



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA**

**“MODELO DE DISTRIBUCIÓN
GEOGRÁFICA DEL VECTOR TRIATOMA
RELACIONADA CON LA VARIABLE DE
CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO”**

TESIS QUE, PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADA
EN GEOGRAFÍA PRESENTA

MARIA METZTLI CORRO SOLANO

ASESOR: MTRO. JOSÉ MANUEL ESPINOZA RODRÍGUEZ

CD. UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO 2017





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE

Introducción	4
Capítulo 1. Perspectiva teórico-conceptual referente al modelado del nicho	
1.1 Conceptos básicos	8
1.2 ¿Qué es el nicho?	11
1.3 Dualidad de Hutchinson	14
1.4 Diagrama de BAM	17
1.5 Maxent	19
1.6 Conclusión capitular	23
Capítulo 2. Características geográficas de México, déficit habitacional y el cambio climático	
2.1 Aspectos físicos	24
2.1.1 Localización	25
2.1.2 Fisiografía	26
2.1.3 Clima	27
2.1.4 Hidrografía	31
2.1.5 Suelo	33
2.1.6 Vegetación	35

2.2 Aspectos poblacionales	37
2.2.1 Distribución de la población	40
2.2.2 Vivienda	41
2.3 Déficit Habitacional	42
2.4 Cambio climático	46
2.5 Conclusión capitular	51
Capítulo 3. Características del <i>Triatoma</i>	
3.1 Ciclo de vida	51
3.2 Comportamiento	53
3.3 Interacción con variables bióticas	54
3.4 <i>Triatoma</i> peridomiciliar e intradomiciliar	55
3.5 Transmisión	56
3.6 Tripanosomiasis Americana	59
3.7 Conclusión capitular	61
Capítulo 4. Metodología, modelado de nicho y resultados	
4.1 Datos de presencia	62
4.2 Datos ambientales	66
4.3 Aplicación del modelo	70

4.4 Resultados	71
4.5 Validación del modelo	73
4.6 Interpretación del modelo	75
Conclusión	79
Referencias bibliográfica	81

INTRODUCCIÓN

El vector *triatoma* de la familia *Reduviidae*, orden *Hemiptera*, Subfamilia *Triatominae*, comúnmente llamados “chinchas” se distribuyen desde el sur de Estados Unidos de América hasta Sudamérica. Principalmente se encuentran en rocas, cortezas de árboles, troncos caídos, pero algunas especies se han adaptado a vivir dentro y en los alrededores de los establecimientos humanos. El *Triatoma* es portador del protozooario *Trypanosoma cruzi*, el agente causal responsable de la enfermedad de Chagas.

En México las chinchas están distribuidas en todo el territorio, principalmente en el sur del país. En el norte del país se cree que la existencia de la chinche infectada es menor, en parte esta situación se debe a la falta de investigaciones. Se considera que en nuestro país la cantidad de especies de *Triatoma* es la de mayor diversidad: esta situación representa un riesgo para la salud pública pero afortunadamente a lo largo de los años se ha mantenido estable el contagio de la enfermedad. Sin embargo, la distribución geográfica del vector en México se está modificando, el cambio climático y el déficit habitacional en que vive gran cantidad de la población mexicana está facilitando el avance del vector, bajo esta situación la población mexicana queda en riesgo de ser infectada por el vector.

Esta investigación busca aportar conocimiento útil para la Secretaria de Salud, en específico al Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades (CENAPRECE), ya que con este nuevo conocimiento se podrán formular acciones preventivas para el control de enfermedades infecciosas causadas por vectores y así generar políticas que permitan aumentar el nivel de bienestar de la población

Mexicana. Otra área que puede salir beneficiada con esta investigación es la del Colegio de Geografía de la Facultad de Filosofía y Letras, en particular a los alumnos que estén interesados en hacer un análisis en los temas de biogeografía, es por eso que parte de esta tesis se adentra en la teoría del modelado de nicho ambiental. Para obtener la distribución de la especie es necesario utilizar un método que pueda mostrar la probabilidad de que la especie esté presente un espacio geográfico determinado. El Modelado de nicho ambiental (ENM), implica localizar en la geografía las regiones favorables a la especie, además, va de la mano con los sistemas de información geográfica, es imposible tratar de utilizar el programa Maxent o algún programa para modelar nichos sin tener contacto con un SIG ya que los datos que utilizan los modelos es información geográfica.

El Objetivo general de la investigación es generar un modelo del área invadible por el vector *Triatoma* ante un escenario de cambio climático en México.

Mientras que los Objetivos particulares son los siguientes:

- Exponer los elementos teórico-conceptuales referentes al modelado de nicho.
- Relacionar los aspectos geográficos con el contagio del mal de Chagas.
- Mostrar el vínculo que existe entre el cambio climático, déficit habitacional y el vector.
- Presentar las características del vector *Triatoma* y la transmisión del mal de Chagas.

- Detectar áreas con mayor probabilidad de contagio según el resultado del modelo y el traslape del déficit habitacional.

La hipótesis de la investigación es la distribución geográfica del vector *Triatoma* se está modificando, esto aumenta la probabilidad en la población mexicana de contraer la enfermedad de Chagas debido al cambio climático y el déficit habitacional en el que vive la misma.

Para poder demostrar la hipótesis, la estructura de este trabajo consta de cuatro capítulos. El primero plantea los conceptos y teoría necesaria para poder comprender que es un modelado de nicho, y usarlo de forma apropiada, para llegar a este resultado se abordan diversos temas como el nicho, la dualidad de Hutchinson, el diagrama de BAM y algunos conceptos como el hipervolumen, variables scenopoéticas, nicho fundamental entre otros.

En el segundo capítulo se describe y analiza el espacio geográfico mexicano; en él se indica la localización y la distribución territorial de los elementos del medio físico, igualmente se enfatiza la importancia que presenta éste para la ocupación de los territorios tanto humana como del vector. También, se analiza las condiciones de vivienda de la población mexicana, y cómo éstas influyen en la transmisión de la enfermedad de Chagas. Posteriormente, se muestra la relación que existe entre el cambio climático y el vector, los posibles cambios ambientales que este causaría y como se verá afectado el vector.

El tercer capítulo habla de las características del *Triatoma*, los ambientes donde se desarrolla, como se transmite la enfermedad, los reservorios del *Triatoma*, el ciclo biológico del *Triatoma*.

Finalmente, el cuarto capítulo se muestran los datos ambientales o variables scenopoéticas y la información de presencias, la aplicación del modelo bajo un escenario de cambio climático, la validación del modelo y se distingue las áreas con transiciones de idoneidad para el vector *Triatoma* y la posible población humana que se encuentre en riesgo.

1. PERSPECTIVA TEÓRICO-CONCEPTUAL REFERENTE AL MODELADO DE NICHOS

El presente capítulo expone los elementos teórico conceptuales necesarios para lograr los objetivos de esta investigación, se habla del nicho, la dualidad de Hutchinson, diagrama de BAM y Maxent. Para modelar distribución de especies o nicho ambiental se tiene que conocer la distribución geográfica, que son los datos de las localidades en donde se han encontrado (observado o recolectado) especímenes de una cierta especie, un género o cualquier otro. A partir de esos datos se puede delimitar sobre un mapa un área que englobe el conjunto de sitios donde es probable encontrar individuos (Meave, 2005). Para poder encontrar el área con condiciones que favorezcan al vector en un escenario de cambio climático, es necesario utilizar sistemas de información geográfica y un modelado de nicho, estas herramientas son fundamentales para poder hacer un modelo exitoso pero se tienen que utilizar de forma adecuada, esto implica saber el proceso matemático que está detrás del software; además, de conocer con claridad la parte teórico- conceptual.

1.1 Conceptos básicos

Para una mejor comprensión, la presente investigación se sustenta en las siguientes expresiones conceptuales:

- **Vector:** “Los vectores son organismos vivos que pueden transmitir enfermedades infecciosas de animales a personas. Muchos de esos vectores son insectos hematófagos que ingieren los microorganismos patógenos junto

con la sangre de un portador infectado (persona o animal), y posteriormente los inoculan a un nuevo portador al ingerir su sangre.” (OMS, 2016).

- ***Tripanosomiasis americana:*** “Es una zoonosis producida por el protozoario *Trypanosoma cruzi* (Kinestoplastida, *Tripanosomatidae*). El parásito es transmitido por insectos hematófagos de la subfamilia *Triatominae*. La infección se produce cuando un *Triatoma* infectado, luego de alimentarse sobre un mamífero sano deposita sus heces cargadas de *T. cruzi* sobre la piel o las mucosas del mismo; los parásitos ingresan al organismo por la misma picadura, o por la mucosa.” (Fabrizio, 2011).

- **Nicho:** “... la unidad de distribución última dentro de la cual una especie se encuentra retenida por las limitaciones de su fisiología y su estructura física.” (Grinnell, 1917). “... la función básica de un organismo en la comunidad debido a sus relaciones con el alimento y sus enemigos...nicho es la profesión o el quehacer de la especie.” (Elton, 1927). “...nicho incluye todas las variables físicas y biológicas que afectan al buen funcionamiento de un organismo... todos los factores ambientales (bióticos y abióticos) a los que responde un organismo son parte del nicho. Más que un gráfico bidimensional es decir una superficie el nicho es una respuesta multidimensional, conocida como hipervolumen.” (Hutchinson, 1958) extraído de (Smith y Smith, 2006).

- **Scenopoéticas:** “Son variables no interactivas con una especie. Las condiciones medioambientales que permiten a la especie sobrevivir. La característica de estas variables (Hutchinson, 1973) es que su dinámica no es

modificada por la presencia o ausencia de una especie en particular. Se trata de condiciones dentro de las cuales una especie sobrevive o no. Ejemplos: La temperatura media del mes de febrero, la elevación sobre el nivel del mar. Una variable NO scenopoética es, por ejemplo, la cantidad de semillas usadas por una especie de ratón presente en una zona” (Barve y colaboradores, 2014).

- **Modelado de distribución de especies (SDM):** “...se orientan a caracterizar la distribución actual de una especie sin hacer extrapolaciones en el espacio o el tiempo...” (Barve y colaboradores, 2014).
- **Modelado de nicho ambiental (ENM):** “...implica localizar en la geografía las regiones favorables a la especie (o sea, contenidas en su nicho fundamental existente, o aquéllas en el nicho realizado pero que ocurren en otras regiones no ocupadas)...” (Barve y colaboradores, 2014).
- **Datos primarios.** “Los que ubican un individuo de una especie en un lugar, en un punto en el tiempo. Existen datos primarios con base en observaciones o con base en ejemplares. Los datos basados en ejemplares son preferibles ya que se pueden verificar” (Barve y colaboradores, 2014).
- **Ausencias estrictas:** “Datos que documentan de manera explícita la ausencia de una especie de algún sitio. Son datos que requieren haber realizado inventarios cuidadosos, usando los métodos apropiados, y por el tiempo necesario. Tienden a ser datos muy poco frecuentes en países grandes y/o con poca infraestructura institucional” (Barve y colaboradores, 2014).

- **Pseudoausencias:** “Son datos generados por algún método que pretende simular la información de ausencias estrictas, por ejemplo, se toman al azar de la región G pero con la restricción de estar a una distancia d de la presencia más cercana. Esto genera puntos con más densidad lejos de las zonas donde se han observado los puntos. Su uso es muy poco frecuente, ya que hay toda clase de problemas teóricos con su generación” (Barve y colaboradores, 2014).

- **Transfondo (*background*):** “Son datos tomados al azar de la región de interés y pretender utilizarse para caracterizar el ambiente en general, no específicamente aquel donde la especie esté ausente. En otras palabras, puede ser que un dato de presencia y uno de trasfondo estén muy cerca uno de otro, o incluso en el mismo lugar” (Barve y colaboradores, 2014).

- **Datos de presencias.** “Los datos derivados de la observación, o la captura de un individuo de una especie en un sitio y tiempo dado. En general, no implican la existencia de una población viable” (Barve y colaboradores, 2014).

1.2 ¿Qué es el nicho?

Uno de los conceptos de mayor importancia en ecología es el de nicho, en el sentido de que ha sido usado desde principios del siglo XX para tratar problemas fundamentales en ecología, tales como los factores que afectan las áreas de distribución geográficas de las especies (Soberon y Curtis, 2009). Paradójicamente, como es frecuentemente el caso en biología, la definición del término nicho ha sido siempre vaga, informal y poco operativa, como en la geografía lo es el concepto de

espacio geográfico. Los principales significados del término “nicho” se han apartado unos de otros hasta llegar a constituir una maraña de conceptos más o menos unidos en un tema común (cuales son los factores ecológicos que permiten la existencia de una especie, junto con los impactos que dicha especie tiene sobre dichos factores) pero con tal diversidad de énfasis y divergencias que hay quien ha llegado a poner en duda la utilidad del concepto (Hubbell, 2001).

La palabra nicho, se refiere a un hueco o concavidad en una pared donde se coloca de forma ajustada algún objeto, esto nos da una idea del significado ecológico del concepto. Joseph Grinnell, un ornitólogo de California, fue el primero que, en 1917, propuso utilizar el término en ecología. Definió el nicho como la unidad de distribución última dentro de la cual una especie se encuentra retenida por las limitaciones de su fisiología y su estructura física. Lo que Grinnell definió como nicho corresponde al hábitat de una especie. En 1927, un ecólogo animal inglés, Charles Elton, consideró el nicho como la función básica de un organismo en la comunidad debido a sus relaciones con el alimento y con sus enemigos. En otras palabras, definió el nicho como la “profesión” o el quehacer de una especie.

En 1958, el limnólogo G. E. Hutchinson expandió la idea de nicho a su forma actual. Ahora el nicho incluye todas las variables físicas y biológicas que afectan al buen funcionamiento de un organismo. La concepción del nicho de Hutchinson es similar a gráficos, entendiendo que nicho no se refiere solamente a un eje o a un factor ambiental, sino que todos los factores ambientales (bióticos y abióticos) a los que responde un organismo son parte del nicho. Más que un gráfico bidimensional, es decir

una superficie, el nicho de Hutchinson es una respuesta multidimensional, conocida como Hipervolumen (Figura 1.1) (Smith y Smith, 2006).

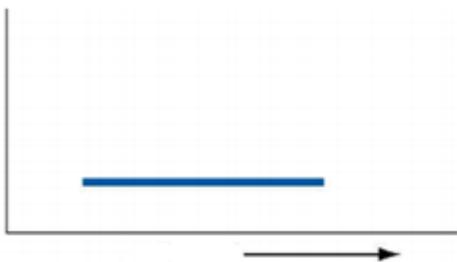
Pero las variables donde una especie puede existir con frecuencia son más amplias que las variables donde en realidad se desenvuelve. Entonces se definieron los Nichos Grinnelianos que son el compuesto de las variables scenopoéticas, las variables no interactivas con la especie es decir las condiciones medioambientales que se definen a continuación como se planteó en Barve y colaboradores, 2014:

Nicho fundamental: (símbolo N_F): El conjunto de condiciones scenopoéticas que permiten que una especie sobreviva (que su tasa intrínseca de crecimiento sea positiva).

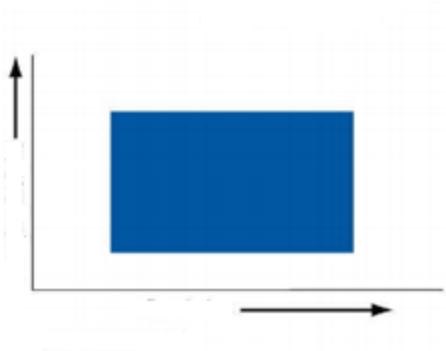
Nicho Fundamental Existente (símbolo N^*F): La intersección del nicho fundamental con el espacio de variables existente E. En un tiempo dado, las combinaciones de variables ambientales existentes y que además pertenecen al nicho fundamental.

Nicho Realizado (símbolo N_R): Lo que queda del nicho fundamental existente después de las interacciones con especies competidoras, parasitas, depredadores, entre otras.

A. Una dimensión



B. Dos dimensiones



c. Tres dimensiones

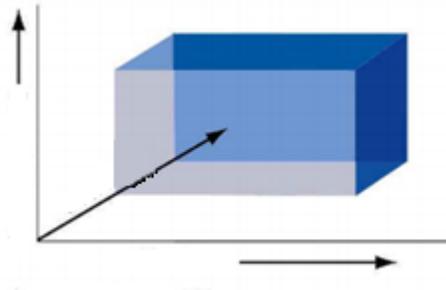


Figura 1.1 Hipervolumen Gráficos extraídos de Smith and Smith, 2006.

1.3 Dualidad de Hutchinson

Para lograr una modelación exitosa, ya sea de áreas ocupadas (SDM) o de áreas potenciales (ENM) es importante comprender la idea fundamental. Existen dos espacios, el geográfico convencional, denotado por G y un espacio abstracto, denotado por E (Figura 1.2). E y G se relacionan directamente, ya que en un tiempo dado, a cada punto geográfico de G corresponde una combinación de valores ambientales en E . Esta combinación puede o no ser única, dependiendo de la

resolución de la información ambiental, del número de variables usadas, y de su precisión.

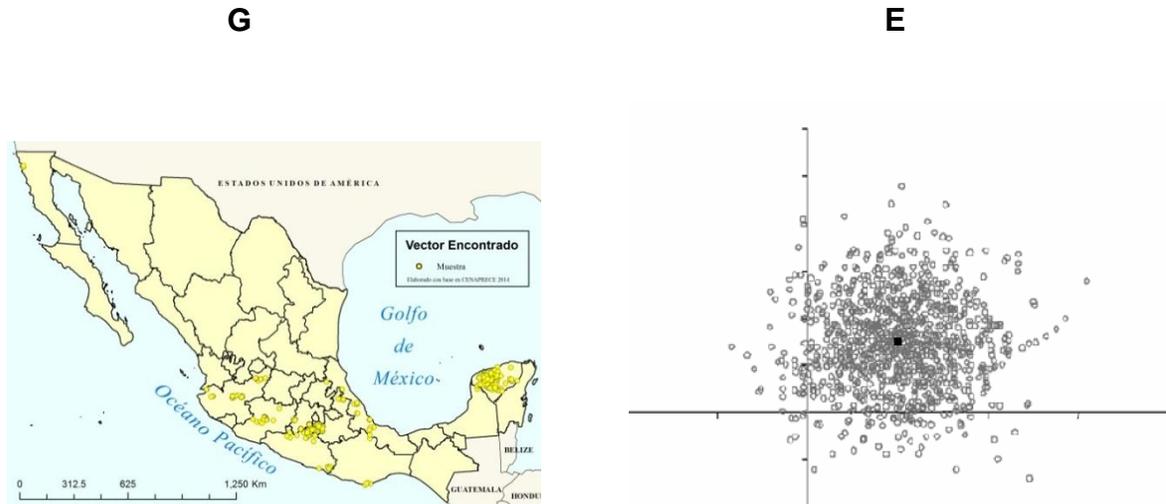


Figura 1.2 Espacio G y E. basado en Barve y colaboradores, 2014.

La práctica indica que cuando se utilizan variables ambientales de tipo bioclimático, con tres o cuatro cifras significativas, incluso para grandes extensiones la correspondencia es uno a uno (a cada punto en E se asocia un solo punto en G y viceversa). Esta idea implica, que en general, hay tantos elementos en el espacio G como en el E: $|E|=|G|$

El espacio E está compuesto por variables no interactivas, que Hutchinson (1978) llamó variables scenopoéticas, o sea variables que establecen las condiciones (el escenario) en el que una especie puede simplemente existir. (Figura 1.3)

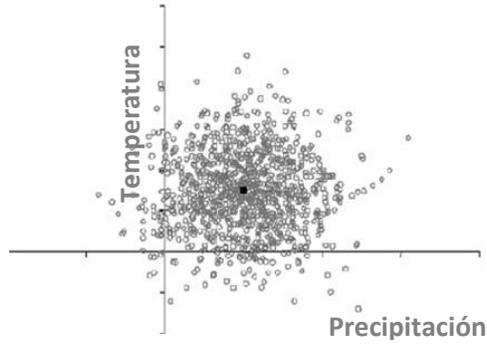


Figura 1.3 Espacio E

Por lo tanto se puede decir que los nichos se encuentran en el espacio E y las áreas de distribución en G, como se muestra en la figura 1.4 y es posible afirmar que un nicho es un subconjunto de E, y un área de distribución es un subconjunto de G, definidos ambos en términos de propiedades biológicas y ecológicas de una especie.

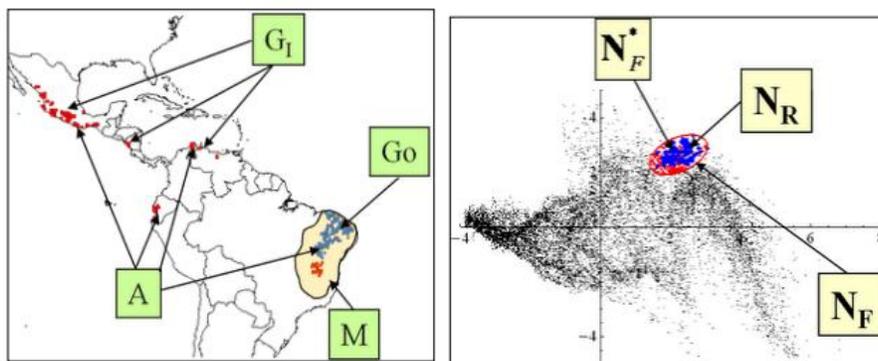


Figura 1.4 Subconjuntos de G y E, basado en Barve y colaboradores, 2014.

Los nichos definidos a partir de propiedades del espacio E se llaman Grinnelianos y la explosión en su utilización se explica principalmente por el hecho de que, a diferencia de los llamados nichos Eltonianos (clásicamente tratados en la literatura de la Ecología Teórica), las operaciones con ellos están bien definidas y se cuenta con gran cantidad

de datos al respecto. La utilización de programas llamados Sistemas de Información Geográfica (SIGs) es casi obligada cuando se trabaja en SDM/ENM ya que esto permite navegar entre el E-espacio y el G-espacio de manera fluida y sencilla (Barve y colaboradores, 2014).

1.4 Diagrama de BAM

El área de distribución de una especie es una expresión compleja de su ecología y evolución histórica (Brown, 1995), determinada por diversos factores que operan con diferentes intensidades en diferentes escalas (Gaston, 2003). Cuatro clases de factores determinan las zonas en las que se encuentra una especie; condiciones abióticas, incluyendo aspectos del clima, el medio ambiente físico, las condiciones edáficas, entre otras, que imponen límites fisiológicos sobre la capacidad especie de persistir en un área. El factor biótico es un conjunto de interacciones con otras especies que modifican la capacidad de la especie para mantener poblaciones. Estas interacciones pueden ser positivas como una relación mutualista o negativas como los competidores, los depredadores y las enfermedades. Al limitar o mejorar los procesos de población, las interacciones pueden afectar obviamente distribuciones. Otro factor son las regiones que son accesibles a la dispersión por las especies de algunas áreas origen. Este factor es muy útil para distinguir la distribución real de una especie de su distribución potencial, según la configuración del paisaje y la capacidad de dispersión de la especie. Y por último, la capacidad evolutiva de las poblaciones, de las especies para adaptarse a las nuevas condiciones. Este factor, por lo general reservada de los análisis o

asumido insignificante, es sin embargo una consideración adicional e importante para delinear las posibilidades de distribución de las especies (Soberon y Peterson, 2005).

El diagrama de BAM es el espacio geográfico, tomando la forma de una representación abstracta, en el que se plasman tres de los cuatro factores que determinan los puntos de distribución de una especie (Figura 1.5).

A= La región del planeta donde se encuentran las condiciones scenopoéticas favorables a una especie. Son variables no interactivas con una especie. Las condiciones medioambientales que permiten a la especie sobrevivir. La característica de estas variables (Hutchinson, 1973) es que su dinámica no es modificada por la presencia o ausencia de una especie en particular. Se trata de condiciones dentro de las cuales una especie sobrevive o no.

B= La región del mundo que contiene el ambiente biótico adecuado para la especie. Esto es, los sitios donde no hay competidores capaces de excluir a la especie, ni depredadores o enfermedades capaces de extirpar todas las poblaciones, y existen los mutualistas (polinizadores, dispersores de semillas...) necesarios. Se mediría, si existieran datos, usando las densidades de población de las principales especies interactuantes.

M= Las especies estarán presentes sólo en una región (M) que es alcanzable por la especie a partir de zonas de distribución establecidos en el tiempo ecológica (es decir, las limitaciones de dispersión no son una consideración).

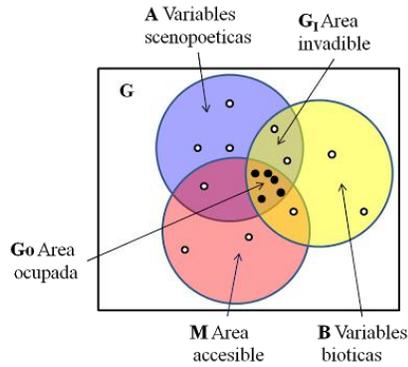


Figura 1.5 Diagrama de BAM (Soberon et Peterson, 2005).

$$G_O = A \cap B \cap M$$

$$G_I = A \cap B \cap M^c$$

Figura 1.6 Relación de A,B y M (Barve y colaboradores, 2014).

Con la combinación de los tres factores permiten definir dos importantes regiones (Figura 1.6).

G_O = Área ocupada es la región del planeta donde la probabilidad de encontrar a una especie sería alta. Es también, por hipótesis, la región donde coinciden los factores A, B y M.

G_I = Área Invadible es la región del planeta en donde, además de condiciones escenopoéticas favorables, existe un ambiente biótico adecuado para la especie.

1.5 Maxent

Es un programa que modela la distribución geográfica de las especies, utilizando como datos sólo los sitios de presencia y las variables bioclimáticas asociadas a cada uno de esos puntos de presencia. Para modelar las distribuciones se basa en el principio de

Máxima entropía (Martínez, 2010). Su rendimiento predictivo es consistentemente competitivo con los métodos más altos rendimiento (Elith y colaboradores, 2006). Desde que se hizo disponible en 2004, se ha utilizado ampliamente para el modelado e distribución de especies (Elith y colaboradores, 2011).

Máxima entropía es la probabilidad de estar en el pixel X dado que lo único que se sabe es que la especie está presente, obteniendo $1/n$, en otras palabras hay máxima entropía cuando un conjunto de datos tiene la misma probabilidad de estar en x pixel.

Además, de que el programa usa esta lógica, Maxent está sujeto a una serie de restricciones que son las medias de cada variable ambiental que se le asigne. Maxent estima distribuciones que deben estar de acuerdo con todo lo que se conoce (aunque sea de manera incompleta) de la información inferida de las condiciones ambientales de las localidades de ocurrencia y evitar restricciones infundadas. Maxent entonces trata de encontrar la distribución de probabilidad de máxima entropía (cercana a la uniforme) sujeta a las limitaciones impuestas por la información disponible sobre la distribución observada de las especies y las condiciones ambientales en el área de estudio (Martínez, 2010).

Maxent tiene dos probabilidades la RAW y Logistic; así mismo, estas probabilidades tienen dos perspectivas, la geográfica (G) que está representada por los pixeles y la ambiental (E) que está representada por los ambientes.

Desde la perspectiva geográfica, lo ideal a modelar sería el área G_0 que se representa de la siguiente manera:

$$p(Y = 1|x)$$

La probabilidad de Bernoulli se refiere a si estoy en el pixel X cual es la probabilidad que la especie este presente, o sea que si el valor $p(Y=1/x)$ fuera 0.4 habría un 40% de probabilidad de encontrar la especie en X pixel, el valor de cada pixel va ir de 0 a 1. Esta probabilidad es muy difícil de encontrar, sólo si se tienen datos de ausencia muy confiables ausencias estrictas, se podría obtener una aproximación de la misma.

Sin embargo, en esta investigación no se cuenta con ausencias estrictas; es muy difícil contar con esta información, así que Maxent usa un truco donde utiliza información sobre el “background” para estimar otra probabilidad, bastante distinta pero relacionada a la $p(Y=1/x)$. Aplicando el teorema de Bayes a la ecuación:

$$p(y = 1|x) = \frac{p(x|Y = 1) p(Y = 1)}{p(x)}$$

Donde $p(Y=1)$ es el valor esperado de presencias, sumado sobre todos los pixeles en otras palabras significa la proporción de pixeles con presencia de la especie.

$P(x)$ es la probabilidad de que el observador se encuentre en la celda X y depende del tamaño de la región $|G|$. Si se muestreara al azar, $p(x)=1/n$. Generalmente, no se muestrea al azar, hay toda clase de sesgos y es difícil saber el valor real de $p(x)$. Sin embargo, Maxent toma este valor como equiprobable.

$P(x|Y=1)$ es la probabilidad de estar en el pixel X dado que se sabe que la especie está; en otras palabras, es la probabilidad de estar presente en X , dado que se cuenta con la información de que la especie está presente. Esta última probabilidad es el RAW output.

La suma de los valores del raw output sobre todas las celdas vale 1 y, por lo tanto, en retículas grandes, $p(x/Y=1)$ tiene valores muy pequeños. Esta cantidad se debe interpretar como un índice de similitud del ambiente de cada celda con los de aquellas donde se ha observado la especie, y por lo tanto $p(x/Y=1)$, es particularmente útil para los que se interesan en modelar nichos.

Por otra parte, Maxent brinda otra salida llamada Logistic, que es un intento de obtener la primera probabilidad $p(Y=1/x)$ pero recordarán que se había dicho anteriormente que no era posible obtener esta probabilidad sin ausencias estrictas, pues los desarrolladores de Maxent pensaron en el siguiente argumento: imaginemos que se conoce la probabilidad de observar a la especie en zonas “típicas” para su presencia, y que esa probabilidad se llama τ . Maxent, por default, asume que $\tau = 0.5$. También se define el valor $r =$ la entropía relativa de $f1(z)$ (que se obtiene de los datos de ocurrencia) respecto a $f(z)$ (que se estima con los puntos de background). Entonces, el logistic output de Maxent proviene de la siguiente ecuación (Soberon, 2012).

$$\hat{p}(Y = 1 | z) = \frac{\tau e^{\beta \cdot x - r}}{1 - \tau + \tau e^{\beta \cdot x - r}}$$

Entonces la salida logística estima la probabilidad de presencia asumiendo que el diseño de muestreo es tal que las localidades de presencia típicas tienen una probabilidad de presencia de alrededor de 0.5 (Phillips y colaboradores, 2006).

1.6 Conclusión capitular

La importancia de este capítulo recaen en el entendimiento teórico del modelado de nicho y áreas de distribución, ya que para obtener un resultado óptimo es fundamental entender y saber aplicar los conocimientos de este capítulo. Cuando se modela en Maxent es posible insertar todo tipo de variables ambientales, datos de presencia, ausencia, pseudoaus y datos primarios siempre y cuando estén en la extensión que el programa requiere, no obstante se corre el riesgo que los resultados que entregue sean erróneos, el programa va a trabajar con lo que el usuario le brinde, pero es responsabilidad del usuario hacer un análisis detallado de los datos con los que se van a utilizar, si no se posee en entendimiento de estos datos es muy probable que el trabajo no sea de buena calidad.

2. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DE MÉXICO, DÉFICIT HABITACIONAL Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

El presente capítulo expone sobre los elementos del espacio geográfico de México y tiene dos objetivos; el primero es relacionar los aspectos geográficos con el contagio del mal de Chagas. Mientras que el segundo se centra en mostrar que el cambio climático modificará las condiciones ambientales de México donde se desarrolla el vector. En primera instancia, se examinan los recursos naturales con que cuenta el país, así como las limitantes para la ocupación del espacio. Posteriormente, se trata el problema del déficit habitacional en México vinculado al contagio de Mal de Chagas. Y por último, el cambio climático, que podría resultar benéfico para el vector *Triatoma*.

2.1 Aspectos físicos

Las características geográficas físicas influyen tanto para la distribución del ser humano como para la del vector. El comportamiento poblacional del *Triatoma* está estrechamente ligada con el clima, la chinche puede existir en temperaturas que van de los 14°C a los 40°C con una humedad relativa de 10% hasta el 100% pero tiene el mayor confort cuando se tiene una humedad relativa aproximada del 80% y una temperatura de 30°C (Curto de casas y colaboradores, 1994).

Se considera que nuestro país alberga una de las poblaciones de *Triatomas* más diversa, con 39 especies documentadas, y al menos 28 de ellas infectadas por *T. cruzi*, lo que las convierte en vectores potenciales de la enfermedad de Chagas (Ramsey y colaboradores, 2015).

2.1.1 Localización

México tiene una extensión terrestre de 1 958 201 Km²; las coordenadas extremas que enmarcan el territorio mexicano son 14° 31.9' latitud norte que colinda con Guatemala, 32° 43.1' latitud norte que colinda con Estados Unidos de América, 86° 42.6' longitud oeste en el extremo suroeste de la Isla Mujeres y 118° 27.4' longitud este en la punta Roca de Elefante en la isla de Guadalupe en el Océano pacífico (Figura 2.1) (INEGI, 1991).



Figura 2.1 Basado en INEGI, 2000

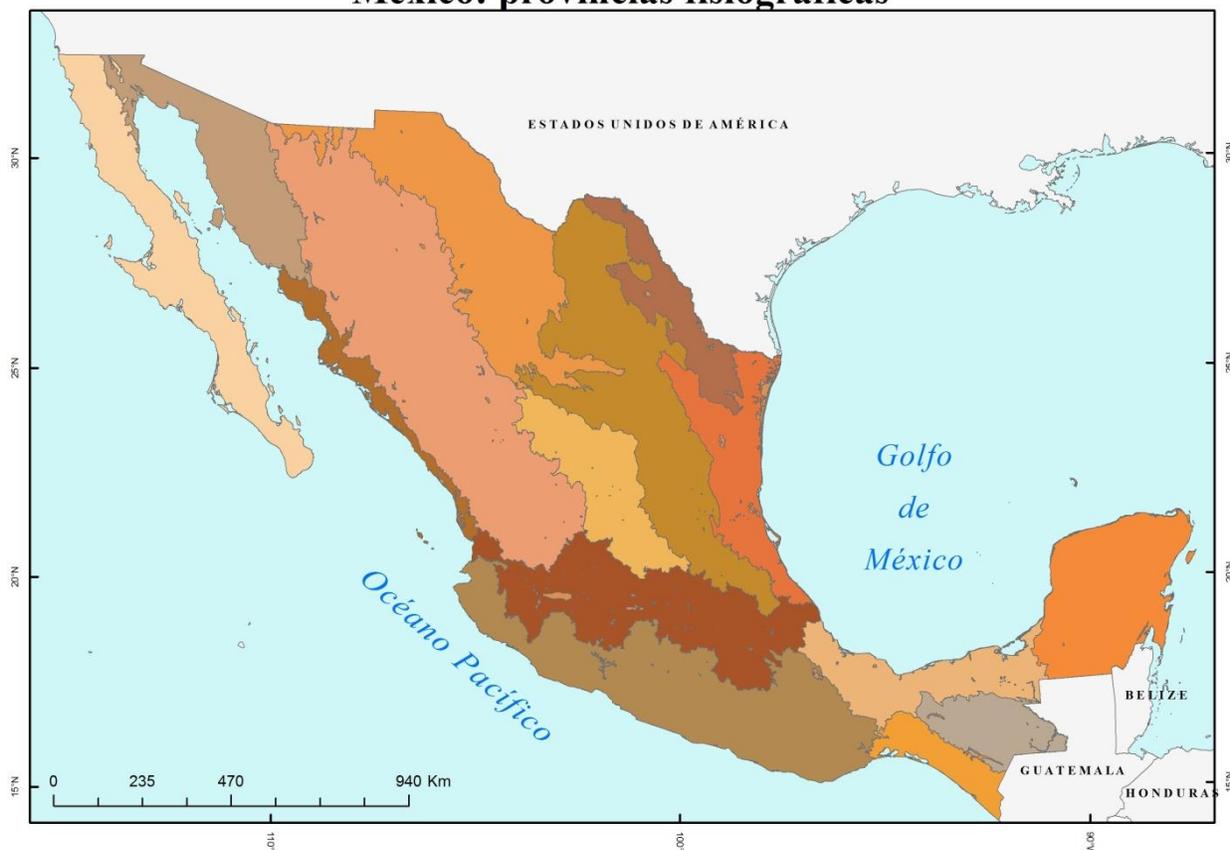
2.1.2 Fisiografía

México se divide en quince provincias fisiográficas: Península de Baja California, Llanura Sonorense, Sierra Madre Occidental, Sierras y Llanura del norte, Sierra Madre Oriental, Grandes Llanuras de Norteamérica, Llanura Costera del Pacífico, Llanura Costera del Golfo Norte, Meseta del Centro, Eje Neovolcánico, Península de Yucatán, Sierra Madre del Sur, Llanura Costera del Golfo Sur, Sierras de Chiapas y Guatemala y la Cordillera Centroamericana (INEGI, 1991). Las provincias fisiográficas son regiones en el que el relieve es el resultado de la acción de un mismo conjunto de agentes modeladores del terreno, así como de un mismo origen geológico, lo mismo que un mismo o muy semejante tipo de suelo y de la vegetación que sustenta.

La mayor parte de la República Mexicana está situada al sur del paralelo 30° N, es decir, en la región en la que América de Norte empieza a estrecharse considerablemente; el estrechamiento se acentúa al sur del paralelo 20° N, presentándose en el istmo de Tehuantepec, la primera de las depresiones orográficas inter-oceánicas que son uno de los rasgos estructurales del relieve de América Central.

El paralelo 20° N, marca cambios en la dirección de los principales accidentes del relieve del país; al norte de este paralelo los rasgos esenciales del relieve se orientan casi de oeste a este. Esta diferencia en orientación indica que en la formación del relieve de la República Mexicana intervinieron dos unidades orogénicas diferentes, de manera que estructuralmente la parte norte pertenece a la América del Norte, en tanto que el sur pertenece a la América Central. Esto explica la enorme complejidad del relieve en la parte central del país (Figura 2.2) (INEGI, 2008).

México: provincias fisiográficas



Leyenda

 CORDILLERA CENTROAMERICANA	 PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA
 EJE NEOVOLCÁNICO	 PENÍNSULA DE YUCATÁN
 GRANDES LLANURAS DE NORTEAMÉRICA	 SIERRA MADRE DEL SUR
 LLANURA COSTERA DEL GOLFO NORTE	 SIERRA MADRE OCCIDENTAL
 LLANURA COSTERA DEL GOLFO SUR	 SIERRA MADRE ORIENTAL
 LLANURA COSTERA DEL PACÍFICO	 SIERRAS Y LLANURAS DEL NORTE
 LLANURA SONORENSE	 SIERRAS DE CHIAPAS Y GUATEMALA
 MESA DEL CENTRO	

Figura 2.2 Basado en CONABIO, 2000

2.1.3 Clima

México, por su posición geográfica se sitúa casi por partes iguales, al norte y sur de la línea conocida como Trópico de Cáncer en el paralelo 23° 27' de latitud norte. Esta

línea cruza los estados de Baja California Sur, Sinaloa, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí y Tamaulipas, deja a la mitad del sur del territorio en la zona climática tropical y la norte en la subtropical. Derivado de esta posición privilegiada, México cuenta con una relativa uniformidad termal a lo largo del año; además, debido a la influencia marítima, existe la parencia de un clima isoterma.

Los climas en México se han clasificado de acuerdo con el sistema propuesto por Wladimir Köppen (1936), modificado por Enriqueta García (UNAM), para adaptar a las condiciones climáticas de nuestro país, (Figura2.3) y la distribución de los mismos se refleja con predominio de seco al norte del país y cálido subhúmedo al sur del territorio (INEGI; 1991).

		Por su humedad			
Por su temperatura		Húmedos	Subhúmedos		Secos
			Lluvias de verano	Lluvias de invierno	
	Cálidos	Af	Aw		Bh1
	semicálidos	Am	ACw		Bh
	templados	ACf	C(w)	Cs	Bk
	semifríos	C(f)	C(E)(w)		
Muy fríos	C(m)	E			

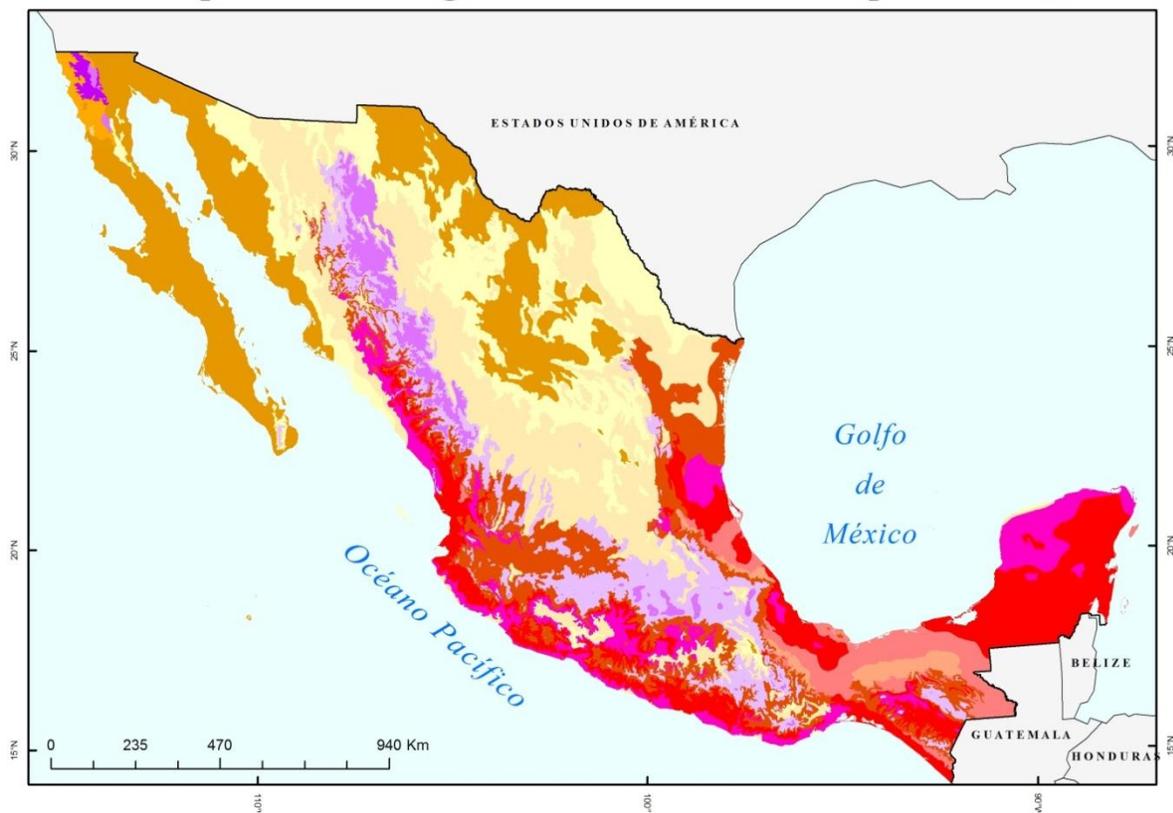
Figura 2.3 Basado en INEGI, 1991

La variación del clima en el territorio mexicano es tan grande, que contiene prácticamente todos los grupos y subgrupos climáticos posibles, existiendo variaciones de climas secos a húmedos en una distancia de pocos kilómetros. Esta variabilidad climática se debe a varios factores: la situación latitudinal del país con relación a los grandes cinturones de vientos; su gran complejidad topográfica; la anchura variable del continente a lo largo del territorio; la temperatura de las corrientes marinas que bañan las costas mexicanas y la trayectoria de las tormentas de verano y de las masas polares que invaden el país en invierno. El Trópico de Cáncer marca en forma aproximada la franja de transición entre el clima árido y el semiárido que se presenta hacia el norte, y el clima húmedo y semihúmedo influido por los vientos alisios y por los ciclones que existen hacia el sur. Es muy probable que, de no contar con un litoral tan extenso y de no reducirse tanto la anchura del continente en las latitudes de México, la extensión de sus zonas áridas y el grado de aridez serían mayores. Por su humedad, 56% del territorio corresponde a zonas muy áridas, áridas y semiaridas que dominan el norte y las áreas del centro del país. 37% es subhúmedo y se presenta en las sierras y en las planicies costeras del Pacífico, Golfo de México y noreste de la Península de Yucatán. Las zonas húmedas, 7% del territorio, se encuentran en donde se inicia el ascenso a las sierras y se deposita la humedad del Golfo de México, y en una pequeña porción en la vertiente Pacífico al extremo sur del país (CONABIO, 1998).

La parte norte del país se localiza en el cinturón extratropical de alta presión, una franja donde el aire desciende y hace difícil la formación de nubes y la presencia de lluvias; mientras que la parte sur se encuentra bajo la influencia de los vientos alisios, que cruzan una porción más estrecha y fisiográficamente más irregular del continente. Esto

produce un patrón climático que muestra climas secos y con mayor oscilación térmica en el norte del país, que se hacen más húmedos y regulares en su temperatura hacia la parte sur. El 37% del territorio es cálido (temperatura media anual mayor de 22°C), el 39% semicálido (media anual entre 18° y 22°C), 23% templado (media anual entre 12° y 18°C) y el 1% restante semifrío y frío (media anual menor de 12°C). (UNAM, 1990). (Figura 2.4).

México: tipos de clima según KÖPPEN modificado por García, 1988



Leyenda

(A)C(fm)	A(f)	BS1(h')(x)	BSks	BW(h')(x)	C(f)	Cb'(m)	E(T)CHw
(A)C(m)	Am	BS1(h')w	BSo(h')(x)	BW(h')s	C(m)	Cb'(m)(f)	EFHw
(A)C(m)(f)	Am(f)	BS1h(x)	BSo(h')w	BW(h')w	C(m)(f)	Cb'(w1)	
(A)C(w1)	Aw1	BS1hw	BSo(h)(x)	BWh(x)	C(w1)	Cb'(w1)(x)	
(A)C(w2)	Aw1(x)	BS1k'w	BSohw	BWhs	C(w1)(x)	Cb'(w2)	
(A)C(w2)	Aw2	BS1k(x)	BSok'w	BWhw	C(w2)	Cb'(w2)(x)	
(A)C(w2)(x)	Aw2(x)	BS1kw	BSok(x)	BWk(x)	C(w2)(x)	Cb'(w2)	
(A)C(w2)(x)	Aw2(x)	BS1k	BSokw	BWks	C(w2)	Cb's	
Aw0	Aw0(x)	BShs		BWkw	C(w2)(x)	Cs	

Figura 2.4 Basado en INEGI 2000

2.1.4 Hidrografía

Los recursos hidrológicos están constituidos por ríos, arroyos, lagos y lagunas, así como por almacenamiento subterráneo y las grandes masas de agua oceánica. En el territorio mexicano, los ríos se desarrollan en tres vertientes: occidental o del océano Pacífico, Oriental o del Océano Atlántico y la interior.

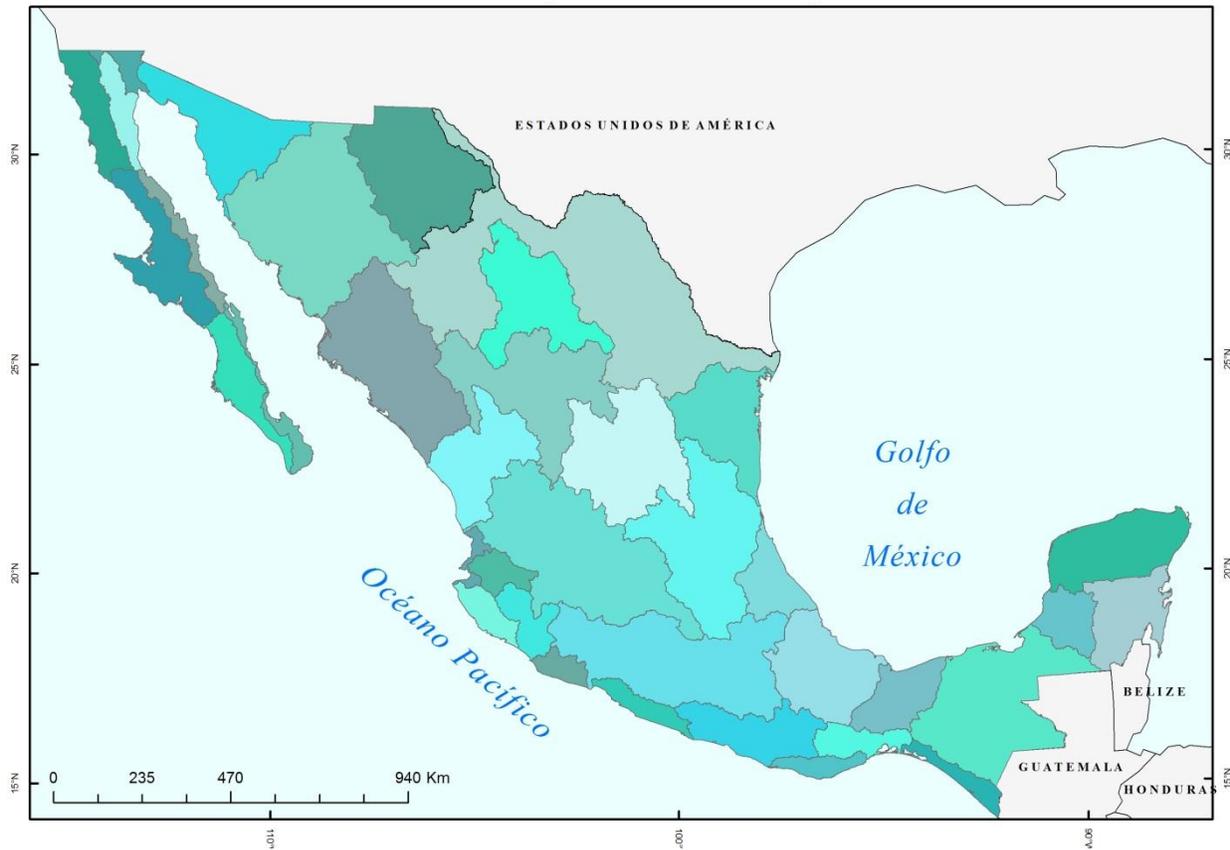
En la vertiente del Pacífico destacan las cuencas de los ríos Yaqui, Fuerte, Lerma-Santiago y Balsas; en la costa del Golfo de México destacan las cuencas de los ríos Bravo, Pánuco, Papaloapan, Grijalva y Usumacinta. Destaca los ríos Nazas y Aguanaval entre las cuencas endorreicas (Rzedowski, 1986).

La distribución del agua en el país presenta fuertes contrastes. En el sureste, que abarca cerca de 15% del territorio del país, se concentra 42% de los escurrimientos fluviales; mientras que en el altiplano del centro y la parte norte del país, 36% del territorio, se localiza sólo 4% de los escurrimientos (INEGI, 1995b).

Según los resultados de los trabajos realizados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el INEGI y el Instituto Nacional de Ecología y cambio climático (INECC), se han identificado 1,471 cuencas hidrográficas en el país, las cuales se han agrupado y/o subdividido en cuencas hidrológicas para fines de publicación de la disponibilidad de aguas superficiales. CONAGUA, ha agrupado a tales cuencas en 37 regiones hidrológicas para hacer más eficaz la administración de los recursos hidráulicos, las que, a su vez, son integradas en 13 regiones mayores de tipo administrativo para facilitar la creación de organismos de cuenca como parte de sus esfuerzos de descentralización de funciones. La agrupación de las cuencas se basa principalmente

en rasgos orográficos e hidrográficos, de tal manera que cada región hidrológica se distingue por su tipo de relieve y escurrimientos, presentando características similares en su drenaje. (Figura 2.5)

México: regiones hidrológicas



Leyenda

Armeria-Coahuayana	Costa Chica de Guerrero	Lerma Santiago	Sinaloa
B.C. Centro Este	Costa Grande de Guerrero	Mapimi	Sonora Norte
B.C. Centro Oeste	Costa de Chiapas	Nazas Aguanaval	Sonora Sur
B.C. Noreste	Costa de Jalisco	Norte de Veracruz	Tehuantepec
B.C. Noroeste	Costa de Michoacan	Panuco	Yucatan Este
B.C. Sureste	Costa de Oaxaca	Papaloapan	Yucatan Norte
B.C. Sureste	Cuencas Cerradas del Nte	Presidio-San Pedro	Yucatan Oeste
Balsas	El Salado	Rio Ameca	
Bravo Conchos	Grijalva-Usumacinta	Rio Colorado	
Coatzacoalcos	Huicicila	San Fernando Soto La Mar.	

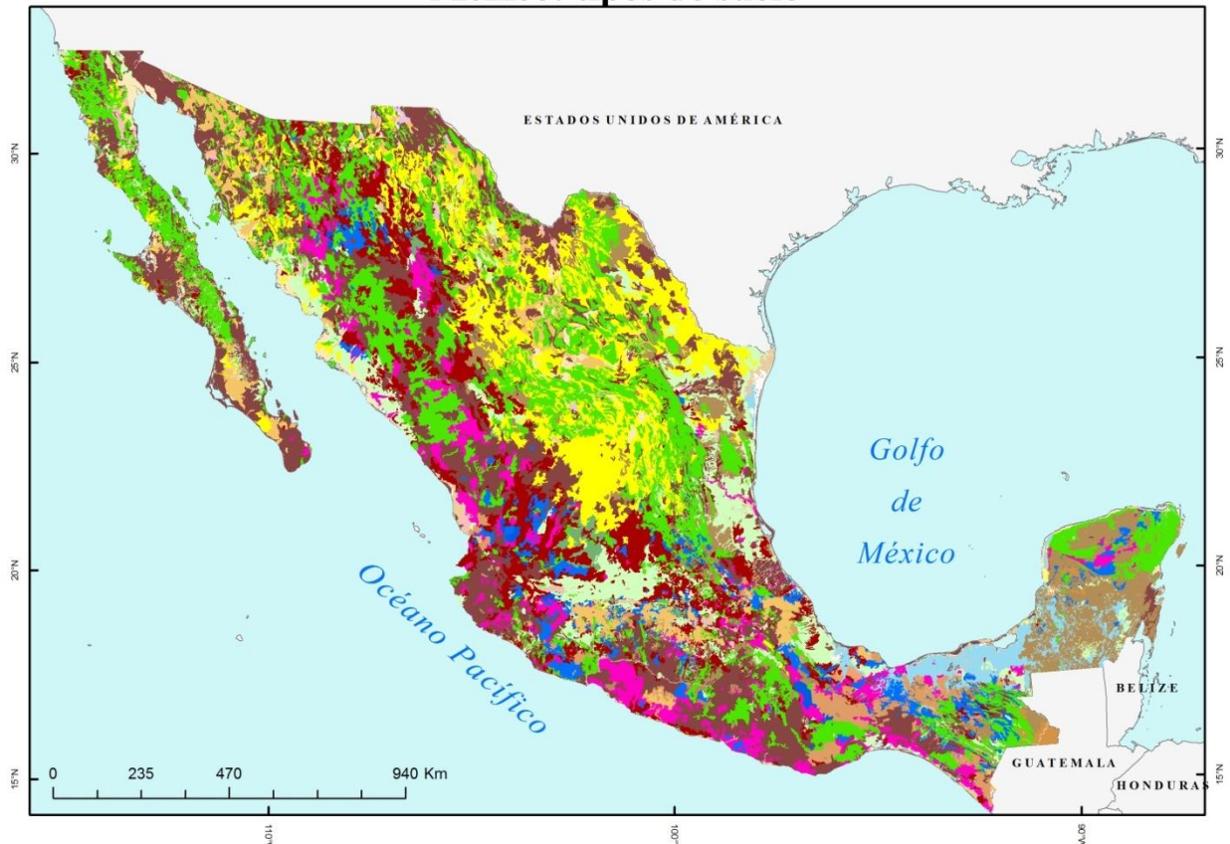
Figura 2.5 Basado en CONAGUA 2008

2.1.5 Suelo

Debido a la compleja historia geológica de la superficie terrestre que ahora ocupa México, a la relación entre todos los factores ambientales, fisiográficos, climáticos y biológicos, y al material parental que proviene de la roca madre, el país presenta una gran diversidad de suelos, ya que 25 de las 28 categorías de suelos reconocidas en el mundo están presentes en nuestro país y 10 de ellas conforman 74% de la superficie nacional (Figura 2.6) (INEGI, 1997).

En el curso de unos cuantos años se ha modificado la visión de que el suelo es un simple productor de plantas, fuente de minerales y de alimentos para los seres vivos, ya que actualmente se conoce el papel primordial que cumple en los ecosistemas; cada gota de agua que recorre el suelo regenera los mantos freáticos; funge como reserva biológica de muchos organismos potencialmente útiles al hombre; el suelo sirve además como medio físico sobre el cual se asienta la infraestructura del desarrollo humano (Ortiz, 1994).

México: tipos de suelo



Leyenda

PLANOSOL DISTRICO	RANKER	FEOZE M CALCARICO	ACRISOL FERRICO
PLANOSOL EUTRICO	REGOSOL CALCARICO	FEOZE M GLEYICO	ACRISOL HUMICO
PLANOSOL HUMICO	REGOSOL DISTRICO	FEOZE M HAPLICO	ACRISOL ORTICO
PLANOSOL MOLICO	REGOSOL EUTRICO	FEOZE M LUVICO	ACRISOL PLINTICO
PLANOSOL SOLODICO	RENDZINA	FLUVISOL CALCARICO	ANDOSOL HUMICO
RANKER	SOLOCHAK GLEYICO	FLUVISOL DISTRICO	ANDOSOL MOLICO
REGOSOL CALCARICO	SOLOCHAK MOLICO	FLUVISOL EUTRICO	ANDOSOL OCRIICO
REGOSOL DISTRICO	SOLOCHAK ORTICO	FLUVISOL GLEYICO	ANDOSOL VITRICO
REGOSOL EUTRICO	SOLOCHAK TAKIRICO	GLEYSOL CALCARICO	ARENOSOL CAMBICO
RENDZINA	SOLONETZ ALBICO	GLEYSOL EUTRICO	CAMBISOL CALCICO
SOLOCHAK GLEYICO	SOLONETZ ORTICO	GLEYSOL HUMICO	CAMBISOL CROMICO
SOLOCHAK MOLICO	VERTISOL CROMICO	GLEYSOL MOLICO	CAMBISOL DISTRICO
SOLOCHAK ORTICO	VERTISOL PELICO	GLEYSOL PLINTICO	CAMBISOLEUTRICO
SOLOCHAK TAKIRICO	LITOSOL	GLEYSOL VERTICO	CAMBISOL FERRALICO
XEROSOL CALCICO	LUVISOL ALBICO	HISTOSOL EUTRICO	CAMBISOL GLEYICO
XEROSOL GYPSICO	LUVISOL CALCICO	CASTAÑOSEM HAPLICO	CAMBISOL HUMICO
XEROSOL CALCICO	LUVISOL CROMICO	CASTAÑOZEM CALCICO	CAMBISOL VERTICO
XEROSOL GYPSICO	LUVISOL FERRICO	CASTAÑOZEM LUVICO	PLANOSOL DISTRICO
XEROSOL HAPLICO	LUVISOL GLEYICO	CHERNOZEM CALCICO	PLANOSOL EUTRICO
XEROSOL LUVICO	LUVISOL ORTICO	CHERNOZEM HAPLICO	PLANOSOL HUMICO
YERMOSOL CALCICO	LUVISOL PLINTICO	CHERNOZEM LUVICO	PLANOSOL MOLICO
YERMOSOL GYPSICO	LUVISOL VERTICO	NITOSOL DISTRICO	PLANOSOL SOLODICO
YERMOSOL HAPLICO	SOLONETZ ALBICO	NITOSOL EUTRICO	VERTISOL CROMICO
YERMOSOL LUVICO	SOLONETZ ORTICO		VERTISOL PELICO
YERMOSOL TAKIRICO			

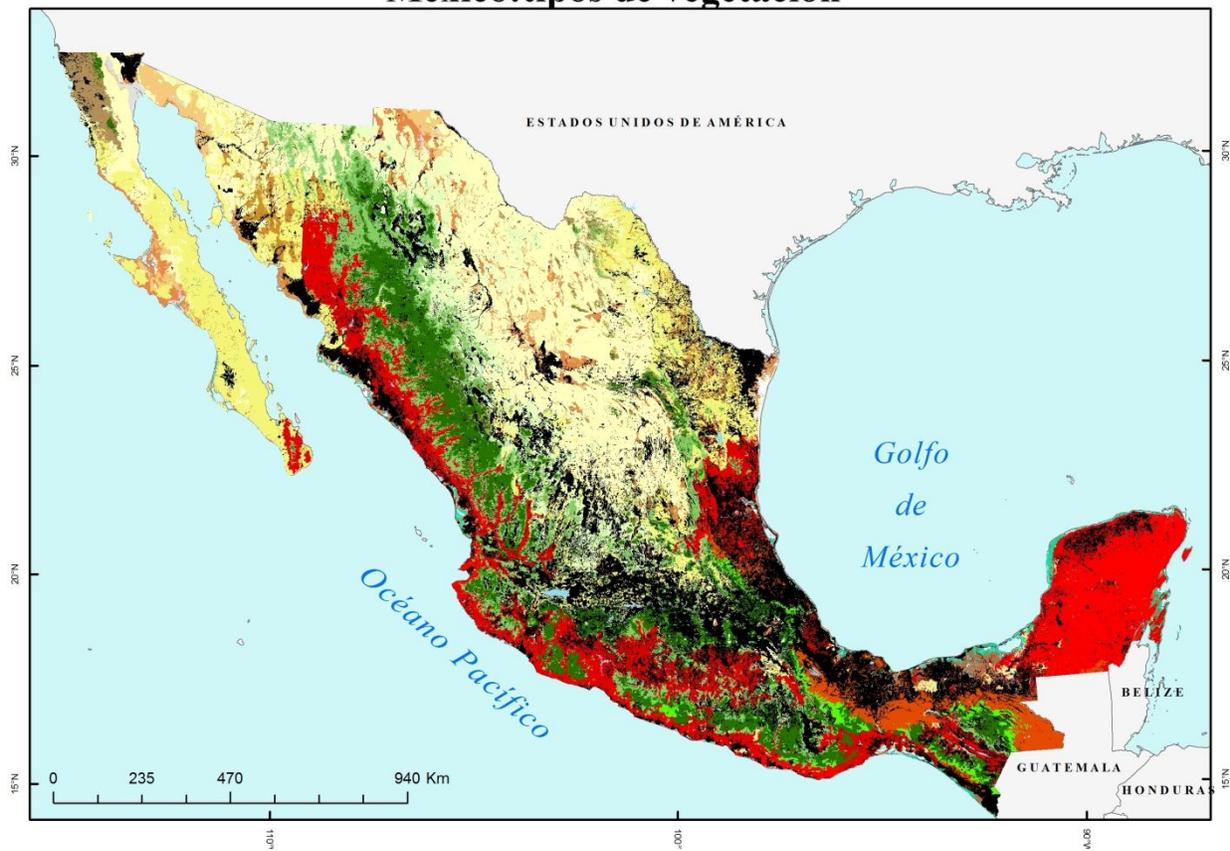
Figura 2.6 Basado en CONABIO,2000

2.1.6 Vegetación

La República Mexicana, por su situación geográfica, su forma, clima, orografía, geología y suelos, presenta una gran diversidad de condiciones ecológicas, únicas en el mundo; estas condiciones han dado como resultado una riqueza florística y de comunidades vegetales donde prácticamente existen casi todas las formas descritas a nivel mundial.

En México se tiene extensiones de terreno en donde casi no se presenta vegetación alguna, como sucede en las partes áridas de los desiertos o cerca de las nieves perpetúas. En contraste con esto, se encuentran selvas exuberantes de más de 2000 mm anuales, entre estos extremos existe una gran variedad de comunidades arbustivas que forman extensos y diversos matorrales, pastizales, bosques de coníferas y de encinos en casi todos los sistemas montañosos, palmares y selvas con diferentes grados de caducidad de follaje, manglares muy desarrollados en el sur de ambos litorales y comunidades vegetales pioneras en las dunas costeras entre muchas otras (Figura 2.7) (INEGI; 1991).

México: tipos de vegetación



Leyenda

 Bosque de coníferas distintas a Pinus	 Matorral desértico microfilo	 Selva alta perennifolia y subperennifolia
 Bosque de encino	 Matorral espinoso tamaulipeco, submontano y subtropical	 Selva baja caducifolia y subcaducifolia
 Bosque de pino	 Matorral rosetofo	 Selva baja perennifolia, subperennifolia y espinosa
 Bosque meso filo de montana	 Matorral sarco crasicaule	 Selva mediana caducifolia y subcaducifolia
 Chaparral	 Mezquite-huizachal	 Selva mediana perennifolia y subperennifolia
 Ciudades importantes	 Palmar	 Vegetación de galería
 Cuerpos de agua	 Pastizal natural	 Vegetación de suelos arenosos
 Manejo agrícola, pecuario y forestal (plantaciones)	 Popal y tular	 Vegetación halo fía y gipsofía
 Manglar	 Sabana	

Figura 2.7 Basado en CONABIO 2000

2.2 Aspectos poblacionales

La enfermedad de Chagas tiene una relación sumamente estrecha con las condiciones precarias de las viviendas construidas con lámina, adobe, palma u otros materiales como cartón, viviendas mal iluminadas, sin repello, con pisos de tierra, cuyas familias son vulnerables social y económicamente. Además que se considera que los países que son endémicos de la especie como México tiene un riesgo mayor según cifras oficiales de la OMS en 2010 se estima que 1.1 millones las personas infectadas en nuestro país.

2.2.1 Distribución de la población mexicana.

La distribución y densidad de la población es el resultado de los factores físicos, condiciones económicas y sociales.

Los factores geográficos que son importantes para entender las limitantes de apropiación del espacio y comprenden la localización, la fisiografía, el clima, la hidrología, suelo y vegetación. De acuerdo con Sánchez (1998) los núcleos más numerosos se ubican en primer lugar en las regiones de clima templado, en la mayor parte de la meseta del Anáhuac, donde predominan suelos sedimentarios particularmente de origen aluvial, como el Distrito Federal, y los estados de México, Tlaxcala, Guanajuato, Jalisco. En segundo lugar, la población se asienta en regiones de clima tropical lluvioso con lluvias en verano, en las llanuras costeras, las aluviales de Tabasco y la depresión del Balsas; particularmente en comarcas de los valles, como son Veracruz, Colima, Morelos, Guerrero, Oaxaca, Chiapas y regiones de San Luís Potosí y Nuevo León. En tercer lugar, la población se halla distribuida en número

notablemente menor en las regiones áridas del país, donde se encuentran los climas seco estepario y seco desértico, como son las llanuras de Chihuahua, Coahuila, Durango, Sonora y Baja California y las entidades con clima tropical lluvioso como Yucatán, Quintana Roo y Campeche.

Los factores económicos, que contemplan el empleo de maquinaria, la fuerza de trabajo y el desarrollo de las vías de comunicación, han contribuido en la distribución de la población al fortalecer los núcleos que ya existían, al ensanchar los más recientes y al abrir nuevos centros en las diferentes regiones del país. El hombre ha sobrevivido y poblado el espacio geográfico gracias a su capacidad de adaptación al medio utilizando su ingenio en la invención y desarrollo de herramientas y tecnologías, y aún ha llegado a la modificación del medio para adaptarlo a sus necesidades (Sánchez, 1998).

Los factores sociales, determinan el aumento de la población y entre ellos se encuentran la natalidad, la mortalidad, los servicios y la migración. Estos factores tienen una estrecha interdependencia. Como se puede observar en la figura 2.8 el mapa muestra como existe una concentración de población en el país en la parte del centro esto debido a la migración, al igual que en las ciudades fronterizas resultado del mismo fenómeno que al final responde a la misma dinámica económica.

La distribución geográfica actual de la población mexicana se caracteriza por la fuerte concentración de personas en pocas ciudades y áreas metropolitanas, pero también por una gran cantidad de localidades menores a los 2 500 habitantes dispersas por todo el territorio nacional. La proporción de la población que habita en localidades rurales (menores a 2 500 habitantes) ha ido disminuyendo significativamente. En 1900,

aproximadamente 72% de la población habitaba en localidades rurales; para 1960 este porcentaje ya era ligeramente menor a 50% y en 2010 sólo 23.2% de los habitantes del país se encontraba en localidades de esta categoría (SEMARNAT, 2012).

En cuanto al número de localidades, en 2010 se registraron alrededor de 170 mil de tipo rural (88.6% del total de localidades a nivel nacional), de las cuales 15.3% no contaba con carreteras (ni pavimentadas ni de terracería) que les permitiera conectarse con otros centros poblacionales más grandes (INEGI, 2011c). Esta condición de aislamiento contribuye, entre otros factores, a los altos índices de marginación y pobreza de la población, ya que dificulta la cobertura de los servicios básicos de educación, salud, agua potable, saneamiento, energía eléctrica y telefonía, además de reducir las opciones de empleo y movilidad social (SEMARNAT, 2012).

Con respecto a la población urbana, en 2010 estaba organizada en 630 localidades: 499 de entre 15 mil y 100 mil habitantes (donde habitaba casi 15% de la población del país), 120 con población entre 100 mil y un millón de habitantes (donde residía cerca de 35% de la población) y once localidades con más de un millón de habitantes (donde residía 13.2% de la población). En conjunto, en estas localidades urbanas habitaba el 62.5% de la población nacional (Figura 2.8) (INEGI, 2011a) (SEMARNAT, 2012).

Distribución de localidades con más de 20 mil habitantes, 2010

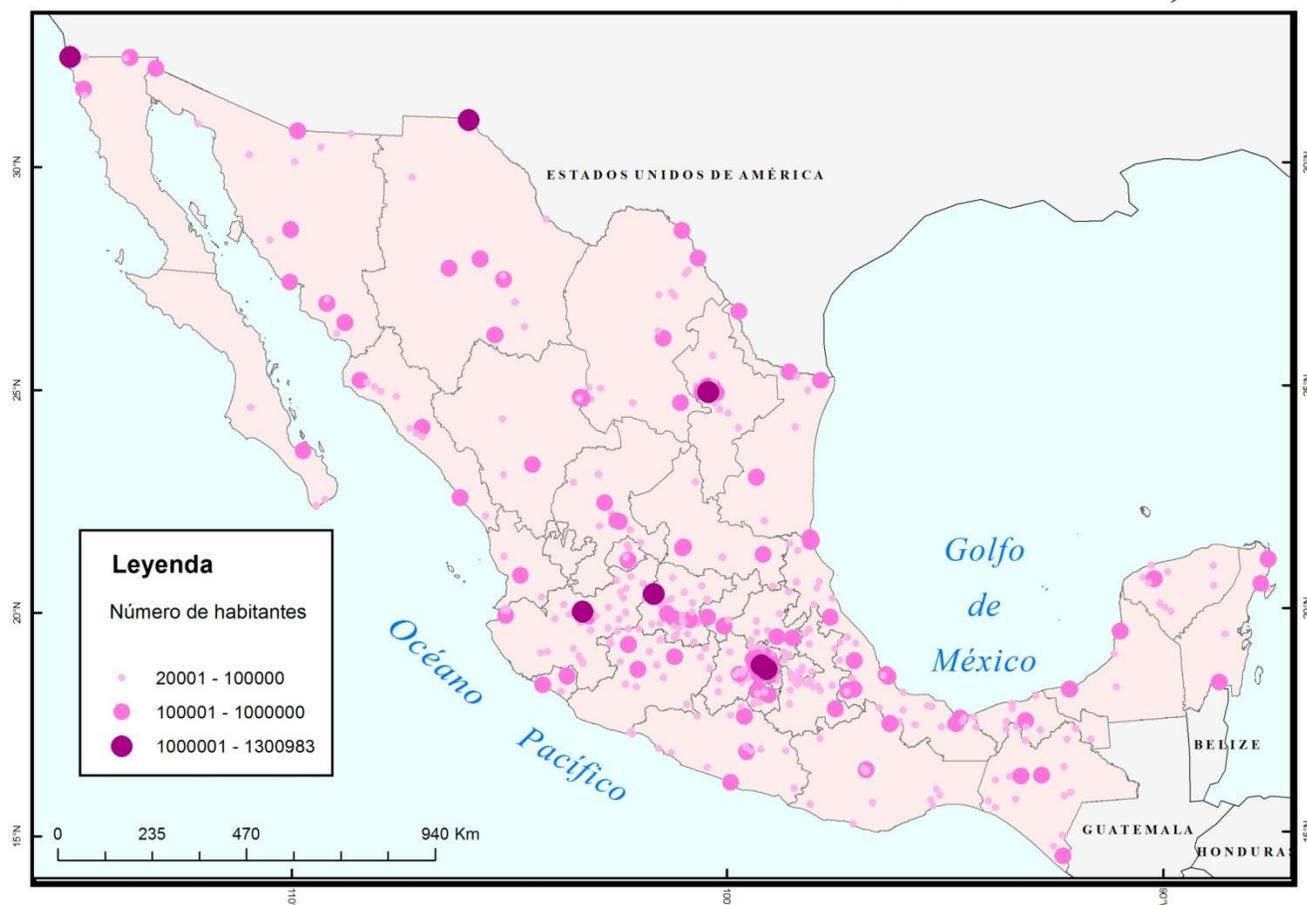


Figura 2.8 Basado en INEGI 2010

2.2.2 Vivienda

Para abordar el tema de vivienda es necesario tener en claro el concepto de “vivienda digna”. Se plantea en el artículo 25 apartado 1 de la Declaración Universal de los Derechos Humanos que “Toda persona tiene derecho a un nivel de vida adecuado que le asegure, así como a su familia, la salud y el bienestar, y en especial la alimentación, el vestido, la vivienda, la asistencia médica y los servicios sociales necesarios; tiene asimismo derecho a los seguros en caso de desempleo, enfermedad, invalidez, viudez,

vejez u otros casos de pérdida de sus medios de subsistencia por circunstancias independientes de su voluntad.” En la constitución mexicana se señala en el artículo cuatro párrafo quinto dice que “Toda familia tiene derecho a disfrutar de una vivienda digna y decorosa.”

Vivienda digna, según la Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos en su Observación General nº 4 es aquella vivienda donde los ciudadanos o las familias pueden vivir con **seguridad**, paz y bajo condiciones decorosas. La vivienda digna se inscribe en el derecho a la vivienda.

De 1990 a 2010, la población del conjunto de las zonas metropolitanas del país creció en 20.5 millones de habitantes. En el 2010, la población que habitaba en zonas metropolitanas era de 63.8 millones, representando 56.8 por ciento del total nacional, en tanto que la población urbana representaba el 76.9 por ciento del total nacional, según cifras de Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) e INEGI (DOF, 2014).

El territorio de las zonas metropolitanas también se expandió de manera considerable. En el mismo período, la superficie ocupada por el conjunto de zonas metropolitanas del país pasó de 142,377 a 171,816.8 km²; es decir, 20.6 por ciento más. De manera paralela, la Densidad Media Urbana, esto es, el grado en que se concentra espacialmente la población urbana de un municipio, pasó de 124 a 111.5 habitantes por hectárea, lo que habla de un proceso complejo, en el que se extiende la superficie territorial pero ésta no se densifica con la misma intensidad (CONAPO, 2012).

Cabe mencionar que en el 2010, México tenía 28.7 millones de viviendas, de las cuales 22.4 millones eran urbanas y 6.3 millones eran rurales, representando 78.1 y 21.9 por ciento, respectivamente. Asimismo, el país cuenta con severos grados de marginación y pobreza. En 2012, en 11 estados de la República, más del 50 por ciento de la población era pobre y en cuatro de ellas, los niveles de pobreza extrema superaban al 15 por ciento de la población. En el mismo año, la población vulnerable por carencias alcanzaba 28.6 por ciento, mientras que la vulnerabilidad por ingreso afectaba al 6.2 por ciento de los mexicanos. En el mismo año, sólo 19.8 por ciento de la población del país estaba fuera de los márgenes de pobreza y vulnerabilidad. Entre las condiciones estructurales que se deben mejorar para atender dicha situación, están la precariedad de la vivienda y los servicios básicos indispensables que la acompañan (DOF, 2014).

2.3 Déficit habitacional

La medida del déficit habitacional agrupa las carencias de vivienda en tres tipos, aquellas que tienen que ver con los materiales con que está construida, las que se refieren al espacio para que sus habitantes no padezcan hacinamiento y las carencias por falta de conexiones de servicios básicos indispensables (DOF, 2014).

Respecto a las carencias de materiales, éstas pueden reflejarse en la calidad de los muros, los pisos y los techos de las viviendas. Entre 2000 y 2010, un porcentaje alto de viviendas urbanas contaba con materiales de buena calidad. No obstante en 2012, todavía 19.7 por ciento de dichas viviendas carecían de techo de concreto, tabique, ladrillo o similares. Por su parte, en el ámbito rural en 2010, 34.6 por ciento de la

vivienda rural carecía de muros de concreto, tabique, ladrillo o similares; 14.5 no tenían piso de cemento, madera, mosaico u otro recubrimiento; mientras que el 59.7 de dichas viviendas el material del techo no era de concreto, tabique, ladrillo o similares. Muchas veces se conjuga más de una carencia en una sola vivienda, lo que representa la precariedad en que el parque habitacional puede encontrarse, especialmente en el ámbito semiurbano y rural (DOF, 2014).

Las viviendas construidas con materiales inadecuados son aquellas viviendas que por el material de sus pisos, paredes o techos tienen mayores probabilidades de requerir reparación, mejora o reposición. En principio, se considera que cualquier vivienda con piso de tierra presenta una carencia. En cuanto a materiales de paredes y techos, la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) en el documento Indicadores de Carencias 2009 presenta lo que a juicio de los expertos se consideran materiales adecuados e inadecuados para construir una vivienda digna (Figura 2.9) (FONHAPO, 2010).

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE PISOS, PAREDES Y TECHOS DE ACUERDO A SI SON ADECUADOS O NO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA VIVIENDA DIGNA

	Pisos	Muros	Techos
Materiales no adecuados para una vivienda digna	- Piso de tierra	- Material de desecho - Lámina de cartón - Embarro y bajareque - Lámina de asbesto y metálica - Carrizo, bambú y palma	- Material de desecho - Lámina de cartón
Materiales adecuados para una vivienda digna	- Cemento firme, madera, mosaicos u otros recubrimientos	- Madera - Adobe - Tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento y concreto	- Lámina de asbesto y metálica - Palma, tejamanil y madera - Teja - Losa de concreto, tabique, ladrillo y terrado con vigería

Figura 2.9 Extraído de FONHAPO, 2010

En el año 2000 el porcentaje de viviendas que contaban con techo de concreto, tabique, ladrillo, cemento o algún material similar era de 73 en zonas urbanas mientras que en zonas rurales era de 29, en 2010 la el porcentaje incrementó, en las zonas urbanas fue de 80 y en zonas rurales de 40. Sin embargo, más de la mitad de la población que vive en zonas rurales se encuentra en condiciones precarias de vivienda. Según los estándares de vivienda digna de la CONAVI las casas que son construidas con paredes de madera o adobe y techos de lámina, palma o tejamanil son dignas adecuadas y decorosas, pero recordemos que se había mencionado que una vivienda digna debe proveer de seguridad a la familia o personas que la habiten y los materiales mencionados anterior mente no brindan seguridad ante vectores tales como las chinches, garrapatas o mosquitos (Figura 2.10 y 2.11).



Figura 2.10 Vivienda digna.

Entonces, cuando se tiene humanos y vectores *Triatomas* viviendo en el mismo espacio se presenta el riesgo de contagio de la enfermedad tripanosomiasis americana o mal de Chagas , pero si los humanos se encuentran en viviendas dignas de techo de lámina y paredes de madera, el riesgo a ser contagiado de la enfermedad es más elevado, ya que el vector tiene fácil acceso a la vivienda; el vector busca ambientes más agradables donde la temperatura y la humedad relativa sean confortables para poder realizar su ciclo de vida de forma eficaz; dentro de la vivienda se libra de algunos depredadores, es más sencillo obtener alimento, y está resguardado de los cambios abruptos de temperatura y humedad. Y ya que el insecto es hematófago (se alimenta de sangre), lógicamente intentará alimentarse de los humanos que vivan ahí. Como consecuencia, de acuerdo con datos de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), en México existen aproximadamente un millón de personas infectadas y más de 29 500 000 en riesgo de contraer la infección.



Figura 2.11 Viviendas donde existe un fácil acceso para el vector.

Población con déficit habitacional, 2010

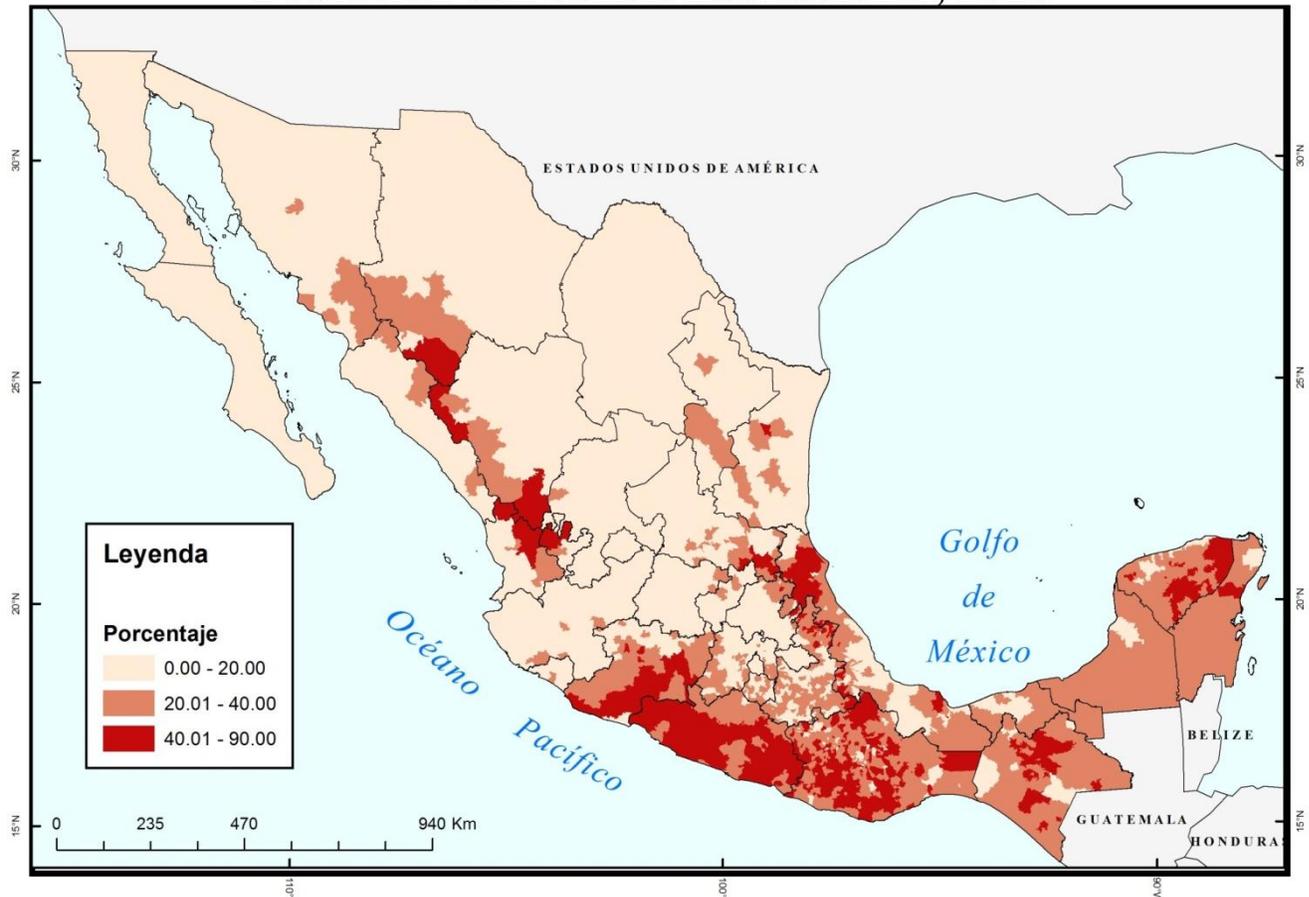


Figura 2.12 Basado en INEGI 2010

2.4 Cambio climático

El Cambio Climático es un fenómeno que se manifiesta en un aumento de la temperatura promedio del planeta. Según el Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático: "Por cambio climático se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables" (CMNUCC, 1992).

El cambio climático es un tema muy debatido ya que muchas personas lo niegan rotundamente, sin embargo, la principal evidencia es el aumento de la temperatura promedio de la atmósfera terrestre. No obstante, existen evidencias relacionadas con el nivel del mar, las capas de hielo en las zonas del ártico, la frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos y algunos cambios en los ecosistemas.

Se han realizado investigaciones observando a través de instrumentos que proporcionan información de 150 años en el pasado que muestran, que las temperaturas en la superficie se han elevado globalmente con importantes variaciones regionales. Para el promedio global, el calentamiento en el último siglo ha ocurrido en dos fases: de la década de 1910 a la de 1940 (0.35°C) y, más drásticamente de 1970 al presente (0.55°C). Un rango de incremento se ha visto en los últimos 25 años, y 11 de los 12 años más calientes en registro han ocurrido en los últimos años. Arriba de la superficie, las observaciones globales desde 1950 muestran que la tropósfera (arriba de los 10 km) se ha calentado ligeramente más que la superficie, mientras que la estratósfera (de los 10 a los 30 km) se ha enfriado desde 1979. Esto confirma que el calentamiento global proviene del aumento de la temperatura en los océanos, aumentando el nivel del mar, el derretimiento de los glaciares y la disminución de la capa de hielo en el Hemisferio Norte (IPCC, 2007).

En México se han desarrollado diversos modelos de predicción para saber el nivel de afectación que tendría el país con el cambio climático; considerando los cambios en la temperatura y la precipitación promedios de 1961-1990, para 2030 (promedio de 2015-2039), los cambios proyectados no son tan abruptos pero, en la medida que las proyecciones se alejan del presente, los cambios serían más acentuados. Esos

escenarios coinciden en proyectar, para el año 2100, un incremento de más de 4°C en la zona fronteriza con Estados Unidos, y de alrededor de 2.5 y 3.5°C en el resto del país. En cuanto a las precipitaciones, los diferentes modelos difieren en sus proyecciones aunque, en promedio para el país, se estima que éstas disminuirán hasta un 10% en la mayoría del territorio nacional, aunque habrá regiones en que esa disminución podría ser mayor (SEMARNAT, 2014).

El ciclo de vida de los vectores, así como la cadena de transmisión de la enfermedad, está estrechamente relacionado con la dinámica ambiental de los ecosistemas que habitan. Por otra parte, las limitaciones en su desarrollo están determinadas por variables ambientales como la temperatura, la precipitación, la humedad y el uso del suelo, entre otros. La variabilidad del clima ha mostrado una influencia directa en la biología de los vectores y la ecología y, en consecuencia un impacto en el riesgo de transmisión de estas enfermedades (McMichael y colaboradores, 2000).

Curto de Casas y colaboradores (1994) llevaron a cabo una revisión bibliográfica extensa acerca de los factores bioclimáticos relacionados con la distribución y dispersión de las especies de Triatomíneos. El análisis consistió en buscar relaciones entre la temperatura de cría y la extensión del ciclo de vida. Encontraron que la humedad relativa de la mayoría de las zonas endémicas apenas sobrepasa el 75% durante la estación húmeda. Consecuentemente, basan su artículo en la hipótesis de que en condiciones de sequía, los insectos hematófagos tienen que alimentarse o “picar” más frecuentemente debido a la deshidratación. El metabolismo también se acelera, por lo que las densidades poblacionales aumentan. *T. infestans* en zonas con altas temperaturas tiene dos generaciones por año, mientras que en zonas templadas o

frías solo tiene una generación durante el mismo periodo. Observaciones recientes sobre el cambio climático, en particular sobre el calentamiento mundial y la Oscilación el Sur; el Niño, han revelado que temperaturas más altas pueden aumentar la distribución geográfica de los vectores y la altitud a la que pueden sobrevivir.

Esto es particularmente importante en el caso de las especies silvestres con tendencia a invadir los hábitats humanos. Si bien una menor humedad puede ampliar la distribución geográfica y aumentar la densidad de la población, también puede afectar negativamente los ciclos vitales en medios secos tropicales y subtropicales y zonas áridas (McMichael y colaboradores, 2000).

En la actualidad, el cambio climático está aumentando la preocupación por la posible expansión de la incidencia de estas enfermedades. El efecto del cambio climático se ve en los eventos extremos, que están introduciendo grandes fluctuaciones en los ciclos climáticos. Las temperaturas extremas pueden ralentizar o acelerar el desarrollo y la supervivencia de los insectos vectores, así como el período de incubación de algunos patógenos (McCarthy, 2001).

El clima por sí solo no puede explicar toda la historia natural de las enfermedades transmitidas por vectores, pero es un componente importante en la distribución temporal y espacial de los vectores de enfermedades, ya sea limitando su expansión o influyendo en la dinámica de su transmisión (PAHO, 2014).

2.5 Conclusión capitular

Recapitulando, los aspectos geográficos actúan como modeladores y limitantes de la ocupación del espacio, las características geográfico físicas influyen tanto para la distribución del ser humano como para el vector, en cuanto a las características poblacionales la enfermedad de Chagas está estrechamente ligada a las condiciones precarias de vivienda; FONHAPO plantea algunos materiales con los que se puede definir si una vivienda es digna pero los materiales que proponen no brindan seguridad a las familias que va a habitar estas viviendas, según las cifras del DOF en 2010 60% de la población rural no cuenta con una vivienda digna y en zonas urbanas es el 20% de la población. El vector no se limita a zonas rurales, el fácil acceso que este tipo de viviendas brinda, aumenta la probabilidad de contagio. Ahora si estos factores son relacionados con el escenario de cambio climático el panorama es más complejo y preocupante, ya que las limitaciones en el desarrollo del vector están estrechamente ligadas con la temperatura y humedad. Se sabe que en condiciones de sequía el vector se alimenta con mayor frecuencia y las densidades poblacionales aumentan, además de las especies silvestres con tendencia a invadir hábitats humanos a mayor temperatura buscan ambientes más estables y estos ambientes se encuentran dentro de las casas humanas.

3. CARACTERÍSTICAS DEL VECTOR

3.1 Ciclo de vida

El vector *Triatoma* (Figura 3.1), es un artrópodo hematófago esto quiere decir que se alimenta de sangre, su clasificación taxonómica es:

Reino: *Animalia*, Filo: *Arthropoda*, Clase: *Insecta*, Orden: *Hemiptera*,

Familia: *Reduviidae*, Subfamilia: *Triatominae*, Género: *Triatoma*.



Figura 3.1 Fotografía propia de *Triatoma* Malinalco Edo. de México

Los *Triatomas* son insectos hemimetábolos (metamorfosis incompleta) cuya duración del ciclo varía según la especie y factores extrínsecos como la temperatura ambiental y la disposición alimentaria oscilando entre los 6 a 15 meses en condiciones de laboratorio, pasando por las fases de huevo, cinco estadios ninfales y el adulto (Figura 3.2) (CENAPRECE, 2015).

La oviposición tiene una periodicidad circadiana y generalmente empieza a los 10 a 20 días después de la cópula. Cada hembra durante su vida fértil puede depositar de 100 a 600 huevos durante su vida adulta de 3-12 meses según la especie y la cantidad de sangre ingerida. Los huevos son depositados de manera individual o en grupo y eclosionan en un periodo de 10 a 40 días dependiendo de la especie y la temperatura (CENAPRECE, 2015).

La transmisión del parásito no es transovárica, por lo tanto, la ninfa de primer estadio no está infectada. Las ninfas presentan cinco estadios ninfales que difieren unos de otros por aspectos morfológicos menores. Las ninfas recién emergidas son blandas, de color rosado, su cutícula no tarda en endurecerse y oscurecerse; están listas para su primera ingesta de sangre a los 2-3 días de la eclosión, pueden sobrevivir por varias semanas si no disponen de huésped (CENAPRECE, 2015).



Figura 3.2 Etapas de desarrollo. Extraído de Guía para el control vectorial de la enfermedad de Chagas 2010

Una vez alcanzado el quinto estadio se da origen a las formas adultas que difieren de las ninfas por la presencia de alas completamente desarrolladas y por ser maduras sexualmente. Todos los estadios de los *Triatomas* de ambos sexos son hematófagos y, por tanto, pueden llegar a infectarse con *Trypanosoma cruzi* si se alimentan de un huésped infectado (CENAPRECE, 2015).

3.2 Comportamiento

Como se había comentado en el capítulo anterior, la distribución geográfica del *Triatoma* es muy extensa, desde el sur de Estados Unidos hasta la Patagonia, con esta información ya se puede suponer que el *Triatoma* tiene una amplia tolerancia a los factores ambientales pero dadas ciertas circunstancias cada especie se encuentra su zona de confort; latitudinalmente, gran parte de los *Triatomas* se encuentra dentro de las áreas intertropicales. Sin embargo, existen especies como *Triatoma sanguisuga* que se ha encontrado a 40° norte de latitud, o algunas como *T. infestans* y *T. patagonica* que han sido encontradas cerca de los 40° sur en Argentina. Mientras que, hablando de altitud, la mayoría de las especies de *Triatoma* se encuentra en las partes bajas alrededor de los 100 a 1800, existen especies que se hallaron a los 4100 msnm un ejemplo de esto es *Triatoma infestans* en Bolivia (Carcavallo y colaboradores, 1999).

Los *Triatomas* son muy sensibles a pequeñas variaciones tanto de temperatura como de humedad. En zonas cálidas, *T. infestans* puede tener dos generaciones por año,

mientras que en climas más templados sólo tiene una (Curto de casas y colaboradores, 1994).

La mayor diversidad de estas especies se ha encontrado en biomas con estaciones secas y húmedas bien marcadas. En lugares con estaciones secas largas y altas temperaturas se han encontrado mayores densidades poblacionales. Estudios de campo y de laboratorio ha revelado que el rango óptimo de temperatura para la mayoría de las especies de *Triatoma* está de 26°C a 30°C y un máximo de humedad relativa de 75% (Sulbarán, 2009).

3.3 Interacción con variables bióticas

El vector *Triatoma* habita en nidos y madrigueras, así como una amplia gama de escondites naturales tales como cuevas, pilas de rocas, troncos caídos, huecos de los árboles, árboles huecos, palmas, bromelias, y otras epífitas. Estos hábitats atraen a los anfibios, lagartos por ejemplo, Iguana iguana (iguana), roedores como los *Hystrix cristata* (puercoespines), y otros animales como la *Didelphimorphia* (zarigüeya), *Dasyrodidae* (armadillos), *Folivora* (perezosos), *Chiroptera* (murciélagos) y otros mamíferos; todos estos animales tienen una estrecha relación con el *Triatoma*, ya que el vector se alimenta de ellos, la transmisión de *T. cruzi* se da cuando un *Triatoma* pica a un hospedero que está infectado, luego el *Triatoma* pica a otro animal no infectado y lo infecta (Mullen, 2002).

Otros animales donde se multiplica el agente infeccioso son la *Sciurus vulgaris* (ardilla), el *Canis lupus familiaris* (perro), el *Felis catus* (gato), el *Sus scrofa domesticus* (cerdo),

la *Bos taurus* (vaca), la *Capra aegagrus hircus* (cabra), el *Ovis aries* (borrego), el *Mus* (ratón), la *Rattus norvegicus* (rata de alcantarilla), la *Gallus gallus domesticus* (gallina) entre otros. Estos últimos tienen una relación más estrecha con el ser humano, ya que se encuentran cerca o dentro de la vivienda humana. (Salazar, 1977)

3.4 *Triatoma* peridomiciliar e intradomiciliar

Se estima que México tiene al menos 28 especies de *Triatoma* asociadas al protozoo *T. cruzi*, de los cuales diecinueve son intra o peri domiciliarias. Schofield (1988) menciona que se pueden clasificar cinco fases hacia la domesticación:

1. *Triatomas* selváticos con hospederos especializados, ligados estrechamente al hábitat, al elemento ecosistémico del paisaje. El *Triatoma* está altamente especializado al hábitat en el que se desenvuelve, incluso la cría en laboratorio es difícil de realizar, este tipo de especies no se encuentran en la vivienda humana, si no que se les puede encontrar en nidos de aves, cuevas donde aniden murciélagos entre otros.
2. *Triatomas* selváticos con hábitat bastante especializados, donde los miembros adultos ocasionalmente son encontrados cerca o dentro de las viviendas humanas atraídas por la luz.
3. *Triatomas* selváticos con mayor rango de tolerancia a los elementos ecosistémicos del paisaje, generalistas. Estas especies ocasionalmente colonizan viviendas humanas pero usualmente son encontrados en el ambiente silvestre.

4. *Triatoma* que conserva sus ecotopos silvestres pero que se ha adaptado a vivir en el domicilio humano; se les encuentra comúnmente en gallineros y otros encierros de animales domésticos.

5. *Triatoma* restricto al ambiente domiciliario, en todo su rango geográfico.

En cualquier fase a la domesticación en que se encuentre *Triatoma*, tienden a estar ocultos; en el caso de los que se encuentran en la quinta fase de domesticación se ocultan en las hendiduras de los elementos naturales y los materiales artificiales (por ejemplo, restos de nidos y madrigueras, grietas de las rocas, y montones de vegetación); en materiales de construcción tales como madera, tejas, techo de paja y hojas de palma; y en las viviendas en las grietas de las paredes, detrás de cuadros o tapices, en las camas y colchones, muebles, cajas, maletas, pilas de papeles o ropa y otros materiales acumulados que proporcionan refugio durante el día. También acostumbran refugiarse en grietas sombreadas con una superficie áspera y seca. Las Ninfas para protegerse acostumbran camuflarse con la suciedad y los escombros (Mullen, 2002).

3.5 Transmisión

Existen cuatro formas de adquirir la enfermedad de Chagas, pero la más común es la vectorial que se produce a través del excremento del insecto; como se ha comentado anteriormente, el vector prefiere, en la mayoría de los casos, alimentarse de noche, cuando encuentra a su hospedero en este caso un humano dormido, lo pica y succiona la sangre, en poco tiempo defeca y se retira, Según Schofield (1999) en una

infestación doméstica cada chinche se alimenta cada 4 a 9 días. Cada persona puede ser picada 20 a 30 veces por noche. La picadura provoca comezón y el humano reacciona naturalmente rascando el sitio que fue picado, en este momento el excremento del insecto se deposita en la zona de la picadura y el agente causal *T. cruzi* entra al organismo del individuo, se trasporta por la corriente sanguínea y de ahí puede infectar diferentes tipos celulares; una vez que se encuentra dentro, comienza a multiplicarse hasta que la membrana celular se rompe y el parásito busca otra célula para seguir su ciclo (Figura 3.3).

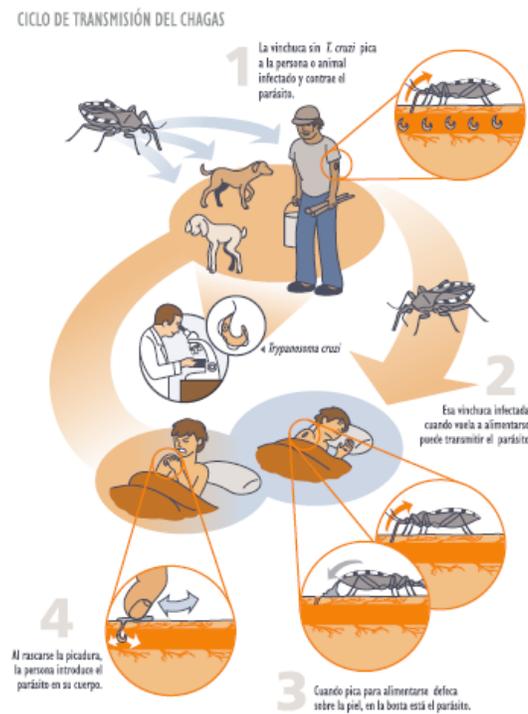


Figura 3.3 Ciclo de transmisión. Extraído de Guía para el control vectorial de la enfermedad de Chagas 2010

Triatoma detecta tanto los olores como el calor que emanan del huésped los que sirven de guía para localizar al huésped. El dióxido de carbono de la respiración, así como el amonio, aminos y ácidos grasos de cadena corta que emanan de la piel, pelos y

glándulas exocrinas de los animales vertebrados, están entre las moléculas que componen los olores que atraen a los triatominos. La visión también sirve en la orientación de estos insectos. Durante la noche los adultos de varias especies vuelan a domicilios humanos atraídos por la luz. Luego que alcanza la piel del huésped y antes de picarlo, los triatominos utilizan los termorreceptores de sus antenas para localizar los vasos sanguíneos, una tarea que requiere precisión, dado que estos vasos ocupan menos del 5% de la piel (Ferreira, 2007).

Según la Organización Mundial de la Salud (2002) existen otras formas de transmisión además de la picadura del vector que son las siguientes:

Transmisión vertical es la que se trasfiere de madre a hijo, una mujer embarazada e infectada por el parásito se lo puede transmitir al feto.

Transmisión por transfusión o trasplantes que consiste en que si el donador estaba infectado de *T. cruzi* el receptor puede contagiarse.

Transmisión por vía oral, que ocurre cuando se ingiere comida infectada por el paracito, es muy raro este tipo de transmisión, pero se ha registrado cuando individuos han quedado infectados por consumir alimentos contaminados con excremento del insecto o por consumir al insecto.(Figura 3.4)



Figura 3.4 Fotografía propia, comiendo al vector.

3.6 Tripanosomiasis americana

Esta enfermedad también llamada mal de Chagas, es una parasitosis incurable y a veces mortal. Se calcula que en el mundo hay entre 6 y 7 millones de personas infectadas por el mal de Chagas, la mayoría de ellas en América Latina, ésta enfermedad es endémica de América. Su actual extensión geográfica, donde el hombre es atacado y sufre pérdidas económicas, se debe en gran parte a que en el pasado no se tomaron medidas dirigidas contra la adaptación del *Triatoma* a condiciones domésticas (Dujardin, 2002).

La importancia radica en su elevada prevalencia, su incurabilidad, las grandes pérdidas económicas por incapacidad laboral, y la muerte repentina de personas aparentemente sanas. Se contempla dentro de la lista de las principales "enfermedades desatendidas" (OMS, 2017).

La enfermedad se considera, de manera histórica, un severo problema de salud en áreas rurales de México, América Central y Sudamérica, con manifestaciones clínicas y características epidemiológicas variables. (Berrueta, 2014). Es claro que la transmisión de *T. cruzi* no se encuentra limitada a comunidades rurales; la transmisión por vector también se ha documentado en zonas urbanas y periurbanas en Perú, Bolivia, México, Venezuela, entre otros países de Latinoamérica. (Tarleton y colaboradores, 2014) de (Berrueta, 2014).

Según un estudio "Global economic burden of Chagas disease: a computational simulation model" en América Latina, el costo global de la enfermedad de Chagas es US\$7 mil millones por año; es la región que paga el precio más alto, siendo Brasil,

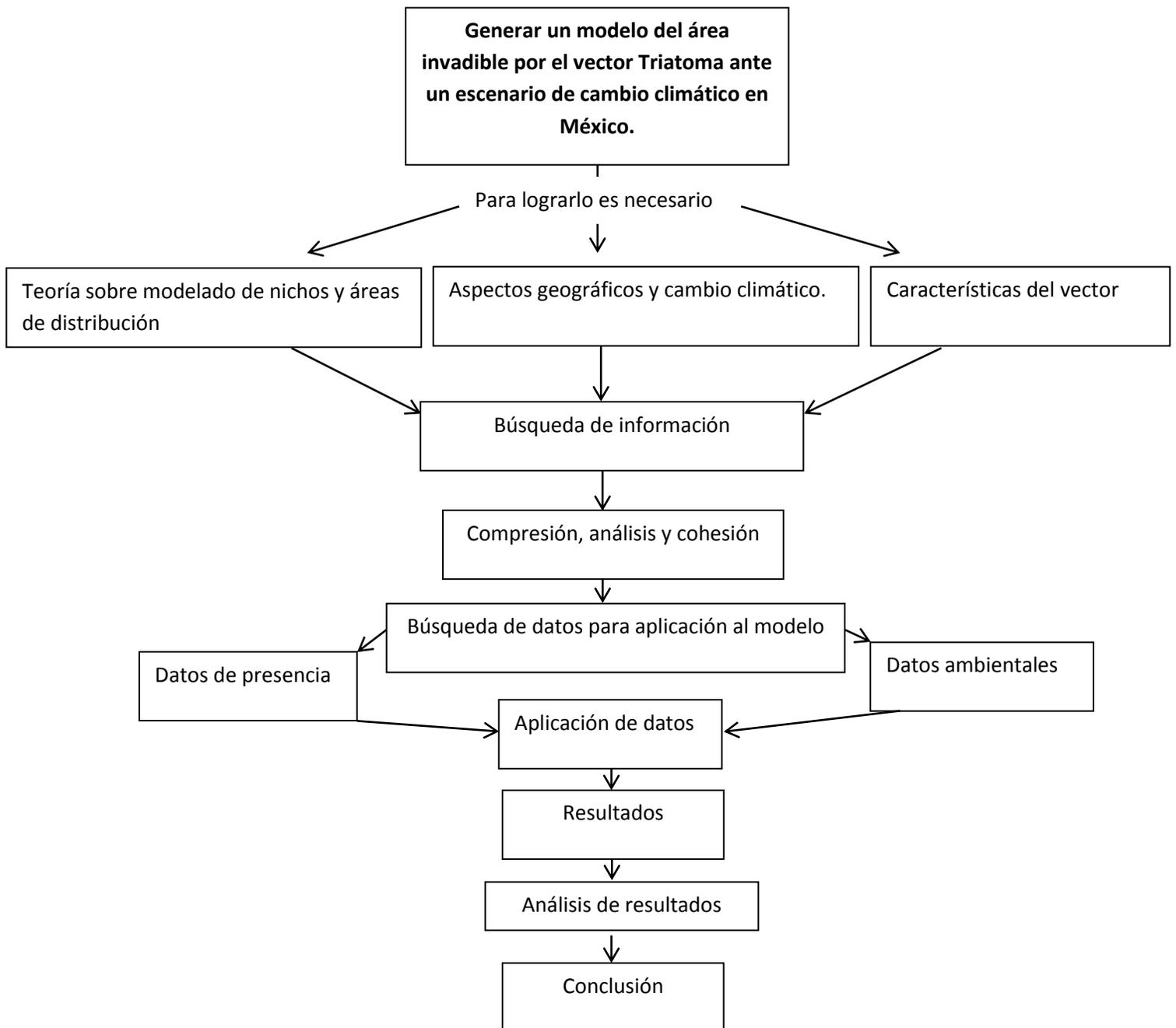
Argentina y México los países que se llevan la peor parte, aunque, añade, la enfermedad de Chagas se está expandiendo más allá de las regiones tropicales y subtropicales. El estudio añade que los costos económicos globales de Chagas son mayores que los de otras enfermedades importantes como el rotavirus y cáncer de útero, la enfermedad de Chagas se desarrolla lentamente, la gente sólo presenta problemas cardíacos con el paso del tiempo y esto hace que la enfermedad con lleve gastos ocultos y termine siendo mucho más costosa de lo que la gente calcula, dice Bruce Lee, profesor asociado de la Universidad de Pittsburgh, Estados Unidos, y autor principal del estudio.

3.7 Conclusión capitular

Es importante recalcar puntos clave de este capítulo , el vector es sensible a pequeñas variaciones de temperatura y humedad, en ambientes cálidos puede tener dos generaciones cada año, el rango óptimo de temperatura esta entre 26 °C y 30°C, se alimenta tanto de humanos como de animales que conviven con el humano, México tiene al menos 28 especies que son portadoras de la enfermedad, de las cuales 19 son intra o peri domiciliar, entre mayor accesibilidad tenga la vivienda como grietas o construcciones de madera será un ambiente ideal para el vector, la forma más común de transmisión de la enfermedad es por picadura, es un severo problema de salud en México y no se restringe a zonas rurales. Todos estos factores propician el avance del vector en el país, por lo tanto el riesgo de contagio aumenta.

4. METODOLOGÍA, MODELADO DE NICHO Y RESULTADOS

Para lograr el modelo, fue necesario seguir una metodología, este proceso fue de cierta forma intuitivo, lo que se buscaba era lograr unir los conocimientos teóricos, los conocimientos geográficos y lograr como resultado la distribución geográfica del vector plasmada en un mapa. Para mayor comprensión se muestra el siguiente esquema metodológico:



A lo largo de la investigación se siguió la metodología anteriormente planteada, los pasos que se han seguido para poder llegar a el objetivo de la investigación surgieron de la necesidad de llevar la teoría de modelado a la práctica, una vez que se había comprendido la parte teórica y conceptual se buscaron todos los datos necesarios para poder crear el modelo, la selección de los datos se dio siguiendo las condiciones teóricas marcadas en el capítulo uno, el tratamiento de los datos surge de la necesidad de homogeneizar toda la información a extensiones con las que se pudiera trabajar en Maxent, Quantumgis y ArcGis.

4.1 Datos de presencia

Se utilizaron datos de distribución geográfica de *Triatoma* que se obtuvieron de un muestreo que se realizó en 2014 por parte del CENAPRECE y que consistió en la recolección del vector dentro de las viviendas en los estados de Yucatán, Baja California, Campeche, Veracruz, Oaxaca, Guerrero, Puebla, Morelos, Estado de México, Hidalgo, Michoacán y Jalisco. Este muestreo constaba de 3000 datos, de los cuales 792 fueron presencias (Figura 4.1). Esta información fue digitalizada utilizando la herramienta de QGIS; cada punto se localizó utilizando una extensión llamada openlayers que brinda una capa base de Google satélite; también se necesitó la información de las localidades rurales y urbanas del INEGI, después del cual se generó un shapefile de puntos; se obtuvieron las coordenadas geográficas de cada punto y se migraron a la hoja de Excel, generando tres filas, lo que es necesario debido a que el programa Maxent necesita la información de presencias en ese orden.

<i>Triatoma</i>	X	Y
-----------------	---	---

Muestreo de Triatoma intra-domiciliar 2014

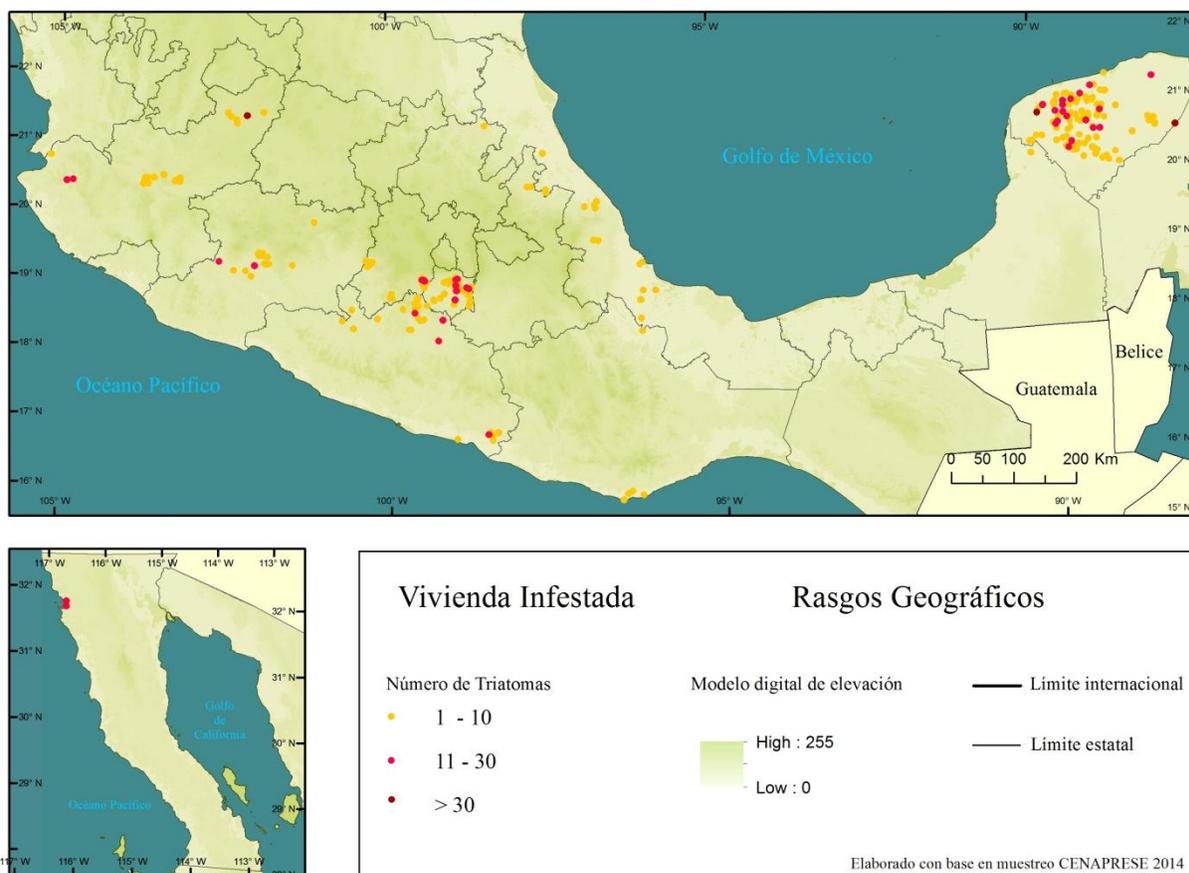


Figura 4.1 Basado en CENAPRESE, 2014

No obstante, esta información era insuficiente para modelar todo el territorio mexicano, por lo que se realizó una búsqueda bibliográfica para poder obtener puntos del resto del país; cabe mencionar que fue muy complicado encontrar información de este tipo, aun así, se realizó la búsqueda en todas las fuentes pertinentes, revistas nacionales e internacionales, actas de congresos, tesis de postgrado, informes nacionales e internacionales sobre la enfermedad de Chagas y artículos relacionados con los triatomas o la enfermedad de Chagas. Se obtuvieron 508 datos de las siguientes publicaciones (figura 4.2)

Muestreo bibliográfico

Publicación	Número de Muestras
Infección Natural De Chinchas Con <i>Trypanosoma Cruzi</i> Asociadas A La Vivienda Humana En México Vianey Vidal-Acosta, Sergio Ibáñez-Bernal, Carmen Martínez-Campos. 2000	21
Revisión De 13 Especies De La Familia <i>Triatominae Hemiptera: Reduviidae</i> Vectores De La Enfermedad De Chagas, En México Salazar-Schettino Paz Maria, Rojas-Wastavino Glona Elena, Cabrera-Bravo Margarita, Bucio-Torres Martha Ilienez, Martínez-Ibarra José Alejandro, Monrov-Escobar Maria Carlota, Rodas-Retana Antonieta, Guevara-Gómez Yolanda, Vences-Blanco Mauro Omar Ruiz-Hernández Adela Luisa. 2010	9
Tripanosomiasis Americana Chagas Dr. Fredy S. Mendoza Palmero Jefe Del Departamento De Enfermedades Transmitidas Por Vector. 2014	4
Atlas Of Mexican <i>Triatominae (Reduviidae: Hemiptera)</i> 2015 And Vector Transmission Of Chagas Disease Janine M Ramsey, A Townsend Peterson, Oscar Carmona-Castro, David A Moo-Llanes, Yoshinori Nakazawa, Morgan Butrick, Ezequiel Tun-Ku, Keynes De La Cruz-Félix, Carlos N Ibarra-Cerdeña. 2015	411
Nuevos Registros Geográficos Y Notas De Infección D E <i>Triatoma Rubida (Uhler) (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae)</i> En Nuevo León Y Coahuila, México Martínez-Tovar, J. G., J. J. Rodríguez-Rojas, W. Arque-Chunga, L. A. Ibarra-Jtnrez, J. A. Dávila-Barboza, I. Fernández-Salas & E. A. Rebollar-Téllez. 2013	28
Chihuahua No Existe El Mal De Chagas Aquí El Heraldo De Chihuahua 2 De Agosto De 2008 Http://Www.Oem.Com.Mx/Esto/Notas/N796816.Htm	5
Development Of <i>Triatoma Rubida Sonoriana, Triatoma Barberi, And Meccus Mazzottii (Heteroptera, Reduviidae)</i> Under Laboratory Conditions J. A. Martínez-Ibarra, B. Nogueta-Torres, E. Paredes González, R. Alejandro-Aguilar, M. Solorio-Cibrián, S. P. Barreto, H. I. Gómez-Estrada, And J. C. Trujillo-García 2005	12
Seroprevalencia Y Vectores De La Enfermedad De Chagas En La Región Carbonífera De Coahuila, México José Gerardo Martínez Tovar 2014	18

Figura 4.2 Búsqueda bibliográfica

Los datos fueron digitalizados con la herramienta QGIS y, de igual manera que la información anterior, se obtuvieron las coordenadas geográficas de cada punto; esa información se capturó en Excel, para su posterior procesamiento. Con esta nueva información se tuvo un total de 1300 datos de ubicación del *Triatoma* (Figura 4.3).



Figura 4.3 Elaboración propia, basado en recopilación bibliográfica

Sin embargo, era posible que no todos los datos que se recopilaron fueran presencias reales, ya sea porque hubiera habido algún error humano en las investigaciones o al momento de hacer el muestreo. Para que estos errores no afectaran de manera significativa el modelo, se seleccionó al azar 10% de los datos recolectados, resultando en 130 puntos de presencia de *Triatoma*.

Se unieron las dos tablas de Excel y de forma aleatoria se obtuvieron 130 puntos; se generó un nuevo archivo en Excel con los 130 puntos aleatorios, siguiendo el mismo orden en las filas. Al momento de guardar se cambió la extensión de .xlsx a .csv, ya que Maxent sólo acepta esa extensión.

4.2 Datos ambientales

Estos datos se obtuvieron del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México por medio de la Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales a través del siguiente portal:

<http://atlasclimatico.unam.mx/atlas/kml/>.

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático coordinó en el año 2012, el desarrollo de escenarios climáticos regionales con base en 15 Modelos globales de circulación (MGC) propuestos por el Proyecto de Inter-comparación de Modelos Acoplados, fase 5 (CMIP5, por sus siglas en inglés), para generar el reporte de la Quinta Comunicación Nacional de México a la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático, los cuales fueron referidos al período climático 1961-2000 y homogeneizados a la resolución espacial de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$. Los MGC son los siguientes: BCC-CSM1, CAnESM, CNRMCM5, CSIRO-Mk3, MPI-ESM-LR, INM, NCC-NorESM1, IPSLcm5a-Ir, GISS-E2-R, MIROC-esm, MIROC5, GFDL-CM3, MIROC-ESM-CHEM, HADGEM2-ES y MRI-CGCM3.

Con coeficientes 4.5 y 8.5 de forzamiento radiactivo (expresado en W/m^2), denominados Trayectorias Representativas de Concentraciones (RCP, por sus siglas en inglés), se seleccionaron cuatro MGC: CNRMCM5, GFDL_CM3, HADGEM2-ES Y MPI_ESM_LR. Y se procesaron con alta resolución espacial (30" x 30") considerando el efecto del relieve topográfico, para los coeficientes 4.5 y 8.5 de forzamiento radiactivo, con horizontes a futuro cercano (2015-2039), futuro medio (2045-2069) y a futuro lejano (2075-2099).

Debido a la accesibilidad de los datos, en esta investigación el MGC empleado fue el CNRMCM5, se eligió un coeficiente de 4.5 es decir de emisiones bajas puesto que a lo largo de la búsqueda de información oficial acerca del cambio climático se observó que el panorama planteado es de bajas emisiones, esta investigación busca entre otras cosas, aportar conocimiento a dependencias gubernamentales, así mismo se emplea un horizonte a futuro medio entre los años 2045-2069, utilizando las variables de temperatura máxima y temperatura media (Figuras 4.4 y 4.5).

MODELO CNRMCM5. RCP45. HORIZONTE 2045-2069 TEMPERATURA MÁXIMA (°C)



Figura 4.4 Elaboración propia, basado en Uniatmos

MODELO CNRMCM5. RCP45. HORIZONTE 2045-2069. TEMPERATURA PROMEDIO (°C)



Figura 4.5 Elaboración propia, basado en Uniatmos

Las variables de referencia aplicadas al modelo fueron temperatura máxima y temperatura media. Estos parámetros bioclimáticos se calcularon por estación a partir de la base climatológica diaria 1961-2000 del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), actualizada en julio de 2012 y consultada en junio de 2014. Se procesó y estructuró con resolución espacial de 30" x 30" considerando el efecto del relieve topográfico, a partir de los datos de más de 5 mil estaciones de la base climatológica diaria del Servicio Meteorológico Nacional (UNIATMOS, 2015) (Figuras 4.6 y 4.7).



Figura 4.6 Elaboración propia, basado en Uniatmos

CLIMATOLOGÍA DE REFERENCIA PERÍODO 1961-2000 TEMPERATURA PROMEDIO (°C)

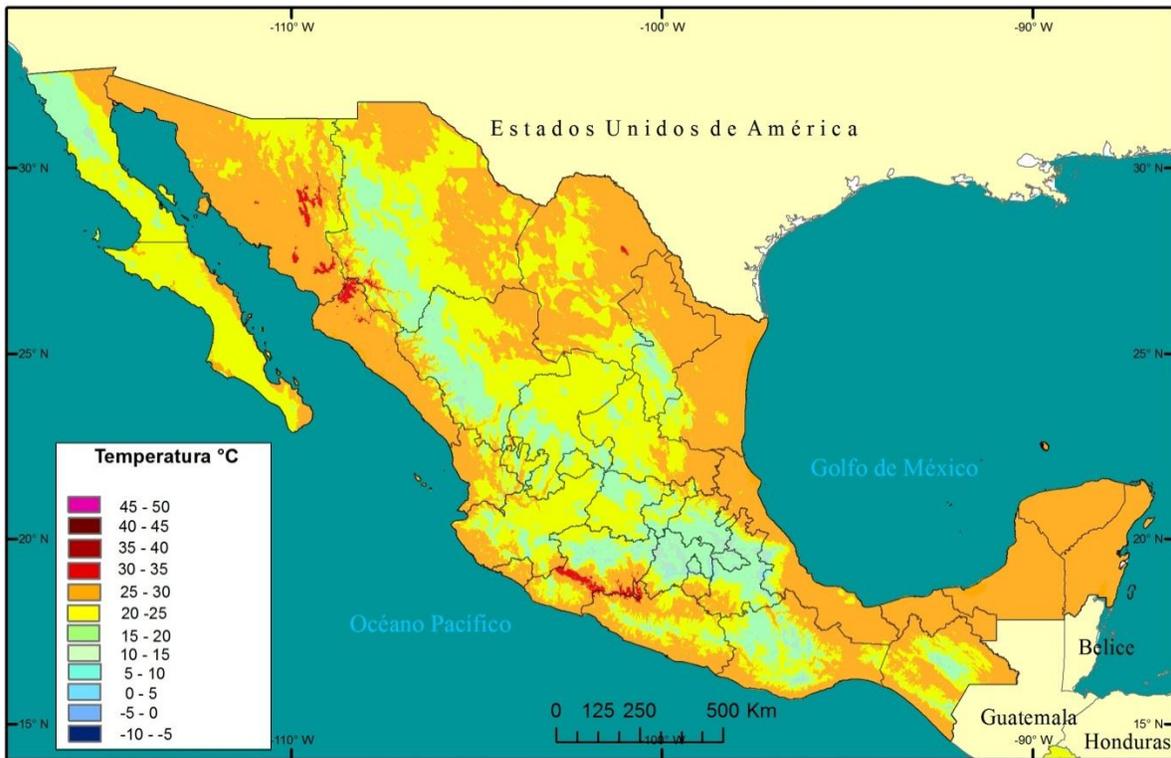


Figura 4.7 Elaboración propia, basado en Uniatmos

4.3 Aplicación del modelo

Se utilizó Maxent Versión 3.3.3k, para el modelado de la distribución geográfica de las especies con base en la máxima entropía, con el formato de salida Logistic puesto que la investigación tiene una perspectiva geográfica (G), que está representada por los pixeles, se está buscando la probabilidad de encontrar a la especie dentro del pixel x, sin embargo no se tienen datos de ausencias estrictas, entonces la salida logistic estima la probabilidad de presencia asumiendo que el diseño de muestreo es tal que las localidades de presencia típicas tienen una probabilidad de presencia de alrededor de 0.5, debido a esta premisa es posible buscar la probabilidad. Un 25 en Random test porcentaje con el fin que tome al azar el 25% de la muestra para realizar un test y determinar si la predicción es buena, mostrándolo con la curva ROC, este porcentaje

según Phillips y Dudík (2008) es idóneo para la validación del modelo. Un Background de 10069, que es el que calcula el programa después de brindarle los datos de presencia y se mantuvieron los valores por defecto que son el 0.5 de probabilidad de observar a la especie en zonas típicas. Se introdujeron los datos de presencia en formato .csv y las variables climáticas presentes y futuras.

4.4 Resultados

En la figura 4.8 se muestra el primer resultado arrojado por el modelo, se trata de la probabilidad de encontrar al vector en un área en tiempo presente, es decir Go, que teóricamente quiere decir que en las áreas donde la probabilidad de encontrar al vector es alta, las tres variables A, B y M coinciden.



Figura 4.8 Elaboración propia, resultados.

En la figura 4.9 se aprecia como Maxent entrega el resultado de procesar las variables ambientales de referencia (presente), los puntos de presencia y la variable de cambio climático; debido a que se introdujo la variable de cambio climático ahora se está modelando G_t es decir el área invadible, es decir, teóricamente las condiciones A y B están presentes.



Figura 4.9 Elaboración propia, resultados.

Ambos mapas se expresan en tonalidades rojizas, indicando que entre más intenso es el color, mayor probabilidad de presencia en el píxel x , estos resultados se obtienen de buscar una distribución de la probabilidad de estar en un píxel dado que se sabe que la especie está presente, maximizando la cantidad pero que esté sujeta a la medida de la variable que se proporcionó, esa restricción hace que la distribución no sea completamente plana.

4.5 Validación del modelo

Dado que el modelo es una abstracción del sistema real, hay que determinar si existe una correspondencia entre el sistema real y el modelo. A fin de lograr este importante objetivo hay que recurrir a la validación del modelo. La validación, se refiere a la construcción de un modelo correcto. La validación es el proceso de determinar si el modelo, como abstracción, es una buena representación del sistema. Usualmente la validación se consigue a través de la calibración del modelo, Cuando se valida un modelo se establece que el modelo es una representación creíble del sistema real. (Álvarez, 2011).

Una de las principales herramientas utilizadas para validar ENM/SDM es la llamada Receiver Operating Characteristic (ROC), una curva que describe la tasa de identificación correcta de presencias (sensibilidad, en las y) contra la tasa de falsas alarmas (especificidad, en las x), pero para obtener los valores de sensibilidad y especificidad es necesario utilizar la así llamada matriz de confusión (Figura 4.10) (CONABIO, 2015), donde A es un verdadero positivo o una predicción correcta, B es un falso positivo o un error de comisión, una sobrepredicción, C es un falso negativo o error de omisión y D es verdadero negativo o una ausencia correctamente identificada. En ENM/SDM los errores de omisión significan clasificar equivocadamente un dato de gran fuerza, que es una ocurrencia, tal vez respaldada por un ejemplar físico. Por el contrario, los errores de comisión significan clasificar como ausentes puntos de muchos tipos, en donde la especie puede estar ausente por una variedad de razones, o simplemente no haber sido detectada.

	Presencia real	Ausencia real
Presencia predicha	A	b
Ausencia predicha	C	d

Figura 4.10 Matriz de confusión

Entonces tenemos que

Sensibilidad es $[a/(a+c)]$ la fracción o proporción de verdaderos positivos.

Especificidad es $[b/ (b+d)]$ la fracción o proporción de verdaderos negativos. En el caso de que no se cuente con ausencias verdaderas, la abscisa de la ROC no es la proporción de "falsas alarmas", sino la proporción de área predicha por el modelo.

Anteriormente, se mencionó que Maxent realiza un test para saber si la predicción del modelo es buena, tomando al azar el 25% de los datos, el resultado de este proceso es la siguiente Figura 4.11 de la curva ROC

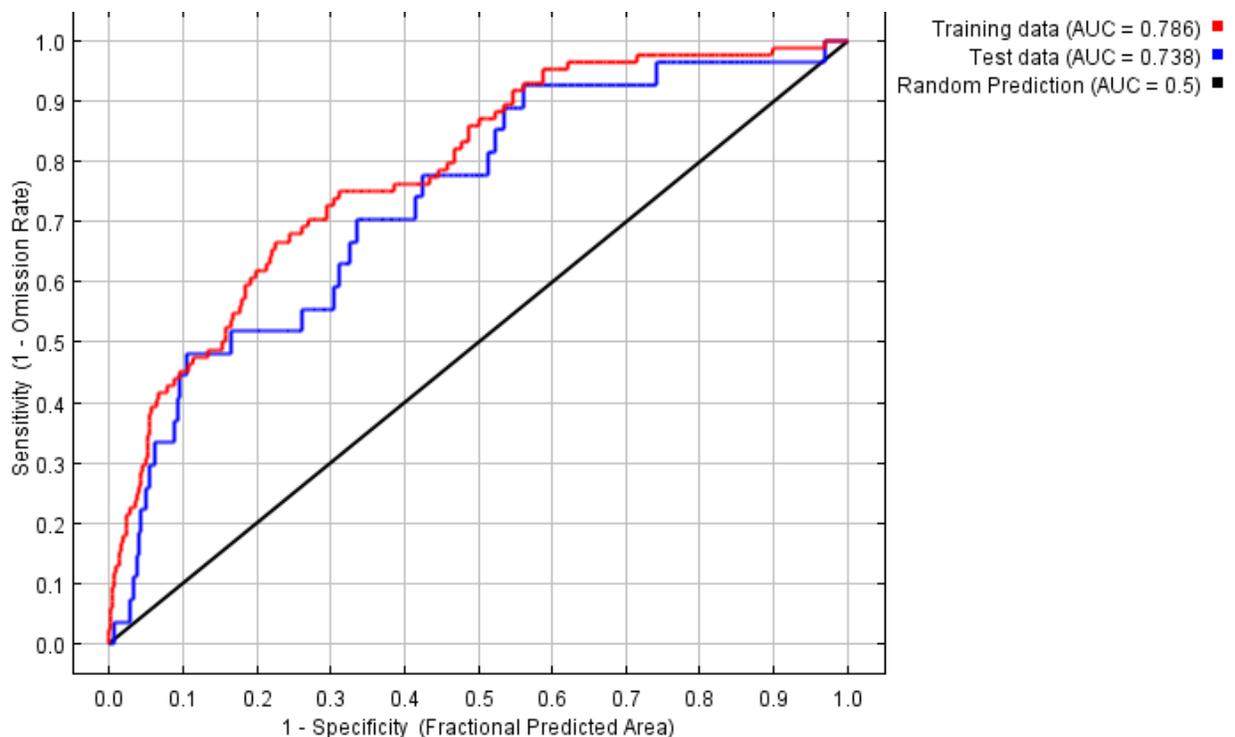
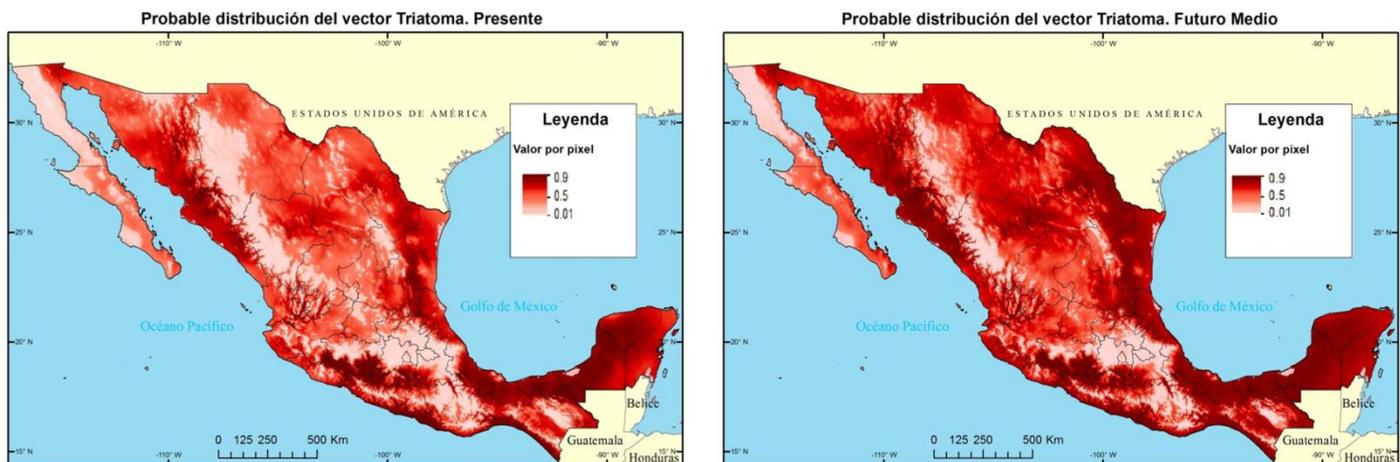


Figura 4.11 Curva ROC

Es normal que La línea roja se muestre mayor que la línea azul, la línea roja muestra el ajuste del modelo a los datos de entrenamiento y es la auténtica prueba de la capacidad que tiene el modelo de predecir. La línea oscura muestra lo se esperaría si el modelo no fuese mejor que el azar (Phillips y Dudík 2008). Entonces, tenemos que el modelo muestra una capacidad predictiva buena ya que en poca área el valor de la curva ROC es de .78, el error de omisión es bajo y está considerablemente por encima del azar.

4.6 Interpretación del modelo

Según los resultados de esta investigación, si se llega a presentar un cambio climático calculado con emisiones de 4.5 en el futuro medio (INECC, 2012), probablemente el vector *Triatoma* se vería beneficiado ya que habría más áreas con condiciones climáticas idóneas que podría invadir. Se muestran dos mapas, el primer mapa es de la probable distribución presente que sería Go área ocupada y el segundo mapa distribución futura es decir G1 área invadible.



En el escenario de cambio climático el rango de temperatura promedio de 25 a 30 °C se ubica en aproximadamente el 48 % del territorio mexicano, si la temperatura se

encuentra entre los 30° C, el vector aumenta su tasa de alimentación para evitar la deshidratación. Si la temperatura se eleva, las especies de vectores en el entorno doméstico, pueden desarrollar ciclos de vida cortos y la densidad poblacional aumenta (Carcavallo y Curto de Casas, 1996).

El modelo muestra que en el escenario actual aproximadamente el 46% del país tiene un alto rango de áreas ocupadas por vector, mientras que el 18% del territorio mexicano se encuentra en un rango medio, en el escenario de cambio climático el 57% del territorio resulto estar en un rango elevado y un 15% en un rango medio. Aumento un 10% el área de distribución potencial del vector.

Esto indica que efectivamente el cambio climático beneficia al vector; Ya que surgen áreas invadibles y modifica su comportamiento, a mayor temperatura el metabolismo del vector se acelera, aumentando la densidad poblacional, además debido a la deshidratación que sufre por las altas temperaturas tiene que consumir más alimento, por último se propicia la domesticación de algunas especie puesto que el vector busca sobrevivir a estos cambios ambientales y el confort que ofrecen las casas es perfecto para lograr su objetivo.

El problema principal es que la población mexicana que sufre de déficit habitacional estaría en riesgo mayor de ser contagiada de la enfermedad de mal de Chagas, incluso las personas que habitan casas que cumplen con las descripciones de una vivienda digna, corren el riesgo de ser contagiadas, porque estas viviendas no brindan seguridad hacia vectores artrópodos, puesto que las viviendas facilitan la entrada al vector y ofrecen un hábitat confortable. En la figura 4.12 se muestra los municipios con mayor déficit habitacional del país comparado con las áreas ocupadas por el vector.

Son aproximadamente dos millones de personas (censo INEGI 2010), que corren el riesgo de contagio de la enfermedad, otro problema es que no hay difusión sobre la enfermedad, las personas conviven con el vector diariamente y no saben que ese insecto les puede transmitir una enfermedad mortal. Además, datos recientes sugieren que los vectores han tolerado modificación del paisaje y el desarrollo urbano y no están limitados a las poblaciones rurales. Más del 75% de la población mexicana ahora reside en las comunidades urbanas. Este proceso de urbanización, junto con fuertes lazos culturales con las comunidades ancestrales, puede proporcionar mecanismos para la continua vector de dispersión humana asistida. La mayoría de los vectores mexicanos han tolerado modificación del paisaje y como verdaderos oportunistas, han aprovechado los recursos y refugios alternativos para mantener poblaciones en hábitats humanos modificados. (Ramsey y colaboradores, 2015).



Figura 4.12 Elaboración propia, resultados comparados con déficit habitacional

Ahora, es importante mencionar que existe un estudio (Ramsey 2015) que muestra que en general, todas las especies *Triatoma* tienen rangos similares, y tienen porcentajes de distribución mayores a los que se proyectan en esta investigación; se plantea que *Triatoma protracta* cubre entre 1,2 a 55,1% del país, *Triatoma phyllosoma* cubre entre 1,7 a 43,8% y *Triatoma dimidiata* cubre entre 3,2 a 20,1% del país.

El modelo de este trabajo no llegó a esos porcentajes debido a dos causas, la primera fue la falta de información de presencias estrictas y la segunda causa fue que la información de presencias con la que se contaba no especificaba a que especie pertenecía, así que se tuvo que trabajar con el género *Triatoma*, eso significa las características de x especie pudieron ser mayoría en el muestreo y como consecuencia estos resultados bajos de área ocupada. Sin embargo el patrón de distribución que se muestra en ambos trabajos es similar y esta investigación es una buena aproximación a la realidad que se está viviendo en México.

El pronóstico es claro y sencillo, si se dan las condiciones climáticas adecuadas para el vector es probable que este colonice nuevas áreas; estas áreas están ocupadas por poblaciones humanas que viven en condiciones carentes de vivienda, por lo que estas personas estarán expuestas a ser infectadas por el vector.

CONCLUSIÓN

En el presente trabajo se ha modelado la distribución del vector *Triatoma* sobre un escenario de cambio climático en un futuro medio en México, obteniendo una representación cartográfica, que sintetiza los resultados obtenidos de la interacción de las variables scenopoéticas y del espacio geográfico. Esta información puede ser utilizada en el programa de prevención y control de vectores PHS de México, ya que no se tiene actualizada la información sobre la distribución del vector y tampoco se cuenta con información clara acerca del comportamiento espacial que tendría el vector *Triatoma* en un escenario de cambio climático. No hubo una comparativa con datos epidemiológicos puesto que la investigación es acerca de la distribución del vector. Si el vector se encuentra en determinado lugar no es garantía de que exista un contagio, como se expuso a lo largo del trabajo, la probabilidad de contagio aumenta si conjuntan ciertas variables, en este caso aumento de temperatura y déficit habitacional.

Con base en lo anterior se exponen las siguientes conclusiones:

- La geografía tiene mucho que aportar en este tipo de trabajos, uno de los problemas más frecuentes para poder emplear modelos de nicho son los datos de presencia y ausencia, un geógrafo puede aportar esta información de forma precisa, información que es vital para la investigación, es necesario que en los trabajos sobre vectores haya colaboración multidisciplinaria. La mayoría de los datos que se recaudan no cuentan con coordenadas geográficas, y para poder agregarlas es necesario hacer una búsqueda de forma remota con el manejo de sistemas de información geográfica.

- Las investigaciones e información acerca del *Triatoma* en México son reducidas, esto ha generado una deficiencia en el conocimiento de áreas de distribución del vector, la modelación de nicho y los sistemas de información geográfica son herramientas fundamentales, que brindan información espacial y temporal para construir el conocimiento. Una de las intenciones de este trabajo fue orientar a las personas que deseen hacer un modelado de nicho ya que se explican detalladamente los pasos que se siguieron, considerando que todo geógrafo que le interese la biogeografía debería saber utilizar estas herramientas.
- La metodología utilizada marcó la coherencia del trabajo, se obtuvieron resultados satisfactorios, se mostró detalladamente los pasos planteados para realizar la investigación. Sin embargo a lo largo del desarrollo del trabajo surgieron diversas complicaciones, la más significativa fue lograr expresar la unión entre los conceptos del discurso ortodoxo, vector y modelación. No obstante la estructura que se planteó en un principio, marco el eje de la investigación y esto ayudo a esclarecer las ideas.
- Las características geográficas influyen tanto para la distribución del ser humano como para el vector, la enfermedad de Chagas está estrechamente ligada a las condiciones precarias de vivienda. Las limitaciones en el desarrollo del vector están condicionadas con la temperatura y humedad. El cambio climático es un componente importante en la distribución temporal y espacial de los vectores, ya que brinda condiciones ambientales que favorecen la expansión o influyen en la dinámica de su transmisión.

- Los *Triatomas* en condiciones de sequía se alimenta con mayor frecuencia y las densidades poblacionales aumentan, además las especies silvestres con tendencia a invadir hábitats humanos buscan ambientes más estables.
- Tanto la población urbana como la rural están en riesgo de contraer la enfermedad, si se el vector y la población están ocupando el mismo espacio, sin embargo, el riesgo aumenta cuando la población tiene déficit habitacional, ya se le facilita el acceso al vector.
- Según los datos recolectados en esta investigación se demostró que es probable que la distribución geográfica del vector *Triatoma* se modifique, debido al cambio climático y el déficit habitacional. Ya que los resultados mostraron que la probabilidad por pixel de encontrar a la especie aumentó y el área invadible incremento en un 10 % respecto al modelo del presente, a su vez el déficit habitacional permite el acceso del vector a las viviendas, tanto el cambio climático como el déficit habitacional propician la tendencia de los triatomas silvestres a invadir asentamientos humanos, como consecuencia aumenta el riesgo de contagio de la enfermedad. Comprobando la hipótesis de este trabajo.

Referencias Bibliográficas

1. Álvarez, H. (2011). Introducción a la Simulación. Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá.
2. Barve, N., Lira, A., Soberon, J. y Peterson T. (2014). Nichos y Áreas de Distribución. D.F, México: Nicho Conabio. [<http://nicho.conabio.gob.mx/>]
3. Berrueta, T. (2014). Enfermedad de Chagas. Departamento de Microbiología y Parasitología, Facultad de Medicina, UNAM. México.
4. Brown, J. (1995). Macroecology. University of Chicago Press. Chicago.
5. Carcavallo, R.U. and S.I. Curto de Casas. (1996). Some health impacts of global warming in South America: vector-borne diseases. *Journal of Epidemiology*, 6(4) pp. 153–157.
6. Carcavallo, R. U. (1999). Climatic Factors Related to Chagas Disease Transmission. *Memorias del Instituto Oswaldo Cruz* Vol. 94(I) pp.367-369. Rio de Janeiro.
7. CENAPRECE. (2015). Manual de diagnóstico y tratamiento de la enfermedad de Chagas. Secretaría de Salud. México.
8. CONABIO. (1998). La diversidad biológica de México: Estudio de País, 1998. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

9. CONAPO. "Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México 2010," Consejo Nacional de Población en México, México, 2012.
10. Curto de Casas, S.I., R.U. Carcavallo, C.A. Mena Segura, I. Galíndez Girón, J.J.Burgos. (1994). Bioclimatic factors of Triatomine Distribution. Techniques for studies on climatic change. Entomol. Vol. 1(2)pp. 51-67.
11. DOF. (2014). PROGRAMA Nacional de Vivienda 2014-2018. Secretaría de Gobernación. México.
12. Dujardin Jean-Pierre, J. Schofield, F. Panzera, A. Matias and J. De La Riva. (2002). Los vectores de la enfermedad de Chagas, Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer, Bruselas. [<http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010055328>].
13. Elith, J., H. Graham, C., P. Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., J. Hijmans, R., Huettmann, F., R. Leathwick, J., Lehmann, A., Li, J., G. Lohmann, L., A. Loiselle, B., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., McC. M. Overton, J., Townsend Peterson, A., J. Phillips, S., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., E. Schapire, R., Soberón, J., Williams, S., S. Wisz, M. and E. Zimmermann, N. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. Ecography. Vol. 29 pp. 129–151
14. Elith, J., Phillips, J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y., Yates C. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. Diversity and distributions. Vol 17, Issue 1, pp.43-57.

15. Fabrizio, M. C. (2011). Modelización y estudio de la propagación de la infección por *Trypanosoma cruzi* en escenarios rural y urbano, Tesis de doctorado, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad De Buenos Aires, Argentina.
16. Ferreira R.A, Lazzari CR, Lorenzo MG, Pereira MH. (2007). Do Haematophagous Bugs Assess Skin Surface Temperature to Detect Blood Vessels? PLoS ONE 2(9): e932. doi:10.1371/journal.pone.0000932
17. FONHAPO. (2010). Diagnóstico de las necesidades y rezago en materia de vivienda de la población en pobreza patrimonial. Secretaría de desarrollo social. México.
18. Gaston, K. (2003). The Structure and Dynamics of Geographic Ranges. Oxford University Press. Oxford.
19. Hubbell, S. (2001). The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography. Princeton University Press. New Jersey.
20. Hutchinson, G. (1978). An introduction to population ecology. Yale University Press. New Haven.
21. INEGI. (1991). Datos básicos de la geografía de México. INEGI. México.
22. INEGI. (1994). Estadísticas del Medio Ambiente México 1995b. INEGI. México.
23. INEGI. (1997). Estadísticas del Medio Ambiente México. INEGI. México.
24. INEGI. (2008). Características edafológicas, fisiográficas, climáticas, e hidrológicas de México. INEGI. México.

25. IPCC. (2007). Cambio climático y biodiversidad. Unidad de Apoyo Técnico del Grupo de Trabajo I del
[IPCC:https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/es/faq-3-1.html]
26. Lee, B., Bacon, K., Bottazzi, M. and Hotez. P. (2013). Global economic burden of Chagas disease: a computational simulation model. Elsevier.
27. Martínez, J., B. Noguera-Torres, E. Paredes Gonzaléz, R. Alejandre-Aguilar, M. Solorio-Cibrián, S. P. Barreto, H. I. Gómez-Estrada, and J. C. Trujillo-García. (2005). Development of *Triatoma rubida*, *Triatoma barberi*, and *meccus mazzottii* (heteroptera, reduviidae) under laboratory conditions. Journal of the American Mosquito Control Association Vol. 21, Issue 3, pp.310-315
28. Martínez, N. (2010). APUNTES SOBRE MODELACIÓN DE NICHOS ECOLÓGICOS. Laboratorio de Evolución Molecular y Experimental, del Instituto de Ecología de la UNAM. México.
29. Martínez, J. G., J. J. Rodríguez-Rojas, W. Arque-Chunga, L. A. Ibarra-Jtnrez, J. A. Dávila-Barboza, I. Fernández-Salas & E. A. Rebollar-Téllez. (2013). Nuevos Registros Geográficos Y Notas De Infección D E *Triatoma Rubida* (Uhler) (Hemiptera: Reduviidae:Triatominae) En Nuevo León Y Coahuila, México. Acta Zoológica Mexicana (n.s.), 29(1) pp. 227-233.
30. Martínez, J. (2014). Seroprevalencia Y Vectores De La Enfermedad De Chagas En La Región Carbonífera De Coahuila, México. UANL. México.

31. McCarthy, J. J., O. F. Canziani, N. A. Leary, D. J. Dokken and K. S. White. (2001). Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
32. McMichael, A.J., U. Confalonieri, A. Githeko, A. Haines, R.S. Kovats, P. Martens, J. Patz, A. Sasaki, and A. Woodward. (2000). Human health In: Special Report on Methodological and Technological Issues in Technology Transfer: A Special Report of IPCC Working Group III, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
33. Meave, J. y Martínez, A. (2005). La biogeografía, disciplina integradora de las ciencias biológicas UNAM, D.F. México.
34. Mendoza, F. (2014). Tripanosomiasis Americana Chagas. Secretaría de salud del estado de Veracruz. México.
35. Ministerio de salud. (2010). Guía para el control vectorial de la enfermedad de Chagas. Argentina.
36. Mullen, G. and Durden, L. (2002). Medical and Veterinary Entomology. Elsevier.
37. OMS. (2002). Control of Chagas disease. Second Report from the Committee of Experts. Series of Technical Reports 905. pp.117 Switzerland.
38. OMS. (2016). Centro de prensa, Enfermedades transmitidas por vectores. Nota descriptiva n° 387: [<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs387/es/>]

39. OMS. (2017). Centro de prensa, La enfermedad de Chagas (tripanosomiasis americana). [<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs340/es/>]
40. ONU. (1992). "Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre El Cambio Climático." Nueva York E.U.
41. Ortiz, M., M. Anaya y J. Estrada, (1994). Evaluación, cartografía y políticas preventivas de la degradación de los suelos. Colegio de Postgraduados. Universidad Autónoma de Chapingo/Conaza. México.
42. Phillips, S., R. Anderson and R. Schapire. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, Vol 190/3-4 pp 231-259.
43. Phillips, S. and M. Dudik. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, Vol. 31, Issue 2, pp. 161–175.
44. PAHO. (2014). Pan American Health Organization. Día Mundial de la Salud 2014: [http://www.paho.org/world-health-day-2014/?page_id=379&lang=es]
45. Ramsey, J. A Townsend Peterson, Oscar Carmona-Castro, David A Moo-Llanes, Yoshinori Nakazawa, Morgan Butrick, Ezequiel Tun-Ku, Keynes De La Cruz-Félix, Carlos N Ibarra-Cerdeña. (2015). Atlas Of Mexican Triatominae (Reduviidae: Hemiptera) 2015 And Vector Transmission Of Chagas Disease. *Memorias del Instituto Oswaldo Cruz*. pp.1-14. Rio de Janeiro.
46. Rzedowski, J. (1986). *Vegetación de México*. Limusa. México.

47. Salazar, P., Bucio, M., Cabrera, M., Bautista, J. (1997). First Case of Natural Infection in Pigs. Review of *Trypanosoma cruzi* Reservoirs in Mexico. Memorias del Instituto Oswaldo Cruz Vol. 92(4) pp. 499-502. Rio de Janeiro.
48. Sánchez, A. (1998). Síntesis geográfica de México. Trillas. México.
49. Schofield, C.J. (1988). Biosystematics of the Triatominae. Biosystematics of Haematophagous Insects. Clarendon press. Oxford.
50. Schofield, C. J., L. Diotaiuti y J.P. Dujardin. (1999). The Process of Domestication in Triatominae. Memorias del Instituto Oswaldo Cruz. Vol. 94(1) pp.375-378. Rio de Janeiro.
51. SEDESOL, CONAPO e INEGI. (2012). Delimitación de las zonas metropolitanas de México. México, p. 14.
52. SEMARNAT. (2012). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México Compendio de Estadísticas Ambientales Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Secretaría De Medio Ambiente Y Recursos Naturales. México D. F.
53. SEMARNAT. (2014). Versión de Difusión del Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018. México D.F.
54. Smith, R. y Smith, T. (2006). Ecología. Cuarta edición, Pearson Addison Wesley, Madrid España.
55. Soberón J. y Curtis P. (2009). Evolución de los nichos ecológicos. Universidad de Kansas. Estados Unidos.

56. Soberón, J. y Peterson, T. (2005). Interpretation of models of fundamental ecological niches and species distributional areas. *Biodiversity Informatics*, pp. 1-10.
57. Soberón J. (2012). Las probabilidades de Maxent.
58. Sulbarán, J. (2009). Modelo de distribución espacial del hábitat de Triatomíneos y zonas de riesgo de la enfermedad de Chagas en los municipios Andrés Bello y Morán del estado Lara, Venezuela. Universidad de los Andes. Venezuela.
59. UNAM, (1990). Atlas nacional de México. Instituto de Geografía. México.
60. Vidal, V., Bernal, S., Martínez, C. (2000). Infección Natural De Chinchas Con *Trypanosoma Cruzi* Asociadas A La Vivienda Humana En México. *Salud Publica Mex* 2000;42:496-503