de encontrar a *A. maculatum* en las regiones de Sinaloa, Jalisco, Michoacán, Tamaulipas, Veracruz, Guerrero, Chiapas, Quintana Roo, Yucatán, Campeche y Oaxaca. Por su parte, *A. mixtum* se estima en Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche y Chiapas con áreas más pequeñas en Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Jalisco, Nayarit y Sinaloa. Mientras que para *A. ovale* es en Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, zonas del caribe como Yucatán y Quintana Roo, así como en Chiapas, Oaxaca, Guerrero y Michoacán. Por último, *A. triste* se encuentra en zonas de Chihuahua, Coahuila, Tamaulipas, y en menor medida, en Chihuahua y Baja California. En conclusión, este trabajo resalta las áreas en las que se deberían realizar muestreos para comprobar la presencia de estas especies de importancia en salud. Por otro lado, es importante resaltar estas áreas, como zonas en las que estas especies, en caso de no encontrarse, puedan establecerse con mayor

probabilidad debido a la afinidad climática. Por lo anterior, la vigilancia acarológica en estas zonas debe de priorizarse, para evitar el ingreso de posibles patógenos de importancia en salud humana y veterinaria. Finalmente, resulta evidente que el uso de herramientas como los SIG y las modelaciones de nichos ecológicos, son de gran ayuda para dirigir los muestreos, así como priorizar la vigilancia epidemiológica, pero por otra parte, para lograr este tipo de trabajos, es necesaria una constante actualización de cada nuevo de las especies, para poder realizar trabajos más precisos.

Palabras clave: Garrapatas, Distribución Potencial, Variables Climáticas, Nicho Ecológico, MaxEnt.

Abstract

Vector-borne diseases have increased in recent decades, due to factors such as habitat change, as well as the invasion of habitats by human populations. Such is the case of some species of the genus *Rickettsia*, causing diseases such as Spotted Fevers and epidemic Typhus, which have been associated with the presence of *Amblyomma maculatum*, *Amblyomma mixtum*, *Amblyomma ovale* and *Amblyomma triste*. Due to the importance of these ticks in public health, the objective of this work was to estimate the areas with favorable environmental factors for the presence of *A. maculatum*, *A. mixtum*, *A. ovale* and *A. triste* in Mexico. From records obtained from public university collections and articles, a database was built with the specific records for each species of tick. The predictions were made using the ecological niche modeling algorithm called MaxEnt, using the 19 climatic variables of BioClim. The vegetation cover, precipitation, temperature and humidity were some of the variables that contributed more relevance in this modeling process. The results of the modeling made it clear that *A. maculatum* can be found in Sinaloa, Jalisco, Michoacán, Tamaulipas, Veracruz, Guerrero, Chiapas, Quintana Roo, Yucatán, Campeche and Oaxaca. For his part. *A. mixtum* is found in Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche and Chiapas with smaller areas in Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Jalisco, Nayarit and Sinaloa. Just as *A. ovale* is in states such as Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, areas of the Caribbean such as Yucatán and Quintana Roo, and in the Pacific Ocean in Chiapas, Oaxaca, Guerrero and Michoacán. Finally, *A. triste* is found in areas of Chihuahua, Coahuila, Tamaulipas, and to a lesser extent in Chihuahua and Baja California. In conclusion, this work highlights the areas in which sampling should be carried out to verify the presence of these species of importance in health. On the other hand, it is important to highlight these areas, as areas in which these species, if they are not found, can establish themselves with greater probability due to climatic affinity. Therefore, surveillance of acarology in these areas should be prioritized to prevent the entry of possible

pathogens of importance in human and veterinary health. Finally, it is clear that the use of tools such as GIS and ecological niche modeling are of great help in directing sampling, as well as prioritizing epidemiological surveillance, but on the other hand, to achieve this type of work, it is necessary to constant updating of each new species, in order to carry out more precise work.

Keywords: Ticks, Potential Distribution, Climate Variables, Ecological Niche, MAXENT

Dedicatorias

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante en mi formación profesional. A mi madre, uno de los Pilares que sostienen mi vida, Por mostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones. A mi Esposa otro de esos pilares, a pesar de tan difíciles momentos que hemos atravesado siempre he sentido que estás conmigo, aún nos faltan muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento es tan especial para ti como lo es para mí. Y a mis últimos tres pilares los más pequeñitos, pero los más fuertes, esos que nunca me dejan aflojar mi pequeña Fernanda, mi chaparrito Ezequiel y al más pequeño Isaí. También quiero dedicárselo a mis hermanas Miriam y Brenda y a mi Hermano Isaí por amarme y apoyarme tanto, Muchas Gracias.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología le agradezco la beca recibirá a lo largo del posgrado. Al grupo colegiado de la Maestría en Salud y Producción Animal Sustentable, porque a pesar de no ser afín al área de Veterinaria concedieron la aceptación a este geógrafo loco y le permitieron continuar con su formación académica.

Expreso mi profundo agradecimiento a todos los miembros de mi grupo de revisión y corrección de tesis, A mi directora la Dra. Gabriela Aguilar Tipacamu, A mi codirector el Dr. Pablo Colunga salas, al M. en G. Hugo luna Soria, al Dr. Daniel Sokani Sánchez montes, y por último e igual de importante a la Dra. Tércia Cesária Reis de Souza. Quiero agradecerles su amistad, instrucción y colaboración durante el desarrollo de este trabajo, les agradezco su dedicación y valiosos aportes durante la maestría, les agradezco las múltiples sugerencias y consideraciones durante el desarrollo de dicha investigación. Los 5 formaron un maravilloso comité tutorial, siempre ayudándome a mejorar como estudiante.

Índice

Resumen	i
Abstract.....	iii
Dedicatorias	v
Agradecimientos	vi
Índice.....	vii
Índice de Cuadros	xii
I Introducción.....	13
II ANTECEDENTES	15
2.1 Generalidades de las Garrapatas.....	15
2.1.1 TAXONOMÍA	17
2.1.2 ENFERMEDADES, VECTORES Y POSIBLES RESERVORIOS DE LAS ZONOSIS TRANSMITIDAS POR GARRAPATAS.	18
<i>Cuadro 2. Vectores y reservorios de las diferentes zoonosis transmitidas por garrapatas (Reyes et al., 2011).</i>	19
2.2 Genero <i>Amblyomma</i>	20
2.2.1 CICLO DE VIDA.....	20
2.2.2 ESPECIES INCLUIDAS EN ESTE TRABAJO	21
2.2.2.1 <i>Amblyomma maculatum</i>	22
2.2.2.2 <i>Amblyomma mixtum</i>	24
2.2.2.3 <i>Amblyomma ovale</i>	25
2.2.2.4 <i>Amblyomma triste</i>	27
2.2.3 DISTRIBUCIÓN EN MÉXICO	29
2.3 Nicho Ecológico	31
2.3.1 TIPOS DE NICHOS ECOLÓGICOS.....	32
2.3.2 RELACIÓN ENTRE HÁBITAT Y NICHOS ECOLÓGICOS	32
2.4 Sistemas de Información Geográfica	33
2.4.1 APLICACIÓN E IMPORTANCIA DE LOS SIG.....	34
2.4.2 MAXENT	36

2.5 Modelos de distribución de especies en garrapatas por cambios climáticos	38
III. Objetivos:	39
3.1 OBJETIVO GENERAL	39
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	39
IV. Material y Métodos	39
4.1 ÁREA DE ESTUDIO	39
4.2 DATOS DE DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE	40
4.3 VARIABLES CLIMÁTICAS	41
4.4 PREPARACIÓN DE DATOS DE ENTRADA	43
4.6 SELECCIÓN VS APORTACIÓN DE LAS VARIABLES ECOLÓGICAS	44
V Resultados.....	45
5.1 CONTRIBUCIÓN PORCENTUAL POR VARIABLES CLIMÁTICAS	47
<i>Cuadro 7. Total % de aportación de las 20 variables para su discriminación por su aporte al modelo.</i>	<i>48</i>
<i>Cuadro 8. Total % de contribución de cada variable al modelo de distribución de A. maculatum en el país.....</i>	<i>52</i>
<i>Cuadro 9. Total % de contribución de cada variable al modelo de distribución de A. mixtum en el país.....</i>	<i>55</i>
<i>Cuadro 11. Total % de contribución de cada variable al modelo de distribución de A. triste en el país.....</i>	<i>61</i>
VI. Discusión.....	62
<i>Figura 22: Temperatura máxima mensual 1970. Fuente: E. Martínez-Meyer, Cuervo-Robayo A.P., C. Ureta, M.A. Gómez-Albores, A.K. Meneses-Mosquera, O. Téllez.</i>	<i>65</i>
<i>Figura 23: Temperatura máxima mensual 2000. Fuente: E. Martínez-Meyer, Cuervo-Robayo A.P., C. Ureta, M.A. Gómez-Albores, A.K. Meneses-Mosquera, O. Téllez.</i>	<i>65</i>
<i>Figura 24: Precipitación media anual. (Cuervo-Robayo, A. P., Martínez-Meyer, E., Manjarrez, J., Venegas-Barrera, C. S., Téllez-Valdés, O.)</i>	<i>66</i>
<i>Figura 25: Uso de suelo y vegetación. Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2016).....</i>	<i>67</i>
VII Conclusiones	70

VIII Bibliografía	72
--------------------------------	-----------

Índice de Figuras

Figura 1. Garrapatas duras, partes principales de la hembra adulta.....	16
Figura 2. Ciclo de vida de las garrapatas	21
Figura 3. Garrapatas adultas (izquierda) y hembra (derecha), <i>Amblyomma maculatum</i> Koch.	23
Figura 4. Vista dorsal de la morfología de <i>Amblyomma mixtum</i> . (A) Macho; (B) Hembra.....	25
Figura 5. <i>A. ovale</i> : A) Macho vista dorsal; B) Macho vista ventral; C) Hembra vista dorsal; D) Hembra vista ventral.	27
Figura 6. <i>Amblyomma triste</i> Macho lado izquierda y hembra lado derecha...	29
Figura 7. Distribución algunas especies de <i>Amblyomma</i> en México (SENASICA, 2013).....	29
Figura 8. Competencia de varias especies por el mismo nicho ecológico.....	33
Figura 9. Diagrama de un SIG.	34
Figura 10. Total de garrapatas por especie y por entidad federativa.....	42
Figura 11. Distribución por especie de garrapatas en el país.....	45
Figura 12. Distribución Potencial <i>A. maculatum</i> en el país.....	51
Figura 13. Área bajo la curva de la Distribución Potencial <i>A. maculatum</i> en el país.....	48
Figura 14. Distribución Potencial <i>A. mixtum</i> en el país.....	54
Figura 15. Área bajo la curva de la Distribución Potencial <i>A. mixtum</i> en el país.....	56
Figura 16. Distribución Potencial <i>A. ovale</i> en el país.	57
Figura 17. Área bajo la curva de la Distribución Potencial <i>A. ovale</i> en el país.	59
Figura 18. Distribución Potencial <i>A. triste</i> en el país.....	60

Figura 19. Área bajo la curva de la Distribución Potencial *A. triste* en el país.

.....**62**

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de las garrapatas duras y blandas.	¡Error!
Cuadro 2. Vectores y reservorios de las diferentes zoonosis transmitidas por garrapatas (Reyes <i>et al.</i> , 2011).	19
Cuadro 3. Casos por entidad federativa de <i>Rickettsiosis</i> hasta la semana epidemiológica 31 del 2016, (Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica (2016).	¡Error!
Cuadro 4. Enfermedades que transmiten estas garrapatas.	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 5. Distribución Garrapatas en México y en el Mundo (SENASICA, 2015).	¡Error!
Cuadro 6. Ventajas y Desventajas de los SIG (INEGI, 2014).	36
Cuadro 7. Incidencia y porcentajes de las garrapatas.	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 8. Total % de aportación de las 20 variables para su discriminación por su aporte al modelo.	48
Cuadro 9. Total % de contribución de cada variable al modelo de distribución de <i>A. maculatum</i> en el país.	52
Cuadro 10. Total % de contribución de cada variable al modelo de distribución de <i>A. mixtum</i> en el país.	55
Cuadro 11. Total % de contribución de cada variable al modelo de distribución de <i>A. ovale</i> en el país.	58
Cuadro 12. Total % de contribución de cada variable al modelo de distribución de <i>A. triste</i> en el país.	61

I Introducción

Durante los últimos años los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y las técnicas estadísticas aplicadas han experimentado un gran desarrollo, lo que ha permitido la expansión nuevas herramientas para la investigación. Los modelos predictivos aplicados a la descripción y explicación de la distribución geográfica de las especies, llamados expresamente modelos de distribución de especies (MDE), tienen su interés en el mundo de la educación debido a que el flujo de trabajo incluye todos los pasos del método científico, además que plantean cuestiones relevantes en los procesos de inferencia por evidencia inductiva (Mateo *et al.*, 2012).

Los MDE están en pleno desarrollo y expansión con nuevos métodos y estrategias para su empleo e interpretación. Como consecuencia, se han acumulado abundantes artículos con contribuciones metodológicas y teóricas significativas para la modelización de la distribución de especies, como es el caso de garrapatas (Wilson *et al.*, 2005; Elith *et al.*, 2006; Ferrier & Guisan, 2006; Mateo, 2008).

Por otro lado la comprensión de la ecología y epidemiología de las enfermedades zoonóticas a nivel local es fundamental para reducir el riesgo de transmisión a los humanos. Los vínculos entre la biodiversidad y la prevalencia de enfermedades zoonóticas dependen entre otros factores de la enfermedad en sí, las redes ecológicas locales y el contexto social humano. Por lo tanto, el conocimiento de la distribución geográfica y temporal de los vectores, hospederos y patógenos es necesario para evaluar el riesgo de transmisión de las enfermedades de fauna silvestre a la población humana (Betancourt, 2010).

Desde el momento en que algunos artrópodos fueron implicados como vectores, su control por parte de los servicios sanitarios se convirtió en una necesidad y en una responsabilidad a cargo del gobierno. En este contexto, las garrapatas adquieren la infección cuando se alimentan de hospederos infectados y, con mayor frecuencia, pueden transmitir la infección a un hospedero susceptible en

el siguiente estadio de su desarrollo. Las garrapatas pueden desarrollarse de un estadio al siguiente por periodos que varían desde semanas a meses, o hasta años. Por lo anterior, el triángulo epidemiológico de interacciones hospedero-vector-patógeno es afectado, principalmente, por factores ambientales extrínsecos, tanto bióticos como abióticos (Cortes, 2010).

Actualmente, muchas enfermedades incluidas las transmitidas por vectores están cambiando su frecuencia y distribución hacia áreas periurbanas y no endémicas, como resultado de factores mundiales como la migración acelerada, el incremento en el intercambio comercial de productos, la expansión de la población humana hacia áreas previamente inhabitadas, la destrucción de los hábitats y los cambios del paisaje, los cambios en el manejo y las tecnologías de la producción animal, desarrollo de resistencia a los antiparasitarios, la ampliación de la frontera agrícola, la disminución de la productividad de la tierra en países en desarrollo, la privatización de los servicios de salud pública y, finalmente, por cambios ambientales como el calentamiento global. Este último factor ha adquirido particular relevancia debido a su impacto en la opinión pública, debido a la variedad de argumentos científicos que apoyan la idea de un cambio climático provocado por las actividades del hombre (Cortes, 2010).

II ANTECEDENTES

2.1 Generalidades de las Garrapatas

Las garrapatas son parásitos en todas sus fases de desarrollo (Figura 1). Se alimentan por algunos días de su hospedero exclusivamente de sangre, pasando de unos días a varias semanas prendidas en el hospedero. El ciclo biológico de las especies de *Amblyomma* comprenden las siguientes fases:

1. Las larvas suben al primer hospedero, se alimentan y completan su repleción en un período de 3 a 5 días, para desprenderse y caer al suelo.

2. Las larvas repletas mudan en el suelo en un período de 21 a 30 días al estadio de ninfa.

3. La ninfa sube a un segundo hospedero y se alimenta durante 3 a 6 días.

4. La ninfa repleta cae al suelo y realiza la muda entre 20 y 28 días.

5. Las garrapatas adultas hembras y machos suben al tercer hospedero para alimentarse y realizar la cópula. La repleción completa de la hembra dura de 7 a 12 días.

6. Las garrapatas hembras repletas se desprenden del hospedero y caen al suelo para llevar a cabo la ovoposición en un lapso de 25 a 29 días.

7. La incubación de los huevos se lleva a cabo en el suelo durante 8 a 12 días para finalizar con la eclosión de larvas. En condiciones ambientales adecuadas y disponibilidad de hospederos, el ciclo biológico completo se desarrolla entre 133 y 193 días (Almazán, 2015).

Se considera que las garrapatas son uno de los vectores más eficaces de bacterias, virus, protozoos y nematodos que afectan tanto a animales de compañía como a los humanos. La transmisión de patógenos puede producirse a través de la saliva cuando la garrapata se alimenta, o más raramente, después de que los animales ingieren la garrapata, como es el caso de *Hepatozoon* sp. (ESCCAP, 2010).

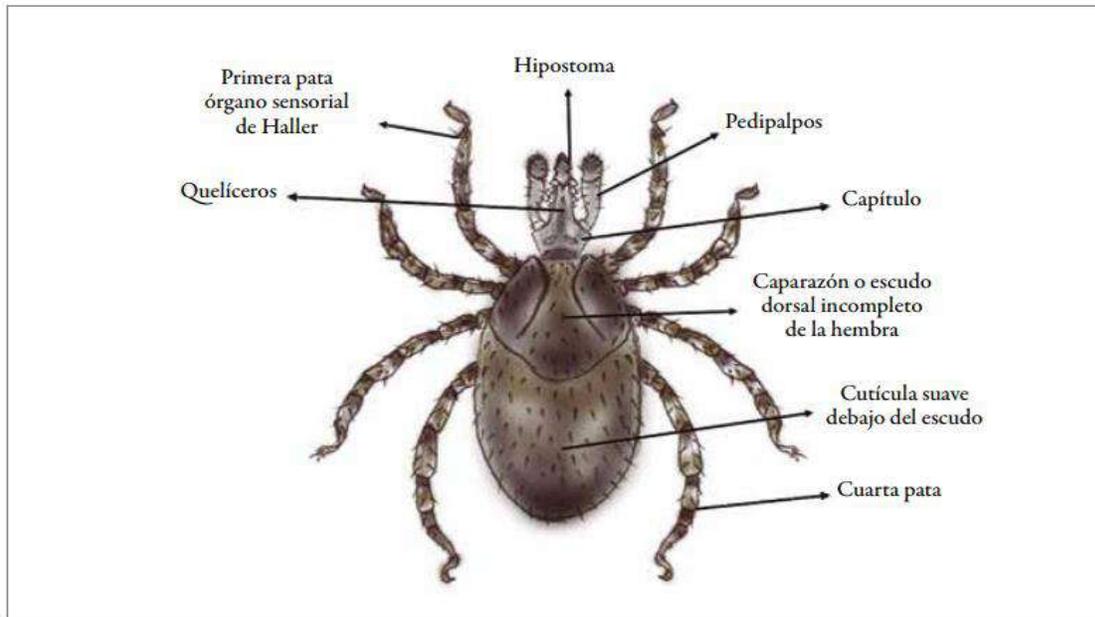


Figura 1. Garrapatas duras, partes principales de la hembra adulta (Velásquez, 2010).

Estos artrópodos son de importancia sanitaria y económica debido al daño directo que causan al alimentarse para extraer sangre de su hospedero, por la transmisión de microorganismos patógenos como bacterias, protozoarios, virus y hongos, así como a la inoculación de sustancias tóxicas que pueden provocar enfermedades a su hospedero (Cortés, 2011). Las garrapatas están consideradas como el segundo grupo de vectores de mayor importancia en la transmisión de enfermedades infecciosas a humanos y animales en el ámbito mundial (Cortés, 2011). La capacidad vectorial de las garrapatas de la familia Ixodidae se ve favorecida por varios aspectos. En primer lugar, por su alimentación tan prolongada en cuestión de tiempo, en segunda instancia, la picadura, usualmente indolora, pasa desapercibida hasta que la garrapata se ingurgita completamente de sangre, lo que evita que el hospedero sea consciente y la quite. Como tercer punto, el ambiente en el intestino medio de las garrapatas es menos hostil que el de insectos hematófagos, ya que poseen proteasas intracelulares, lo que hace que los patógenos ingeridos no estén expuestos directamente a la acción proteolítica de estas enzimas. Esta característica les da ventajas como vectores de agentes patógenos y ubica a las

garrapatas en los artrópodos que mayor cantidad de organismos transmiten (Cortés, 2011).

2.1.1 Taxonomía

Las garrapatas se encuentran divididas en tres familias (Cuadro 1), la familia Ixodidae, cuyas integrantes se conocen como garrapatas duras por poseer una lámina dorsal dura; la familia Argasidae, conocidas como garrapatas blandas por carecer de la lámina dorsal y una familia intermedia llamada Nuttalliellidae, representada por una única especie africana, *Nuttalliella namaqua* de la cual solo se han registrado ninfas y hembras (Horak *et al.*, 2002; Estrada-Peña *et al.*, 2010).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de las garrapatas duras y blandas.

Categoría		Taxón	
Phylum	Arthropoda		
Clase	Arachnida		
Orden	Acarina		
Suborden	Ixodoidea		
Familia	Ixodidae	Argasidae	Nuttalliellidae
Género	<i>Ixodes</i> <i>Amblyomma</i> <i>Anomalohimalaya</i> <i>Bothriocroton</i> <i>Cosmiomma</i> <i>Dermacentor</i> <i>Haemaphysalis</i> <i>Hyalomma</i> <i>Margaropus</i> <i>Nosomma</i> <i>Rhipicentor</i> <i>Rhipicephalus</i>	<i>Argas</i> <i>Carios</i> <i>Ornithodoros</i> <i>Otobius</i>	<i>Nuttalliella</i>

2.1.2 Enfermedades, Vectores y posibles reservorios de las zoonosis transmitidas por garrapatas.

Las zoonosis que provienen de diferentes vectores son una serie de enfermedades que se transmiten continuamente y de forma natural directamente de los animales a los seres humanos. Hasta la fecha se han descrito aproximadamente 150 enfermedades. De las cuales la gran mayoría tienen expansión continua en todo el mundo (Acha & Szyfres, 2005).

Es por esto que su expansión y el gran impacto socioeconómico que generan se encuentra constantemente en aumento, principalmente en los países en desarrollo, por lo tanto estas enfermedades continúan teniendo un impacto negativo en los sistemas de salud pública, así como en los sistemas de producción pecuaria, afectando las oportunidades de mejora en la expectativa y la calidad de vida, la mejora alimenticia y la exportación de productos de origen animal (Morán *et al.*, 2020).

En México tenemos varias enfermedades en circulación entre los animales y el ser humano (Cuadro 2), tal es el caso de la *rickettsiosis que generalmente es transmitida por garrapatas del género Dermacentor, Rhipicephalus y Amblyomma, las cuales encuentran en perros, gatos, zarigüeyas sus principales hospederos y así fungir como reservorios de dicha enfermedad. La Ehrlichiosis que suele ser transmitida por garrapatas de los géneros Amblyomma e Ixodes, las cuales encuentran en zarigüeyas, ratones, coyotes, perros, mapaches sus principales hospederos y a la vez interactuar como reservorios de la enfermedad. Otro caso es el de la Borreliosis que se encuentra como vector principal en las garrapatas del género Ixodes y que se pueden alojar en hospederos como los venados cola blanca, ratones, ardillas grises, zarigüeyas, mapaches, perros, caballos y bovinos encontrando ahí sus principales reservorios de la enfermedad (Reyes *et al.*, 2011).*

Cuadro 2. Vectores y reservorios de las diferentes zoonosis transmitidas por garrapatas (Reyes *et al.*, 2011).

Enfermedad	Vector	Reservorios probables y confirmados comunes del agente etiológico
<i>Rickettsiosis</i>	Garrapatas de los géneros <i>Dermacentor</i> , <i>Rhipicephalus</i> , <i>Amblyomma</i> y pulgas como <i>Ctenocephalides felis</i> y <i>C. canis</i>	Perros, gatos, zarigüeyas.
<i>Ehrlichiosis</i>	Garrapatas de los géneros <i>Amblyomma</i> e <i>Ixodes</i>	Zarigüeya, ratones del género <i>Peromyscus</i> , coyote, perro, mapache.
<i>Borreliosis</i>	Garrapatas del género <i>Ixodes</i>	Venado cola blanca, ratones del género <i>Peromyscus</i> , ardillas grises, zarigüeyas, mapaches, perros, caballos y bovinos.

La presencia de los patógenos en el vector y reservorios es un indicador de riesgo de exposición de la población humana por lo que estas enfermedades están relacionadas con las características ecológicas de cada región (Tinoco *et al.*, 2009). Debido a que las garrapatas, han logrado colonizar nuevos hábitats con un clima adecuado y hospederos apropiados, lo que significa que se tienen modos eficaces de dispersión (Daniel & Dusbábek, 1994).

2.2 Genero *Amblyomma*

Las garrapatas del género *Amblyomma* atacan fundamentalmente al ganado bovino, pero también al ovino, caballos y a todo tipo de mamíferos domésticos y salvajes, como el jaguar (*Panthera onca*), ocelote (*Leopardus pardalis*), venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), tapir (*Tapirus bairdii*), pecarí (*Pecari tajacu*), zorrillo, en reptiles como la tortuga casquito (*Kignosternon sp.*), *Rhinoclemmys ocelata*, iguana (*Iguana iguana*) y serpientes (e.g. *Spillotes pullatus*), y en mamíferos domésticos como el caballo (*Equus caballus*), vacas (*Bos taurus*), perros (*Canis familiaris*) y gatos (*Felis catus*), y en aves domésticas y silvestres (Guzmán, et al. 2011; Arana, et al. 2015; Sosa, et al. 2016). Las especies más importantes pensando en las zoonosis que puedan transportar dentro de este género son *A. mixtum*, *A. cajennense* en las regiones tropicales y subtropicales de América, *A. americanum* en los EUA, *A. hebraeum* en el Sur de África, y *A. variegatum* en África y en varias islas del Caribe donde fue introducida en el siglo XIX (Camilo & Ancizar, 2020).

2.2.1 Ciclo de Vida

Este género de garrapatas se caracteriza por alimentarse de tres hospederos (Figura 2). El ciclo de vida incluye una hembra que ovoposita en el suelo.

1. De estos huevos emergen las larvas que pueden vivir de 50 a 80 días sin alimentarse. Posteriormente.
2. Las larvas se anclan a su primer hospedero para extraer sangre, una vez ingurgitadas, descienden para mudar a ninfas, las cuales pueden vivir hasta 15 meses sin alimentarse. En un siguiente periodo.

3. Las ninfas se suben a un nuevo hospedero para alimentarse y después descienden para mudar a adultos, los cuales pueden estar hasta 14 meses sin alimentarse.

4. Finalmente, los adultos ascienden al tercer hospedero para alimentarse y aparearse, una vez concluyen estas etapas, el ciclo se reinicia (Figura 2). El huésped puede ser el mismo animal, otro animal de la misma especie o un animal de otra especie (Polanco y Ríos. 2016).

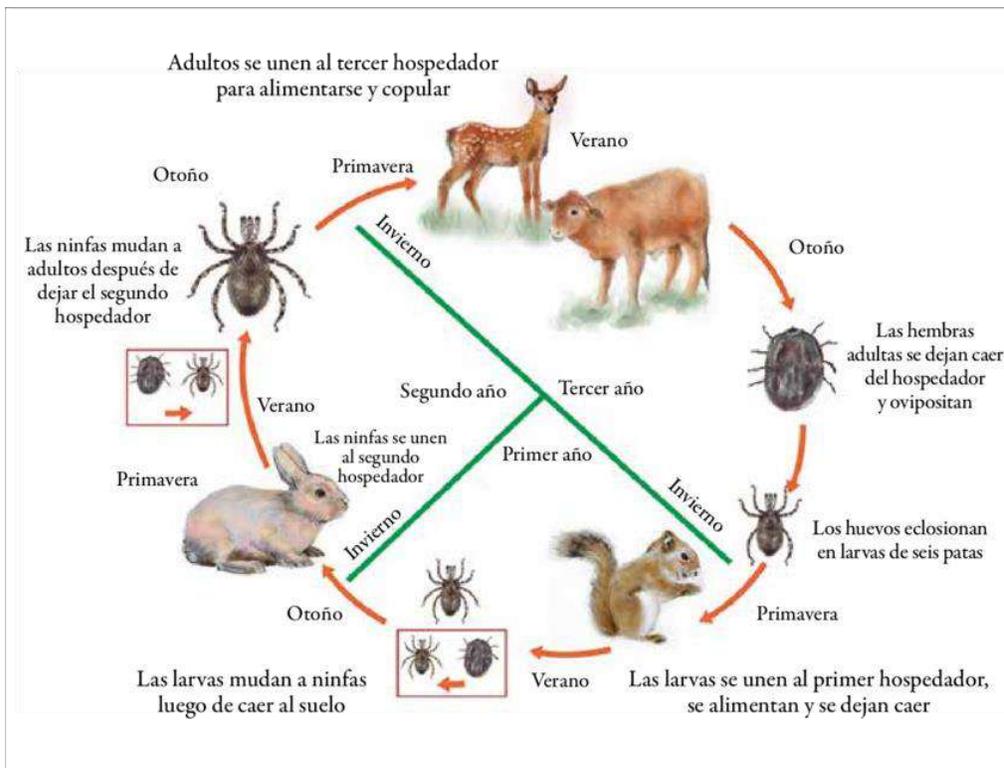


Figura 2. Ciclo de vida de las garrapatas (Polanco y Ríos. 2016).

2.2.2 Especies incluidas en este trabajo

A pesar de la gran número de especies de garrapatas que se han registrado a lo largo del tiempo en México, se tomó la determinación de realizar el presente

trabajo solamente con 4 especies de *Amblyomma* debido al gran impacto de los agentes zoonóticos asociados siendo *A. maculatum*, *A. mixtum*, *A. ovale*, y *A. triste*.

Las enfermedades transmitidas por las garrapatas han aumentado en los últimos tiempos y son cada año más peligrosas para los animales y seres humanos, las razones de este aumento en la importancia de la distribución de las garrapatas está ampliamente relacionado a los factores ligados a las modificaciones del hábitat, el aumento de las temperaturas y el cambio climático.

2.2.2.1 *Amblyomma maculatum*

También conocida como la garrapata del Golfo, *A. maculatum* fue descrita por primera vez por Koch en 1844. Esta especie está asociada con praderas de hierba y tierras altas costeras del hemisferio occidental. Las garrapatas son ectoparásitos que se alimentan de una variedad de aves y mamíferos, y morderán fácilmente a los humanos. Las garrapatas de la Costa del Golfo son motivo de creciente preocupación debido a su capacidad para transmitir varios patógenos de importancia veterinaria y médica, estos mismos son mencionados más adelante (Hertz & Kaufman, 2020).

A. maculatum se ha reportado en Tamaulipas, Tabasco, Coahuila, Yucatán, Chiapas, Michoacán, Sinaloa, y Sonora (Guzmán *et al.*, 2011). El patógeno conocido como *Rickettsia parkeri*, se transmite principalmente por *A. maculatum* y ahora se reconoce como un patógeno humano de creciente preocupación para la salud pública en el sureste de los Estados Unidos (Walker *et al.*, 2008; Parola *et al.*, 2013). En el laboratorio, se ha demostrado que las garrapatas de la Costa del Golfo son vectores competentes de *Ehrlichia* (Mahan *et al.*, 2000). También la parálisis por garrapatas es una afección médica potencialmente mortal causada por las toxinas de las garrapatas liberadas durante la alimentación que afectan las

neuronas motoras del huésped, lo que provoca parálisis e insuficiencia respiratoria (Espinoza *et al.*, 2011).

Las larvas de esta especie parasitan principalmente aves pequeñas, mientras que las ninfas se alimentan de pequeños mamíferos terrestres. Por otro lado, los adultos parasitan mamíferos grandes (Ketchum *et al.*, 2005; Teel *et al.*, 1988). Tanto hembras como machos presentan ojos planos y espuelas en su cuarta coxa que no alcanzan el nivel del ano. Presentan un solo espolón externo y un espolón interno indistinto en la primera coxa. Los machos tienen un surco marginal completo entre sus antenas que las hembras carecen, pero las hembras tienen un notorio glabro, pero los machos no. Se ve una placa espiráculo en forma de coma en ambos sexos junto con un proceso caudal de la placa que es aproximadamente la mitad del tamaño del último adorno. Tanto el macho como la hembra presentan fémures pálpales que duplican la longitud de sus palmas genuinas y tienen tubérculos quitinosos en la parte posterior de los festones (Figura 3) (Estrada *et al.*, 2004).



Figura 3. Macho (izquierda) y hembra (derecha), *Amblyomma maculatum* Koch. (Hertz, 2010).

2.2.2.2 *Amblyomma mixtum*.

Es la segunda garrapata en importancia en bovinos del trópico en México y se distribuye desde el sur de Texas (EUA) hasta Ecuador. Parasita principalmente a los bovinos y equinos de las zonas tropicales de México, pero también se ha reportado parasitando a humanos. Anteriormente se clasificó como *Amblyomma cajennense*, por lo que mucha de la información disponible es referente a esta última especie (Aguilar, 2018).

Esta especie se ha reportado en los estados que comprenden la franja del Golfo de México como Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo, en la región central del país Querétaro, Puebla, San Luis Potosí, Hidalgo, Durango, Coahuila, Nuevo León, y en el Pacífico Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Colima, Jalisco, Nayarit, Sinaloa y Baja California (Cenapa, 2006).

Esta garrapata se alimenta de diferentes hospederos, con preferencia hacia mamíferos jóvenes o pequeños durante las fases de larva y ninfa. En el noreste de México se ha reportado que todas las fases del desarrollo se alimentan de bovinos pero también se ha reportado que parasita a equinos y perros siendo uno de los ectoparásitos que se observan con frecuencia en el venado cola blanca en el noreste de México. Esta especie es de importancia económica, ya que traumatiza las pieles debido a sus grandes piezas bucales y puede causar anemia a los animales en grandes infestaciones, debido a la gran cantidad de sangre que pueden ingerir los adultos (Almazán *et al.*, 2015).

El papel de *A. mixtum* como vector de enfermedades no ha sido estudiado, pero dado que *A. cajennense* s.s. (Figura 4) es el vector de *Rickettsia rickettsi*, causante de la fiebre manchada en Brasil (Labruna, 2009). Es posible que esta especie pudiera ser vector en otras partes del mundo.

Nava *et al.* (2014) analizaron los especímenes tipo de Koch comparándolos con *A. cajennense* s.s., encontrando que estas son diferentes morfológicamente; sin embargo, son idénticas a las garrapatas colectadas en Texas, México, Centro

América y Ecuador, quedando, por lo tanto, re-establecida como *A. mixtum* con una distribución desde el sur de Texas (EUA) hasta Ecuador (Estrada, 2013). *A. mixtum* es un vector de *Rickettsia rickettsii* que ocasiona la Fiebre Manchada de las Montañas Rocosas (Rodríguez *et al.*, 2016).

Entre las características morfológicas de esta garrapata destaca lo siguiente: palpos largos, el segundo artejo más largo que ancho, generalmente ornamentado, ocelos y festones se encuentran presentes, la base del gnatosoma de forma variable y pentagonal dorsalmente. Placas adanales ausentes en el macho, pequeñas placas pueden estar presentes ventralmente en el frente de los festones. El escudo ventral puede estar presente y extenderse más allá del margen posterior de los festones del macho. Las placas estigmas son subtriangulares o en forma de coma (Guzmán *et al.*, 2011).

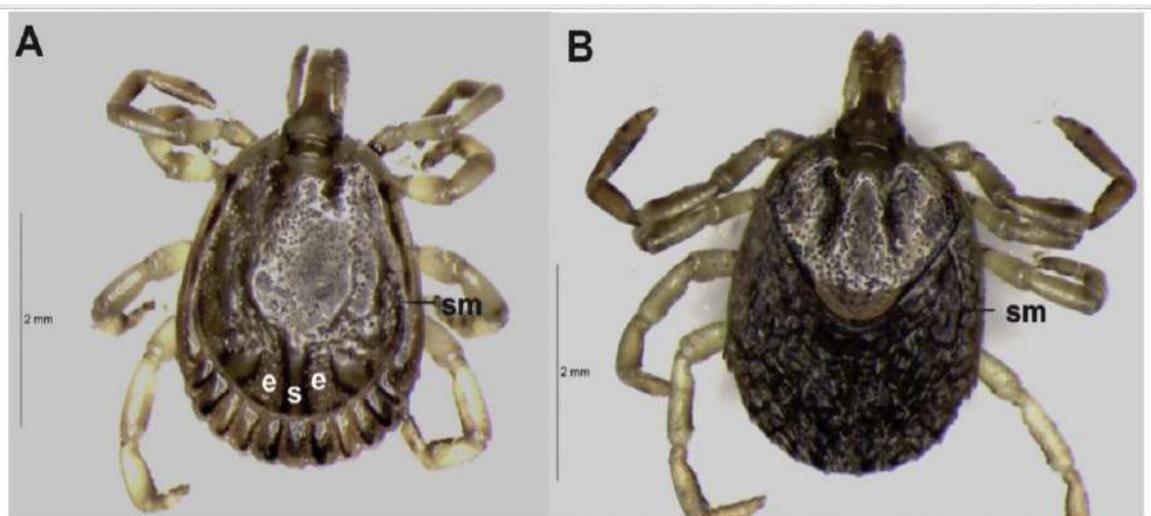


Figura 4. Vista dorsal de adultos Machos (A) y Hembras (B) de *Amblyomma mixtum* (Labruna, 2009).

2.2.2.3 *Amblyomma ovale*

Esta garrapata se encuentra ampliamente distribuida en el hemisferio occidental, encontrándose en diferentes ecosistemas desde el norte de México hasta el norte de Argentina. A pesar de su amplia distribución y su capacidad para parasitar a los humanos, son pocos los informes sobre su relevancia para la salud

pública, esta especie puede haber sido la responsable de un caso de parálisis humana en un soldado estadounidense en Panamá (Bermudez, 2011). Más recientemente, se ha relacionado con la posible transmisión de *Rickettsia parkeri* en Brasil (Sabatini *et al.*, 2010; Spolidorio *et al.*, 2010) y fue encontrado infectado con otras especies de *Rickettsia* como *R. bellii* y *R. amblyommii* (Labruna *et al.*, 2004, 2011; Bermúdez *et al.*, 2009). Algunos autores sugirieron que *A. ovale* puede ser un vector de *Hepatozoon canis*, un importante hemoparásito de perros (Forlano *et al.*, 2005).

Morfológicamente, *A. ovale* se caracteriza por presentar un cuerpo elongado oval, palpos largos y delgados, coxas con espinas largas y delgadas, así como la espina externa curvada hacia afuera (Figura 5). Los adultos tienen una preferencia alimenticia por mamíferos grandes como carnívoros, en especial por los felinos salvajes, como ocelotes, pumas, jaguares, yaguarundís, gatos montes, lince. Mientras que larvas y ninfas se encuentran en roedores como ratas, ratones, hurones, grison, nutrias, mapaches, cacomixtles, martuchas, coatis, tlacuaches, tacuazines, tapires, zorras y otros vertebrados de sangre caliente puercoespines y un gran número de aves, . Se cuenta con reportes del hallazgo frecuente de *A. ovale* parasitando perros y gatos domésticos (Fairchild *et al.*, 1966; Forlano, 2008). En nuestro país se le encuentra en la franja del Golfo, en Veracruz, Campeche y Quintana Roo, San Luis Potosí, Puebla, Hidalgo Chiapas, Oaxaca, Guerrero y Jalisco (Guzmán *et al.*, 2011).

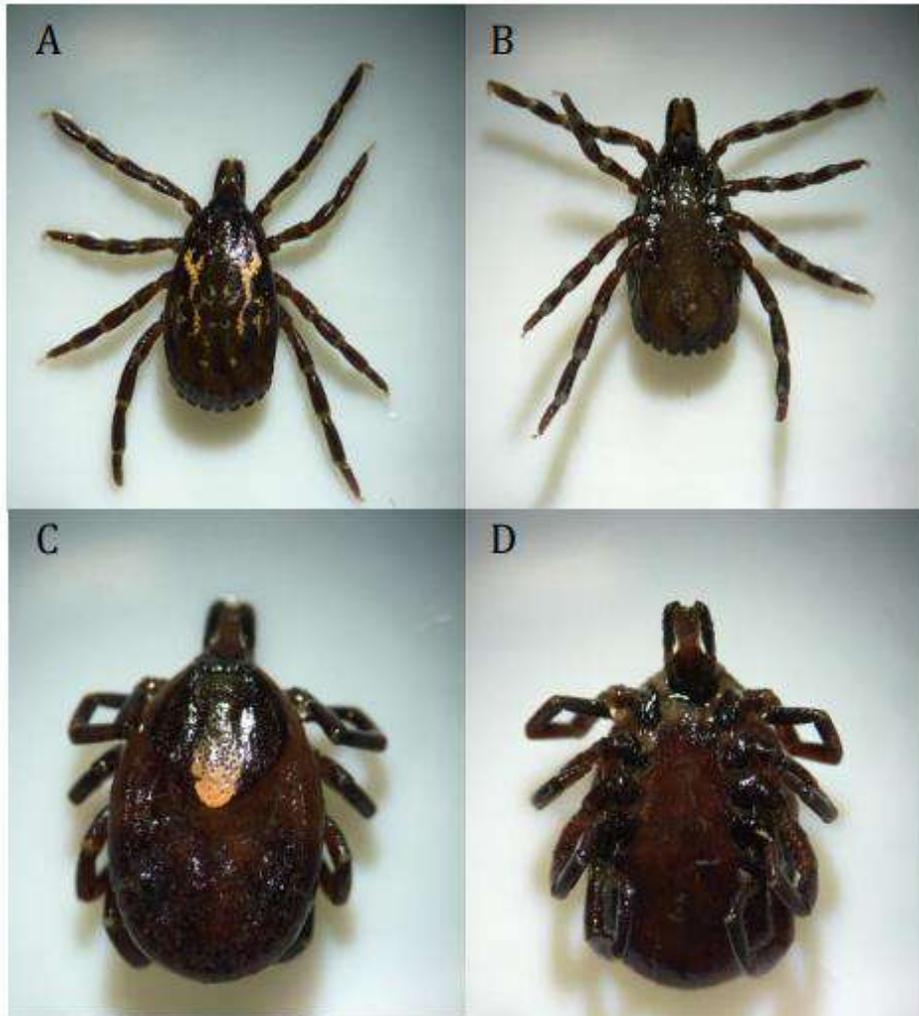


Figura 5. Adultos de *Amblyomma ovale*. Vista dorsal (A) y ventral (B) de un macho, así como vista dorsal (C) y ventral (D) de una hembra (Forlano *et al.*, 2005).

2.2.2.4 *Amblyomma triste*

Amblyomma triste Koch (Figura 6) se describió originalmente en Montevideo, Uruguay (Koch, 1844), y desde entonces se ha tratado principalmente como una especie neotropical (Evans *et al.*, 2000; Guglielmone *et al.*, 2003). Las excepciones fueron (Graham *et al.*, 1975; Woodham *et al.*, 1983) , quienes aludieron a la existencia generalizada de *A. triste* en México, incluidas algunas áreas del neártico,

pero no citaron especímenes de comprobantes, localidades específicas u otros datos de recolección de respaldo.

Amblyomma triste (Figura 6) presenta solo una espina en los metatarsos II-IV y tiene tubérculos en los ángulos posteriores internos de los festones. Los especímenes examinados presentan tubérculos quitinosos notorios en ambos sexos; un porcentaje importante de ellos presenta dos espinas gruesas en los metatarsos II-IV, y otro mayor presenta solo una espina gruesa acompañada ya sea de una espina mediana o de una "seta" grande en el lugar correspondiente a la segunda espina gruesa (Mendoza & Chávez, 2004).

Esta especie se ha convertido en una especie de interés médico debido a su papel como vector de *Rickettsia parkeri* (Venzal & Nava, 2011). Anteriormente, se pensaba que los registros de esta especie eran de origen sudamericano, sin embargo, se afirma que *A. triste* ha sido encontrada en México y se refiere a su presencia en Campeche, Coahuila, Durango, Hidalgo, México, Nuevo León, Querétaro, Sonora, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz, (Estrada *et al.*, 2006; Guzmán *et al.*, 2006).

Estadios inmaduros de *A. triste* parasitan principalmente a roedores (de las subfamilias Sigmodontinae y Caviinae) pudiendo ser encontrados también en aves. Estadios adultos de *A. triste* se encuentran en mamíferos de mayor tamaño como el ciervo (*Blastocerus dichotomus*), carpinchos (*Hydrochoerus hydrochaeris*), animales domésticos, y en carnívoros silvestres. Vale la pena mencionar que estadios adultos de esta especie de garrapatas son frecuentemente halladas en caninos domésticos de zonas rurales y periurbanas, con la consecuente proximidad entre estas garrapatas y el hombre. Conocer la distribución de los vectores de *R. parkeri* como lo es *A. triste* permite alertar a la comunidad médica sobre la potencial ocurrencia de casos de fiebre manchada, los cuales son muchas veces subdiagnosticados (Colombo, 2016).

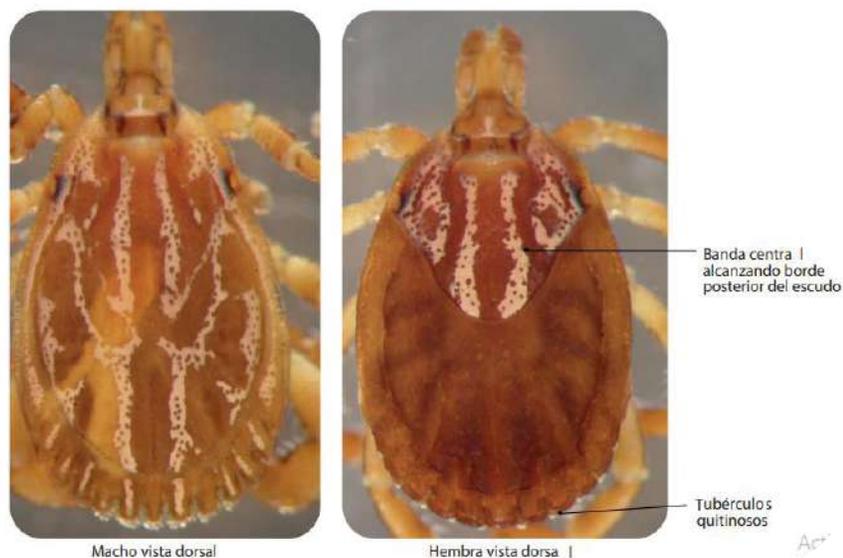


Figura 6. Ejemplar macho (izquierda) y hembra (derecha) de *Amblyomma triste* (Estrada *et al.*, 2006).

2.2.3 Distribución en México

El microclima influye directamente en la reproducción y supervivencia de las garrapatas, y de este depende directamente el género de garrapata presente en una región, además de otros factores que intervienen en la distribución son la altitud, presencia y abundancia de hospederos y las prácticas de control o erradicación que el hombre ejerce sobre las poblaciones de garrapatas, dentro de la ganadería mexicana las garrapatas de mayor importancia son: *A. mixtum*, *A. cajennense*, *Amblyomma. imitador*, *A. maculatum*, *A. triste*, *Amblyomma. americanum* y *Anocentor nitens* (Cuadro 3 & Figura 7; SENASICA, 2015).

Género	Mundo	América	México
<i>Ixodes</i>	212	48	18
<i>Amblyomma</i>	102	52	18

<i>Dermacentor</i>	30	11	9
<i>Haemaphysalis</i>	155	6	3
<i>Boophilus</i>	5	2	2
<i>Anocentor</i>	1	1	1
<i>Rhipicephalus</i>	70	2	1
<i>Cosmiomma</i>	1	0	0
<i>Anomalohimalaya</i>	2	0	0
<i>Rhipicentor</i>	2	0	0
<i>Margaropus</i>	3	0	0
<i>Hyalomma</i>	29	0	0
<i>Aponomma</i>	24	0	0
<i>Nosomma</i>	1	0	0
Total # de especies	637	122	52

Cuadro 3. Distribución por número de especies Ixódidos en México y en el Mundo (SENASICA, 2015).

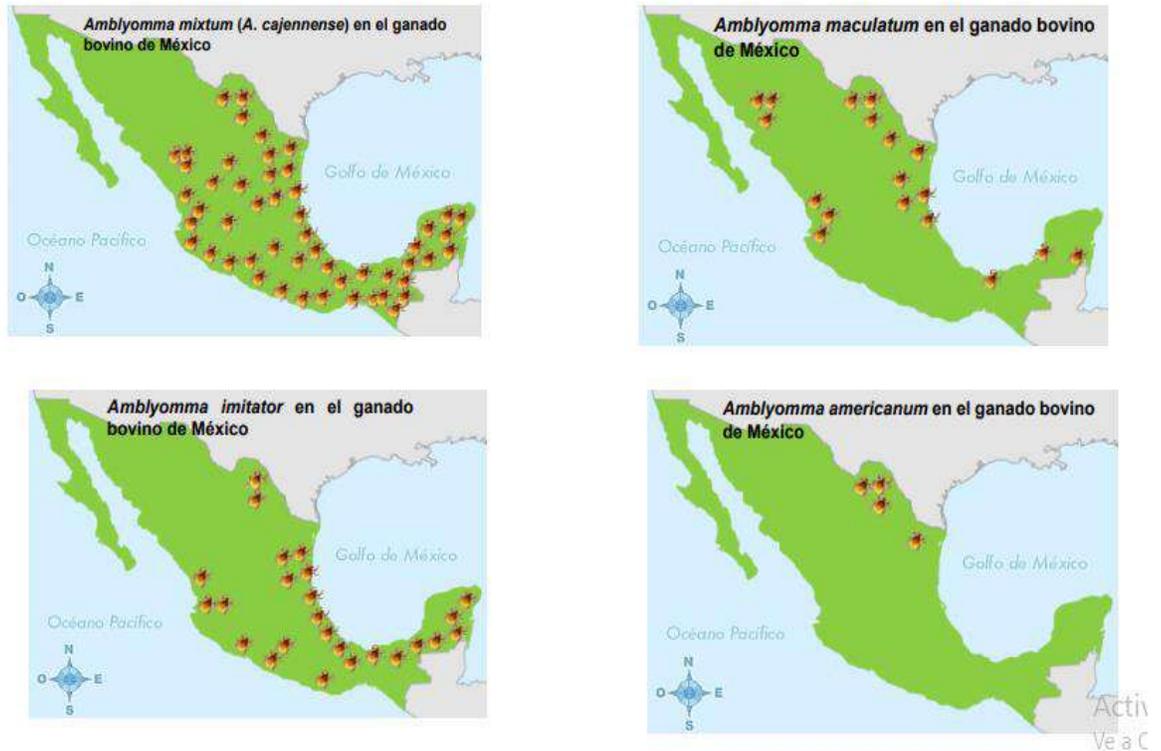


Figura 7. Distribución algunas especies de *Amblyomma* en México (SENASICA, 2013).

2.3 Nicho Ecológico

Un nicho es el conjunto de características, variables ambientales o ecológicas, que describen los recursos precisos que necesita un organismo para sobrevivir (Hutchinson, 1957).

Todas las especies se encuentran en interacción directa con los factores ambientales (temperatura, humedad, presión atmosférica, etc.). Y es así como cada organismo posee un margen de tolerancia fisiológica para cada factor ambiental. Entonces, a través de las múltiples adaptaciones a diferentes rangos de tolerancia se forman áreas multidimensionales en las cuales los organismos realizan su desarrollo, se reproducen y permiten la preservación de la especie (López, 2007).

El nicho ecológico delinea el conjunto de condiciones bajo las cuales se pueden mantener las poblaciones de las especies a largo plazo (López, 2007). Hay un amplio conocimiento teórico de las características del nicho ecológico que ayuda a simplificar las relaciones entre la distribución geográfica y la evolución de cada especie, estos estudios sugieren que, en general, a largo plazo la presión de la selección natural mantiene el nicho ecológico sin modificación sustancial. Este razonamiento es consistente con la idea de que el nicho ecológico de una especie impone restricciones estables a largo plazo sobre el potencial de distribución geográfica de esa especie (Estrada *et al.*, 2006). Por otro lado, el nicho ecológico es restringido por las condiciones ambientales que existen en el planeta. Además, se pueden diferenciar en el espacio ecológico regiones ambientales con presencia de aquellos ambientes que solo son potenciales para la vida de la especie (López, 2007).

2.3.1 Tipos de nicho ecológico

- Fundamental o potencial: Este tipo de nicho ecológico solo tiene en cuenta las condiciones físico-ambientales bajo las que tienen que vivir las especies (Castro, 2021).
- Efectivo o real: Esta otra forma de nicho en ecología contempla las condiciones bajo las que tiene que subsistir una especie en presencia de otras (Castro, 2021).

2.3.2 Relación entre hábitat y nicho ecológico

El nicho ecológico no se refiere solo al espacio físico, si no al papel funcional de un organismo en la comunidad y a su posición dentro de las variantes ambientales (temperatura, humedad, pH, suelos). Es decir, cómo actúa una especie bajo determinadas condiciones ambientales del hábitat y bajo la influencia de otras especies (Geoinnova, 2021).

La relación entre hábitat y nicho ecológico deriva en que el hábitat es el entorno físico que aloja los nichos ecológicos de las especies que lo habitan (Anta, 2021). El hábitat y nicho ecológico están estrechamente relacionados con el ecosistema, ya que dentro del hábitat pueden convivir especies con distintos nichos ecológicos. La función o nicho que desempeñan los individuos de una especie es único en un ecosistema, el conflicto surge cuando el nicho es similar, es decir, las funciones de dos especies son muy parecidas, lo cual desencadenaría competencia entre las especies involucradas (Figura 8) (Sánchez, 2020).



Figura 8. Competencia de varias especies por el mismo nicho ecológico (Sánchez, 2020).

2.4 Sistemas de Información Geográfica

Un SIG (Figura 9) es un sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para auxiliar en la captura, administración, manipulación, análisis y presentación de datos u objetos referenciados espacialmente llamados comúnmente datos u objetos espaciales (Harmon y Anderson. 2003).

Un sistema de información geográfica también puede ser definido como un marco de trabajo para reunir, gestionar y analizar datos. Arraigado en la ciencia geográfica, SIG integra diversos tipos de datos. Analiza la ubicación espacial y

organiza capas de información para su visualización, utilizando mapas y escenas 3D. Con esta capacidad única, SIG revela el conocimiento más profundo escondido en los datos, como patrones, relaciones y situaciones, ayudando a los usuarios a tomar decisiones más inteligentes (Aeroterra, 2021).

Existe una gran variedad de definiciones para los SIG, pero su esencia se encuentra en los elementos conceptuales que la conforman.

- Por ser *geográfico*, contiene datos y conceptos que se relacionan con las distribuciones espaciales.
- Por *información*, implica alguna forma de transmisión de datos, ideas o análisis, en general como ayuda para la adopción de decisiones.
- Por ser un *sistema*, entraña una secuencia de entradas, procedimientos y salidas (Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, 2015).

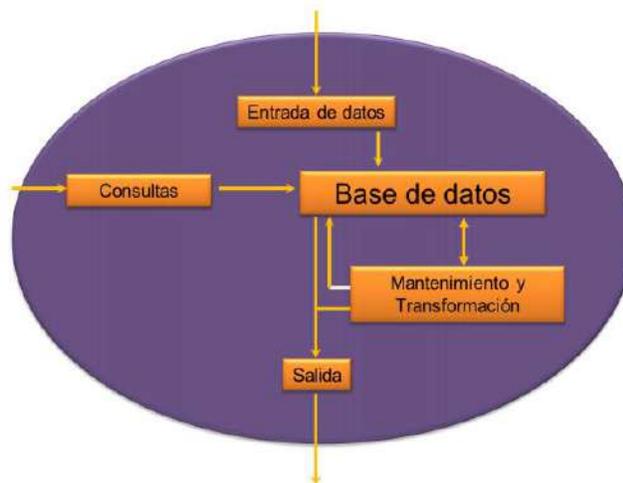


Figura 9. Diagrama de un SIG, (INEGI, 2014).

2.4.1 Aplicación e importancia de los SIG

Los SIG son utilizados alrededor del mundo por un gran número de organizaciones, prácticamente en todos los campos, se utilizan para crear mapas que nos auxilian en las siguientes áreas:

a.- Identifican problemas: SIG se utiliza para sacar a la luz problemas que tienen un componente geográfico.

b.- Monitorear cambios: si una imagen vale más que mil palabras, un mapa vale más que mil imágenes, un ejemplo claro es el grado de retroceso de los glaciares en el hemisferio sur o el grado de impacto ambiental.

c.- Gestionar y dar respuesta a emergencias: proporciona conciencia situacional en tiempo real. Ejemplo los mapas de huracanes y ciclones muestran impactos potenciales a personas y comercios, recorridos probables de tormentas y marejadas.

d.- Realizar predicciones: Usados para predecir el tráfico. En ese tipo de mapas se revelan congestiones de tráfico en una o varias intersecciones de la ciudad, donde las predicciones muestran que se esperan embotellamientos, basándose en patrones de tráfico.

e.- Establecer prioridades: SIG también ayuda a establecer prioridades basadas en análisis espacial. Analizando patrones de delitos, los funcionarios de seguridad pública pueden identificar áreas de riesgo y asignar oficiales a esas áreas o a realizar una correcta planificación comercial y urbana.

f.- Comprender tendencias: ayuda a ganar conocimiento a partir de datos que podría perderse en una hoja de cálculo. Por citar un ejemplo un mapa en donde se mida el crecimiento y la pérdida de empleo en diferentes industrias y que cuantifique la ventaja competitiva local (Aeroterra, 2021).

Importancia

- Integran información espacial y de otros tipos.
- Ofrecen un marco consistente de análisis para los datos geográficamente referenciados.
 - Ofrecen nuevas y novedosas formas para manipular y desplegar datos.
 - Permiten la visualización y el análisis de datos con base en las relaciones y proximidad geográficas.
- Como toda herramienta cuenta con sus ventajas y desventajas (Cuadro 4).

Cuadro 4. Ventajas y Desventajas de los SIG (INEGI, 2014).

Ventajas de un SIG	Desventajas de un SIG
Capacidad de almacenamiento. Múltiples niveles de datos.	Altos costos de adquisición y de mantenimiento del sistema.
Los datos se almacenan y se presentan en forma separada. La presentación es múltiple.	Costos y problemas técnicos en la captura de datos (conversión analógica-digital) y en la transferencia (incompatibilidad).
Capacidad de manejo edición y actualización.	
Rapidez en la operación.	Necesidad de formación de cuadros especializados. Operación en el ámbito digital.
Capacidad de establecer una relación coherente. Utilizar simultáneamente datos espaciales y sus atributos.	Falsa sensación de exactitud.
Capacidad de análisis. Implementación de modelos de aplicación.	

2.4.2 MaxEnt

El algoritmo de Máxima Entropía (MaxEnt) ha demostrado que tiene un buen desempeño aun con tamaños pequeños de muestreo (Elith *et al.*, 2006, Phillips & Dudík, 2008, Benito & Peñas, 2007). Además es un método que aplica el principio de máxima entropía para calcular la distribución geográfica más probable que podría tomar una especie. Por otro lado también estima la probabilidad de ocurrencia de la

especie buscando la distribución lo más uniforme posible sujeta a la condición de que el valor esperado de cada variable ambiental según esta distribución coincide con su media empírica (Phillips & Dudík, 2008).

El código de MaxEnt está basado en un enfoque basado en un grupo de grillas o *rasters* georeferenciados con información del medio físico, por lo que el modelo puede calcular la distribución de probabilidad donde cada celda tiene una idoneidad predictiva de condiciones para la especie. Dependiendo de las consideraciones en los datos de ingreso y los procesos de monitoreo biológico, el resultado del modelo puede ser interpretado como una probabilidad de presencia de una especie (Montoya, 2017).

El modelo puede indicar condiciones idóneas de especies en zonas donde no se hayan registrado o se tengan evidencias de presencia de estas especies. El proceso de modelamiento es iterativo ya que estas brechas en el modelamiento indican la omisión de otros factores en la evaluación de distribución de especies relacionados con el medio físico, factores antropogénicos y condiciones de crecimiento y reproducción de la especie (Montoya, 2017).

Ventajas

- Requiere sólo datos de presencia (ejemplo información museos).
- Puede usar variables continuas y categóricas, y puede incorporar interacciones entre diferentes variables.
- En modelos lineales y aditivos sin interacción, permite evaluar el papel de cada variable ambiental.
- El sobre-ajuste puede ser evitado usando regularizaciones
- La variable de salida es continua permitiendo distinciones entre áreas (aunque permite discretas).

- Puede ser usado en múltiples aplicaciones y en todas las escalas (Phillips & Dudik, 2008).

2.5 Modelos de distribución de especies en garrapatas por cambios climáticos

El cambio climático puede afectar la distribución y frecuencia de las garrapatas en diferentes partes del mundo, no obstante, existen otros factores que también explican los cambios en la incidencia de las garrapatas como la explosión demográfica, las condiciones socioeconómicas, los cambios del paisaje y el comercio internacional (Cortés, 2010).

Estudiar la distribución de *A. maculatum*, *A. mixtum*, *A. ovale*, y *A. triste*, toma importancia debido a que su área de distribución se está viendo afectada por el cambio climático como resultado del incremento en la temperatura de los últimos años, además de cambios en las precipitaciones, en el uso de suelo, aridez, alteraciones antropogénicas en las zonas de mayor altitud, entre otras; todas ellas como consecuencia de las actividades humanas (Betancourt, 2010).

Es claro que en los climas más cálidos, los vectores digieren la sangre más rápidamente y se alimentan con mayor frecuencia y debido a ello aumenta la intensidad de transmisión. El aumento de las precipitaciones puede incrementar el número y calidad de criaderos de vectores como las garrapatas, así como la densidad de vegetación, influyendo en la existencia de lugares donde posarse. Los reservorios de enfermedades en los roedores pueden aumentar cuando la disponibilidad de abrigo adecuado y de comida hace crecer las poblaciones, lo que a su vez desencadena brotes de enfermedad. También las formas de asentamiento humano influyen en las tendencias de las enfermedades (Blanes & De la Quintana, 2010; Naturalista, 2019).

III. Objetivos:

3.1 Objetivo General

Predecir zonas con factores ambientales propicios para la presencia de especies de garrapatas del género *Amblyomma* de importancia en Salud.

3.2 Objetivos específicos

Generar una base de datos de los registros de *A. mixtum*, *A. maculatum*, *A. ovale*, *A. triste* en México.

Analizar las variables geográficas que permiten el establecimiento de *A. mixtum*, *A. maculatum*, *A. ovale* y *A. triste* en México.

Predecir mediante Modelos de Distribución Ecológica, la distribución potencial de *A. mixtum*, *A. maculatum*, *A. ovale* y *A. triste* en México.

IV. Material y Métodos

4.1 Área de estudio

México es uno de los países más grandes en América Latina en términos de extensión geográfica con una superficie de 1 964 375 km² (INEGI, 2019). México limita al norte con los Estados Unidos de América, al sur de Guatemala y Belice, al oeste con el océano Pacífico y al este con el Golfo de México y el mar Caribe. Su privilegiada posición geográfica hace que México se encuentre en el límite entre 2 regiones biogeográficas, la Neártica y la Neotropical, lo que contribuye a su gran biodiversidad (CONABIO, 2021).

Se recopiló una base de registros de todos los estudios publicados que pude identificar a través de una búsqueda de literatura que se centró en considerar como potenciales los registros de cuatro especies de garrapatas (*A. maculatum*, *A. mixtum*, *A. ovale*, *A. triste*).

Para este paso, se realizó una investigación exhaustiva de la literatura, utilizando buscadores académicos, y bases de colecciones e lagunas colecciones tal es el caso de la Global Biodiversity Information Facility, se buscaron registros mediante una combinación de ciertas palabras: “*Amblyomma*”, “*Amblyomma maculatum*”, “Garrapatas duras en México”, “Modelos de distribución de garrapatas”, “Garrapatas duras en México”, “registros de garrapatas en México”, “Colecciones de artrópodos en México”, “*Amblyomma mixtum*”, “*Amblyomma triste*”, “*Amblyomma ovale*”. Fueron utilizados, solo aquellos artículos que cumplieron con todas las siguientes especificaciones

Se registró la siguiente información de cada caso:

- Especie de las garrapatas
- Latitud y Longitud del registro
- Localidad y fecha de recolección.

La base de datos de presencia comprende un total de 238 registros completos obtenidos de una gran revisión bibliográfica de artículos científicos publicados, y de algunas bases de datos de presencia de datos como lo es GBIF (La Global Biodiversity Information Facility), y en la colección de artrópodos de la IBUNAM, esta búsqueda se centró en los registros históricos que se tienen de las 4 especies de interés, además de algunos registros de colectas de estas especies en algunos sitios del país. Todos estos registros

vienen dadas en coordenadas geográficas y expresadas en un sistema de referencias de coordenadas conocido como WGS84 (World Geodetic System 84). Solo se consideraron aquellos registros que cumplieron con todas las siguientes especificaciones: longitud y latitud, nombre de especie, descripción exacta del lugar de la colecta, fecha de colecta.

4.2 Variables climáticas

Las variables climáticas empleadas en el estudio se obtuvieron de WorldClim.org. La cual es una base de datos climáticos en forma ráster para uso cartográfico y creación de modelos espaciales. Se utilizó la versión 2 con una resolución de 30 segundos, aproximadamente 1 km².

La base de datos de WorldClim es un conjunto de capas temáticas del clima global (Cuadro 5), con una resolución espacial de aproximadamente 1 kilómetro cuadrado. Los datos pueden ser utilizados para el mapeo y modelado espacial. WorldClim permite la descarga a nivel mundial de la información rasterizada Para lo cual recopilamos en total 19 variables bioclimáticas que están relacionadas directamente con los aspectos fisiológicos del crecimiento de la especie y no tienen en cuenta el momento en el que ocurrió un estado específico, es decir, no importa si el mes más caliente fue julio (hemisferio norte) o enero (hemisferio sur). Algunas variables bioclimáticas incluyen parámetros de clima típicos y básicos (como BI01, temperatura media anual o BI012, precipitación anual), mientras que otras combinan temperatura y precipitación en una variable (como BI018, precipitación durante el trimestre más caliente). Otras tienen en cuenta aspectos de la estacionalidad (como BI04 para temperatura, BI015 para precipitación), que también pueden ser importantes para determinar la distribución de las especies (OSINFOR, 2013).

Cuadro 5. Variables climáticas, WorldClim versión 2.0

Variable	Nombre de la Variable
CV	Cobertura Vegetal
Bio1	Temperatura media anual
Bio2	Rango diurno medio (media mensual (temperatura máxima - temperatura mínima))
Bio3	Isotermalidad (BIO2 / BIO7) (× 100)
Bio4	Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar × 100)
Bio5	Temperatura máxima del mes más cálido
Bio6	Temperatura mínima del mes más frío
Bio7	Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)
Bio8	Temperatura media del trimestre más húmedo
Bio9	Temperatura media del cuarto más seco
Bio10	Temperatura media del trimestre más cálido
Bio11	Temperatura media del cuarto más frío
Bio12	Precipitación anual
Bio13	Precipitación del mes más húmedo
Bio14	Precipitación del mes más seco
Bio15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)
Bio16	Precipitación del cuarto más húmedo
Bio17	Precipitación del cuarto más seco
Bio18	Precipitación del trimestre más cálido

4.4 Preparación de datos de entrada

Para generar los modelos de distribución se necesita iniciar por generar la Base de datos de la distribución histórica de las 4 especies de garrapatas de nuestro interés, ya que no se cuenta dentro de la literatura con ningún otro caso de estudio de estas especies, para poder generar estos MDE (Modelos de Distribución de Especies) utilizaremos el método de MaxEnt.

Antes de ser incluidos en el presente estudio. Los datos obtenidos fueron depurados en varias fases antes de iniciar las modelaciones del nicho ecológico de cada especie. En la primera de ellas se eliminaron los datos repetidos y posteriormente, se excluyeron los datos mal georeferenciados.

Así, se filtran las presencias de interés, eliminando las que están incompletas o no contienen la información necesaria. El archivo de presencias debe tener 3 campos obligatorios los cuales corresponden a la especie, longitud y latitud, y se deben traspasar a archivos tipo .CSV (valores separados por comas).

Se descargan las variables climáticas en formato raster, posteriormente se realiza un corte de dichas capas que deben tener la misma dimensión que la zona de estudio. Los datos de WorldClim han sido transformados de formato .gri a formato ASCII debido a que MaxEnt está diseñado para modelar datos en dicho formato.

4.5 Construcción de modelos MaxEnt.

Para la obtención de los modelos de distribución de las cuatro especies de garrapatas se emplearon los softwares MaxEnt v3.4.3 (Steven J. Phillips), programa de modelado de distribución geográfica de especies basado en la máxima entropía

y QGIS 3.22.0. Para estandarizar todas las capas de las variables ambientales y que no exista ningún inconveniente a la hora de la ejecución de los programas se cambió el tamaño de celda, el número de filas y columnas de los raster respectivamente, además de transformar las coordenadas de los puntos de presencia de geográficas a metros bajo el sistema de coordenadas UTM WGS 1984 Zona 13 y 14 N. Cada modelo pide ingresar un valor porcentual para los datos de entrenamiento, que serán los que se utilicen para realizar el modelo, y datos de prueba, que servirán para validar los modelos. Los valores seleccionaron para *A. maculatum*, *A. ovale* y *A. triste*, fueron 90% para entrenamiento y 10% para prueba, y para *A. mixtum* fueron 85% para entrenamiento y 15% para prueba.

Los parámetros establecidos para ejecutar el algoritmo fueron 100% de los datos para el entrenamiento (training), debido al bajo número de registros de presencia registrados para las especies en general. El formato de salida fue logístico, ya que de acuerdo a lo planteado por Phillips y Dudik (2008) es un formato robusto cuando la prevalencia es desconocida y más fácil de interpretar como la probabilidad de presencia de una especie. Por otro lado, el formato logístico estima la probabilidad de presencia asumiendo que el diseño de muestreo es tal que las localidades de presencia tienen una probabilidad igual o mayor a 0,5 (Phillips et al. 2006). El número de réplicas por corridas se configuro en 25, el umbral de error de omisión fue minimum training presence y la medida de importancia y aporte de las variables productoras se determinó mediante la prueba Jackknife.

4.6 Selección VS Aportación de las Variables Ecológicas

Se realizaron dos corridas de los diferentes modelos de distribución, una primera sesión de modelo con 20 variables, las 19 variables de BioClim (cuadro 8) y una variable extra de cobertura vegetal, la corrida fue de 20 repeticiones para cada especie, con un 10% de los datos de *A. maculatum*, *A. ovale*, y *A. triste* para la validación de los modelos y para *A. mixtum* un 15% de sus datos para la validación de sus MDE. La diferencia entre utilizar 10% para las tres primeras

especies y un 15% para *A. mixtum* es que precisamente esta última tiene un mayor número de datos de presencia que se tenían por cada una de las especies. Para la primera prueba sacamos los diferentes porcentajes de aportación de cada una de las 20 variables para cada una de las 4 especies de nuestras garrapatas, con esta primera prueba pudimos analizar y excluir las variables que tenían cierta correlación entre si y no estaban realizando una aportación significativa en los modelos, se decidió eliminar a toda aquella variable que tuviera una aportación por debajo del 5%.

Con esa exclusión hecha del 5% por considerarse que a partir de ese valor la variable tiene una aportación significativa al modelo se procedió a realizar una segunda ronda de modelado con las variables que tenían una aportación al modelo por encima del 5% y con los mismos parámetros antes establecidos.

V Resultados

Al terminar de generar la base de datos, se encontraron 238 datos totales y se obtuvieron de distintas fuentes bibliográficas tales como colecciones de Universidades y Documentos científicos cuyos reportes fueron validados previamente por varios autores. Entonces nosotros pudimos obtener un total de 238 géorreferencias de estas cuatro especies distribuidas en 24 de los 32 estados de la República Mexicana, en donde era muy importante que estos reportes contaran con su Longitud, Latitud, Nombre de la Especie, para poderlo tomar como un dato útil.

Cuadro 6. Incidencia y porcentajes de las garrapatas.

Total de registros en el país.	Incidencias y porcentajes de incidencias especies, respecto al total.	y Condiciones para que el de registro pudiera ser considerado útil.
--------------------------------	---	---

238 Georreferencias de las especies, en 24 Estados del país.	<i>Amblyomma maculatum</i>	Longitud	(27) 11.34%
	<i>Amblyomma mixtum</i>	Latitud	(165) 71.43%
	<i>Amblyomma ovale</i>	Especie	(28) 9.66%
	<i>Amblyomma triste</i>	Descripción exacta del lugar de la colecta	(18) 7.56%
		Fecha de la colecta	

En el (Cuadro 6) podemos observar los registros totales por especie de estas cuatro especies de garrapatas que se tiene registro en México. En este cuadro observamos que el mayor porcentaje de reportes de garrapatas de estas cuatro especies es *Amblyomma mixtum* con un 71.43% y *Amblyomma triste* es la especie con menor porcentaje de reportes con 7.56% y cabe destacar que esto no significa precisamente que esta especie no se encuentre en la misma cantidad que *A. mixtum* si no que ha sido objeto de una menor cantidad de estudios y de búsquedas intencionales.

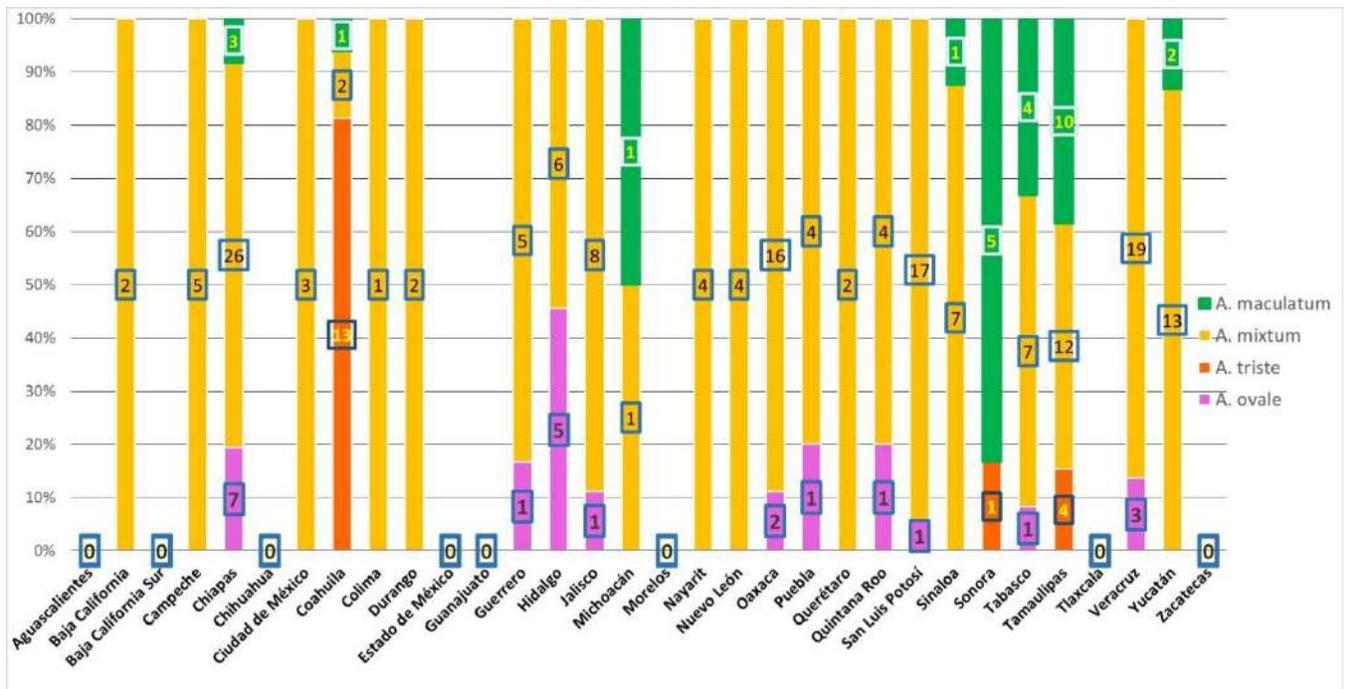


Figura 10. Número de registros por especie de garrapata y por entidad federativa.

Al comparar la concentración de reportes de estas cuatro especies en relación a los 32 estados del país (figura 10) es evidente que Chiapas es el estado en donde se observó la mayor cantidad de los reportes para todas las especies analizadas. Algo que es muy importante destacar es que, aunque hayan estados en lo que no existan reportes, esto no significa que no se encuentren estas especies, pues la falta de reportes en la mayoría de las ocasiones es porque no se realiza el reporte una forma adecuada (Guzmán, 2011).

5.1 Contribución porcentual por variables climáticas

Dentro de este apartado podemos obtener los valores de la contribución porcentual que tuvieron cada una de las 20 variables (Cuadro 7). Y partiendo de estos resultados es como se determinó utilizar únicamente aquellas variables que demostraron una aportación por encima del 5% a cada uno de los modelos de las cuatro especies de este trabajo, para la segunda sesión de corridas de los modelos.

Cuadro 7. Total % de aportación de las 20 variables para su discriminación por su aporte al modelo.

Variable		Porcentaje de Contribución A. <i>maculatum</i>	Porcentaje de Contribución A. <i>mixtum</i>	Porcentaje de Contribución A. <i>ovale</i>	Porcentaje de Contribución A. <i>triste</i>
CV	Cobertura Vegetal	14.6	16.3	12.8	8.1
Bio1	Temperatura media anual	0	4	1	0
Bio2	Rango diurno medio (media mensual (temperatura máxima - temperatura mínima))	2.7	14.1	40.1	2.2
Bio3	Isotermalidad (BIO2 / BIO7) (× 100)	8.2	1.3	2.3	30.6
Bio4	Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar × 100)	4.6	1.5	0.4	2.8
Bio5	Temperatura máxima del mes más cálido	3	1.4	6.6	0
Bio6	Temperatura mínima del mes más frío	0	10.6	0.8	0.9
Bio7	Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)	0.2	7.8	4.8	2.8
Bio8	Temperatura media del trimestre más húmedo	0.5	2.9	1	0.1

Bio9	5.7	2.5	1.2	
Temperatura media del cuarto más seco				
Bio10	0	1.1	2.9	0
Temperatura media del trimestre más cálido				
Bio11	0.1	8.9	0.5	1.9
Temperatura media del cuarto más frío				
Bio12	13.2	7.1	2.8	0
Precipitación anual				
Bio13	0.1	4.2	2.9	1.3
Precipitación del mes más húmedo				
Bio14	23	1.4	15	2.2
Precipitación del mes más seco				
Bio15	8.2	1.8	1.7	22
Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)				
Bio16	2.9	5.1	0.5	12.5
Precipitación del cuarto más húmedo				
Bio17	11.3	1.2	1.2	1.1
Precipitación del cuarto más seco				
Bio18	1.1	3.8	1.5	0.1
Precipitación del trimestre más cálido				
Bio19	0.3	3	0	1.8
Precipitación del cuarto más frío				

En la (Figura 11) observamos cómo se dio la distribución a lo largo de nuestro territorio nacional de los registros históricos obtenidos de colecciones naturales y revisiones bibliográficas de las cuatro especies de este estudio, *A. maculatum*, *A. mixtum*, *A. ovale* y *A. triste*.

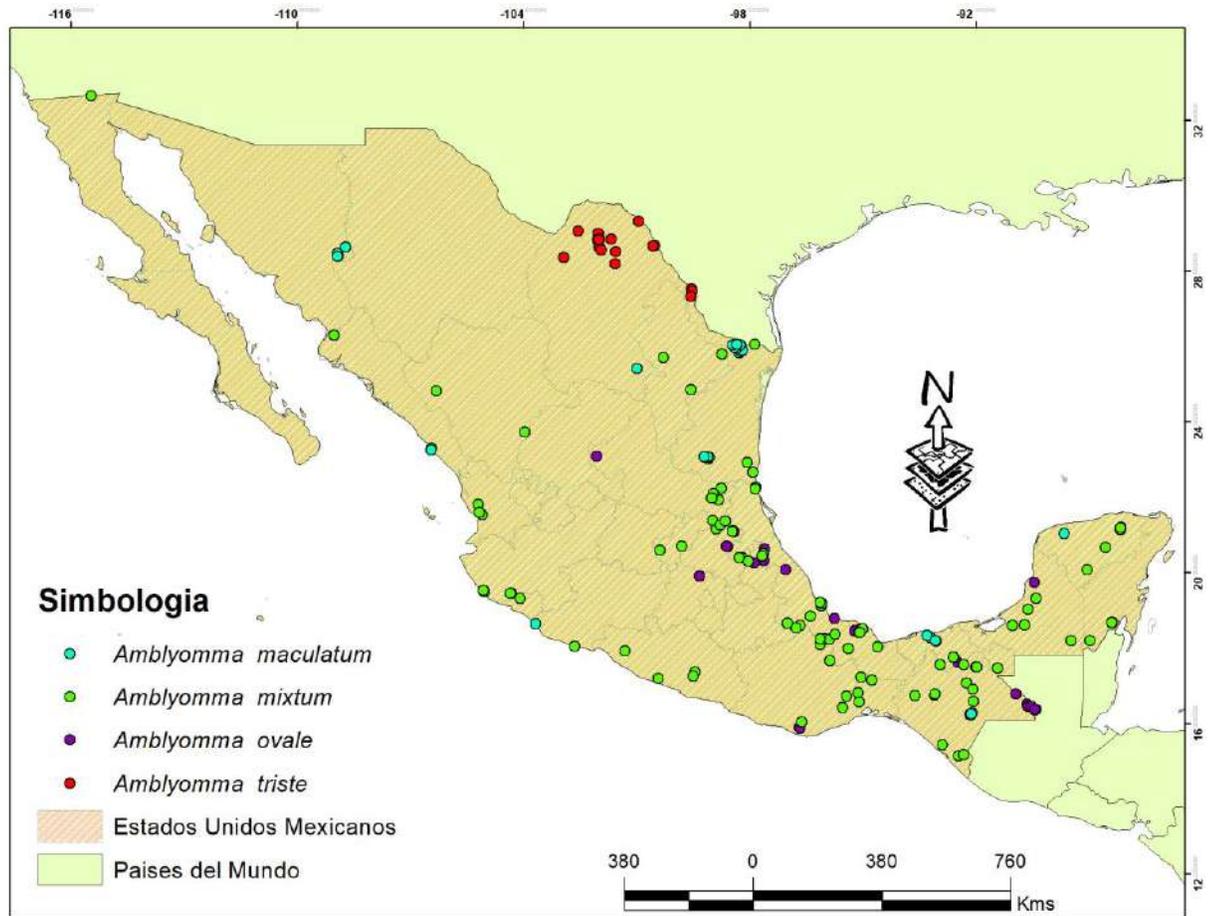


Figura 11. Registros de su distribución de *A. maculatum*, *A. mixtum*, *A. ovale* y *A. triste* en el país.

La distribución potencial de *Amblyomma maculatum* se observa a lo largo de las costas del Pacífico, Golfo de México y mar Caribe, con tendencia clara hacia los estados que presentan mayor grado de humedad y precipitación tal es el caso de Sinaloa, Jalisco, Michoacán, Tamaulipas, Veracruz, Guerrero, Chiapas, Quintana

Roo, Yucatán, Campeche y Oaxaca (figura 12). Es evidente que esta garrapata muestra una clara preferencia por temperaturas altas una precipitación mayor, humedad constante y una abundante cobertura vegetal.

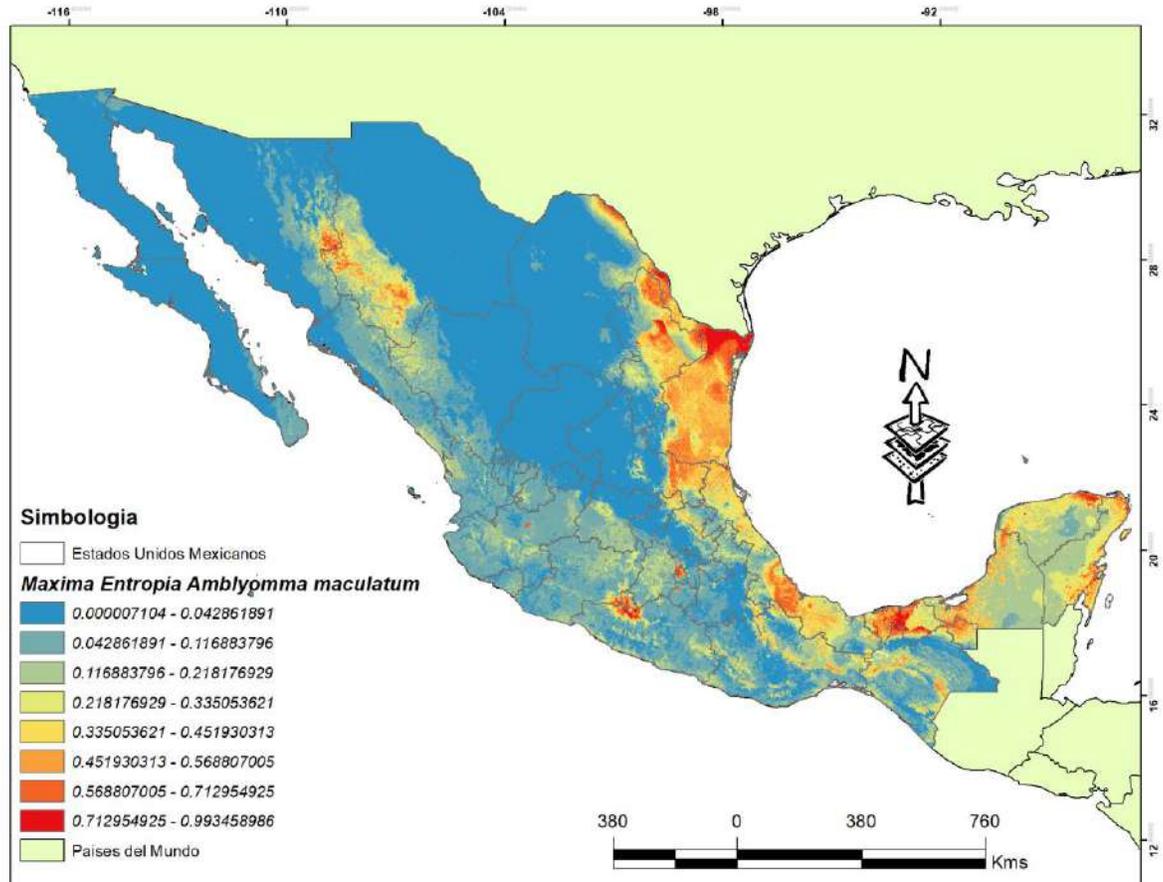


Figura 12. Distribución Potencial *A. maculatum* en el país.

El siguiente (cuadro 8) se proporciona las estimaciones de las contribuciones relativas de las variables ambientales al modelo de MaxEnt. Para determinar la primera estimación, en cada iteración del algoritmo de entrenamiento, las variables Bio 14, CV, Bio 12, Bio 17, Bio 15, Bio 3 y Bio 9 en dicho orden tienen una representación significativamente mayor a un 5% el cual establecimos para seleccionar las variables que mayor grado de aportación tenían en el modelado de *A. maculatum*. Los valores que se muestran son promedios sobre ejecuciones repetidas.

Cuadro 8. Total % de contribución de cada variable al modelo de distribución de *A. maculatum* en el país.

Variable	Contribución Porcentual
Bio 14 (Precipitación del mes más seco)	23
CV (Cobertura Vegetal)	14.6
Bio 12 (Precipitación anual)	13.2
Bio 17 (Precipitación del cuarto más seco)	11.3
Bio 15 (Estacionalidad de la precipitación)	8.2
Bio 3 (Isotermalidad)	8.2
Bio 9 (Temperatura media del cuarto más seco)	5.7

La siguiente imagen muestra el área bajo la curva (ROC) (figura 13) para los datos de *A. maculatum*, promediada sobre las ejecuciones replicadas. Se debe tener en cuenta que la especificidad se define utilizando el área pronosticada, en lugar de la comisión real. El AUC de prueba promedio para las ejecuciones replicadas es 0,873 y la desviación estándar es 0,155. Entonces tendremos una mayor probabilidad de que, seleccionando al azar una presencia y una ausencia, el modelo clasifique con un valor de idoneidad mayor a la presencia que a la ausencia. Suponiendo $AUC = 0.873$, el modelo dará mayor valor de idoneidad a las presencias un 87% de las veces.

Lo anterior nos deja claro que nuestro modelo generado para *A. maculatum* se encuentra bajo el orden de aceptable esto si utilizamos el criterio de Swets 1988, en donde dicta que un área bajo la curva por debajo de 0, 7 tiene una baja capacidad discriminante y que una por debajo de 0, 9 debe ser útil para nuestro propósito, catalogando a las mayores de 0, 9 con alta exactitud.

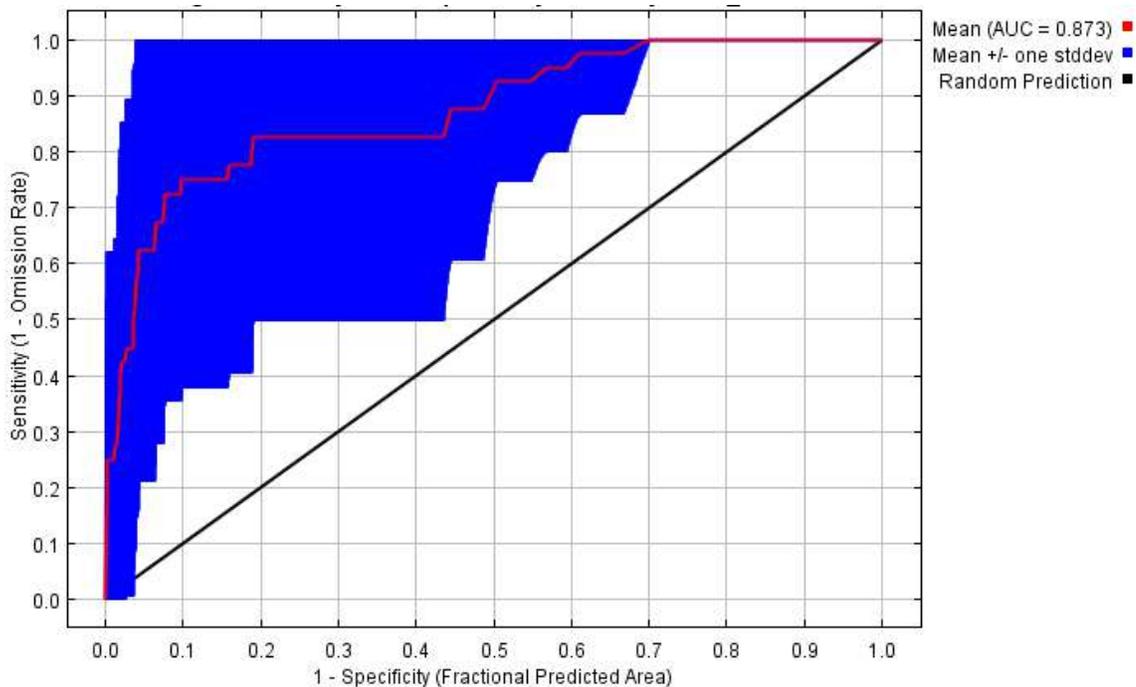


Figura 13. Área bajo la curva de la Distribución Potencial *A. maculatum* en el país.

Por otro lado *Amblyomma mixtum* presenta una distribución potencial bien marcada tanto a la gran línea del golfo de México, como a al extenso territorio que abarcan las costas del pacifico, también cabe destacar que de las cuatro garrapatas que estudiamos es la más relacionada con la producción agropecuaria, por su lado el modelo obtenido propone que esta especie se podría distribuir primordialmente en los estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche y Chiapas con áreas más pequeñas en Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Jalisco, Nayarit y Sinaloa, posiblemente debido a que son zonas en donde la humedad y la temperatura suelen estar presentes (figura 14).

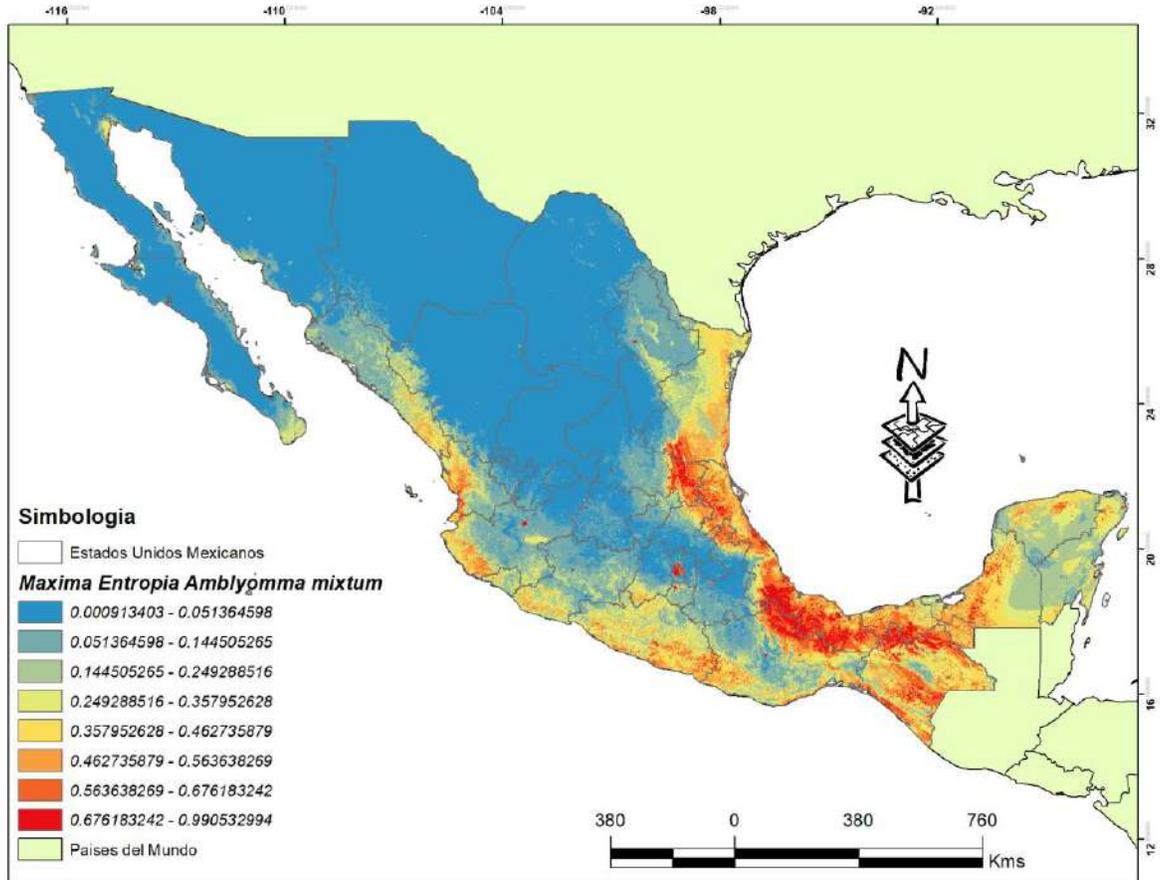


Figura 14. Distribución Potencial *A. mixtum* en el país.

El siguiente (cuadro 9) se proporciona las estimaciones de las contribuciones relativas de las variables ambientales al modelo de MaxEnt. Para determinar la primera estimación, en cada iteración del algoritmo de entrenamiento, las variables CV, Bio 2, Bio 6, Bio 11, Bio 7, Bio 12 y Bio 16 en dicho orden tienen una representación significativamente mayor a un 5% el cual establecimos para seleccionar las variables que mayor grado de aportación tenían en el modelado de *A. mixtum*. Los valores que se muestran son promedios sobre ejecuciones repetidas.

Cuadro 9. Total % de contribución de cada variable al modelo de distribución de *A. mixtum* en el país.

Variable	Contribución Porcentual
CV (Cobertura Vegetal)	16.3
Bio 2 (Rango diurno medio)	14.1
Bio 6 (Temperatura mínima del mes más frío)	10.6
Bio 11 (Temperatura media del cuarto más frío)	8.9
Bio 7 (Rango anual de temperatura)	7.8
Bio 12 (Precipitación anual)	7.1
Bio 16 (Precipitación del cuarto más húmedo)	5.1

La siguiente imagen muestra el área bajo la curva (ROC) (figura 15) para los datos de *A. mixtum*, promediada sobre las ejecuciones replicadas. Se debe tener en cuenta que la especificidad se define utilizando el área pronosticada, en lugar de la comisión real. El AUC de prueba promedio para las ejecuciones replicadas es 0,869 y la desviación estándar es 0,074. Entonces tendremos una mayor probabilidad de que, seleccionando al azar una presencia y una ausencia, el modelo clasifique con un valor de idoneidad mayor a la presencia que a la ausencia. Suponiendo $AUC = 0.869$, el modelo dará mayor valor de idoneidad a las presencias un 86% de las veces.

Lo anterior nos deja claro que nuestro modelo generado para *A. mixtum* se encuentra bajo el margen de aceptable esto si utilizamos el criterio de Swets 1988, en donde dicta que un área bajo la curva por debajo de 0,7 tiene una baja capacidad discriminante y que una por debajo de 0,9 debe ser útil para nuestro propósito, catalogando a las mayores de 0,9 con alta exactitud.

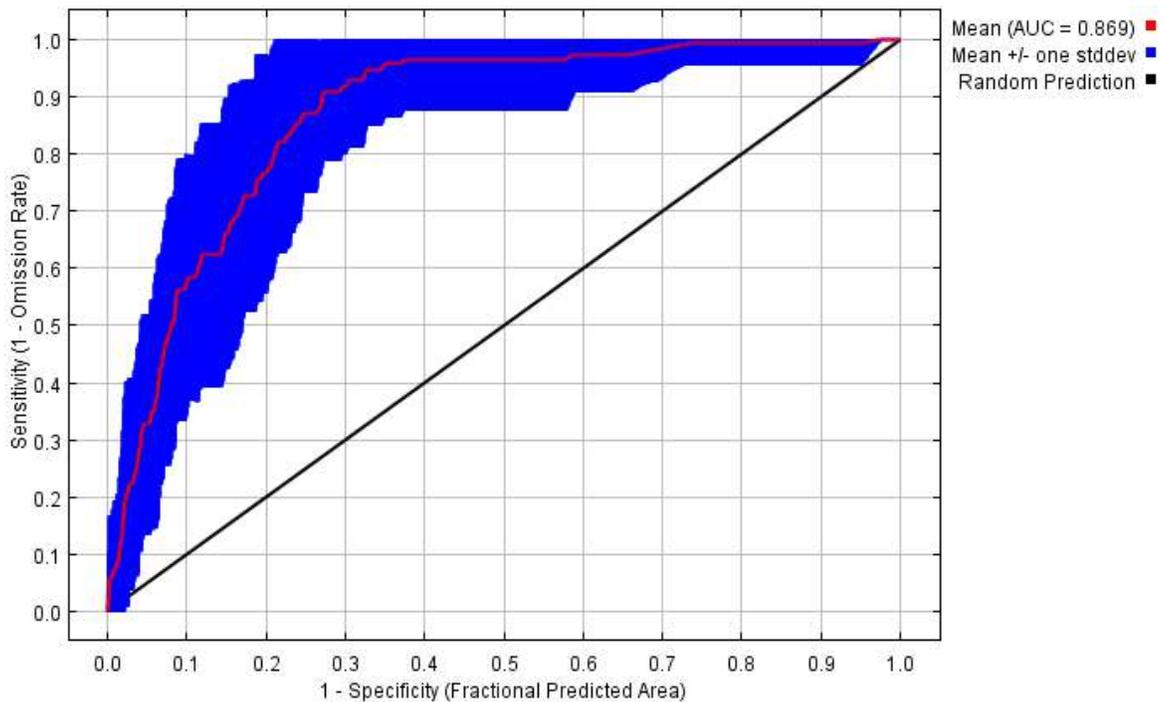


Figura 15. Área bajo la curva de la Distribución Potencial *A. mixtum* en el país.

Por su parte *Amblyomma ovale* proyecta una distribución potencial más acortada en el país mostrando cierta tendencia a la preferencia por lugares más templados con características climáticas y una disponibilidad de hospederos encontradas a lo largo del golfo de México como es el caso de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, zonas del caribe como Yucatán y Quintana Roo, Pero es importancia no perder la noción de que comienza a mostrar una clara tendencia de desplazamiento hacia los estados del país que se encuentran en contacto con el océano Pacífico, y esto se refleja claramente con Chiapas y Oaxaca (figura 16), además de que en áreas como Guerrero y Michoacán ya muestran pequeñas áreas con clara tendencia de su desplazamiento. Si esta tendencia prevalece *A. ovale* se establecerá prácticamente en todo el centro sur de México.

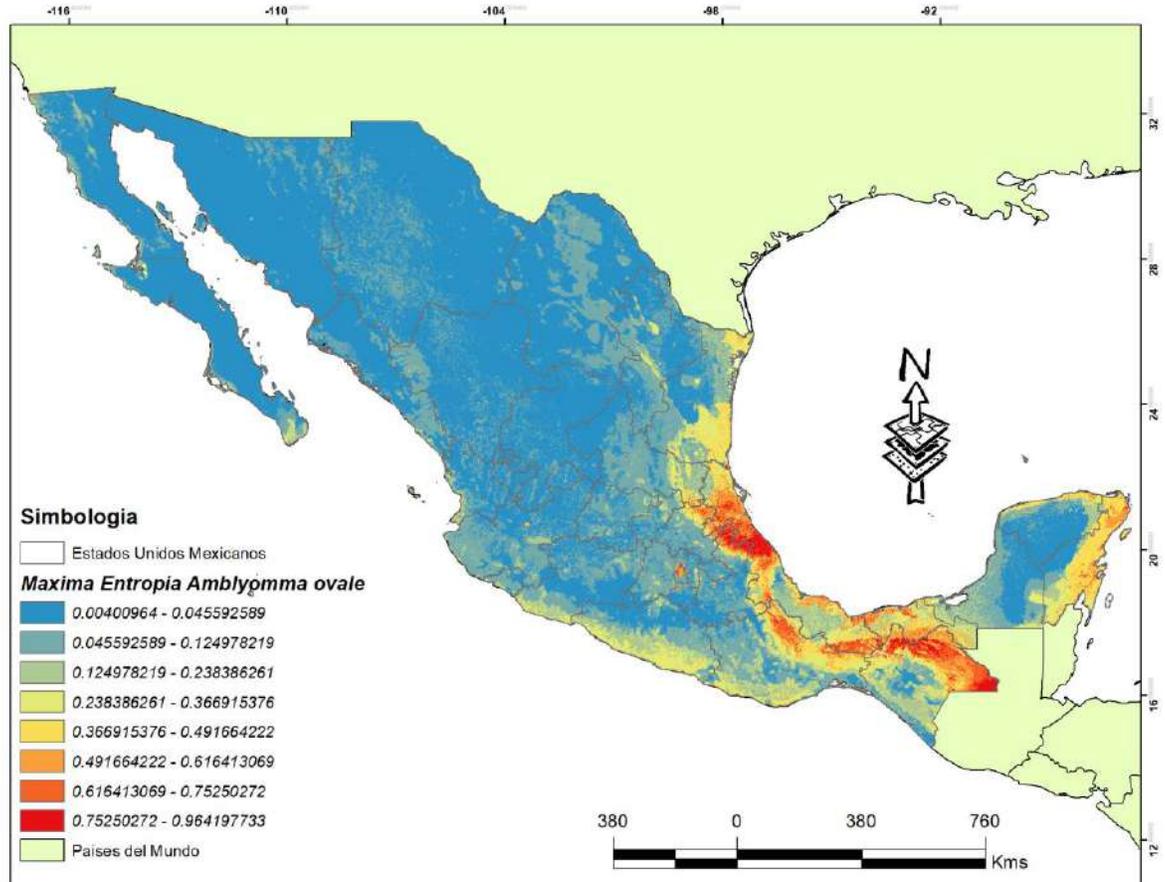


Figura 16. Distribución Potencial *A. ovale* en el país.

El siguiente (cuadro 10) se proporciona las estimaciones de las contribuciones relativas de las variables ambientales al modelo de MaxEnt. Para determinar la primera estimación, en cada iteración del algoritmo de entrenamiento, las variables Bio 2, Bio 14, CV, Bio 5, y Bio 7, en dicho orden tienen una representación significativamente mayor a un 5% el cual establecimos para seleccionar las variables que mayor grado de aportación tenían en el modelado de *A. ovale*. Los valores que se muestran son promedios sobre ejecuciones repetidas.

Cuadro 10. Total % de contribución de cada variable al modelo de distribución de *A. ovale* en el país.

Variable	Contribución Porcentual
Bio 2 (Rango diurno medio)	40.1
Bio 14 (Precipitación del mes más seco)	15
CV (Cobertura Vegetal)	12.8
Bio 5 (Temperatura máxima del mes más cálido)	6.6
Bio 7 (Rango anual de temperatura)	4.8

La siguiente imagen (figura 17) muestra el área bajo la curva (ROC) para los datos de *A. ovale*, promediada sobre las ejecuciones replicadas. Se debe tener en cuenta que la especificidad se define utilizando el área pronosticada, en lugar de la comisión real. El AUC de prueba promedio para las ejecuciones replicadas es 0,900 y la desviación estándar es 0,144. Entonces tendremos una mayor probabilidad de que, seleccionando al azar una presencia y una ausencia, el modelo clasifique con un valor de idoneidad mayor a la presencia que a la ausencia. Suponiendo $AUC = 0.900$, el modelo dará mayor valor de idoneidad a las presencias un 90% de las veces.

Lo anterior nos deja claro que nuestro modelo generado para *A. ovale* se encuentra bajo el margen de alta exactitud esto si utilizamos el criterio de Swets 1988, en donde dicta que un área bajo la curva por debajo de 0, 7 tiene una baja capacidad discriminante y que una por debajo de 0, 9 debe ser útil para nuestro propósito, catalogando a las mayores de 0, 9 con alta exactitud.

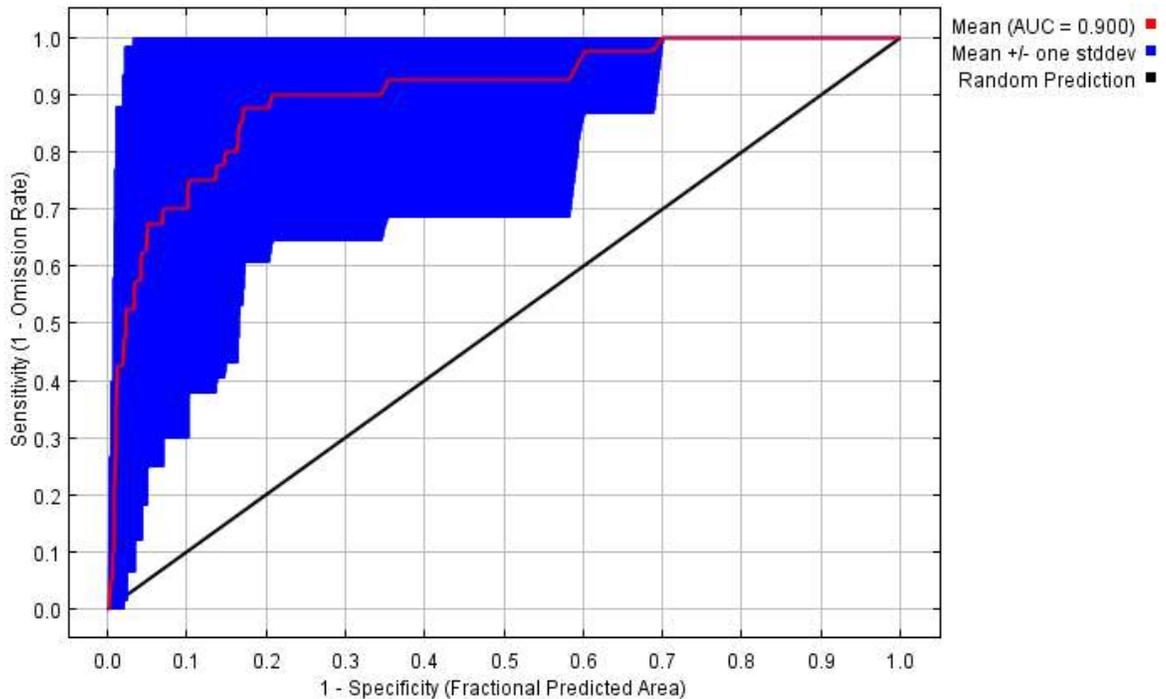


Figura 17. Área bajo la curva de la Distribución Potencial *A. ovale* en el país.

Para finalizar *Amblyomma triste* muestra una distribución potencial muy cargada a la zona norte del país mostrando mayor adaptación a zonas más áridas en dónde se tienen temperaturas altas y con menores cantidades de lluvias o humedad esa tendencia se ve claramente en Chihuahua, Coahuila, Tamaulipas, con áreas de menor tamaño en Chihuahua y Baja California, el resultado nos muestra claramente que si en la base de datos de registros de *A. triste* se hubieran incluido los datos de Estados Unidos de Norte América ese patrón en la distribución potencial sería más notorio cómo se extiende hacia el vecino país. Tras notar esa gran flexibilidad que tienen para adaptarse a nuevos sitios en el ambiente se podrían desplazar a lo largo de estados como Sonora, San Luis Potosí, Sinaloa y Zacatecas (figura 18), cabe destacar que una gran cantidad de especies de garrapatas duras has mostrado una gran capacidad que adaptarse a zonas de playa en donde la cobertura vegetal no es tan abundante pero cuenta con otras variables para poder llevar acabo su establecimiento en el sitio.

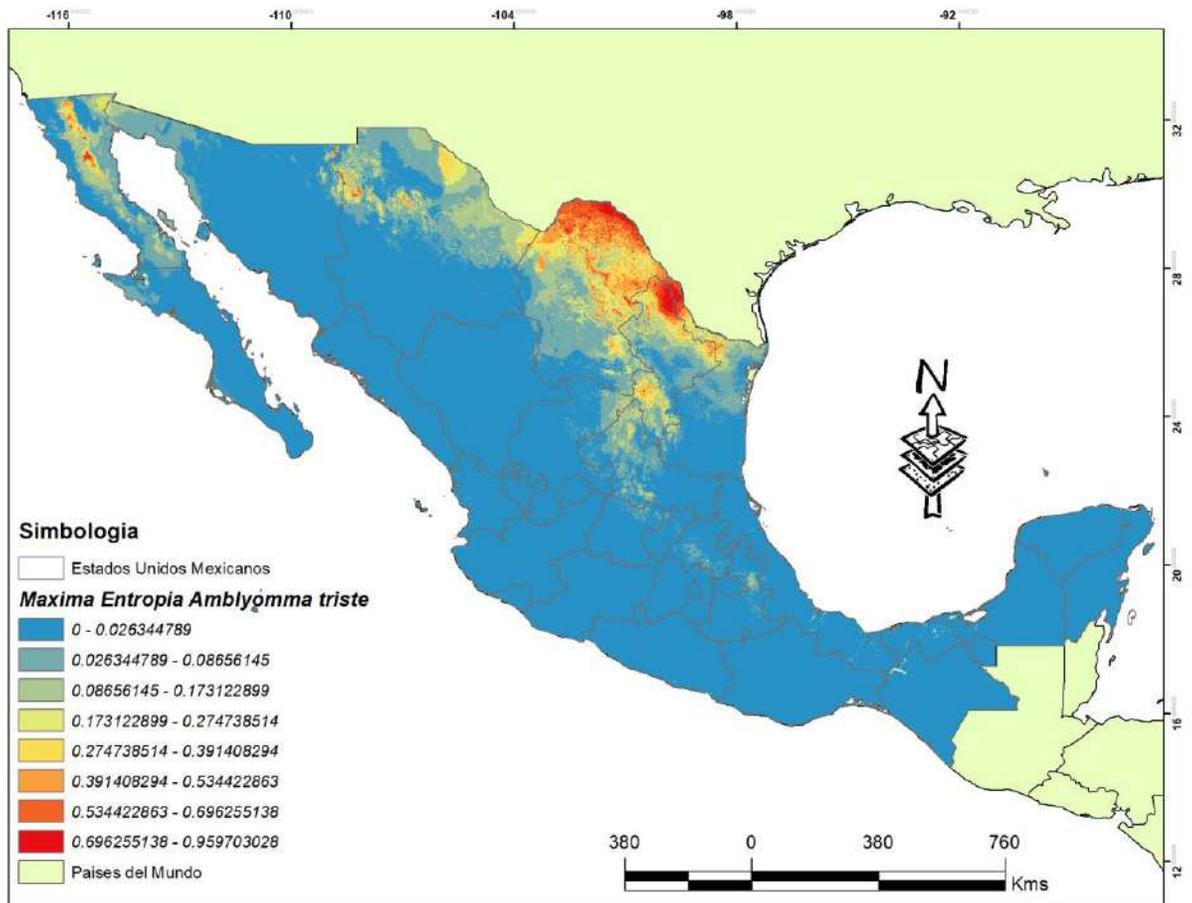


Figura 18. Distribución Potencial *A. triste* en el país.

El siguiente (cuadro 11) se proporciona las estimaciones de las contribuciones relativas de las variables ambientales al modelo de MaxEnt. Para determinar la primera estimación, en cada iteración del algoritmo de entrenamiento, las variables Bio 16, Bio 15, Bio 3, Bio 9 y CV en dicho orden tienen una representación significativamente mayor a un 5% el cual establecimos para seleccionar las variables que mayor grado de aportación tenían en el modelado de *A. triste*. Los valores que se muestran son promedios sobre ejecuciones repetidas.

Cuadro 11. Total % de contribución de cada variable al modelo de distribución de *A. triste* en el país.

Variable	Contribución Porcentual
Bio 16 (Precipitación del cuarto más húmedo)	30.6
Bio 15 (Estacionalidad de la precipitación)	22
Bio 3 (Isotermalidad)	12.5
Bio 9 (Temperatura media del cuarto más seco)	9.6
CV (Cobertura Vegetal)	8.1

La siguiente imagen muestra el área bajo la curva (ROC) (figura 19) para los datos de *A. triste*, promediada sobre las ejecuciones replicadas. Se debe tener en cuenta que la especificidad se define utilizando el área pronosticada, en lugar de la comisión real. El AUC de prueba promedio para las ejecuciones replicadas es 0,968 y la desviación estándar es 0,027. Entonces tendremos una mayor probabilidad de que, seleccionando al azar una presencia y una ausencia, el modelo clasifique con un valor de idoneidad mayor a la presencia que a la ausencia. Suponiendo $AUC = 0.968$, el modelo dará mayor valor de idoneidad a las presencias un 96% de las veces previstas.

Lo anterior nos deja claro que nuestro modelo generado para *A. triste* se encuentra bajo el margen de alta exactitud esto si utilizamos el criterio de Swets 1988, en donde dicta que un área bajo la curva por debajo de 0, 7 tiene una baja capacidad discriminante y que una por debajo de 0, 9 debe ser útil para nuestro propósito, catalogando a las mayores de 0, 9 con alta exactitud.

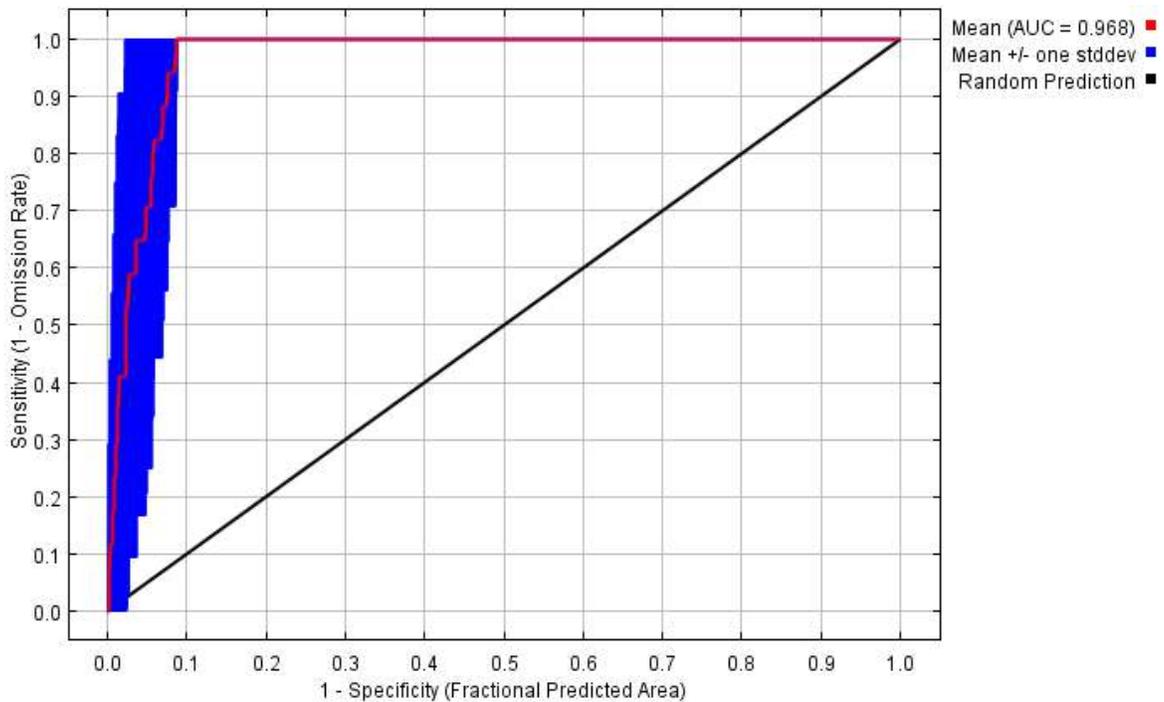


Figura 19. Área bajo la curva de la Distribución Potencial *A. triste* en el país.

VI. Discusión

El establecimiento de las especies depende de su respuesta frente a un conjunto de condiciones ambientales, ya sean bióticas o abióticas de una región dada, en México existen grandes zonas en donde encontramos un conjunto de condiciones ambientales que aunque no son las ideales, si pueden favorecer el desarrollo de los estados de vida libre de estas garrapatas, permitiéndoles sostenerse hasta que se adhieran a su hospedero, el cual se distribuye a lo largo de la región, y hace más viable la finalización y el éxito del ciclo de vida.

Tal y como lo menciona Pulido *et al.* (2015), algunas de las condiciones del territorio Mexicano no son las más favorables para el desarrollo de nuestras cuatro especies de garrapatas ya que dichas regiones presentan bajas temperaturas con valores promedio entre los 12°C – 16°C, y temperaturas mínimas de 6°C o menores (Figura 20), lo cual afecta el proceso de preoviposición y oviposición, así como el

de eclosión, retardándolos o inhibiendo alguno de ellos, ya que no se presentan las condiciones ideales requeridos para el éxito de estas especies.

Puesto que sabemos que el valor crítico mínimo para los estados de teoginas y huevos es de 12°C, ya que los procesos de oviposición y eclosión respectivamente, se reducen durante un período de 9 semanas o superior, bajo estas condiciones. Mientras que a los 25°C estos procesos se llevan con éxito (Davey 1988, Davey y Cooksey 1989). Con respecto a las larvas, su longevidad en el ambiente es de mayor duración en temperaturas constantes de entre 15 – 22°C que en 29°C o superiores, luego el valor crítico mínimo para este estado es de 15°C y el valor crítico máximo es de 22°C (Hitchcock 1955).

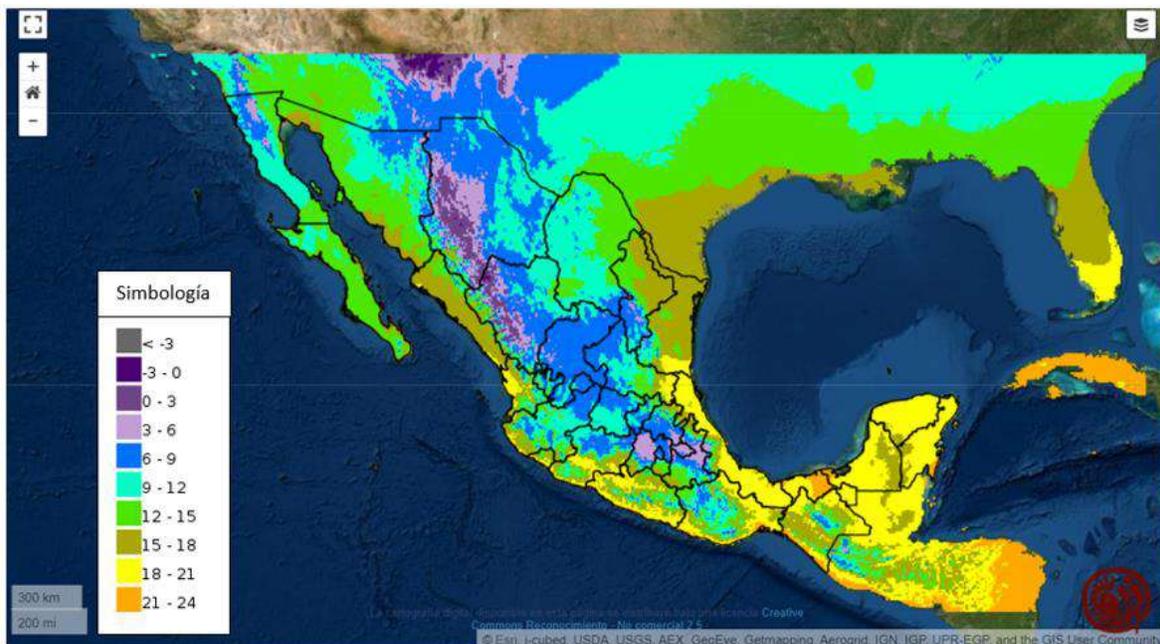


Figura 20: Temperatura mínima mensual. (E. Martínez-Meyer, O. Téllez-Valdés, A.K. Meneses-Mosquera, M.A. Gómez-Albores, Cuervo-Robayo A.P.)

Por otro lado es importante mencionar que la humedad se relaciona con el éxito o fracaso del establecimiento de *A. maculatum*, *A. mixtum*, *A. ovale* y *A. triste*, ya que el exceso o déficit de esta variable afecta demasiado los huevos ovipositados, puesto que requieren de condiciones favorables de humedad “alta”

(Figura 21), para mantenerse sanos y tener éxito en el proceso de eclosión, una tendencia que claramente han tomado nuestras cuatro especies de garrapatas en nuestros diferentes modelos de distribución potencial debido a que las zonas con mayor probabilidad de encontrarlas es en áreas donde tenemos más de 90 días de humedad.

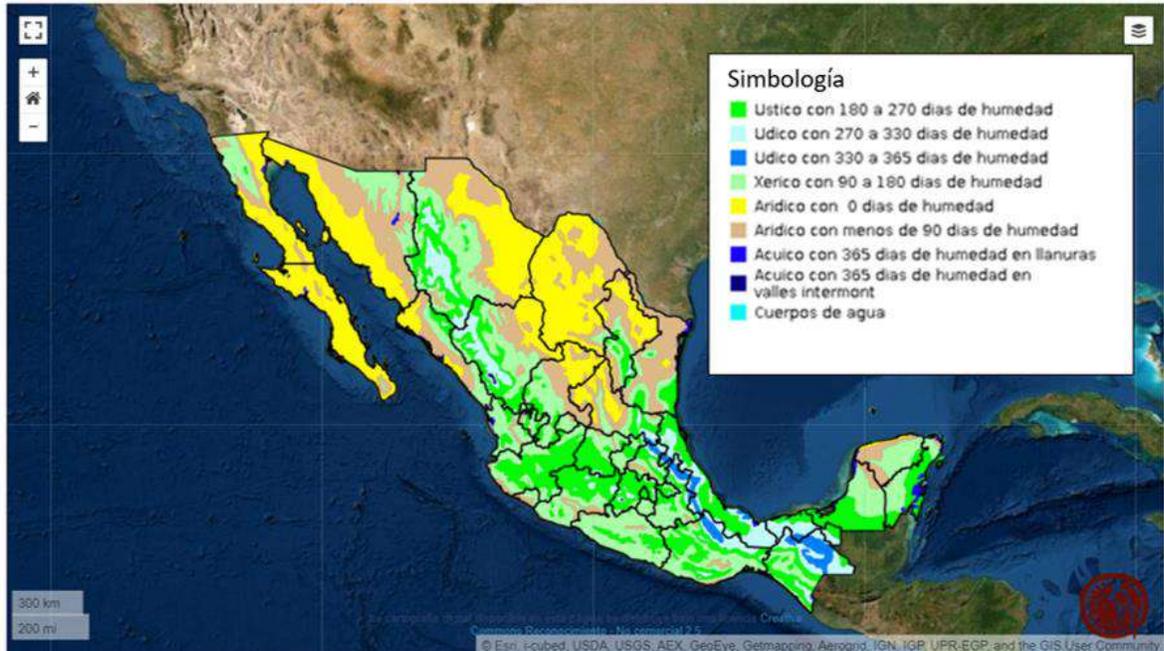


Figura 21: Días de humedad. (Maples-Vermeersch, M. 1992)

La temperatura es una de las variables más importante en el desarrollo de las especies de *A. maculatum*, *A. mixtum*, *A. ovale* y *A. triste* (Figura 22 & 23), pequeños cambios en esta variable podrían desencadenar en cambios del desarrollo y establecimiento de las especies. El cambio climático en el mundo y en México es evidente y se evidencia principalmente en los cambios de la temperatura que hemos tenido en el país con el paso de los últimos años, y se plantea como una de las principales causas del aumento de la distribución de estos artrópodos (Corpoica, 2011).

De acuerdo a Rojas *et al.* (2010), la tendencia al aumento de la temperatura en la región durante los últimos diez años puedes ser la condición que ha favorecido hasta ahora el establecimiento de una gran cantidad de especies, teniendo en

cuenta además la característica de plasticidad genética y fenotípica que presentan estas especies.

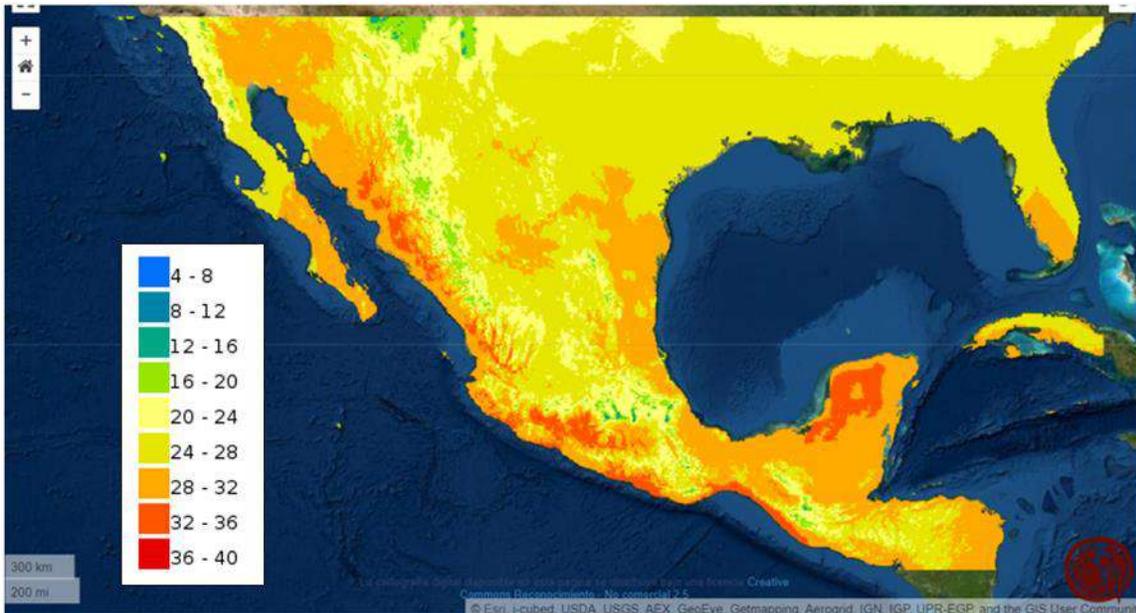


Figura 22: Temperatura máxima mensual 1970. Fuente: E. Martínez-Meyer, Cuervo-Robayo A.P., C. Ureta, M.A. Gómez-Albores, A.K. Meneses-Mosquera, O. Téllez.

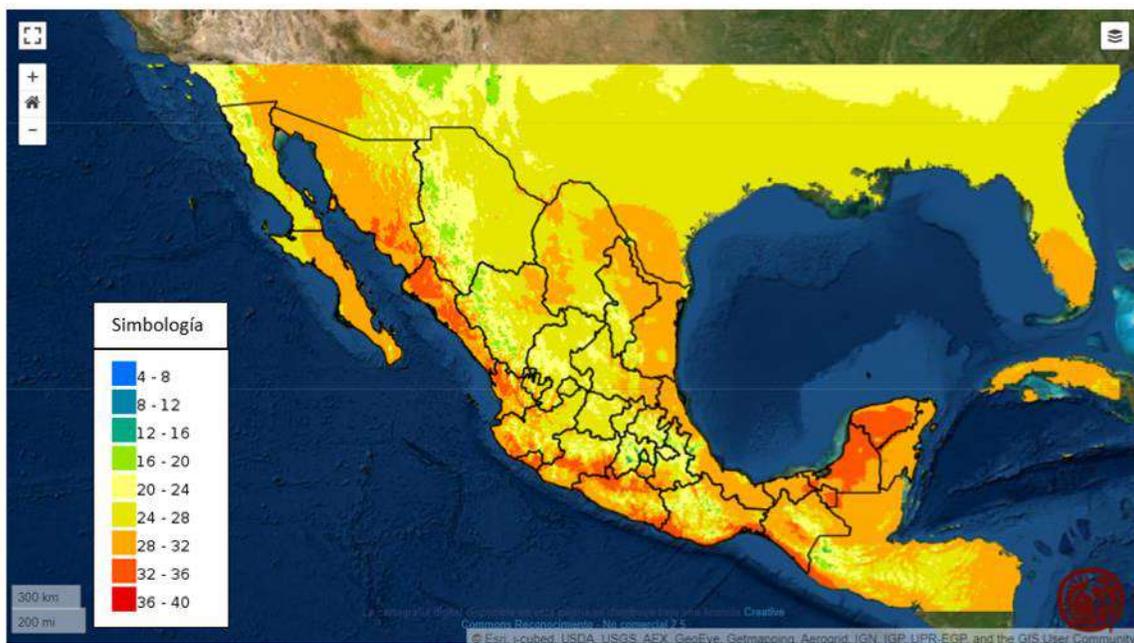


Figura 23: Temperatura máxima mensual 2000. Fuente: E. Martínez-Meyer, Cuervo-Robayo A.P., C. Ureta, M.A. Gómez-Albores, A.K. Meneses-Mosquera, O. Téllez.

Las condiciones cambiantes del clima afectan los ciclos de desarrollo de las especies, como suele ser la alteración en las precipitaciones (Figura 24), lo cual de acuerdo a Corpoica (2011) el proceso de incubación de huevos es el más afectado tras la falta o escases de esta variable, reflejándose en largos periodos de eclosión o inclusive en el fracaso de este proceso y por lo tanto en los bajos registros de presencia, posiblemente esta es una de las razones de que nuestras 4 especies no se presenten con tanta facilidad en las zonas del país donde es más escasa la precipitación.

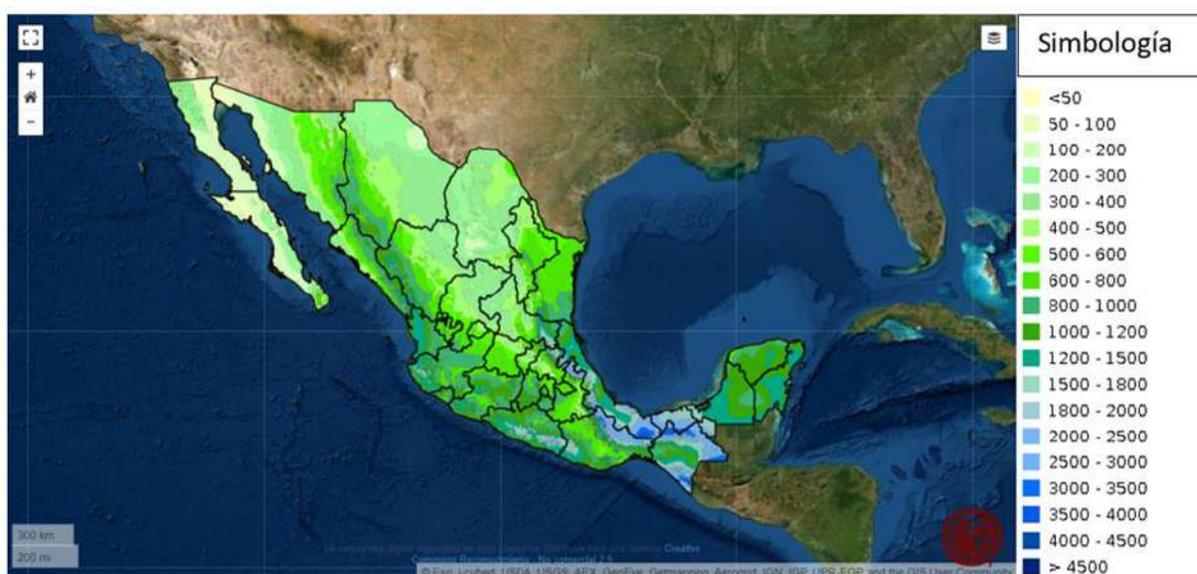


Figura 24: Precipitación media anual. (Cuervo-Robayo, A. P., Martínez-Meyer, E., Manjarrez, J., Venegas-Barrera, C. S., Téllez-Valdés, O.)

La relación entre *A. maculatum*, *A. mixtum*, *A. ovale*, *A. triste* y el entorno, se estableció con base en el planteamiento de Teel et al. (1996 y 1997); quienes concluyeron que las infestaciones de garrapatas se mantienen durante periodos más largos de tiempo en hábitats con coberturas o algún tipo de dosel como bosques, selvas, arbustos o mosaicos con mezquite (Figura 25), que en hábitats abiertos como pastos, de ahí que podamos establecer que nuestros modelos de predicción y lo dicho por Teel et al, en 1996 y 1997 toma relevancia al ver las zonas marcadas con mayor potencial de distribución en nuestros resultados presentados.

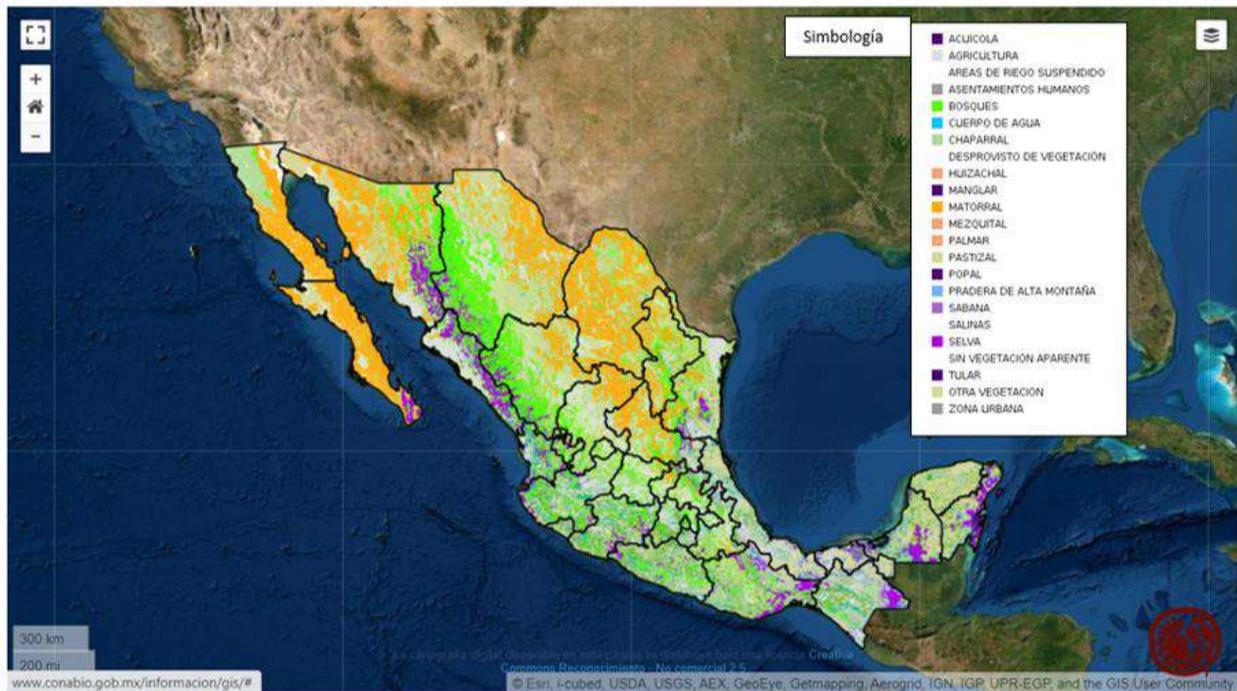


Figura 25: Uso de suelo y vegetación. Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2016)

Las predicciones de nichos ecológicos que hicimos con el modelado de MaxEnt utilizando los registros de colecciones públicas y de artículos académicos, nos arrojó una mayor probabilidad de presencia en la zona tropical y costera del país, esto puede deberse a que es una zona donde históricamente la precipitación, temperatura y humedad constante es mayor, y aunado a que en estas áreas se da el establecimiento de las especies hospederas de *A. maculatum*, *A. mixtum*, *A. ovale*, *A. triste*, lo anterior probablemente ha permitido que estas especies hayan encontrado un nicho ecológico que favorece su establecimiento y todo ello podría haber generado que ahora presenten una adaptación a las condiciones ambientales de estas zonas (Palma & Delgadillo, 2014). Hay que tener en consideración que son cada día más las especies que extienden su distribución potencial hacia las regiones de costas, quizás porque la actividad humana es mayor en estas zonas y las condiciones climáticas les son más favorables.

Es necesario precisar que el crecimiento en la distribución geográfica de un vector hacia regiones donde su presencia y el riesgo es desconocido, representa un alto grado de incertidumbre, tanto para el conocimiento específico de las causas del fenómeno, como para las posibilidades de su control a largo plazo. Siguiendo esta vertiente, se debe tener en cuenta que la probabilidad de transmisión de enfermedades zoonóticas se incrementa cuando aumenta la densidad poblacional y se amplía su rango geográfico a nuevas poblaciones de hospederos (Thornton *et al.*, 2009).

Es necesario establecer que, si se encuentran escenarios anteriormente mencionados, debe considerarse, por lo menos dos factores con respecto a un cambio en la distribución del vector, el primero tiene que ver con la temporalidad del suceso y en segundo lugar con la posibilidad de mitigar sus efectos (Polley & Thompson, 2009).

Para el primer factor se debe determinar si la detección del artrópodo se originó por un acontecimiento de introducción accidental o por el establecimiento de sus poblaciones en diferentes localidades y a lo largo de diferente temporalidad; y si se sospecha de un escenario de introducción accidental, las medidas de control estarán encaminadas hacia la erradicación de la especie o las condiciones naturales causarán su extinción en la región geográfica exótica (Myers *et al.*, 1998). Por el contrario, en un escenario de establecimiento se hace imprescindible el conocimiento de la estacionalidad del parásito y las condiciones críticas para el incremento y dispersión de la población de la especie plaga (Benavides y Romero, 2001a; Benavides y Romero, 2001b; Siddig *et al.*, 2005).

Para tratar de dar una explicación a la presencia de las garrapatas en altitudes superiores a aquellas conocidas como su límite de distribución, puede deberse a su introducción accidental por el transporte a través de fómites tales como el heno o algunos pastos de corte, de aves migratorias o en animales nuevos que ingresan al sistema de producción de las unidades de producción (Cortés *et al.*, 2010).

No se debe de pasar por alto que con la simple identificación de la presencia de dichos artrópodos, no indica que pueda cumplir su ciclo de vida de manera

eficiente bajo las condiciones ambientales de la región en cuestión, con lo cual el riesgo potencial de establecerse como ectoparásito es variable. Dicho lo anterior y en base a lo obtenido se puede establecer que la presencia de dichos ectoparásitos es un problema histórico y que en algunos sectores del país estas especies probablemente han completado ciclos de vida en áreas geográficas que tradicionalmente no eran aptas para su establecimiento (Cortés *et al.*, 2010). Pero, para confirmar lo antes dicho, se deberán trabajar una serie de estudios en donde se realicen búsquedas intencionales de estas especies tanto en diferentes épocas del año como diferentes rangos altitudinales y climáticos, con el fin de verificar la capacidad de estas especies para producir generaciones viables que puedan completar su ciclo de vida en el entorno climático y ecológico de la región.

A pesar de que hemos enfatizado de una manera muy amplia en que el cambio climático es uno de los factores que más afectan la distribución potencial geográfica de estas especies de garrapatas, el efecto que trae consigo no puede, ni deberá ser analizada estrictamente como la única causa, ya que es claro que existen otros factores como la explosión demográfica, las condiciones socioeconómicas, los cambios antropogénicos del paisaje y el comercio nacional e internacional de ganado, ellos pueden influenciar fácilmente las densidades poblacionales de las garrapatas y las incidencias de las enfermedades asociadas a estos (Cortés, 2010).

En nuestro país no se han desarrollado un número suficiente de investigaciones que permitan conocer el impacto que las variaciones climáticas y los demás factores ya mencionados puedan tener sobre las poblaciones de estos artrópodos, por lo que es necesario enfatizar en la necesidad de desarrollar estudios con nuevas y diversas poblaciones de garrapatas y su posible relación con la expansión tanto a nuevos territorios como a mayores altitudes y con una mayor flexibilidad adaptativa a sus requerimientos climáticos, además esto servirá para poder establecer nuevos modelos predictivos de las distribuciones potenciales de estas especies en escenarios futuros y así al proyectarla, poder plantear futuros escenarios de riesgo y posibles planes de manejo que sean cada día más sustentables.

VII Conclusiones

Los modelos de distribución de especies resultan ser una herramienta muy útil y ayuda a sintetizar las relaciones entre especies y variables ambientales que son difíciles de interpretar incluso de apreciar por otros medios. Las especies del género *Amblyomma* son artrópodos de alto interés tanto en la producción pecuaria, como en el ámbito de la salud pública debido a las enfermedades que pueden transmitir como son las *Rickettsia parkeri* y *Rickettsia rickettsii* por lo que resulta de gran importancia la determinación de nuevas zonas que sean potencialmente idóneas para su establecimiento.

La presencia de estas cuatro especies de garrapatas del género *Amblyomma* es variable, y está ampliamente diseminada a lo largo de las partes más cálidas del país. Así mismo para este trabajo realizado podemos indicar que la probabilidad de que un espacio geográfico sea el idóneo para determinada especie, puede ser determinada a partir de observaciones de campo vinculadas a una serie de variables bioclimáticas que actúan como predictores.

En los medios electrónicos se encuentra disponible muy poca información geográfica a nivel mundial referentes a algunas especies de garrapatas, debido a eso y como era de esperarse no se encontró ninguna base de datos que hiciera referencia a *A. maculatum*, *A. mixtum*, *A. ovale*, *A. triste*. Con los datos históricos de avistamientos y colecta de estas especies, fue posible la elaboración de esta base de datos. Por lo que toma una gran relevancia para la construcción de futuros estudio.

Partiendo de los modelos de distribución potencial que obtuvimos se puede ratificar que las zonas donde se obtuvieron estos registros cuentan con la aptitud ambiental requerida para el establecimiento de las garrapatas objeto de este estudio así como la identificación de nuevas áreas en donde las condiciones que se presentan en estos sitios son similares a las históricamente habían requerido cada

una de estas cuatro especies, eso ha llevado a la determinación de etiquetarlas como zonas potencialmente aptas para el establecimiento de estos artrópodos.

Con respecto a los modelos generados, se puede notar que la variable de cobertura vegetal, es la que se encuentra de forma permanente, como la variable que tiene una aportación constante en las predicciones de las cuatro especies, lo que significaría que para las especies dentro de su ciclo, es más importante el volumen de vegetación existente en el sitio y no tanto las variaciones de algunos otros factores externos.

Es claro que nuevas herramientas como los SIG, las modelaciones de nichos ecológicos Pueden ayudar a proyectar la distribución de especies, pero se requiere una constante actualización de cada nuevo registro que se tenga de cada una de las especies que se pretenda estudiar para aumentar la precisión de las predicciones que se realicen.

VIII Bibliografía

- Acha, P., & Szyfres, B. (2005). Zoonosis y enfermedades transmisibles comu hombre y a los animales. *Bacteriosis y Micosis*.
- Aeroterra. (2021). *¿Qué es SIG?* Obtenido de *¿Qué es SIG?:* <https://www.aeroterra.com/es-ar/que-es-gis/introduccion>.
- Aguilar, M. (2018). "Distribución espacial e identificación morfológica del complejo taxonómico *Amblyomma cajennense* (sensu lato) en las 10 regiones del estado de Veracruz, México".
- Almazán, C., Torres, A., Torres, L., Soberanes, N., & Ortiz, M. (2015). Aspectos biológicos de *Amblyomma mixtum* (Koch, 1844) en el noreste de México. *Quehacer Científico en Chiapas*, 10-19.
- Álvarez, V., Hernández, V., & Hernández, J. (2005). Catálogo de garrapatas suaves (Acari: Argasidae) y duras (Acari: Ixodidae) de Costa Rica. *BRENESIA*, 63-64: 81-88.
- Anta, A. (Septiembre de 2021). *Qué es un nicho ecológico y ejemplos*. Obtenido de Ecología Verde: <https://www.ecologiaverde.com/que-es-un-nicho-ecologico-y-ejemplos-1932.html>
- Arana, R., Baak, C., Cigarroa, N., Reyes, G., Ojeda, N., García, J., Zarza, H., Ceballos, G., Machain, C. (2015). Ticks (Acari: Ixodidae) from wild mammals in fragmented environments in the South of Yucatán Peninsula, México. *Southwest. Entomol.* 40: 657–660.
- Benavides, E.; Romero, A. (2001a). Consideraciones para el control integral de parásitos externos del ganado. Anexo Coleccionable "Manejo integrado de plagas y enfermedades en explotaciones ganaderas 7". Carta Fedegan., 70, 64-86.
- Benavides, E.; Romero, A. (2001b). Control de *Dermatobia hominis* (L.) (Diptera: Cuterebridae) en ganaderías del municipio de Vianí, basado en su fluctuación poblacional. Documento presentado en: XXVIII Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología. Pereira. 8-10 de agosto de 2001.

Benito, B. & Peñas, J. (2007) Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica. *GeoFocus*, 7, 100-119.

Benito, M., Martínez, M., Muñoz, L. (2009). Evaluación del riesgo de extinción de plantas en peligro utilizando modelos de distribución de especies: un estudio de caso del agotamiento del hábitat causado por la propagación de invaderos. *Biodivers Conserv* 18, 2509-2520.

Bermúdez, S., Eremeeva, M., Karpathy, S., Samudio, F., Zambrano, M., Zaldivar, Y., . . . Dasch, G. (2009). Detection and Identification of *Rickettsial* agents in ticks from domestic mammals in Eastern Panama. *Journal of Medical Entomology*, 856-861.

Betancourt A. (2010). Vectores en la salud animal y sus correlaciones con el cambio climático global. Seminario Internacional sobre Cambio Climático Global y Ganadería. Bogotá.

Blanes, J., & De la Quintana, D. (2010). Cambio Climático y Salud Ambiental. *Revista Virtual REDESMA*, 5-49.

Camilo, J., & Ancizar, M. (17 de Marzo de 2020). *Tecnólogo en Producción Pecuaria y Ecológico*. Obtenido de *Tecnólogo en Producción Pecuaria y Ecológico*: <http://pecuariaecologica7305.blogspot.com/2010/03/garrapatas-amblyomma.html>

Castro, C. (2021). Nicho ecológico. Liferder. Recuperado de <https://www.liferder.com/nicho-ecologico/>.

Colombo, V., Antoniazzi, L., Fasano, A., Beldomenico, P., & Nava, S. (2016). *Amblyomma triste* en simpatria con *amblyomma tigrinum* (acari: ixodidae) en la provincia de Santa Fe, Argentina.

CONABIO. (Septiembre de 2021). *Nichos y areas de distribución*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/nichesandareasofdistribution/la-calibracion-del-modelo/maxent>

CONABIO. (2021). *Biodiversidad mexicana*. Obtenido de Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad: <https://www.biodiversidad.gob.mx/region/regiones-biogeograficas>

Consejo Europeo Para el Control de las Parasitosis de los Animales de Compañía. (2010). *Ectoparásitos Control de insectos y garrapatas que parasitan a perros y gatos*. Madrid, España: The Mews Studio.

Corpoica. (2011). Modelización del efecto del cambio climático sobre la distribución de la garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en el trópico alto colombiano. Informe técnico final. C.I. Tibaitatá. Mosquera, Cundinamarca. 87 pp.

Cortés, J. (2010). Cambios en la distribución y abundancia de las garrapatas y su relación con el cambio climático. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 48-58.

Cortés, J., Betancourt, J., Argüelles, J., & Pulido, L. (2010). Distribution of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* Ticks on Cattle and Farms from Altiplano Cundiboyacense (Colombia). *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria*, 73-84.

Cortés, J. (2011). Parasitología veterinaria. *garrapatas: estado actual y perspectivas* (págs. 268-271). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Daniel, M., Dusbabek, F. (1994). Micrometeorological and microhabitat factors affecting maintenance and dissemination of tick-borne diseases in the environment. *Ecological dynamics of tick-borne zoonoses*, 91, 138.

Davey, R., Ahrens, E., George, J. (1997). Comparative Effectiveness of Coumaphos Treatments Applied by Different Methods for the Control of *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae). *Journal of Agriculture Entomology*, 14(1), 45-54.

Del Campo, L., Magdaleno, A., Moreno, P., & Ramos, H. (2010). Primer reporte de infección por *Rickettsia rickettsii* en Guadalajara, México. *Medicina Interna de México*, 183-185.

Elith, J., Graham, C., Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., . . . Phillips, S. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *ECOGRAPHY*, 129-151.

- Espinoza, F., Newton, O., Flores, G., la Cruz, de M., Melnikov, V., Austria, J., Rojas, F. (2011). Parálisis por garrapatas causada por *Amblyomma maculatum* en la costa del Pacífico mexicano. *Enfermedades zoonóticas y transmitidas por vectores* 11: 945-946.
- Estrada, A., Alexander, N., & Wint, W. (2016). Perspectives on modelling the distribution of ticks for large areas: so far so good? *Parasites & Vectors*, 1-10.
- Estrada, A., Venzal, J., & Sánchez, C. (2006). The tick *Ixodes ricinus*: distribution and climate preferences in the western Palearctic. *Medical and Veterinary Entomology*, 189-197.
- Estrada, A., Venzal, J., Mangold, A., Cafrune, M., & Guglielmone, A. (2004). The *Amblyomma maculatum* Koch, 1844 (Acari: Ixodidae: Amblyomminae) tick group: diagnostic characters, description of the larva of *A. parvitarsum* Neumann, 1901, 16S rDNA sequences, distribution and hosts. *Systematic Parasitology*, 99-112.
- Evans, D., Martins, J., Guglielmone, A. (2000). Una revisión de las garrapatas (Acari: Ixodida) de Brasil, sus huéspedes y distribución geográfica. 1. El estado de Rio Grande du Sol, sur de Brasil. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 95: 453-470.
- Faccioli, V. (2011). Garrapatas (Acari: Ixodidae y Argasidae) de la colección de invertebrados del museo Museo Provincial de Ciencias Naturales Florentino Ameghino. *Zoología de Invertebrados*, 1-34.
- Ferrier, S., & Guisan, A. (2006). Spatial modelling of biodiversity at the community level. *Journal of Applied*, 393–404.
- Foody, G. (2008). GIS: biodiversity application. *Progress in Physical Geography*, 223–235.
- Forlano, M., Scofield, A., Elisei, C., Fernandes, K., Ewing, S., & Massard, C. (2005). Diagnosis of Hepatozoon spp. in *Amblyomma ovale* and its experimental transmission in domestic dogs in Brazil. *Veterinary Parasitology*, 1-7.
- Friend, M. (2006). Disease Emergence and Resurgence: The Wildlife-Human Connection. *U.S. Geological Survey, Reston, Virginia*, 1-400.

- Geoinnova. (2021). *Hábitat y nicho ecológico ¿En qué se diferencian?* Obtenido de Hábitat y nicho ecológico ¿En qué se diferencian?: <https://geoinnova.org/blog-territorio/habitat-nicho-ecologico/>
- Gómez, N., Álvarez, G., García, G., Fonseca, I., Cano, A., Villalobos, L., Pérez, M. (2009). Fiebre Manchada de las Montañas Rocosas en niños. Informe de 18 casos. *Rev. Mex. Pediatr*, 76(6), 245-250.
- Graham, O., Gladney, W., Beltrán, L. (1975). Comparación de la distribución e importancia económica de la garrapata *Amblyomma maculata* Koch (Acarina: Ixodidae), en México y los Estados Unidos. *Folia Entomol. Mex.* 33: 66-67.
- Guglielmone, A., Estrada, A., Keirans, J., Robbins, R. (2003). Garrapatas (Acari: Ixodidae) de la Región Zoogeográfica Neotropical. Publicación especial, Consorcio internacional sobre garrapatas y enfermedades transmitidas por garrapatas, Atalanta, Houten, Países Bajos.
- Guglielmone, A., Robbins, R., Apanaskevich, D., Petney, T., Estrada, A., & Horak, I. (2014). *The Hard Ticks of the World*. New York, London: Springer.
- Guillén, J. (2016). Especificidad de hospedero de la garrapata *Rhipicephalus sanguineus* en cuatro gradientes altitudinales en el municipio de Tapachula, Chiapas .
- Guisan, A., & Zimmerman, N. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *ELSEVIER*, 147–186.
- Guzmán, C., Pérez, T., Nava, S., & Guglieimone, A. (2006). Confirmation of the presence of *Amblyomma triste* Koch, 1844 (Acari: Ixodidae) in Mexico. *Systematic and Applied Acarology*, 47-50.
- Guzmán, C., Robbins, R., Guglielmone, A., Montiel, G., Pérez, T. (2011). The *Amblyomma* (Acari : Ixodida : Ixodidae) of Mexico : Identification keys, distribution and hosts. *Zootaxa* 2998:16–38.
- Hasle, G., (2013). Transport of ixodid ticks and tick-borne pathogens by migratory birds. *Front Cell Infect Microbiol*, 3:48.
- Hasle, G., Bjune, G., Edvardsen, E., Jakobsen, C., Linnehol, B., Røer, J., Mehl, R., Røed, K., Pedersen, J., Leinaas, P. (2009). Transport of ticks by migratory passerine birds to Norway. *J Parasitol*, 95(6):1342-51.

- Hertz, J., & Kaufman, P. (16 de Marzo de 2020). *Featured Creatures*. Obtenido de Featured Creatures: http://entnemdept.ufl.edu/creatures/URBAN/MEDICAL/Gulf_coast_tick.htm
- Hotez, P. (2008). Neglected infections of poverty in the United States of America. *Neglected Tropical Diseases*, 1-11.
- Hutchinson, G. (1957), 'Concluding remarks,' Cold Spring harbor Symposia on Quantitative Biology, 22, 415-427.
- Jameson, L., Morgan, P., Medlock, J., Watola, G., Vaux, A. (2012). Importation of *Hyalomma marginatum*, vector of Crimean-Congo haemorrhagic fever virus, into the United Kingdom by migratory birds. *Ticks Tick Borne Dis.* 3(2):95-9.
- Koch, C. (1844). Systematische Übersicht über die Ordnung der Zecken. *Arco. Naturgesch.* 10: 217-239.
- Labruna, M. (2009). Ecology of *Rickettsia* in South America. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 156-166.
- Labruna, M., Whitworth, T., Horta, M., Bouyer, D., McBride, J., Pinter, A., . . . Walker, D. (2004). *Rickettsia* species infecting *Amblyomma cooperi* ticks from an area in the State of São Paulo, Brazil, where Brazilian Spotted Fever is endemic. *Journal of Clinical Microbiology*, 90-98.
- López, M. (2007). Descripción y caracterización de nichos ecológicos: una visión más cuantitativa del espacio ambiental.
- Mahan, S., Peter, T., Simbi, B., Kocan, K., Camus, E., Barbet, A., Burridge, M. (2000). Comparación de la eficacia de las garrapatas *Amblyomma* americanas y africanas como vectores de la infección por Heartwater (*Cowdria ruminantium*) mediante análisis moleculares y ensayos de transmisión. *The Journal of Parasitology* 86: 44-49.
- Mark, W., & Gowtage-Sequeria, S. (2005). Host range and emerging and reemerging pathogens. *Emerging Infectious Diseases*, 1842-1847.

- Martinez, A., Alvarez, G., Padilla, G., Rojas, G. (2006). Rocky Mountain spotted fever in children: clinical and epidemiological features. *Gaceta medica de Mexico*, 143(2), 137-140.
- Martínez, A., Padilla, G., Solís, P., Guevara, M. (2004). Rocky mountain spotted fever: report of two cases. *Gaceta medica de México*, 141(4), 309-312.
- Mateo, R. (2008). *Modelos Predictivos de Riqueza de Diversidad Vegetal (Tesis de Doctorado)*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Mateo, R., Felicísimo, Á., & Muñoz, J. (2012). Modelos de distribución de especies y su potencialidad como recurso educativo interdisciplinar. *Reduca (Biología)*, 137-153.
- Mateo, R., Felicísimo, Á., & Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural*, 217-240.
- Mendoza, L., & Chávez, J. (2004). Ampliación geográfica de siete especies de *Amblyomma* (Acari: Ixodidae) y primer reporte de *A. oblongoguttatum* Koch, 1844 para Perú.
- Moran, M., Guzman, J., Laure, A., McDonald, A., Jameson, N., Omune, B., . . . Wu, L. (27 de Enero de 2020). *Neglected disease research and development: how much are we really spending?*.
- Mukherjee, N., Beati, L., Sellers, M., Burton, L., Adamson, S., Robbins, R., Moore, F., Karim, S. (2014). Importation of exotic ticks and tick-borne spotted fever group *rickettsia* into the United States by migrating songbirds. *Ticks Tick. Borne. Dis.* 5:127–134.
- Myers, J.; Savoie, A.; Van Randen, E. (1998). Eradication and Pest Management. *Annual Review of Entomology*, 43, 471-491.
- Naoki, K., Gómez, M.I., López, R.P., Meneses, I.R., Vargas, J. 2006. Comparación de modelos de distribución de especies para predecir la distribución potencial de vida silvestre en Bolivia. *Ecología en Bolivia* 41:65–78.
- Naturalista. (4 de Octubre de 2019). *Naturalista*. Obtenido de Naturalista Web site: <https://www.naturalista.mx/taxa/180017-Amblyomma-maculatum>.
- Nava, S.; Beati, L.; Labruna, M.; Cáceres, A.; Mangold, A.; Guglielmono, A. (2014). Reassessment of the taxonomic status of *Amblyomma cajennense* (Fabricius,

1787) with the description of three new species, *Amblyomma tonelliae* n. sp., *Amblyomma interandinum* n. sp. and *Amblyomma patinoi* n. sp., and reinstatement of *Amblyomma mixtum* Koch, 1844 and *Amblyomma sculptum* Berlese, 1888 (Ixodida: Ixodidae). *Ticks and Tick-borne Diseases*, 5, 252-276.

Nava, S., Venzal, J., González, D., Martins, T., & Guglielmone, A. (2017). *Ticks of the Southern Cone of America*. Elsevier.

Ogden, N., Barker, I., Francis, C., Heagy, A., Lindsay, L., Hobson, K. (2015). How far north are migrant birds transporting the tick *Ixodes scapularis* in Canada? Insights from stable hydrogen isotope analyses of feathers. *Ticks Tick Borne Dis.* 6(6):715-20.

Oliver, J. (1989). Biology and systematics of ticks (Acari: Ixodidae). *annual reviews ecology systems* , 397-430.

OSINFOR. (2013). *Modelamiento espacial de nichos ecológicos para la evaluación de presencia de especies forestales maderables en la AMAZONÍA PERUANA*. Lima.

Palma, S., & Delgadillo, J. (2014). Distribución potencial de ocho especies exóticas de carácter invasor en el estado de Baja California, México. *Botanical Sciences*, 587-597.

Parola, P., Paddock, C., Socolovski, C. (2013). Actualización sobre las *rickettsiosis* transmitidas por garrapatas en el mundo: un enfoque geográfico. *Reseñas de microbiología clínica* 26: 657-702.

Peterson, A., & Cohoon, k. 1999. Sensitivity of distributional prediction algorithms to geographic data completeness. *Ecological Modelling* 117:159–164.

Phillips, S. & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with MaxEnt: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31, 161-175.

Pliscoff, P. and Fuentes-Castillo T. (2011). Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*, (48), 61-79.

Polley, L.; Thompson, R. (2009). Parasite Zoonoses and Climate Change: Molecular Tools for Tracking Shifting Boundaries. *Trends in Parasitology*, 25(6), 285-291.

- Pulido, L., Rudas, A., Betancourt, J., William, G., & Vilchez, S. (2015). Unusual and potential distribution of the common cattle tick, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, in high mountain tropical zones of the Colombian Andes. *Biota Colombiana*, 75-95.
- Reyes, E., Ruiz, H., Escobedo, J., Rodriguez, I., Bolio, M., Polanco, Á., & Manrique, P. (2011). Situación actual y perspectivas para el estudio de las enfermedades zoonóticas emergentes, reemergentes y olvidadas en la Península de Yucatán, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 35-54.
- Rodríguez, R., Apanaskevich, D., Ojeda, M., Trinidad, I., Reyes, E., Esteve, M., y Pérez, A. (2016). Ticks collected from humans, domestic animals, and wildlife in Yucatan, Mexico. *Veterinary Parasitology* 215:106-113.
- Rojas, E., Arce, B., Peña, A., Boshell, F., Ayarza, M. (2010). Cuantificación e interpolación de tendencias locales de temperatura y precipitación en zonas alto andinas de Cundinamarca y Boyacá (Colombia). *Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 11 (2): 173-182.
- Rushton, S., Ormerod, S., & Kerby, G. (2004). New paradigms for modelling species distributions? *Journal of Applied*, 193–200.
- Sabatini, G., Pinter, A., Nieri, F., Marcili, A., & Labruna, M. (2010). Survey of ticks (Acari: Ixodidae) and their *Rickettsia* in an Atlantic Rain Forest reserve in the State of São Paulo, Brazil. *Journal of Medical Entomology*, 913-916.
- Sánchez, A. (29 de 02 de 2020). *Ecología Verde*. Obtenido de Ecología Verde: <https://www.ecologiaverde.com/que-es-un-nicho-ecologico-y-ejemplos-1932.html>
- Siddig, A.; Al Jowary, S.; Al Izzi, M.; Hopkins, J.; Hall, M.; Slingenbergh, J. (2005). Seasonality of Old World Screwworm Myiasis in the Mesopotamia Valley in Iraq. *Medical and Veterinary Entomology*, 19(2), 140-150.

- Sistema Nacional de Epidemiología. (2010). *Actualización es la Vigilancia Epidemiológica de Rickettsiosis*. Ciudad de México: Sistema Único de Información.
- Sosa, C., Solórzano, F., Walker, D., Torres, J., Serrano, C., Gordillo, G. (2016). Fatal monocytic ehrlichiosis in woman, México, 2013. *Emerg Infect Dis*. 22: 871-874
- Sosa, C., Vargas, M., Torres, J., Gordillo, G. (2016). Tick-borne rickettsial pathogens in questing ticks, removed from humans and animals in Mexico. *J Vet Sci*. 17: 353-360.
- Spolidorio, M., Labruna, M., Mantovani, E., Brandao, P., Richtzenhain, L., & Yoshinari, N. (2010). Novel Spotted fever Group *Rickettsiosis*, Brazil. *Emerging Infectious Diseases*, 521-523.
- Swets J. (1988). 'Measuring the accuracy of diagnostic systems'. *Science* 240: 1.285-1.293.
- Teel, P., Marin, S., Grant, W., Stuth, J. (1997). Simulation of host – parasite-landscape interactions: influence of season and habitat on cattle feces tick (*Boophilus* sp.) population dynamics in rotational grazing system. *Ecological Modelling* 97: 87-97.
- Tinoco, L., Quiroz, H., Quintero, M., Rentería, T., Barreras, A., Romano, M., Escárcega, A. (2009). Prevalencia de infestación de garrapatas (*Rhipicephalus Sanguineus*) en perros y su asociación a factores de riesgo en la zona urbana de Mexicali, Baja California, México. VIII Congreso Nacional de Parasitología Veterinaria, 26-28 de octubre de 2009, Mérida, Yucatán, México Trabajo 98, pág. 242.
- Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. (Diciembre de 2015). Sistemas de Información Geográfica. *Hojas Técnicas de Divulgación*, págs. 1-4.
- University of Michigan Museum of Zoology. (30 de 11 de 2019). *Animal Diversity Web*. Obtenido de Animal Diversity Web: https://animaldiversity.org/accounts/Amblyomma_maculatum/.
- Venzal, J., & Nava, S. (2011). El género *Rickettsia* como agente de zoonosis en el Cono Sur de Sudamérica. *Revista Médica del Uruguay*.

Walker, D., Paddock, C., Dumler, J. (2008). Infecciones por *rickettsias* y *erliquias* transmitidas por garrapatas, emergentes y reemergentes. *Clínicas médicas de América del Norte* 92: 1345-1361.

Wilson, K., Westphal, M., Possingham, H., & Elith, J. (2005). Sensitivity of conservation planning to different approaches to using predicted species distribution data. *Biological Conservation* , 99-112.

Woodham, C., González, U., López L., Guereña, T. (1983). Progresos en la erradicación de garrapatas *Boophilus* en México 1960-1980. *World Anim. Rvdo.* 48: 18-24.

Zavala-Castro, J., Zavala-Velázquez, J., Walker, D., Arcila, E., Laviada, H., Olano, P., Dzul, K. (2006). Fatal Human Infection with *Rickettsia rickettsii*, Yucatán, Mexico. *Emerging Infectious Diseases*, 12(4), 672-674.