



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA
PROGRAMAS MULTIDISCIPLINARIOS DE POSGRADO EN CIENCIAS
AMBIENTALES**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**SISTEMA DE VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA SANITARIA PARA LA HUASTECA
POTOSINA. UNA PLATAFORMA PARA LA VIGILANCIA DE LA ENFERMEDAD
DE CHAGAS**

PRESENTA:

M.C. HUGO MEDINA GARZA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. CARLOS CONTRERAS SERVÍN

ASESORES:

DRA. MARÍA GUADALUPE GALINDO MENDOZA

DR. JOSÉ DE JESÚS MEJÍA SAAVEDRA

30 de agosto de 2017

CRÉDITOS INSTITUCIONALES

PROYECTO REALIZADO EN:

**LABORATORIO NACIONAL DE GEOPROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN
FITOSANITARIA**

CON FINANCIAMIENTO DE:

AGENCIA ESPACIAL MEXICANA

A TRAVÉS DEL PROYECTO DENOMINADO:

**Proyecto 2622694 Plataforma de Vigilancia Sindrómica y Alerta
Epidemiológica de Vectores en Salud Humana, apoyada en sensores
remotos y geotecnologías.**

AGRADEZCO A CONACyT EL OTORGAMIENTO DE LA BECA-TESIS

Becario No. 247898

**EL DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES RECIBE APOYO ATRAVÉS
DEL PROGRAMA NACIONAL DE POSGRADOS DE CALIDAD (PNPC)**

DEDICATORIA

A Bety

Por que cada uno de mis logros es por ti y para ti, por estar ahí cuando más lo he necesitado y por saber que decir, cuando decirlo y como decirlo, porque ha pesar de lo que has pasado has tenido la fortaleza de cargarnos en hombros cuando así se ha requerido. **LO LOGRAMOS DE NUEVO**

A Joaquín

Por ser lo mejor que me ha pasado en la vida.

A mis padres y hermanos

AGRADECIMIENTOS

A los Programas Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales, por permitirme realizar mis estudios de Maestría y ahora Doctorado, en especial a los profesores que compartieron su experiencia a través de las clases.

A la Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología.

A mi Director de Tesis, Dr. Contreras, por su guía, dirección, apoyo y confianza a lo largo de mi estancia en el doctorado.

A mis asesores, Dr. Mejía y Dra. Galindo, por sus aportaciones y consejos para hacer de esto un buen trabajo y contribuir en mi formación.

A mis sinodales, por las valiosas aportaciones realizadas a este trabajo.

A mi compañera de vida y aventuras.

A mis padres y hermanos.

A Carmelo por su apoyo en las salidas de campo, y a Raul, Candy y Baltazar, por ser mis ojos y oídos en la Huasteca.

A mis amigos y compañeros de generación con quienes compartimos frustraciones y alegrías.

A Lorena, Laura, Farah (cuando estaba) y Gaby de la Agenda Ambiental, por su ayuda en los trámites realizados, chicas, no se que habríamos hecho los alumnos sin ustedes.

A Magy y Gladys, del Langif, por su apoyo y amistad y discúlpenme si alguna vez recibieron algún regaño por mi causa.

A todos aquellos que omití, sin intención claro, y que contribuyeron de manera importante.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
1 CAPÍTULO I. LA ENFERMEDAD DE CHAGAS. CONTEXTO MUNDIAL, NACIONAL Y LOCAL.....	19
1.1 LA ENFERMEDAD DE CHAGAS EN EL CONTEXTO MUNDIAL	21
1.2 LA ENFERMEDAD DE CHAGAS EN MÉXICO	23
1.2.1 Vigilancia de la enfermedad de Chagas en México	26
1.2.2 Marco Jurídico.....	27
1.2.3 Red Nacional de Laboratorios de Chagas. El laboratorio de la Enfermedad de Chagas en México	29
1.3 EL SISTEMA DE SALUD EN MÉXICO	31
1.3.1 Breve historia del sistema de salud en México	32
1.3.2 Situación actual	33
1.3.3 Esquemas tradicional y popular de atención en salud	34
1.3.4 Seguro popular	34
1.3.5 Estructura funcional del sistema de salud en México	35
1.4 LA ENFERMEDAD DE CHAGAS EN LA HUASTECA POTOSINA.....	36
1.4.1 Determinantes en salud en la Huasteca Potosina	39
1.4.2 Factores que favorecen la presencia del vector en la Huasteca Potosina	49
2 CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO TEÓRICO - METODOLÓGICO	54
2.1 FICHA TÉCNICA DE LA ENFERMEDAD DE CHAGAS	55
2.1.1 Enfermedad de Chagas o Tripanosomiasis Americana	55
2.1.2 Identidad.....	56
2.1.3 Etiología	56
2.1.4 Epidemiología	57
2.1.5 Síntomas	58
2.1.6 Tratamiento	58
2.1.7 Transmisión.....	59
2.1.8 Distribución geográfica.....	60
2.1.9 Enfermedad de Chagas en la Huasteca Potosina.....	61
2.1.10 Vectores que la transmiten	65
2.2 METODOLOGÍA	72
2.2.1 Variables	73
2.2.2 Base de datos.....	75
2.2.3 Trabajo de campo	76
2.3 PROPUESTA DE MODELOS	77
2.3.1 Modelado Bayesiano	78
2.3.2 Modelado MAXENT.....	81
2.3.3 Modelado Regresión Logística.....	83
3 CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	86
3.1 TRABAJO DE CAMPO	87
3.2 PROPUESTA DE MODELOS	93
3.2.1 Modelado Bayesiano	94

3.2.1.1	Análisis exploratorio	94
3.2.1.2	Análisis de regresión no espacial de Poisson	96
3.2.1.3	Análisis de la regresión espacial de Poisson	97
3.2.1.4	Discusión.....	99
3.2.2	Modelado MAXENT.....	101
3.2.2.1	<i>Triatoma dimidiata</i>	103
3.2.2.2	<i>Triatoma Mexicana</i>	104
3.2.2.3	<i>Triatoma gerstaeckeri</i>	105
3.2.2.4	Discusión.....	106
3.2.3	Modelo lineal múltiple	107
3.2.3.1	Recolección de datos y procesamiento.....	107
3.2.3.2	Modelaje.....	108
3.2.3.3	Estimación de la densidad Kernel (KDE)	109
3.2.3.4	Modelado de la abundancia de triatominos.....	109
3.2.3.5	Densidad Kernel.....	110
3.2.3.6	Discusión.....	111
3.3	LIMITACIONES DE LOS MODELOS DE DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES.....	113
4	CAPÍTULO IV. PROPUESTA DE PLATAFORMA DE VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA.....	115
4.1	EL COMPLEJO ABORDAJE DE LAS ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTOR.....	115
4.2	VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA	120
4.3	PLATAFORMA INFORMÁTICA	121
5	CONCLUSIONES	128
	BIBLIOGRAFÍA.....	131
	ANEXO.....	139

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Distribución de casos de infección con <i>T. cruzi</i> basados en estimaciones oficiales y estatus de transmisión vectorial. 2006-2009	22
Figura 2.	Temas en que se agruparon las publicaciones disponibles sobre enfermedad de Chagas en México 1928-2004.....	24
Figura 3.	No. de publicaciones en la literatura por Estados en el periodo 1928-2004.....	25
Figura 4.	Flujo de trabajo de la Red Nacional de Laboratorios de Salud Pública.....	29
Figura 5.	Enfermedad de Chagas en la Huasteca Potosina. 2006-2012	37
Figura 6.	Localidades donde se han reportado casos de enfermos de Chagas en el periodo 2002-2012.....	38
Figura 7.	Pérdida de bosques y selvas en la Huasteca Potosina.....	41
Figura 8.	Infraestructura en salud en la Huasteca Potosina.....	42
Figura 9.	Infraestructura en salud en la Jurisdicción Sanitaria V.....	43
Figura 10.	Infraestructura en salud en la Jurisdicción Sanitaria VI	43
Figura 11.	Indicadores asociados a la pobreza en la Huasteca Potosina. 2010	44
Figura 12.	Indicadores asociados a la pobreza en la Huasteca Potosina. 2010	45
Figura 13.	IDH de la Huasteca Potosina.	48
Figura 14.	Convivencia cercana de posibles hospederos del insecto vector.	50

Figura 15. Convivencia cercana de posibles hospederos del insecto vector.	50
Figura 16. Tipos de climas en la Huasteca Potosina. Fuente: LANGIF	52
Figura 17. Temperatura media anual en la huasteca Potosina. Fuente: LANGIF	52
Figura 18. Temperatura mínima en la huasteca Potosina. Fuente: LANGIF	53
Figura 19. Temperatura máxima en la huasteca Potosina. Fuente: LANGIF	53
Figura 20. El material de las viviendas y la convivencia de animales favorecen el contacto con los vectores.....	59
Figura 21. Estimación global de población infectada con <i>Trypanosoma cruzi</i> 2009.....	60
Figura 22. Total de casos de enfermos de chagas en la Huasteca Potosina. 2003 - 2012	61
Figura 23. Pérdida de bosques y selvas en la Huasteca Potosina.....	62
Figura 24. Infraestructura en salud en la Huasteca Potosina.....	63
Figura 25. Distribución de vectores del género <i>triatoma</i> en la República Mexicana.....	65
Figura 26. Distribución de vectores de la enfermedad de Chagas en la Huasteca Potosina	66
Figura 27. Triatomos en viviendas.....	67
Figura 28. Triatomo alimentándose	68
Figura 29. Especies de triatomos reportados en la Huasteca Potosina.....	69
Figura 30. Huevos de triatomos	70
Figura 31. Estadios por los que pasa <i>T. dimidiata</i>	70
Figura 32. Muestreos domésticos y peridomésticos. Se buscaron triatomos en los sitios donde se sospechaba estarían los insectos.	87
Figura 33. Trampas de luz para muestreo silvestre.....	88
Figura 34. Huevecillos colectados en Tanzuyo. Figura 35. Triatomo colectado en Tocooy... ..	88
Figura 36. Vivienda donde se colectaron triatomos domésticos (El Brazil).....	89
Figura 37. Chinche peridoméstica, colectada en la casita (Tocooy).	89
Figura 38. Chinche doméstica, colectada en Tocooy y casa donde se colectó la chinche, Tocooy.	90
Figura 39. Sitio silvestre de colecta, Tocooy. Chinchas en estado ninfal colectadas en Tocooy... ..	90
Figura 40. Total de insectos y huevecillos colectados en los tres muestreos	91
Figura 41. Sitios de colecta	91
Figura 42. Registros en la literatura de triatomos en la Huasteca Potosina	93
Figura 43. Total de personas que forman hogares censales donde el jefe del hogar o su cónyuge hablan alguna lengua indígena.	94
Figura 44. Prevalencia por 100 000 personas de enfermos de Chagas por municipio en la Huasteca Potosina. 2006 – 2012.	94
Figura 45. Riesgo relativo de la enfermedad de Chagas en municipios de la Huasteca Potosina, de acuerdo solo a efectos fijos.....	98
Figura 46. Riesgo relativo de la enfermedad de Chagas en municipios de la Huasteca Potosina, de acuerdo a efectos fijos y efectos aleatorio.	98
Figura 47. Distribución potencial estimada para <i>T. dimidiata</i> en la Huasteca Potosina.	103
Figura 48. Distribución potencial estimada para <i>T. mexicana</i> en la Huasteca Potosina.	104
Figura 49. Distribución potencial estimada para <i>T. gerstaeckeri</i> en la Huasteca Potosina.	105
Figura 50. Relación entre los datos entomológicos observados y ajustados/predichos.	110
Figura 51. Mapa de predicción de abundancia de triatómicos y de enfermos de Chagas.....	111
Figura 52. El modelo ilustra los factores ambientales asociados con la aparición de enfermedades.....	117
Figura 53. Ciclo de las enfermedades infecciosas.....	118

Figura 54. Componentes de la vigilancia epidemiológica y su interacción con los programas de prevención y control..... 121
Figura 55. Diagrama de la plataforma informática. 125

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Casos humanos reportados en la literatura. 24
Tabla 2. Estimación cuantitativa de la Enfermedad de Chagas en las Américas. 26
Tabla 3. Antecedentes del Laboratorio de la Enfermedad de Chagas: 30
Tabla 4. Sistema de salud Mexicano 34
Tabla 5. Población total e indígena en la Huasteca Potosina. 46
Tabla 6. Datos de la enfermedad de Chagas en América y México 57
Tabla 7. Población total e indígena en la Huasteca Potosina. 64
Tabla 8. Requerimientos ambientales y alimenticios de los insectos vectores de la enfermedad de Chagas..... 67
Tabla 9. Resumen de las variables necesarias para el modelado y fuente de donde serán obtenidas 74
Tabla 10. Índice de marginación y variables con que se construye 75
Tabla 11. Total de organismos colectados por método de muestreo..... 92
Tabla 12. Parámetros del análisis de regresión Poisson univariado 95
Tabla 13. Modelo de regresión de Poisson multivariada final con algunos parámetros del análisis de regresión..... 97
Tabla 14. Parámetros finales estimados del modelo multivariable que incluye efectos fijos y efectos aleatorios correlacionados y no correlacionados..... 98
Tabla 15. Contribución porcentual de las variables bioclimáticas al modelo. B) 106

No estalla como las bombas ni suena como los tiros. Como el hambre, mata callando. Como el hambre, mata a los callados: los que viven condenados al silencio y mueren condenados al olvido. Tragedia que no suena, enfermos que no pagan, enfermedades que no venden...

El mal de Chagas no es un negocio que atraiga a la industria farmacéutica, ni es tema que interese a los políticos ni a los periodistas. Elige a sus víctimas en el poverío. Los muerde y lentamente, poquito a poco va acabando con ellas. Sus víctimas no tienen derechos, ni dinero para comprar sus derechos que no tienen. Ni siquiera tienen derecho a saber de que mueren...

Eduarod Galeano

RESUMEN

Las plataformas de vigilancia epidemiológica son una herramienta esencial para facilitar la lucha contra las enfermedades transmitidas por vector. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los sensores remotos son herramientas que ayudan a poner en marcha las plataformas y a estudiar la distribución actual y predecir áreas de riesgo de presencia de vectores de enfermedades; así mismo, se constituyen en excelentes aliados para la focalización de acciones de prevención y control.

La transmisión de enfermedades infecciosas está ligada con el concepto espacio-temporal, es decir, el riesgo de contraer una enfermedad es más alto cuando existen personas o regiones vecinas infectadas.

La enfermedad de Chagas en México ofrece un adecuado telón de fondo para demostrar como los SIG pueden ser empleados para entender la conexión entre ambiente y ecología de una infección transmitida por vector. El presente trabajo es una propuesta de la implementación de un sistema de vigilancia que permita monitorear dicha enfermedad en la región de la Huasteca Potosina y los factores que determinan la presencia del vector.

Para esto se modelaron tanto la enfermedad como la distribución de los vectores usando información de la ecología del vector y de las condiciones socioeconómicas y ambientales de la zona de estudio, para poder dilucidar los factores que determinan la presencia de esta infección en el área de estudio.

Con la información generada y la que nos muestran los modelos utilizados se propone un método para establecer un sistema espacial de apoyo a la toma de decisiones para la prevención y vigilancia de la enfermedad de Chagas mediante la integración de SIG, datos espaciales y tecnologías de la comunicación.

Es necesario abordar el problema de la enfermedad de Chagas desde una perspectiva de la biocomplejidad para de esta manera proponer medidas racionales y coste-efectivas para el control de poblaciones de vectores. Se debe tomar en cuenta el componente espacial, tanto a nivel local (micro) como regional (macro), y para ello es necesario aprovechar los avances en las tecnologías de teledetección satelital y de información geográfica, para la puesta en marcha de una plataforma de vigilancia que permita el monitoreo de esta enfermedad de manera integral.

ABSTRACT

Epidemiological surveillance platforms are an essential tool to facilitate the fight against vector-borne diseases. Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing are tools that help launch the platforms and study the current distribution and predict areas of risk for the presence of vectors of diseases; Likewise, they are excellent allies for the targeting of prevention and control actions.

Transmission of infectious diseases is linked to the spatio-temporal concept, ie the risk of contracting a disease is higher when infected persons or neighboring regions exist.

Chagas disease in Mexico offers an adequate backdrop to demonstrate how GIS can be used to understand the connection between environment and ecology of a vector-borne infection. The present work is a proposal of the implementation of a surveillance system that can monitor the disease in the Huasteca Potosina region and the factors that determine the presence of the vector.

For this, both disease and distribution of vectors were modeled using information from the vector ecology and socioeconomic and environmental conditions of the study area, in order to elucidate the factors that determine the presence of this infection in the study area.

With the information generated and shown by the models used, a method is proposed to establish a space system to support decision making for the prevention and surveillance of Chagas disease through the integration of GIS, spatial data and communication.

It is necessary to approach the problem of Chagas disease from a biocomplexity perspective in order to propose rational and cost-effective measures for the control of vector populations. The spatial component must be taken into account at both local (micro) and regional (macro) levels, and for this purpose it is necessary to take advantage of advances in satellite remote sensing and geographic information technologies, for the implementation of a platform of Surveillance that allows the monitoring of this disease in an integral way.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el mundo se enfrenta al riesgo de expansión de nuevas y viejas enfermedades, como resultado de la combinación microorganismo-hombre-ambiente. Esto ha ocasionado en los últimos años una creciente atención especialmente hacia las enfermedades emergentes (aquellas cuya incidencia se ha incrementado desde las pasadas dos décadas o amenaza incrementarse en un futuro) como VIH, influenza A, fiebre hemorrágica de Ébola, así como hacia las enfermedades reemergentes (aquellas enfermedades que ya habían sido aparentemente erradicadas o su incidencia disminuida y han vuelto a surgir), como dengue, cólera, tuberculosis y mal de Chagas.

La enfermedad de Chagas o Tripanosomiasis americana, representa el principal problema de salud pública en América Latina.

Este padecimiento es causado por un protozoario (*Trypanosoma cruzi*), transmitido al ser humano o mamíferos por insectos hematófagos (chinche, chinche besucona, vinchuca u otros nombres dependiendo de la región geográfica). Estas chinches son los vectores naturales del *T. cruzi*, que pasa al huésped cuando el insecto se alimenta de sangre y excreta heces infectadas por el parásito, permitiendo que el protozoo penetre por las heridas o mucosas. Aunque también existen otros mecanismos de adquirir la enfermedad como la transfusión sanguínea, considerada actualmente como la causa más importante en áreas urbanas.

La importancia de la enfermedad de Chagas radica en su elevada prevalencia, su incurabilidad, las grandes pérdidas económicas por incapacidad laboral, y la muerte repentina de personas aparentemente sanas. Se estima que en la región de las Américas se presenta en 21 países, desde el punto de vista económico de acuerdo al Banco Mundial, es la más importante de todas las enfermedades parasitarias, incluyendo paludismo, leishmaniasis y oncocercosis.

Sin embargo, a la fecha existe una actitud pasiva de las personas debido al desconocimiento de esta enfermedad con relación a la detección de casos, ya que sólo se notifican aquellos en los que se han desarrollado los síntomas evidentes, y los casos asintomáticos, que son aproximadamente el 70% quedan desapercibidos.

El caso de México no es más alentador, estimaciones OPS muestran que para el año 2005 se tenían un total de 1, 100,000 infectados, donde la transmisión vectorial fue la principal causa de esta enfermedad.

Para el caso específico de San Luis Potosí, la Secretaría de Salud del Estado ha reportado un total de 261 infectados en el periodo de 2003 al 2012, siendo la Jurisdicción Sanitaria Número VI (correspondiente a los municipios de la huasteca potosina) la que presenta la mayoría de los casos. Dentro de esta región destaca el municipio de Tamazunchale, con un total de 36 casos en ese periodo, seguido de Huehuetlán con 19, Coxcatlán con 13 y Axtla con 12, siendo la transmisión vectorial la más importante.

Datos del Instituto de Diagnóstico y Referencia Epidemiológicos (InDRE) del periodo 1993-1999 reportan tres especies de triatominos para el Estado de San Luis Potosí: *Triatoma dimidiata* (colectado en Matlapa, Nexcuayo, Tanlajás, Argentina, Barrancón, La Concepción Quelab-Itad); *Triatoma gerstaeckeri* y *Triatoma mexicana* (colectada en Ciudad Fernández).

Uno de los determinantes principales en salud en la Huasteca Potosina es el clima y la geografía; es una zona tropical con condiciones climatológicas propicias para la proliferación de los vectores. Esta zona presenta factores de riesgos (biológicos, sociales y económicos), aunado a la susceptibilidad de los individuos, la deficiencia en el acceso a la atención médica y la carencia de tratamientos específicos efectivos hacen de la región un lugar idóneo para la proliferación de este padecimiento.

Además, generalmente los pacientes tratados para la enfermedad de Chagas regresan a las zonas rurales endémicas donde habitan y nuevamente pasan a ser parte de los ciclos de transmisión, lo que probablemente lleva a que sean afectados nuevamente por vectores, y de esta forma deban regresar a los centros de salud en búsqueda de atención. Esta situación conduce a un enfrascamiento donde los habitantes de las zonas rurales permanentemente están sometidos a un círculo de vectores-enfermedades-centros de salud.

Estas características hacen necesario abordar el problema desde una perspectiva ecológica, que permitirá dilucidar los patrones y variables ambientales de cada hábitat que favorecen la proliferación de los vectores y los reservorios de la enfermedad y de esta

manera proponer medidas racionales y costo-efectivas para el control de poblaciones de vectores. Se debe tomar en cuenta el componente espacial, tanto a nivel local (micro) como regional (macro), y para ello es necesario aprovechar los avances en las tecnologías de teledetección satelital y de información geográfica, para la puesta en marcha de una plataforma de vigilancia que permita el monitoreo de esta enfermedad de manera integral.

Debido a las características multidisciplinarias y de respuesta en corto tiempo, la vigilancia epidemiológica es un instrumento valioso a considerarse que debe tener como eje una plataforma informática que sea accesible en cualquier lugar y que ofrezca un manejo intuitivo. El conjunto de información, datos, desarrollo informático, algoritmos y sistemas de comunicación conforman una plataforma informática (Algara-Siller, 2011). Porque solamente una respuesta rápida reduce la morbilidad y mortalidad en la población afectada y limita el poder de diseminación de la enfermedad en cuestión. Por lo que la vigilancia epidemiológica es la clave de una respuesta oportuna y eficiente (López-Vázquez, 2011).

La Vigilancia Epidemiológica puede definirse como la recopilación, análisis e interpretación sistemática y constante de datos para utilizarlos en la planificación, ejecución y evaluación de intervenciones en salud pública dirigidas a prevenir y/o controlar los riesgos y los daños en la salud; aunque actualmente es mucho más que eso, es el seguimiento sistemático de otras variables, como factores de riesgo, trazadores y predictores de riesgo que se encuentran incluso en otros sectores de la sociedad, como la economía, salud animal o agricultura.

Si bien en México ya existen plataformas de vigilancia en salud como el SINAVE (Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica) y el SINEXE (Sistema de Información Nacional de Enfermedades Exóticas y Emergentes) que proporcionan información importante y oportuna de los casos reportados en el país, es necesario señalar que ninguna realiza el monitoreo de los vectores que transmiten las enfermedades y mucho menos de la influencia que ejercen los factores ambientales sobre la distribución de estos, haciendo que solo se realice la intervención cuando ya se tiene diagnosticada la enfermedad.

Debido a las características de la enfermedad de Chagas, la diversidad de vectores y los factores sociales que pueden estar relacionados, ofrece un adecuado telón de fondo para

demostrar como las herramientas del análisis espacial pueden ser empleados para entender la conexión entre ambiente y ecología de una infección transmitida por vector. Esto porque en el caso de las chinches y la enfermedad de Chagas es conocida la asociación entre mamíferos, parásitos y vectores en focos enzoóticos, formando “nidos” naturales al interior de una gran variedad de comunidades ecológicas, de acuerdo a la teoría de Pavlovsky (Parra-Henao, 2010). Estos nidos naturales han sido invadidos por las actividades humanas, provocando que los triatominos entren en contacto directo con los humanos. A pesar de que los vectores son especies autóctonas controlables en el hábitat humano, no son eliminables, sumado a la diversidad de vectores en México identificado 30 especies de triatominos transmisores, de las cuales 23 son exclusivas del país.

El factor geográfico es una importante variable explicativa dentro del análisis epidemiológico porque permite localizar, identificar y dar seguimiento a las condiciones ambientales en las que se desarrollan los vectores.

Es por ello que debe apostársele al uso de nuevas tecnologías o herramientas que permitan que un grupo multidisciplinario aborde el tema de manera integral.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los Sensores Remotos (SR) son herramientas para estudiar la distribución actual y predecir áreas de riesgo de presencia de insectos vectores de enfermedades; así mismo, se constituyen en excelentes aliados para la focalización de acciones de prevención y control. Aunque el uso de estas herramientas en investigación de enfermedades transmitidas por vectores se ha incrementado en los últimos años, su aplicación en los programas oficiales de control ha sido limitada (Parra-Henao, 2010). Estas técnicas tienen un gran potencial para contribuir a la investigación y a los estudios operativos en epidemiología y ciencias de la salud, por su capacidad de manejar la dimensión espacial e integrar datos provenientes de diversas fuentes de manera que se puedan explicar nuevos patrones y relaciones espaciales (Parra-Henao, 2010).

La importancia de la enfermedad de Chagas radica en su elevada prevalencia, su incurabilidad, las grandes pérdidas económicas por incapacidad laboral, y la muerte repentina de personas aparentemente sanas. Es considerada como una “enfermedad

desatendida u olvidada”. Se estima que en la región de las Américas se presenta en 21 países, afecta a unos 8 millones de personas, y se encuentran en riesgo de adquirir la infección aproximadamente 100 millones de personas, con 56,000 nuevos casos anuales y 12,000 muertes/año.

Aunado a lo anterior, en el país existe una amplia variedad de escenarios con características propias del vector, ambiente físico, eco-biología y marco socio-económico cultural; a pesar de que los vectores son especies autóctonas controlables en el hábitat humano, no son eliminables, sumado a la diversidad de vectores en México.

El presente trabajo pretende sentar las bases para proponer la implementación de un sistema de vigilancia epidemiológica sanitaria para monitorear la enfermedad de Chagas en la Huasteca Potosina y los factores que determinan la presencia del vector para tener un sistema de alerta temprana que permita detectar las áreas de riesgo y enfocar los esfuerzos del sector salud en la prevención de esta enfermedad.

El estudio comienza con la caracterización de la enfermedad de Chagas, desde el contexto mundial hasta el escenario local (Huasteca Potosina), incluyendo también una descripción del actual sistema de salud en México y de los alcances y limitaciones del mismo en el abordaje de este padecimiento.

A continuación se presenta el planteamiento teórico-metodológico para el abordaje de este importante problema de salud pública. El capítulo inicia con la ficha técnica de la enfermedad, donde se concentra toda la información referente a la misma, seguido de la metodología que se siguió, la propuesta de modelos que desde un enfoque de la biocomplejidad, es decir, que aborden el problema desde todas las perspectivas, apoyados en análisis matemáticos.

El siguiente capítulo muestra los resultados y discusión del planteamiento y metodología propuesta en el capítulo anterior, además de un apartado de las principales limitaciones de los modelos.

En el último capítulo concluimos con la propuesta de una plataforma de vigilancia epidemiológica sanitaria para la enfermedad de Chagas en la Huasteca Potosina, se inicia ese apartado con una descripción de de las capacidades de los SIG en la prevención y

vigilancia de enfermedades transmitidas por vectores, seguido de los requerimientos de dicha plataforma y después la manera en que debería estar operando.

1 CAPÍTULO I. LA ENFERMEDAD DE CHAGAS. CONTEXTO MUNDIAL, NACIONAL Y LOCAL

En la actualidad, el mundo se enfrenta al riesgo de expansión de nuevas y viejas enfermedades, como resultado de la combinación microorganismo-hombre-ambiente. Esto ha ocasionado en los últimos años una creciente atención especialmente hacia las enfermedades emergentes (aquellas cuya incidencia se ha incrementado desde las pasadas dos décadas o amenaza incrementarse en un futuro) como VIH, influenza A, fiebre hemorrágica de Ébola, así como hacia las enfermedades reemergentes (aquellas enfermedades que ya habían sido aparentemente erradicadas o su incidencia disminuida y han vuelto a surgir), como dengue, cólera, tuberculosis y mal de Chagas.

La enfermedad de Chagas o Tripanosomiasis americana, representa el principal problema de salud pública en América Latina. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que aproximadamente 100 millones están en riesgo de infección. Estas cifras hacen de la enfermedad un importante problema de salud pública principalmente en áreas rurales y recientemente en áreas urbanas en donde 15 millones de personas padecen esta enfermedad y más de 28 millones están en riesgo de ser infectados (OPS, 2005).

Esta enfermedad, más que ninguna otra, está íntimamente ligada con el desarrollo económico y social, asociada a la pobreza y las malas condiciones de la vivienda, y es considerada como una “enfermedad desatendida u olvidada”. A partir de 1993 la OMS la consideró como la enfermedad parasitaria más grave en América y es parte de la lista de las catorce enfermedades "descuidadas o negligidas"; asimismo, se encuentra ampliamente distribuida en las áreas rurales de Latinoamérica y en zonas marginadas de las grandes ciudades principalmente, y debido a los movimientos migratorios se reconoce como un problema de salud global importante.

En la historia natural de esta enfermedad, clínicamente se presentan la fase aguda, crónica asintomática (indeterminada) y la crónica sintomática. La fase aguda dura de dos a tres semanas y ocasionalmente hasta cuatro meses; se presenta en un 5% de los infectados, los niños menores de 10 años son los más afectados; aproximadamente el 75% presenta signos y síntomas relacionados con la puerta de entrada aparente del parásito al organismo y además manifestaciones sistémicas. Cuando la vía de entrada es la región ocular, se

presenta el signo de Romaña en alrededor del 50% de los casos, que consiste en un edema bpalperal unilateral, poco doloroso, de aspecto violáceo, con prurito discreto, y se acompaña de adenopatías preauriculares, submaxilares y occipitales. Cuando la vía de entrada es otra región del cuerpo, se denomina chagoma de inoculación y se presenta como un nódulo subcutáneo, violáceo con microadenitis regional. Las manifestaciones sistémicas son fiebre sin características especiales, astenia, mialgias, artralgias, hepato y/o esplenomegalia; ocasionalmente en áreas endémicas, este cuadro se presenta con manifestaciones respiratorias o digestivas. Menos del 1% se complica con meningoencefalitis, miocarditis o pericarditis, especialmente en niños y ancianos con desenlace fatal.

La fase crónica asintomática, también conocida como indeterminada, dura entre 10 y 20 años, se diagnostica principalmente por métodos serológicos y es clínicamente silenciosa con parasitemia muy baja, por lo que los métodos parasitológicos son poco sensibles.

En la fase crónica sintomática, el órgano más afectado es el corazón; se presentan miocarditis, con manifestaciones de insuficiencia cardiaca congestiva y cardiomegalia. Se puede producir enfermedad en cualquier víscera hueca, principalmente en el aparato digestivo (megaesófago y megacolon).

El tratamiento antiparasitario específico solo existe para la fase aguda, y se utilizan dos fármacos, ambos con efectos hepatotóxico y nefrotóxico; no existen presentaciones pediátricas. El nifurtimox en dosis de 8 a 10 mg/kg/día durante 60 días, y el benznidazol a dosis de 8 a 10 mg/kg/día durante 30 días.

Los principales mecanismos de transmisión son:

- por triatominos, que se encuentran en grietas y ranuras de viviendas. Se alimentan de sangre, habitualmente por la noche. Durante la picadura defecan en la piel del hospedero. En las heces del insecto se encuentran los tripomastigotes metacíclicos, que penetran por rascado o frotamiento del mismo hospedero.
- Por transfusión sanguínea
- congénito, se estima que en Latinoamérica existen uno 2 millones de mujeres en edad fértil susceptibles de transmitir el parásito al feto. También se ha

indicado que se infectan al menos 15,000 neonatos cada año en Latinoamérica y 2,000 en Norteamérica (Jasso, 2011).

- trasplante de órganos
- accidentes de laboratorio.
- Oral, a través de alimentos contaminados con heces del artrópodo.

1.1 LA ENFERMEDAD DE CHAGAS EN EL CONTEXTO MUNDIAL

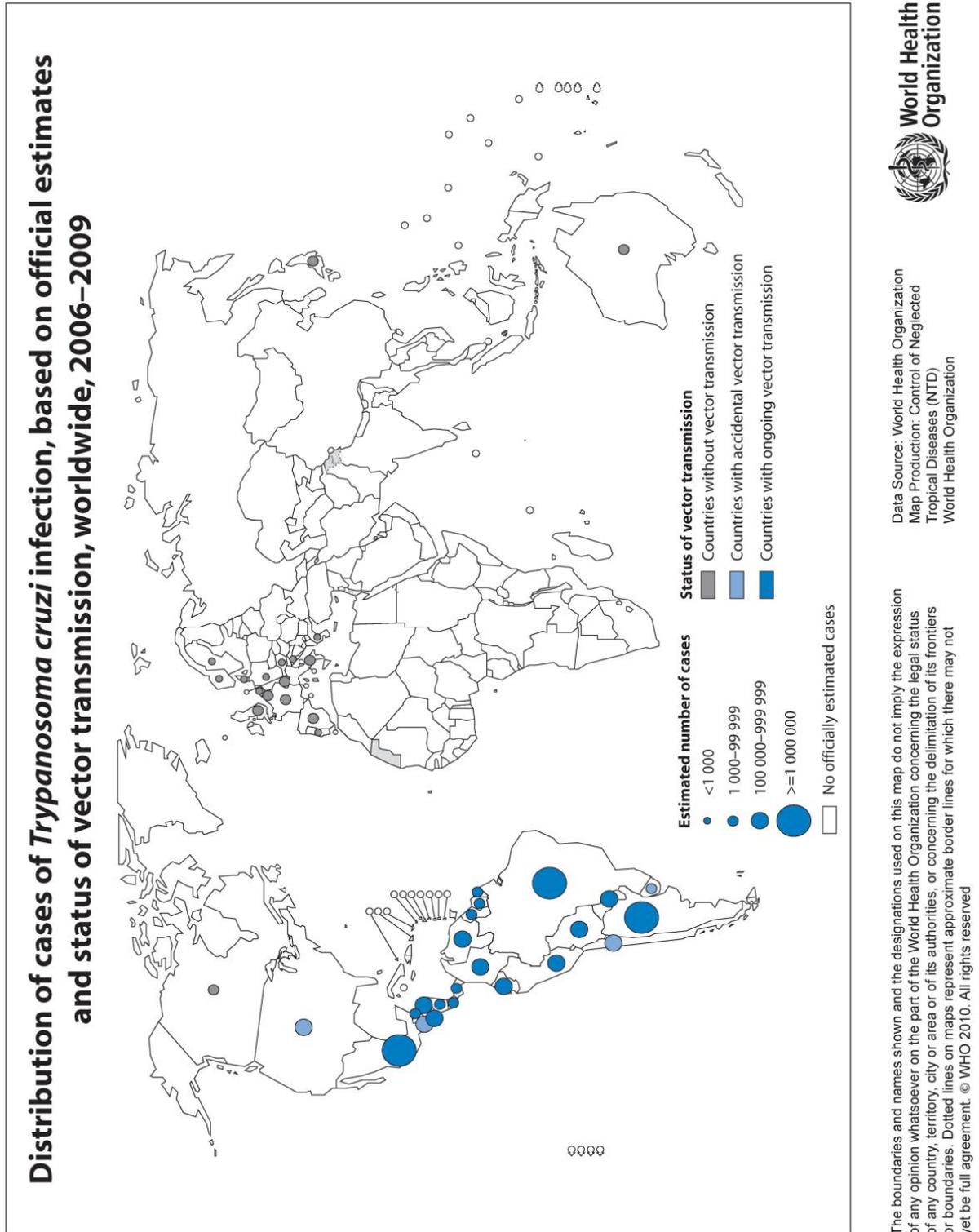
La enfermedad de Chagas aún persiste en la región de las Américas, pero el número estimado de personas infectadas se ha reducido de aproximadamente 20 millones en 1981 a alrededor de 10 millones en el 2009. El riesgo de transmisión se ha reducido mediante la introducción de medidas de control vectorial y seguridad en las transfusiones de sangre en Latinoamérica. La movilidad de la población ha llevado a la enfermedad a regiones donde antes era desconocida.

Cerca de 10 millones de personas en todo el mundo se estima que están infectadas con el protozoo *T. cruzi*, principalmente en áreas endémicas de 21 países de Latinoamérica: Argentina, Belice, Venezuela, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guayana Francesa, Guatemala, Guayana, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Bolivia, Suriname y Uruguay.

Durante miles de años, la enfermedad de Chagas fue conocida solo en la región de las Américas, principalmente en Latinoamérica, donde ha sido endémica. En décadas pasadas, se ha detectado cada vez más en países no endémicos en la región de las Américas (Canadá y Estados Unidos de América), la región del Oeste del Pacífico (principalmente Australia y Japón), y la región europea (principalmente en Bélgica, Francia, Italia, España, Suiza y Reino Unido, también en Austria, Croacia, Dinamarca, Alemania, Luxemburgo, Países Bajos, Noruega, Portugal, Rumania y Suecia) (Figura 1).

La presencia de la enfermedad de Chagas fuera de Latinoamérica es el resultado de la movilidad de la población, en particular la migración, pero casos que han sido reportados entre viajeros que retornan a Latinoamérica e incluso en niños adoptados. La subsiguiente transmisión se produce a través de la transfusión vertical y rutas de trasplante.

Figura 1. Distribución de casos de infección con *T. cruzi* basados en estimaciones oficiales y estatus de transmisión vectorial. 2006–2009



Fuente: WHO, 2010

Impacto económico

El costo del tratamiento de la enfermedad de Chagas es sustancial, a pesar de que muchas personas no están recibiendo la atención adecuada. Un estudio reciente en Colombia estima un costo anual promedio por paciente con enfermedad de Chagas crónica de US\$1028. En promedio, el costo de vida estimado del tratamiento de un paciente con enfermedad de Chagas en Colombia es de US\$11,619. Sin tener en cuenta el número de pacientes infectados que no han desarrollado alteraciones crónicas (estos pacientes también son una carga para el sistema de atención de la salud), el mismo estudio calcula que la carga económica de la atención médica de todos los pacientes que desarrollaron enfermedades crónicas sería de alrededor de US\$267 millones por año.

En México no existen estadísticas al respecto.

1.2 LA ENFERMEDAD DE CHAGAS EN MÉXICO

En México la diversidad de vectores es muy abundante. Presenta gran variedad de hábitats que proporcionan las condiciones naturales para la transmisión, aunado a muchas regiones rurales con un bajo estatus socioeconómico (Cruz-Reyes y Pickering-López, 2004).

En el país se han identificado 30 especies de triatominos transmisores, 23 son endémicas; actualmente se han identificado 18 especies de importancia epidemiológica por su capacidad vectorial y distribución; cada especie tiene características particulares respecto a su comportamiento biológico y capacidad vectorial, lo cual determina su importancia en la cadena de transmisión del agente al hombre (SSA, 2012).

La transmisión de esta enfermedad puede darse a nivel doméstico, peridoméstico o selvático.

Cruz-Reyes y Pickering-López (2004) compilaron la información disponible en la literatura (artículos, tesis, reportes) de 1928 a 2004 sobre la enfermedad de Chagas en México. De 907 publicaciones fueron agrupadas en 19 temas (Figura 2), la mayoría de ellos estudiando los estados de Oaxaca, Jalisco y Yucatán (Figura 3), contabilizándose un total de 16,979 casos de enfermos de Chagas en ese periodo (Tabla 1).

Figura 2. Temas en que se agruparon las publicaciones disponibles sobre enfermedad de Chagas en México 1928-2004.

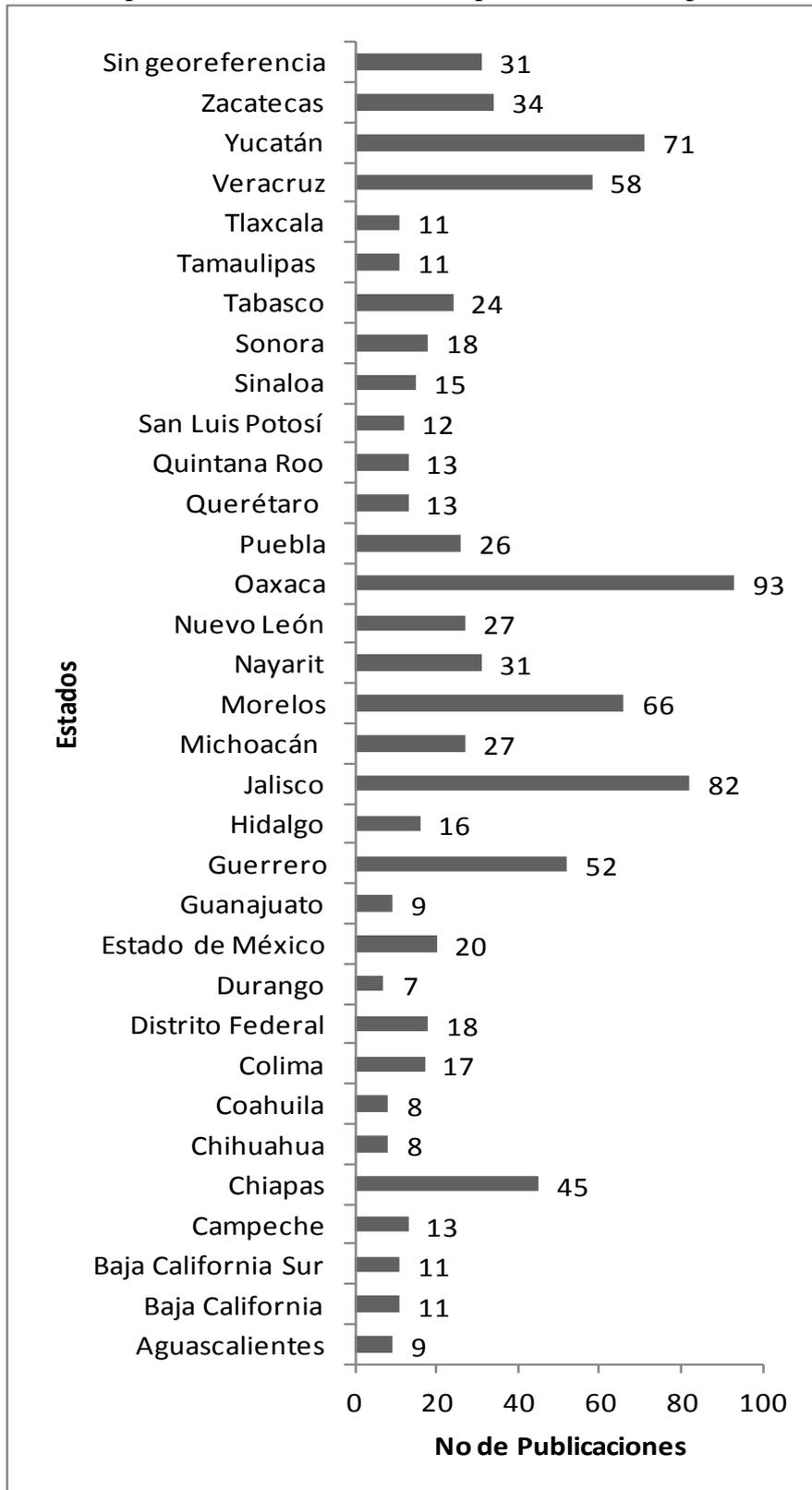


Tabla 1. Casos humanos reportados en la literatura.

Estado	Muestras	Casos	Prev.(%)
Aguascalientes	1,527	28	1.83
Baja California	1,619	45	2.78
B. California Su	2,018	21	1.04
Campeche	1,536	24	1.56
Chiapas	7,912	1,009	12.75
Chihuahua	3,351	15	0.45
Coahuila	1,976	12	0.61
Colima	1,917	22	1.15
Distrito Federal	26,213	983	3.75
Durango	2,065	45	2.18
Edo de México	2,856	18	0.63
Guanajuato	3,168	26	0.82
Guerrero	9,621	1,090	11.33
Hidalgo	3,591	222	6.18
Jalisco	26,732	3,236	12.11
Michoacán	2,265	50	2.21
Morelos	8,787	1,005	11.44
Nayarit	1,994	243	12.19
Nuevo León	4,178	81	1.94
Oaxaca	12,624	2,234	17.70
Puebla	12,970	460	3.55
Querétaro	2,412	458	18.99
Quintana Roo	1,575	38	2.41
S. L. P.	2,161	56	2.59
Sinaloa	2,865	160	5.58
Sonora	2,280	37	1.62
Tabasco	5,315	200	3.76
Tamaulipas	2,022	34	1.68
Tlaxcala	1,428	19	1.33
Veracruz	33,679	1,932	5.74
Yucarán	6,687	212	3.17
Zacatecas	2,598	146	5.62
Sin georeferencia	86,692	2,818	3.25
Total	288,634	16,979	5.88

Fuente: Elaboración propia en base a Cruz-Reyes y Pickering-López (2004)

Figura 3. No. de publicaciones en la literatura por Estados en el periodo 1928-2004



Fuente: Elaboración propia en base a Cruz-Reyes y Pickering-López (2004).

Sin embargo los casos reportados en la literatura solo son una pequeña parte de los casos que realmente están ocurriendo. Estimaciones de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) muestran para México en el año 2005 un total de infectados de 1,100,000 casos, de los que la transmisión vectorial es la principal causa de esta enfermedad (Tabla 2).

Tabla 2. Estimación cuantitativa de la Enfermedad de Chagas en las Américas.

México	
Datos	Año 2005
Población	107,029,000
No. de infectados	1,100,000
Nuevos casos anuales de transmisión vectorial	7,700
Casos anuales de Chagas congénito	1,100
Mujeres (+) 15 y 44 años	243,000
Tasa de prevalencia (X 100 habitantes)	1.028
Tasa de incidencia (X 100 habitantes)	0.007
Incidencia de Chagas congénito (X 100 nacimientos)	0.051
Población expuesta en zonas endémicas	29,500,000
Miocardopatías	99,143
Prevalencia en bancos de sangre	0.60

Fuente: OPS/HDM/CD/425-06 dic 2006. Montevideo, Uruguay. 28 pp

1.2.1 Vigilancia de la enfermedad de Chagas en México

En el país, la vigilancia epidemiológica de las Enfermedades Transmitidas por Vectores (ETV) incluye:

- Detección
- Notificación
- Estudio clínico epidemiológico
- Seguimiento de casos y defunciones y
- Evaluación del sistema

En México las ETV de mayor importancia por su magnitud, trascendencia y vulnerabilidad son el dengue, paludismo, enfermedad de Chagas, oncocercosis, leishmaniosis, virus del Oeste del Nilo y Rickettsiosis. Además, se considera la posible re-emergencia de la Fiebre Amarilla y la eventual llegada de la enfermedad por virus del Chikungunya (EVC) (NOM-032-SSA2-2010). El dengue es el mayor problema de salud pública en el mundo y el paludismo ha tenido un incremento significativo, aunque desde 1984 no se han registrado defunciones por paludismo en el país.

La enfermedad de Chagas, más que ninguna otra, está íntimamente ligada con el desarrollo económico y social (SSA, 2012), por lo que persistirá mientras existan los factores de riesgos más importantes para la domiciliación de los triatominos, tales como vivienda de mala calidad, la migración frecuente de personas y la rápida urbanización. A estos se agregan los bajos ingresos, que no permiten mejorar las condiciones de vida y vivienda de la población. Esto hace que la mayor incidencia de la enfermedad se concentre en los países pobres (Pérez y Hernández, 2013).

El principal mecanismo de transmisión de la enfermedad de Chagas es vectorial. Los triatominos (también conocidos como chinche, chinche besucona, vinchuca u otros nombres dependiendo de la región geográfica) son los vectores naturales de *T. cruzi*, que pasa al huésped cuando la chinche se alimenta de sangre y excreta heces infectadas por el parásito, permitiendo que el protozoo penetre por las heridas o mucosas.

La enfermedad de Chagas, constituye uno de los problemas prioritarios de salud pública debido a su amplia distribución, elevada prevalencia y a la disminución de la calidad y esperanza de vida de los que la padecen. La enfermedad sobre el hombre de hoy tiene una connotación e impacto no cuantificables aun para los servicios de salud, no solo en el peso económico, sino en el social. A esto se agrega la omisión de los deberes sanitarios para este problema previsible, que sin dudas constituye un signo de abandono social de la población del país donde está presente la enfermedad.

Ante este panorama y con el afán de mantener la equidad y la justicia social, el gobierno mexicano ha desarrollado una serie de políticas, leyes, normas y reglamentos de salud vigentes que garantizan la protección contra los riesgos sanitarios de los individuos, respetando así sus garantías individuales y salvaguardando por ley su salud como un patrimonio del estado ante las enfermedades previsibles por naturaleza.

1.2.2 Marco Jurídico

La respuesta organizada para la prevención, protección y promoción de la salud en materia de enfermedades transmitidas por vectores se ampara en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la Ley General de Salud, el Plan Nacional de Desarrollo y Programa Sectorial de Salud y en la Normas Oficiales Específicas:

A) Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. En México, la Constitución en su artículo 4, expresa que la salud es un bien universal y que todo mexicano tiene derecho a la protección de su salud.

B) Ley General de Salud. La Ley General de Salud Mexicana en su Título Segundo, capítulo 1 de su artículo 5to. dice: "tiene por objeto dar cumplimiento al derecho de la protección de la salud", compromiso que se ratifica en el capítulo II y V en sus artículos 58 y 59.

C) Plan Nacional de Desarrollo. En sus estrategias destaca el vínculo de la salud con el desarrollo económico y social, la reducción de los rezagos en salud que afectan a los pobres, el enfrentamiento a los problemas emergentes y reemergentes para alcanzar la equidad y la justicia social y dé respuesta social organizada a enfermedades que son un atraso en materia de salud y de alto impacto económico y social para el país

D) Programa Sectorial de Salud

E) Norma Oficial Mexicana **NOM-017-SSA2-1994** para la vigilancia epidemiológica

F) Norma Oficial Mexicana **NOM-032-SSA2-2010** para la vigilancia epidemiológica, prevención, y control de las enfermedades transmitidas por vectores

G) Norma Oficial Mexicana de Emergencia **NOM-EM-003-SSA2-2008** Para la vigilancia epidemiológica, prevención y control de enfermedades transmitidas por vector.

H) Norma Oficial Mexicana **NOM-011-SSA2-1993**, para la Prevención y control de la rabia "For the prevention and Rabies Control".

I) Norma Oficial Mexicana **NOM-022-SSA2-1994** para la prevención y control de la brucelosis en el hombre, en el primer nivel de atención.

MODIFICACION a la Norma Oficial Mexicana **NOM-022-SSA2-1994**, Para la prevención y control de la brucelosis en el hombre, en el primer nivel de atención, publicada el 30 de noviembre de 1995, para quedar como **NOM-022-SSA2-1994**, Para la prevención y control de la brucelosis en el hombre.

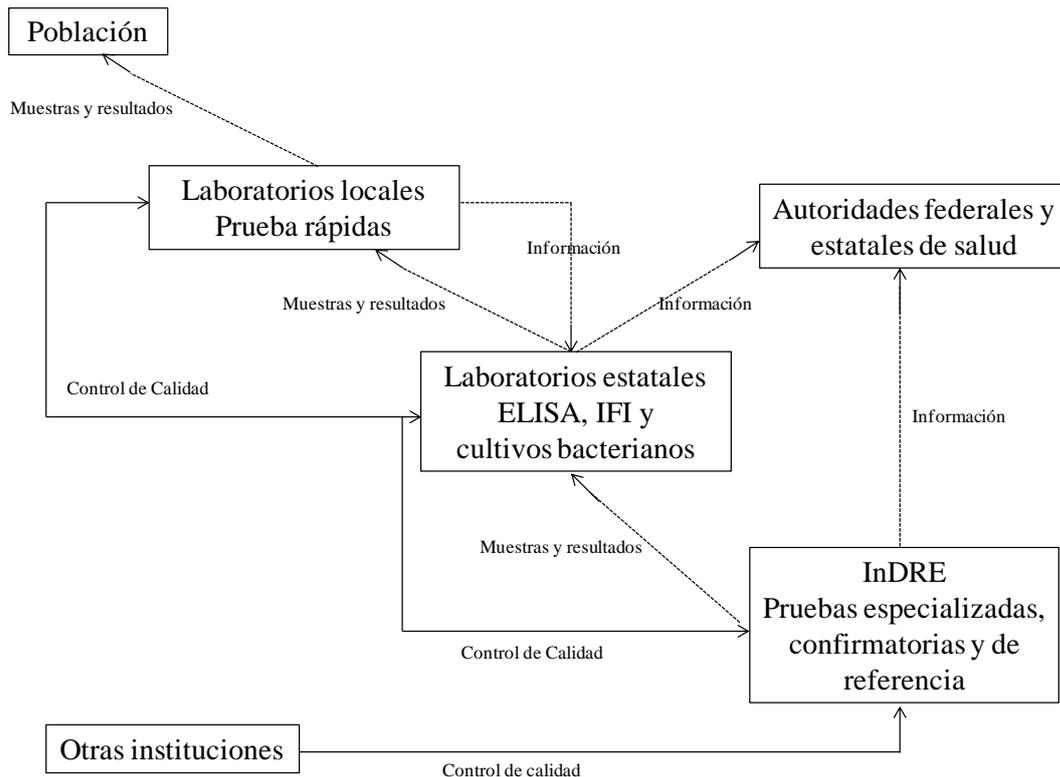
J) Norma Oficial Mexicana **NOM-029-SSA2-1999**, Para la vigilancia epidemiológica, prevención y control de la leptospirosis en el humano.

K) Norma Oficial Mexicana **NOM-067-ZOO-2007** Campaña nacional para la prevención y control de la rabia en bovinos y especies ganaderas.

1.2.3 Red Nacional de Laboratorios de Chagas. El laboratorio de la Enfermedad de Chagas en México

El objetivo de la red es generar información básica para apoyar las actividades del programa de ETV y promover la actuación de sinergias de actuación para realizar el diagnóstico de la tripanosomiasis americana.

Figura 4. Flujo de trabajo de la Red Nacional de Laboratorios de Salud Pública



Fuente: InDRE – RNLSP 2012

La red está constituida por tres niveles: Federal, Estatal y Local: el nivel Federal está representado por el Instituto de Diagnóstico y Referencia Epidemiológica (InDRE). El nivel estatal está constituido por los Laboratorios Estatales o Regionales de Salud Pública (LESP) que cuentan con técnicas serológicas para el diagnóstico de la enfermedad. El nivel local está integrado por los laboratorios ubicados en los centros de salud, en hospitales y en cabeceras jurisdiccionales. En cada Estado puede haber tantos laboratorios locales como sean necesarios para resolver las necesidades de diagnóstico en apoyo a la vigilancia epidemiológica y a las actividades de salud pública. Los laboratorios de nivel local apoyan el diagnóstico de enfermedades de importancia epidemiológica y se integran en redes específicas de diagnóstico. La coordinación de la RNLSP la ejerce InDRE que interacciona con los LESP, quienes a su vez, son los enlaces funcionales entre los

laboratorios de nivel local y el de nivel nacional. Los laboratorios de apoyo al Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica (SINAVE) se deben coordinar con los de la RNLSP en el nivel correspondiente (Figura 4) (InDRE, RNLSP, 2012).

Tabla 3. Antecedentes del Laboratorio de la Enfermedad de Chagas:

Año	Acontecimiento
1939	Creación del Instituto de Salubridad y enfermedades tropicales (ISET). El Dr. A. Dávalos durante años confirmó casos de Chagas agudos detectados por microscopistas del Centro Nacional de la Erradicación del Paludismo.
1983	Se crea el Laboratorio de Tripanosomátidos como parte del Departamento de Parasitología. Se inician estudios epidemiológicos sobre esta tripanosomiasis.
1985	Participación del laboratorio en encuestas epidemiológicas en zonas rurales en varios Estados y otros estudios de seroprevalencia en bancos de sangre. En esta década se promueve la creación de ceparios para <i>Leishmania</i> spp como <i>Trypanosoma cruzi</i> . Se desarrollan técnicas serológicas y de inmunofluorescencia tanto para Leishmaniosis como para Tripanosomiasis.
1989	Se lleva a cabo la transferencia de tecnología del Instituto Nacional de Parasitología "Dr. Mario Fatala Chabén", (Laboratorio de Referencia de la OPS/OMS) a este laboratorio.
1987-1990	El Laboratorio participó en la Encuesta Nacional Seroepidemiológica, que evidenció la distribución geográfica de la enfermedad y su prevalencia.
1994	El Laboratorio de Tripanosomátidos fue dividido en el Laboratorio de Enfermedad de Chagas y el Laboratorio de Leishmaniosis y es así como se encuentra en la actualidad. Durante estos años se impulsa el tamizaje de hemodonadores; se crea la Red Nacional de Laboratorios de Enfermedad de Chagas (RNLECh) que opera con el binomio Hemaglutinación Indirecta-Inmunofluorescencia Indirecta (HAI-IFI).
1998	Surge la necesidad de resolver la discordancia entre ambas pruebas y se implemente el Ensayo por inmunoabsorción ligado a enzimas (ELISA) .
Inicios de siglo	Se cuenta con la suficiencia diagnóstica y se implementa el algoritmo de referencia para diagnóstico, referencia y control de calidad. Además se implementa un protocolo para la verificación de parámetros operativos de diagnóstico.
2002	Se implementa la técnica de Inmunoelctrotransferencia (WesternBlot) como apoyo al algoritmo de diagnóstico y referencia, en casos particulares.
2005	Surge la necesidad de evaluar el desempeño de la Red Nacional de Laboratorios de Salud Pública, y la participación en el Boletín Caminando a la Excelencia.
2008	Se elaboran planes de eficiencia siguiendo lineamientos estandarizados y se implementa el programa de evaluación externa del desempeño (PEED)

SEROCHAGAS) con dos ejercicios anuales. De 2008 a la fecha, se ha fortalecido el algoritmo de diagnóstico, con el uso de equipos comerciales de alto desempeño.

Fuente: InDRE – RNLSP 2012

Los últimos casos de mortalidad diagnosticados con esta enfermedad y que han sido detectados por hallazgos en el segundo nivel de atención, han demostrado que las estrategias del programa nacional y local realizadas para la vigilancia, prevención y control de la enfermedad de Chagas, no se ejecutan de manera eficaz, por lo que existe una deficiente detección de los casos. Ello resulta en un subregistro u omisión de enfermos, poca actividad e intervención activa en la búsqueda del vector y su control en áreas de riesgo.

A pesar de los avances alcanzados y el trabajo realizado por los servicios de salud en el país (desde el ámbito local al nacional), en cuanto al manejo y control de esta enfermedad, dista mucho de culminar con éxito. Se tiene un fuerte énfasis hacia la clínica y diagnóstico, ejemplo de ello son las técnicas diagnósticas inmunoenzimáticas (ELISA, IFI, etc.), moleculares (PCR), y una batería de tratamientos que permiten al profesional de la salud diagnosticar pacientes afectados y tratarlos adecuadamente. Este manejo de la enfermedad solo aborda una parte del problema, que se presenta luego de que el parásito ha ingresado al huésped humano y se genera la sintomatología propia de la enfermedad, dejando de lado la perspectiva ecológica.

1.3 EL SISTEMA DE SALUD EN MÉXICO

De acuerdo a la OMS un sistema de salud abarca cualquier actividad que esté encaminada a promover, restablecer o mantener la salud.

Se forman ante la necesidad de responder ante los problemas y necesidades de salud y enfermedad a partir de la estructura económica y política de la sociedad. Existen tres modelos del sistema de salud

- a) Propiedad estatal. Financiado por medio de impuestos o cuotas obrero-patronales.
- b) Propiedad privada. Pago directamente del bolsillo del paciente o prepago por aseguramiento privado.
- c) Formas tradicionales de atención.

En México el modelo neoliberal aumentó la inequidad en la atención a la salud al desmantelar las instituciones públicas y sustituirlas por privadas.

1.3.1 Breve historia del sistema de salud en México

En el México prehispánico la cultura náhuatl estaba muy avanzada en términos de salud. En la conquista los españoles “cristianizaron” el saber de los pobladores y lo convirtieron en una mercancía, la medicina náhuatl que no renunció a su parte religiosa fue perseguida por la inquisición.

En la colonia la medicina universitaria y religiosa tenía por un lado clientes y por otro hacía caridades a la población que no podía pagar (atendida en hospitales a cargo de órdenes religiosas).

A finales del siglo XVIII había tres grandes modelos del sistema de salud en México:

- Tradicional. Dirigido fundamentalmente a zonas rurales y marginadas de las ciudades.
- Oficial. Hermanaba a iglesia católica con universidades, exclusiva para clases pudientes y en menor medida menesterosos de las urbes.
- Progresista. Después de un largo camino se consolida en forma parcial con el establecimiento de las ciencias médicas.

El avance de los siglos XIX y XX abre más la brecha entre los que podían pagar por atención con la última tecnología y los que solo podían pagar la medicina tradicional.

En la época del Cardenismo se forman los servicios médicos rurales, siendo la primera vez que las personas del campo entran en contacto con un sistema de salud basado en avances científicos y técnicos de la época.

En 1943 surge la Secretaría de Salubridad y Asistencia, que conjuga en una sola institución las labores de saneamiento y Salud pública con las de atención a enfermos que no cuentan con atención derivada de contratos de trabajo. En forma paralela, el ascenso en las luchas de una creciente clase trabajadora consiguió que los trabajadores contaran con servicios médicos y pensiones pagados por los empleadores. De esta forma, los trabajadores urbanos se incorporan también a la posibilidad de acceder al sistema de salud basado en los avances científicos y técnicos. Dichos avances se consolidaron y ampliaron con la creación del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS, 1943) y más tarde con

el Instituto de Seguridad y Servicio Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE, 1961).

En tiempos más recientes se desarrollaron nuevas formas de atención a sectores muy pobres de las zonas rurales y los pobres de las periferias urbanas. Un ejemplo de esto son las medidas por parte del IMSS dirigidas a ampliar la cobertura a los trabajadores temporales y rurales a través del régimen “*solidario*” además de una mayor inversión en la atención de la población “abierta” o no asegurada, atendida por la Secretaría de Salud que enfatizaba la atención primaria a la salud.

Todo esto ha derivado en el sistema de salud mexicano actual que continúa segmentando y discriminando a las personas de acuerdo al lugar que ocupan en la sociedad, su perfil ocupacional o su capacidad de pago.

1.3.2 Situación actual

El sistema de salud mexicano desde sus inicios ha enfrentado el problema de ampliar la cobertura a todas las zonas del país, especialmente a las más pobres y remotas a través de los servicios que brinda la Secretaría de Salud y el IMSS Oportunidades, lo que permite que una persona pobre o que no cuenta con seguridad social, tenga la posibilidad de acudir a estos servicios a cambio de un costo mínimo o nulo. Solo que esta atención solo se limita de forma casi exclusiva al primer nivel de atención.

En el decenio de 1990-1999 se descentralizó la atención en salud. La prestación de servicios de atención médica y salud pública de la Secretaría de Salud Federal pasaron a los servicios de Salud Estatales. Esto permitió que los Estados decidieran que programas aplicar de acuerdo con la situación de cobertura, pobreza y necesidades primordiales de su población.

El sistema de salud mexicano se encuentra dividido en tres grandes grupos y el acceso a la atención se encuentra a cargo de varias instituciones de acuerdo con la inserción laboral y la capacidad de pago de las personas. La consecución de sus objetivos dista mucho de ser igual para todos según los criterios de la OMS (Tabla 4).

Tabla 4. Sistema de salud Mexicano

Grupo	Población	
Instituciones de Seguridad Social	Derechohabientes (cuotas obrero-patronales) IMSS, ISSSTE, SEDENA, Marina, PEMMEX	Atiene a cerca de la mitad de la población del país. Ofrece todos los servicios.
Dirigida a población abierta o no asegurada	Secretarías de Seguridad Federal y Estatal (zonas rurales y urbanas) IMSS-Oportunidades (incluye algunas zonas urbanas)	Cobra según tabulador socioeconómico. Ofrece paquete parcial de servicios
Sector privado	Personas con capacidad económica para solventar gastos por la atención. Se incluyen una amplia red de consultorios solos o anexos a farmacias y hospitales pequeños que atienden a personas de escasos recursos, en general, con materiales escasos. Hay también para clases medias y altas	

Elaboración propia en base a Soto Estrada *et. al.*, 2010

1.3.3 Esquemas tradicional y popular de atención en salud

La atención en salud se desarrolla en esquemas tradicionales y populares que con frecuencia son el primer contacto con el “sistema”. Los sistemas o esquemas de atención actuales se caracterizan por su pluralismo e interrelación en cuanto a modelos etiológico-terapéuticos.

La medicina tradicional está orientada por factores culturales, religiosos y sociales. Sus conocimientos son transmitidos de generación a generación e involucra no solo a la herbolaria, también procesos simbólicos, formas de intervención corporal sustentado en procesos rituales, categorías míticas, patrones particulares de intervención; es una concepción integral que ubica al individuo en su relación con los demás, con la naturaleza y el universo.

La medicina popular por su parte cubre una enorme variedad de remedios y tratamientos (remedios caseros). Se compone de creencias y prácticas médicas accesibles a toda la población. Se identifica la automedicación que incluye selección, prescripción y administración de un tratamiento.

1.3.4 Seguro popular

En el año 2002 surge el seguro popular, incorporándose al año siguiente en la Ley General de Salud en el título 3° bis “El sistema de protección social en salud” y está dirigido a

personas si seguridad social, para que cuenten con el servicio sin hacer estragos en su economía.

Antes del decenio de 1980-1989 se contaba con un sistema casi gratuito en el que con el gasto público se pagaban los servicios de aquellos que no contaban con recursos para pagarlos por sí mismos. En 1983 el Banco Mundial recomienda cobrar cuotas de recuperación haciéndolo cada vez más costoso. Ante esto, en lugar de avanzar hacia un sistema universal igual para todos financiado por los impuestos generales se impulsó un sistema de prepago tipo seguro, mediante el cual los pagos se hacen poco a poco y los gastos grandes de algunos son compensados con las contribuciones de los inscritos. La atención toma una forma mercantil pero con un sistema de prepago.

El seguro popular atiende de acuerdo con un “catálogo de servicios”, es decir, no cubre todas las enfermedades que las personas podrían padecer. Así mismo señala que se dará atención a las enfermedades “de acuerdo al perfil epidemiológico de la sociedad” sin embargo, varias enfermedades consideradas como un problema de salud pública no se encuentran dentro del catálogo de servicios. Al final de cuentas el seguro popular puede ser un nuevo elemento de segmentación de la población.

1.3.5 Estructura funcional del sistema de salud en México

La atención dentro del sistema de salud se da dentro de tres niveles de atención:

Primer nivel de atención. Incluye a las unidades médicas que atienden a nivel ambulatorio. Es el primer contacto de las personas con el sistema formal de atención. Estas unidades varían desde las que solo cuentan con un consultorio hasta unidades con 30 o más consultorios y servicios auxiliares, como laboratorios, rayos X, farmacia, etc.

El personal que atiende en estas unidades consiste en médicos generales con licenciatura o con estudios de especialidad en algún posgrado de generalismo, por ejemplo medicina familiar y comunitaria, así como enfermeras y técnicos. También prestan sus servicios médicos pasantes, de hecho en los hospitales IMSS-Oportunidades son la mayoría del personal médico. Este primer nivel de atención incluye a consultorios privados y farmacias con consultorios.

Entre sus actividades realizan promoción de la salud, prevención de enfermedades y detección temprana (cáncer, obesidad, diabetes, hipertensión, etc.).

Segundo nivel de atención. Consiste en una red de hospitales generales que atienden problemas y necesidades que demandan internamiento hospitalario o atención de urgencias. Sus unidades están organizadas en: medicina interna, cirugía, pediatría, gineco-obstetricia. En su organización destacan servicios como urgencias, admisión, hospitalización, bancos de sangre, quirófanos, farmacia, consulta externa, etc. En este nivel se concentra la mayoría de los médicos especialistas.

Tercer nivel de atención. Agrupa a hospitales de alta especialidad. Este nivel puede tener muchas subespecialidades o especializarse en algún campo específico (cancerología, cardiología, etc.). El problema con la mayoría de estos centros es que están saturados. En este nivel se atienden problemas que requieren conocimientos más especializados o tecnología específica, en general, costosa.

Perspectivas del sistema de salud actual

Si bien el sistema de salud en México no es el más adecuado, se han realizado avances, por ejemplo se elevó la esperanza de vida al nacer y se disminuyó la mortalidad infantil, materna y por enfermedades infecciosas. Aunque los retos son aún grandes: cobertura de atención a toda la población, disminuir la heterogeneidad en la calidad de los servicios que se prestan así como la brecha que existe entre regiones.

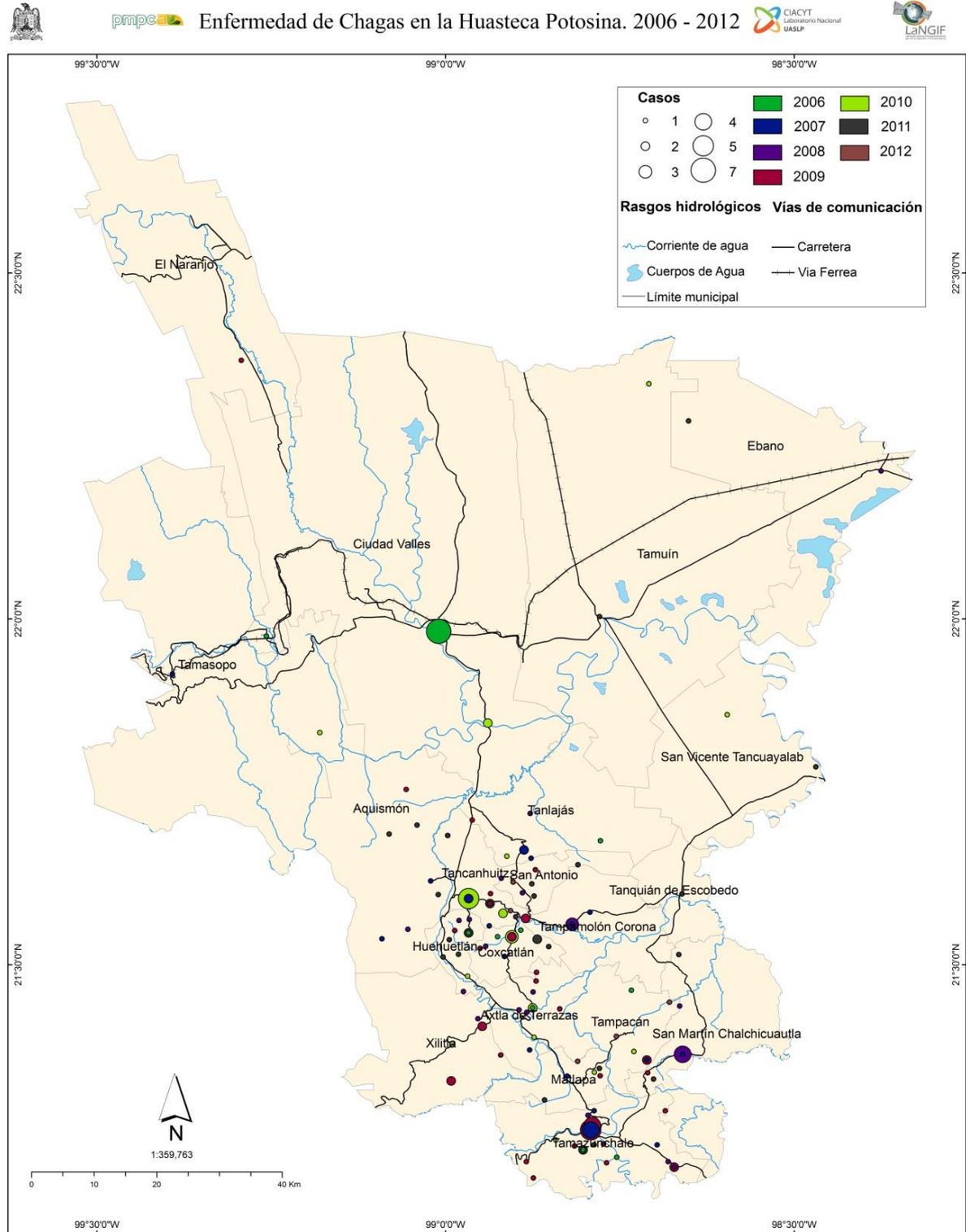
1.4 LA ENFERMEDAD DE CHAGAS EN LA HUASTECA POTOSINA

En San Luis Potosí, de acuerdo a los datos de la Secretaría de Salud del Estado, se han reportado un total de 261 infectados en el periodo de 2003 al 2012, siendo la Jurisdicción Sanitaria Número VI (correspondiente a la región huasteca) la que presenta la mayoría de los casos (Figura 5). En esta zona predominan climas cálidos húmedos y subhúmedos y semicálidos húmedos.

Sobresalen de esta región los municipios de Tamazunchale, Tancanhuitz, San Antonio, Huehuetlán, Coxcotlán y Axtla de Terrazas por ser los sitios donde se han registrado el mayor número de casos de enfermedad de Chagas en los últimos nueve años (Aldana, *et.al.*, 2009), tener población indígena y presentar un grado de marginación medio y alto (Figura 6), además de que las condiciones de las viviendas de estas zonas presentan las

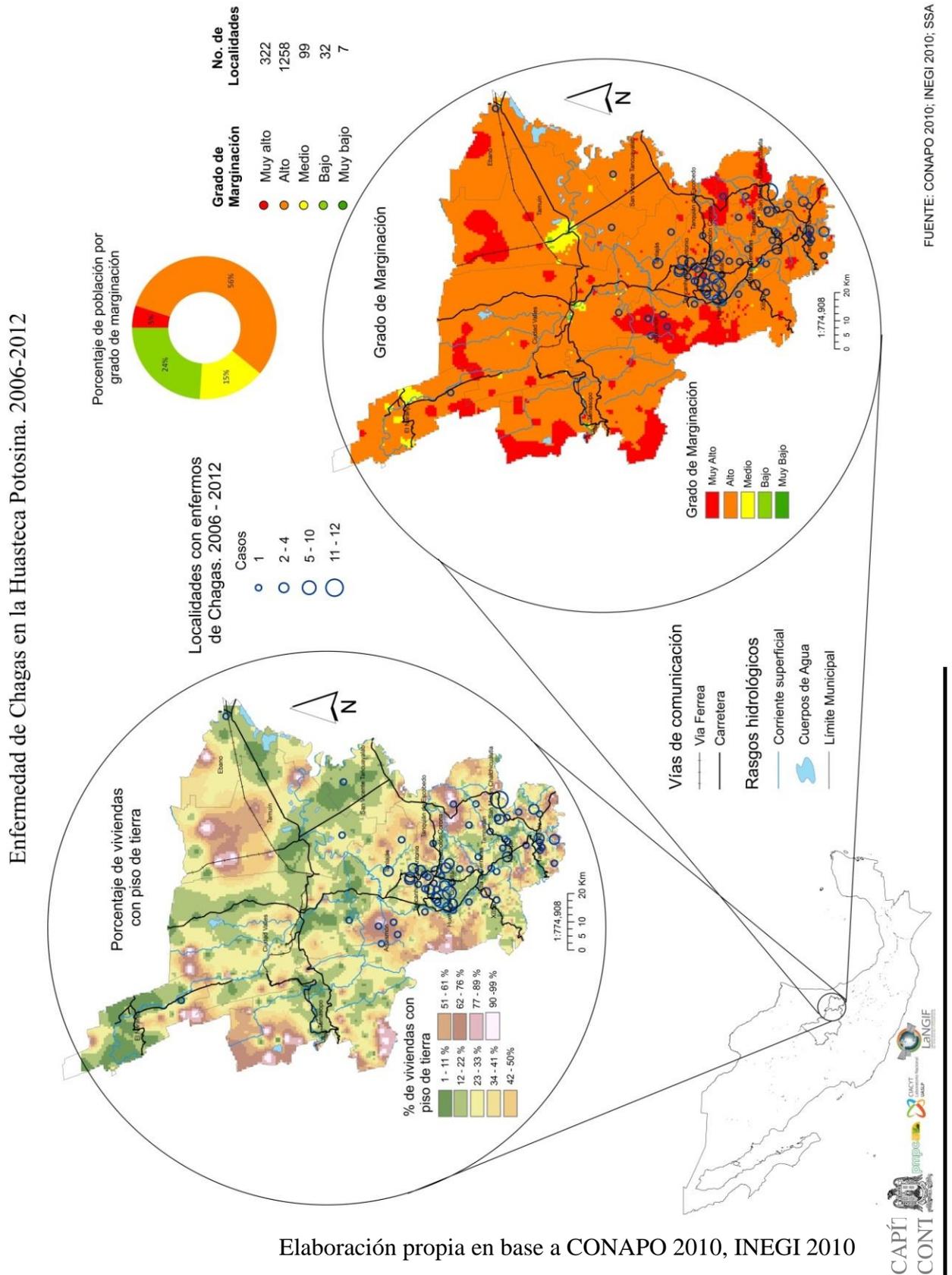
características idóneas para albergar a los vectores de la enfermedad de Chagas (INEGI, 2010).

Figura 5. Enfermedad de Chagas en la Huasteca Potosina. 2006-2012



Elaboración propia con datos de SSA 2012, INEGI 2010

Figura 6. Localidades donde se han reportado casos de enfermos de Chagas en el periodo 2002-2012



La enfermedad o la salud no pueden tratarse aisladas de los contextos físico, social y cultural. El factor geográfico es una importante variable explicativa dentro del análisis epidemiológico porque permite localizar, identificar y dar seguimiento a las condiciones ambientales en las que se desarrollan los vectores.

Debido a las características de la enfermedad de Chagas, la diversidad de vectores y los factores sociales que pueden estar relacionados, ofrece un adecuado telón de fondo para demostrar como las herramientas del análisis espacial pueden ser empleados para entender la conexión entre ambiente y ecología de una infección transmitida por vector.

A pesar de que los vectores son especies autóctonas controlables en el hábitat humano, no son eliminables, sumado a la diversidad de vectores en México identificado 30 especies de triatomos transmisores, de las cuales 23 son exclusivas del país.

1.4.1 Determinantes en salud en la Huasteca Potosina

Uno de los determinantes principales es el clima y la geografía del país que tiene grandes extensiones de zonas tropicales y subtropicales con condiciones climatológicas propicias para el desarrollo de los vectores de este padecimiento. Entre los factores de riesgo se encuentran:

- Biológicos
- Ecológicos
- Sociales
- Económicos
- Políticos

Y si a estos le agregamos:

- Individuos susceptibles
- Migración humana
- Deficiencia en el acceso a la atención médica y
- Carencia de tratamientos específicos efectivos

La enfermedad de Chagas es un claro ejemplo de cómo la ausencia o limitación de los determinantes de la atención de la salud, repercuten en la calidad de vida de las poblaciones humanas en condiciones de riesgo, generado por la presencia del vector y la

falta de estrategias para su control. Si continua el estudio de lo individual sobre lo colectivo, y no se trabaja de manera preventiva para la enseñanza del autocuidado de la salud, en consecuencia, se tendrá una gran cantidad de personas expuestas al contagio de la enfermedad y por ende, la producción de servicios curativos más que preventivos, que en cierta forma pueden llegar a ser costosos, elitistas y tecnificados (Pérez y Hernández, 2013).

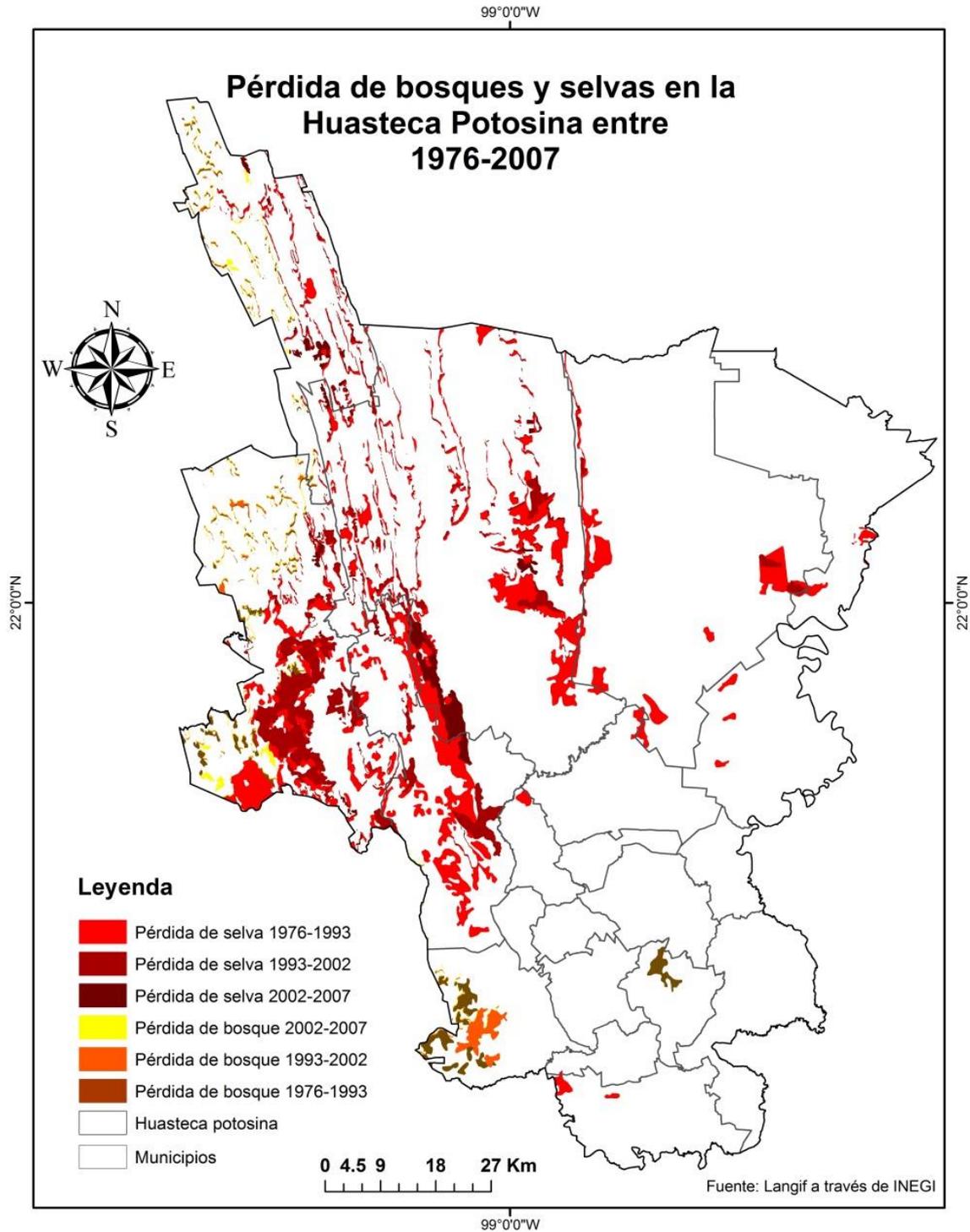
En los servicios de salud, la enfermedad de Chagas es vista como una enfermedad indeseable, cuyo control y vigilancia no es un problema, por lo que se termina realizando una exclusión por omisión.

Uno de los determinantes principales en salud en la huasteca potosina es el clima y la geografía; es una zona tropical con condiciones climatológicas propicias para la proliferación de los vectores (Figura 14). Esta zona presenta factores de riesgos (biológicos, sociales y económicos), aunado a la susceptibilidad de los individuos, la deficiencia en el acceso a la atención médica y la carencia de tratamientos específicos efectivos hacen de la región un lugar idóneo para la proliferación de este padecimiento.

En lo que se refiere a riesgos biológicos, esta zona presenta deforestación de selvas (974.84 km²) y bosques (158.21 km²) en el periodo de 1976 al 2007 (Figura 7).

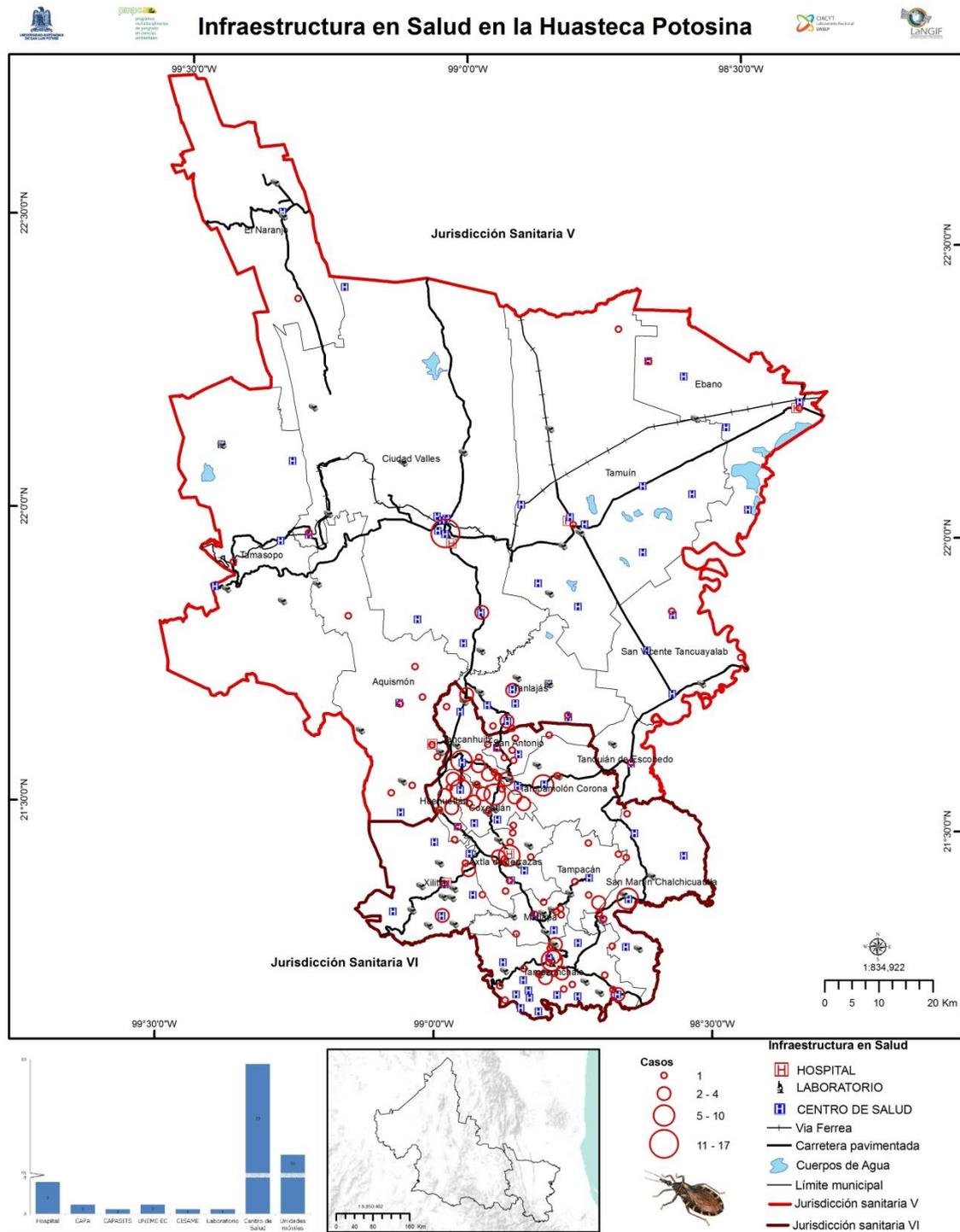
En el caso de las chinches y la enfermedad de Chagas es conocida la asociación entre mamíferos, parásitos y vectores en focos enzoóticos, formando “nidos” naturales al interior de una gran variedad de comunidades ecológicas, de acuerdo a la teoría de Pavlovsky (Parra-Henao, 2010). Estos nidos naturales han sido invadidos por las actividades humanas, provocando que los triatominos entren en contacto directo con los humanos, convirtiéndose éstos última en una fuente de alimento al alcance de las chinches, lo que se ve reflejado en los casos reportados para la zona.

Figura 7. Pérdida de bosques y selvas en la Huasteca Potosina



En lo referente a riesgos sociales, en esta región existen solamente siete hospitales un laboratorio y 79 centros de salud (Figura 8), la mayoría con carencias y en muchas ocasiones sin doctores que las atiendan.

Figura 8. Infraestructura en salud en la Huasteca Potosina



Elaboración propia en base a SS de SLP

En cuanto a los riesgos económicos, el 37.7% de la población del estado se encuentra en pobreza moderada, y el 12.8% en pobreza extrema, es decir, el 50.5% de la población del estado se encuentra en pobreza. En el caso de la huasteca Potosina más del 50% de la

población se encuentra por debajo de la línea de bienestar de los indicadores asociados a la pobreza (Figura 11).

Figura 9. Infraestructura en salud en la Jurisdicción Sanitaria V.

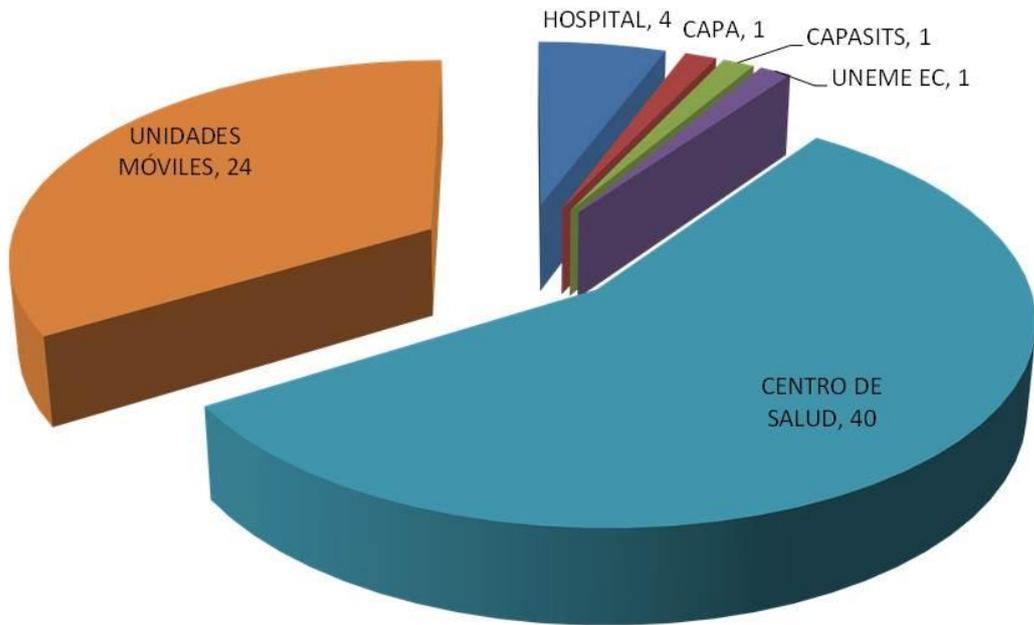


Figura 10. Infraestructura en salud en la Jurisdicción Sanitaria VI

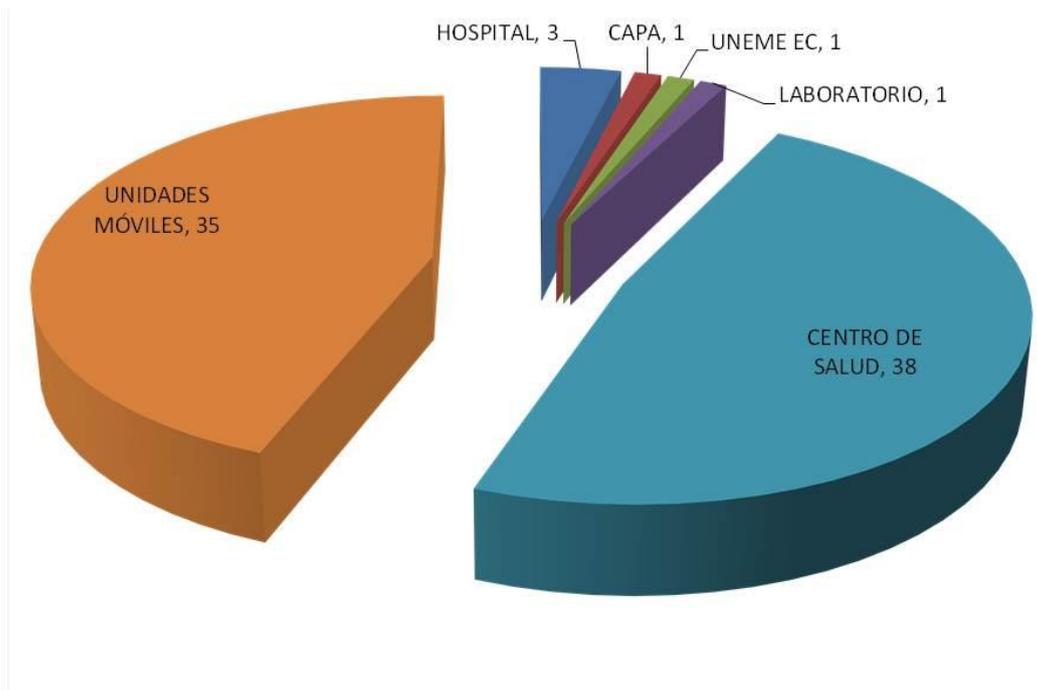
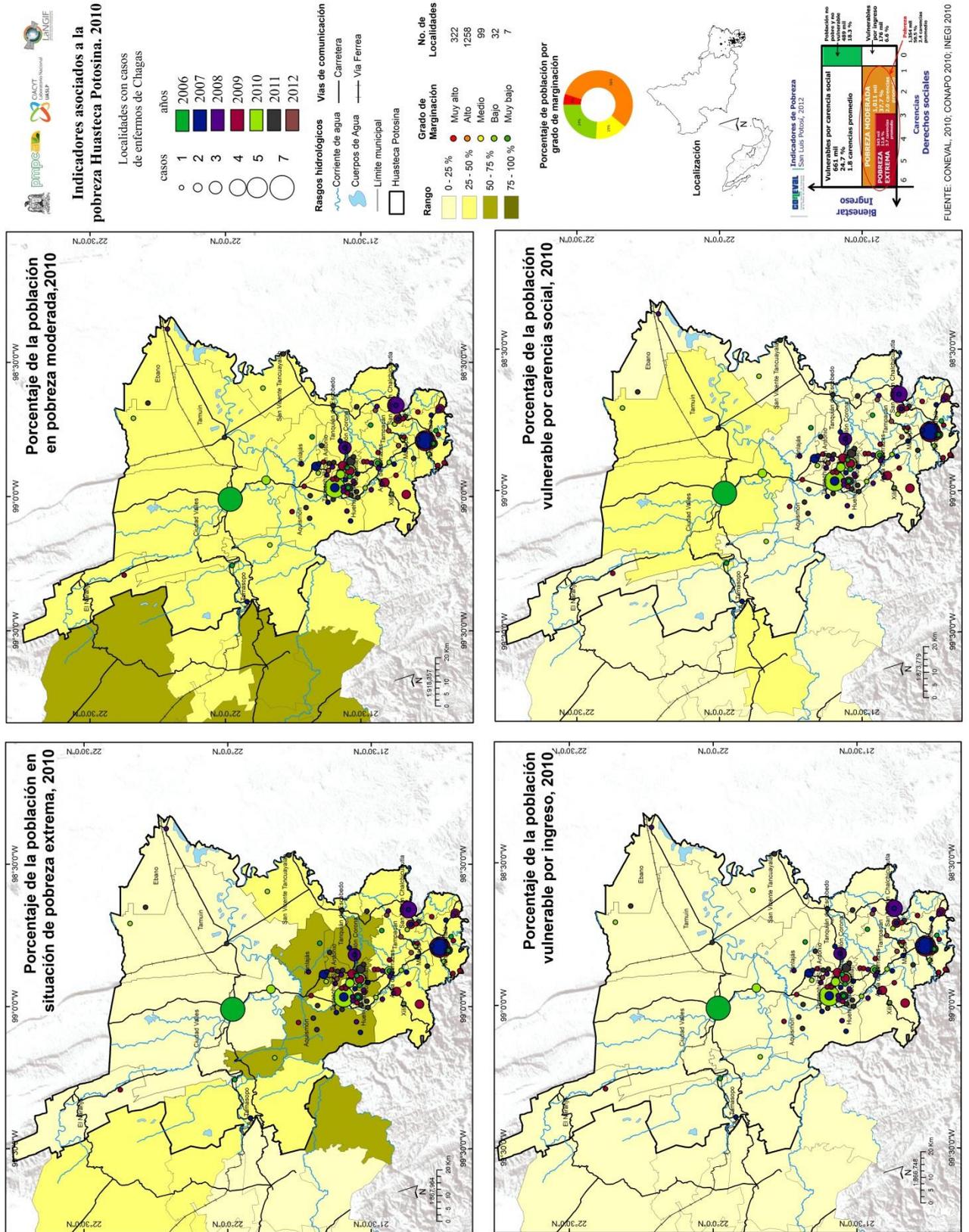
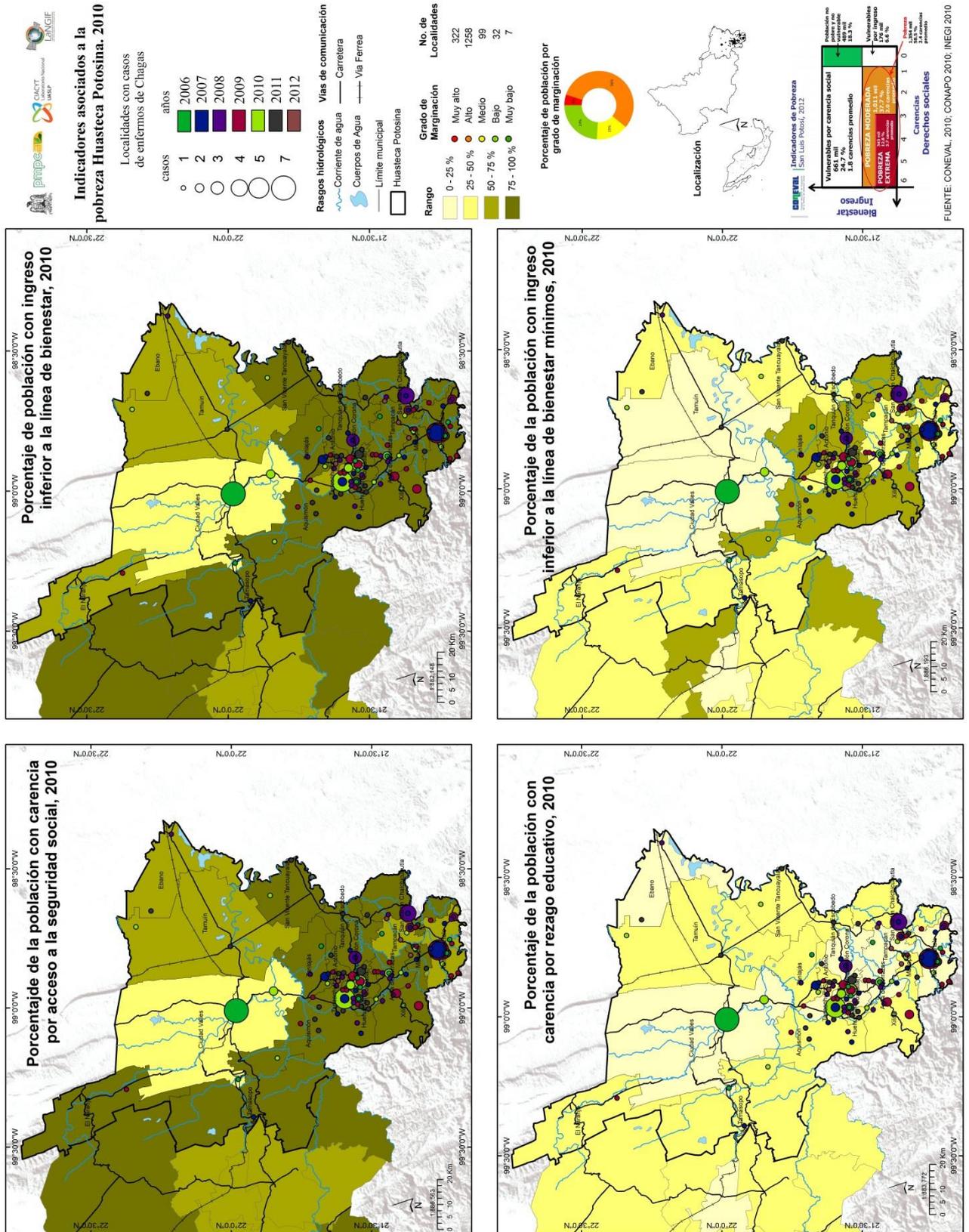


Figura 11. Indicadores asociados a la pobreza en la Huasteca Potosina. 2010



Fuente: Elaboración propia en base a CONEVAL 2010, CONAPO 2010; INEGI

Figura 12. Indicadores asociados a la pobreza en la Huasteca Potosina. 2010



Fuente: Elaboración propia en base a CONEVAL 2010, CONAPO 2010; INEGI 2010

Aunado a estos factores de riesgo, la huasteca presenta un alto grado de población indígena, entre los que sobresalen pames, teenek y nahual (estos tres grupos representan casi el 35% de la población de la huasteca) (Tabla 4).

Tabla 5. Población total e indígena en la Huasteca Potosina.

Municipio	Población total 2010	Población indígena	% Pob. ind. respecto al total municipal
Ciudad Valles	167,713	12,828	7.6
Ébano	41,529	3,347	8.1
Tamuín	37,956	4,685	12.3
San Vicente Tancuyalab	14,958	3,572	23.9
El Naranjo	20,495	137	0.7
Tamasopo	28,848	3,501	12.1
Tanquian de Escobedo	14,382	2,302	16.0
Tancanhuitz	21,039	13,635	64.8
Tanlajás	19,312	15,281	79.1
Tampamolón Corona	14,274	8,712	61.0
San Antonio	9,390	7,769	82.7
Aquismón	47,423	31,872	67.2
Huehuetlán	15,311	9,679	63.2
Tamazunchale	96,820	39,161	40.4
Matlapa	30,299	18,338	60.5
San Martín Chalchicuautla	21,347	9,586	44.9
Tampacán	15,838	7,106	44.9
Xilitla	51,498	20,808	40.4
Axtla de Terrazas	33,245	16,771	50.4
Coxcotlán	17,015	12,930	76.0

Fuente: Elaboración propia en base a INEGI 2010

La forma en que se distribuyen los indígenas a lo largo de la Huasteca no es homogénea, habiendo una menor presencia de ellos al norte de la región, mientras que al centro y sur hay una mayor concentración. De acuerdo con Gallardo (2004) estos grupos se encuentran establecidos de la siguiente forma:

Grupo Teenek en Aquismón, Tanlajás, Tampacán, Ciudad Valles, Huehuetlán, San Antonio y Tancanhuitz de Santos; Nahuas en Tamazunchale, Axtla de Terrazas, Xilitla, San Martín Chalchicuautla y Coxcatlán; y Pames en el municipio de Tamasopo. Todos estos constituyendo el 94% del total de indígenas del estado de San Luis Potosí.

En la cotidianidad de su vida los indígenas padecen de discriminaciones, constantemente son humillados con denominaciones como "huastequito", apelativo de

flojo, alcohólico y conformista (Hernández, 2000), situación que es acompañado por un fuerte rezago social.

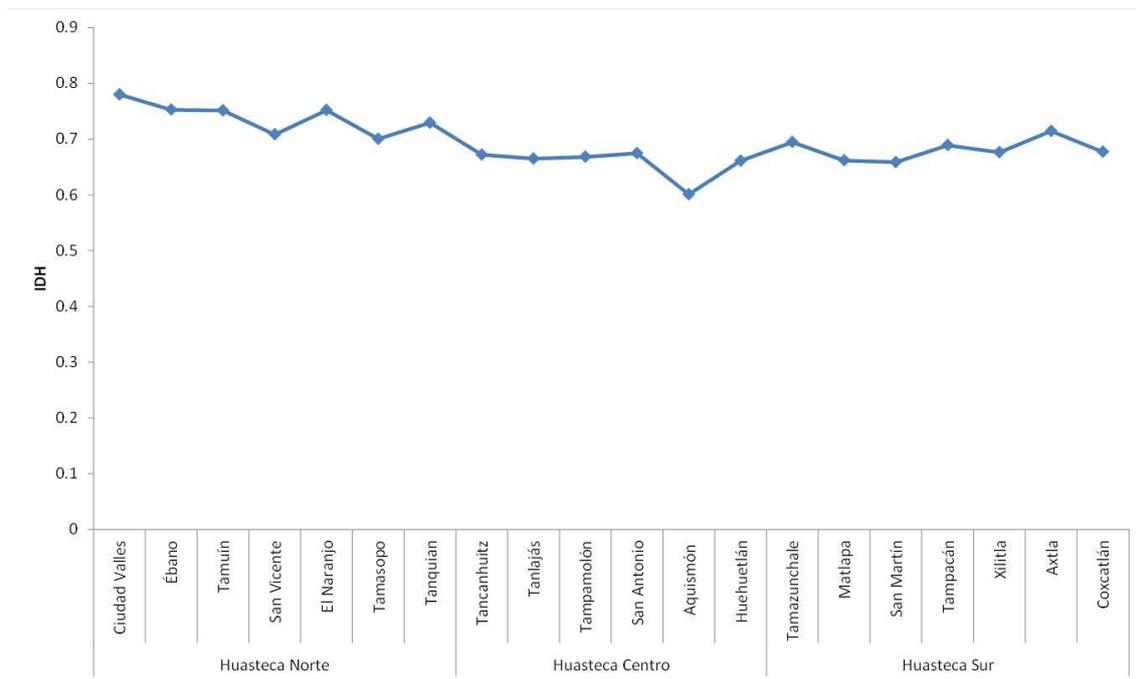
Los poblados y comunidades en los que se asientan comúnmente carecen de servicios básicos derivado del pequeño tamaño en que se constituyen y de sus ubicaciones, zonas en el interior de las sierras por lo regular segregadas, con casas construidas de materiales como la palma y madera, lo que resulta contrastante con las zonas urbanas en las que suelen ubicarse principalmente mestizos, zonas bajas con casas construidas de materiales como el concreto, tabique, etc.

Es importante señalar que las brechas sociales entre los indígenas y el resto de la población conlleva una discriminación la cual repercute en las oportunidades laborales, donde claramente existe un dominio mucho mayor del resto de los grupos sociales con respecto a los indígenas, esto se ve reflejado en las actividades que realizan donde es muy común encontrar a los mestizos en actividades comerciales, principalmente las establecidas, así como en la industria y actividades terciarias, su participación dentro del campo está básicamente en la ganadería, siendo propietarios de los hatos de ganado bovino más extensos en la región, cabe señalar que aunque muchos indígenas poseen cabezas de ganado, el número de estas no es tan numeroso, de esta forma las actividades agrícolas representan la principal ocupación de estos pueblos, seguido por la albañilería y unos cuantos más el comercio.

Las diferencias sociales y económicas presentes en la Huasteca se hacen evidentes en indicadores como el Índice de Desarrollo Humano (IDH), el cual tras ser promediado en cada una de las tres microrregiones muestra a la Huasteca centro con los valores más bajos, encabezado por el municipio de Aquismón, reiterando que en esta parte del territorio es donde mayor se concentra la población indígena.

Opuesto a esta situación está la Huasteca norte, con municipios cuyo valor del IDH son los más elevados de todo el territorio. Tal es el caso de Ciudad Valles, quien derivado de la convergencia económica que le caracteriza y la dotación de servicios generados se posiciona como el municipio con el mayor grado de desarrollo (Figura 13).

Figura 13. IDH de la Huasteca Potosina.



Fuente: Elaboración propia en base a IDH San Luis Potosí 2005

La Huasteca Potosina es una región que a pesar de ser muy rica en cultura y recursos naturales no ha logrado superar las brechas sociales que le permitan una riqueza más equitativa y que además generen mecanismos productivos con un mejor desempeño donde los bosques y selvas restantes no se vean más impactados.

De las tres microrregiones la norte se caracteriza por tener el grado más alto de industrialización, presentando cementeras, plantas hidroeléctricas y termoeléctricas, con Ciudad Valles como punta en la economía de toda la Huasteca Potosina. Este municipio junto con los otros seis que conforman esta microrregión presenta una amplia agricultura dedicada a la caña de azúcar así como una fuerte ganadería siendo estas las dos actividades más practicadas en la Huasteca norte, mismas que han propiciado la generación de la agroindustria, basada en el procesamiento de la caña de azúcar, así como de carne y leche derivados de la ganadería bovina, la cual representa una cuarta parte del total que existe en el estado de San Luis Potosí (Rivera, 2010).

En cuanto a la microrregión centro, las principales actividades económicas son el cultivo de cítricos, café, plantas de ornato y medicinales así como de especies

forestales de alto valor comercial, además de una baja ganadería. En esta microrregión, Tancanhuitz y Aquismón fungen como centros de intercambio comercial del área, además de poseer terrenos suministradores de caña de azúcar para los ingenios de la Huasteca norte, al que se suma el municipio de Tanlajás. Cabe señalar que una parte de la caña de azúcar que se genera es orientada a la fabricación del piloncillo (Rivera, 2010).

Finalmente la microrregión sur presenta como principales actividades el cultivo de café, en menor producción cítricos, caña de azúcar para piloncillo y la palmilla como planta de ornato. Dentro de los municipios conformantes, Coxcatlán, Tamazunchale y Xilitla se presentan como los productores más fuertes de café en el estado, sin embargo esta producción a nivel nacional solo aporta el 0.97% posicionándose en la séptima posición (SIAP, 2012). Adicional al cultivo del café, estos tres municipios más Matlapa fungen como los principales centros de abasto y proveedores de servicios para esta región (Rivera, 2010).

1.4.2 Factores que favorecen la presencia del vector en la Huasteca Potosina

Adicionalmente a todos los determinantes en salud en la huasteca discutidos anteriormente existen factores abióticos en la zona que favorecen la presencia del vector de la enfermedad de Chagas (clima, temperatura, convivencia con hospederos del vector, etc.). Empezaremos discutiendo las características que favorecen la presencia de las chinches y terminaremos describiendo las características abióticas de la Huasteca Potosina.

Los triatominos, chinches o vichuncas son insectos hematófagos. De acuerdo a los reportes en la literatura existen dos principales reservorios (Reyes-Novelo *et. al.*, 2011a): silvestres (principalmente sinantrópicos) tres especies de tlacuaches (*Didelphis virginiana*, *D. marsupialis* y *Philander opossum*) (Zavala-Velazquez, *et. al.*, 1996; Ruiz-Piña y Cruz-Reyes, 2002) zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*), tejón (*Nasua narica*), mapache (*Procyon lotor*), roedores silvestres (*Oryzomys melanotis*, *Heteromys gaumeri* y *Peromyscus yucatanicus*) (Ruíz-Piña y Van-Wynsberghe, 2002), armadillo (*Dasypus novemcinctus mexicanus*) y uno doméstico, como el perro (*Canis familiaris*) (Cruz-Reyes y Pickering-López, 2004) vacas, gatos, burros, cerdos, así como ratas y ratones domésticos (Salazar-Schettino *et. al.*, 1997).

Esto es importante porque en la Huasteca Potosina se acostumbra tener animales de traspatio, y en muchas ocasiones estos animales están en contacto directo con las personas, lo que representa un riesgo de convivencia con el vector (Figuras 14 y 15).

Figura 14. Convivencia cercana de posibles hospederos del insecto vector.



Fotografía: Hugo Medina G.

Figura 15. Convivencia cercana de posibles hospederos del insecto vector.



Fotografía: Hugo Medina G.

La importancia epidemiológica del vector se basa en su amplio grado de adaptabilidad, debido a que habita diversos ecosistemas, incluyendo selvas húmedas y secas (Zeledón *et. al.*, 2001), diferentes altitudes (0-1750 msnm) (Tabaru *et. al.*, 1999), explota diversas fuentes alimenticias (Sasaki *et. al.*, 2003), tiene alta diversidad en sitios de descanso (Petana, 1971; Zeledón y Rabinovich, 1981; Monroy *et. al.*, 2003), gran capacidad de colonización de las viviendas (Arzube, 1966; Zeledón *et. al.*, 1973) y alta longevidad (510 días en condiciones de laboratorio) y capacidad de dispersión (Rosabal, 1969, Schofield, 2002). Estos factores tienen un efecto directo sobre las tasas de transmisión de *T. cruzi* a humanos.

T. dimidiata invade las viviendas durante los meses más cálidos y secos (abril-junio) (Dumonteil *et. al.*, 2004; Hernández *et. al.*, 2010), lo que sugiere la existencia de un alto riesgo de transmisión al humano durante este periodo. Se han propuesto diversas razones para la emigración de *T. dimidiata* del área selvática a las comunidades; algunos estudios indican que un factor importante es la disminución de fuentes de alimentación silvestres (Arzube 1966; Zeledón *et. al.*, 1973; Sasaki *et. al.*, 2003). Otros estudios mencionan que *T. dimidiata* es atraída a las comunidades por el alumbrado público (Tabaru *et. al.*, 1999, Monroy *et. al.*, 2003a).

Los principales tipos de clima que se encuentran en la huasteca Potosina, de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1988), corresponden a cálidos húmedos y subhúmedos y semicálidos húmedos (Figura 13). En la parte baja (altitudes menores a 400 msnm) predominan el clima tipo cálido húmedo con lluvias monzónicas en verano Am, seguidas por una franja de tipo cálido húmedo con lluvias abundantes todo el año Af(m) entre los 700 y 200 msnm.

En las partes más altas (mayores a 600 msnm), y por el efecto orográfico, se encuentra el tipo semicálido húmedo con lluvias abundantes todo el año (A)C(fm). Solo en una pequeña parte al sur de la RCHP se encuentra el clima tipo cálido subhúmedo con lluvias en verano Aw2 (Figura 16).

La temperatura disminuye conforme se eleva la altitud, por lo que en las zonas más bajas se reporta una temperatura media anual mayor a los 24° (Figura 17), con una mínima de 18° (Figura 18) y una máxima superior a los 30° (Figura 19) en verano. En la zona intermedia (altitud entre los 300 y 800 msnm) se tienen temperaturas medias anuales que

van entre los 20° y 24°, (Figura 17), donde su mínima es de 14° a 18° (Figura 18), y una máxima de 26° a 30° (Figura 19). En altitudes superiores a los 800 msnm se registra una temperatura media anual de 19° (Figura 17), con mínimas mayores a los 12° (Figura 18) y máximas que no rebasan los 25° en verano (Figura 19).

Como resultado de la humedad y la presencia de la barrera orográfica, la mayor parte presenta precipitaciones superiores a los 2000 mm anuales. En la parte más baja, se reportan precipitación media anual inferior a los 1800 mm, siendo los meses más lluviosos entre junio y octubre. La parte central, distribuida en un franja con dirección NW-SE y paralela a los niveles altitudinales, se registran precipitaciones medias anuales de entre 2200 y 2400 mm, y en las partes altas, específicamente al norte de Xilitla, hay una zona con más de 2800 mm al año, presentándose la temporada de lluvia entre Junio y Octubre, siendo septiembre la más lluviosa con más de 500 mm.

Figura 16. Tipos de climas en la Huasteca Potosina. Fuente: LANGIF

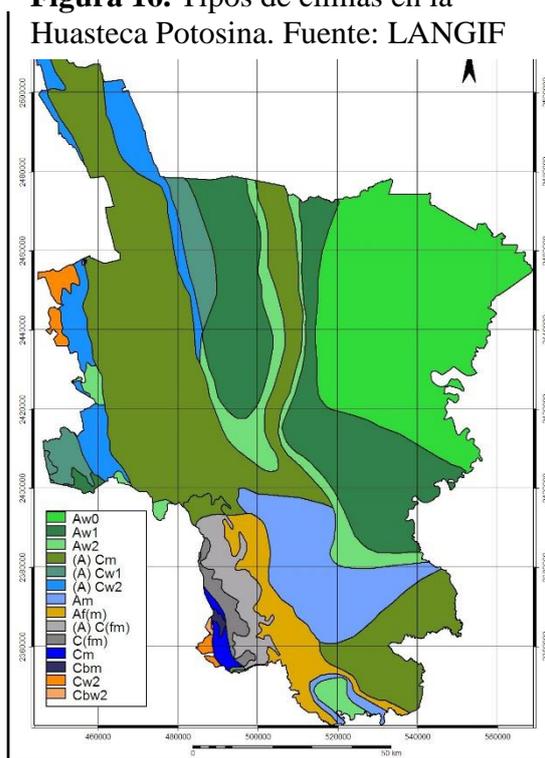


Figura 17. Temperatura media anual en la huasteca Potosina. Fuente:

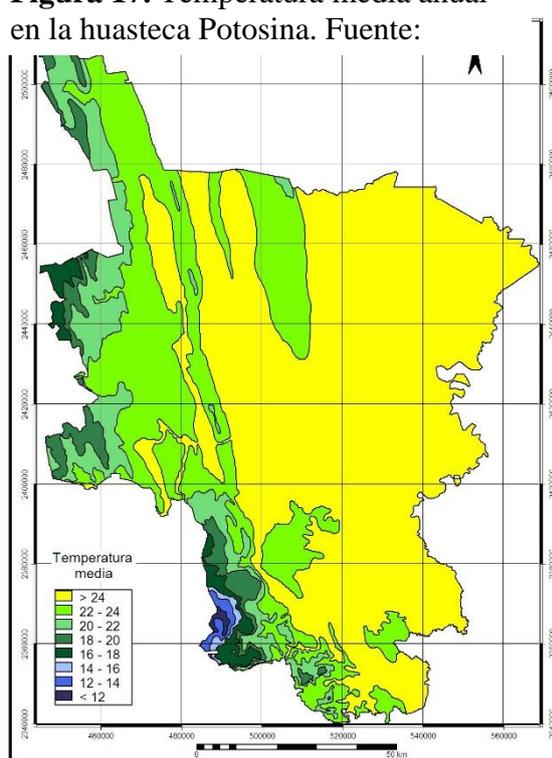


Figura 18. Temperatura mínima en la huasteca Potosina. Fuente: LANGIF

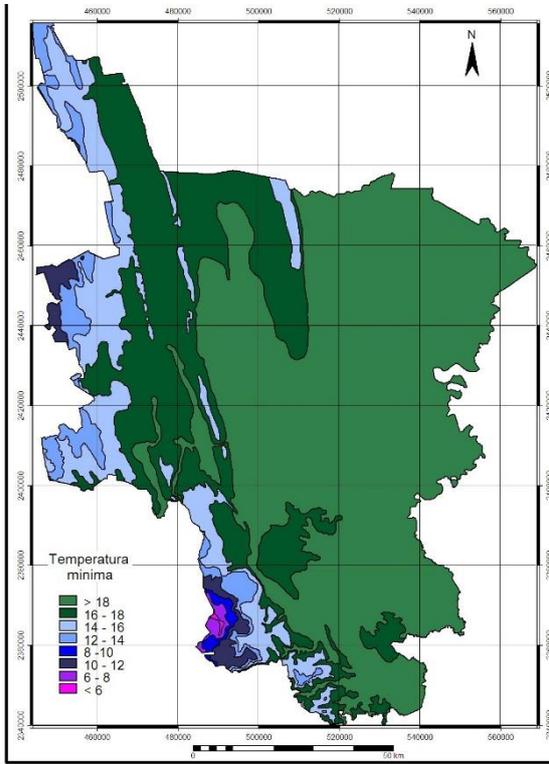
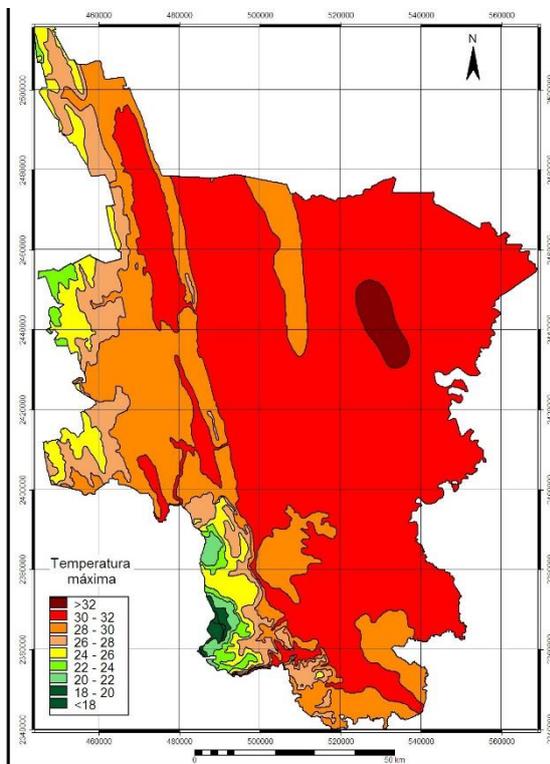


Figura 19. Temperatura máxima en la huasteca Potosina. Fuente: LANGIF



2 CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO TEÓRICO - METODOLÓGICO

Después de haber presentado un panorama actual de la enfermedad de Chagas en el contexto internacional, nacional y local así como de las carencias del actual sistema de salud en México en el capítulo anterior, a continuación presentamos un planteamiento teórico – metodológico para el abordaje de este importante problema de salud pública en México.

Primeramente iniciaremos con una ficha técnica de la enfermedad de Chagas. Una ficha técnica es un documento que contiene las características de una especie de manera detallada. Como vimos en el capítulo anterior hay mucha información generada sobre la enfermedad de Chagas en tesis, libros, artículos, etc., así como también sobre diferentes temas (epidemiología, distribución, formas de contagio, etc.), por lo que en la ficha técnica agruparemos esa información para tener un documento que contenga todas las características de manera detallada.

En el segundo tema abordaremos la metodología que seguiremos para el cumplimiento de los objetivos planteados. Esta sección incluye las variables que resultaron necesarias para entender la enfermedad de Chagas después de realizada la ficha técnica; la base de datos, que no es otra cosa que la información de esas variables y el trabajo de campo que se está realizando para generar la información que contendrá la base de datos.

Por último concluimos este capítulo con una propuesta de modelos tanto de la enfermedad de Chagas como de distribución de vectores:

- El modelo de la enfermedad de Chagas. Es un modelado espacial bayesiano que nos mostrará las áreas de mayor riesgo a la presencia de la enfermedad así como las variables, tanto ambientales como socioeconómicas, que determinan que sean esas las zonas de mayor riesgo.
- El modelo de distribución de vectores. Es un modelo de distribución potencial de cada una de las especies presentes en la Huasteca Potosina usando información de variables ambientales mediante métodos de inteligencia artificial.
- El último modelo propuesto es un modelo de la abundancia de cada especie colectada y reportada y de la infección (como vimos en el capítulo I no todos los

insectos vectores están infectados con el protozoo), en función de variables ambientales y sociales con una regresión multivariada.

Los mapas generados con estos modelos representarán de forma gráfica las áreas susceptibles a la enfermedad, a la presencia de insectos y a su índice de infección.

2.1 FICHA TÉCNICA DE LA ENFERMEDAD DE CHAGAS

Contar con la información detallada sobre la enfermedad de Chagas en un solo documento permitirá tener un marco de referencia que permita determinar características asociadas a la presencia tanto de los vectores como de la enfermedad.

En este apartado iniciamos mencionando generalidades de la enfermedad de Chagas, identidad y situación legal en México, agente etiológico, epidemiología en las Américas y México con información oficial (OPS), síntomas, tratamiento, transmisión, distribución geográfica a nivel mundial, nacional y en caso particular de la Huasteca Potosina

Como en México la transmisión vectorial es la más importante se hace una síntesis de los vectores que la transmiten en la región de la Huasteca Potosina y todos los factores que favorecen la presencia de esos vectores en esta zona.

2.1.1 Enfermedad de Chagas o Tripanosomiasis Americana

El Chagas es una enfermedad causada por un parásito llamado *Trypanosoma cruzi*, que puede vivir en la sangre y tejidos de personas y animales y en el tubo digestivo de insectos (chinches). Como este insecto se alimenta de la sangre de personas y animales, al picar transmite la enfermedad. La chinche puede encontrarse en las casas, gallineros, corrales y depósitos. Durante el día se esconde en los agujeros de las paredes, techo, debajo de los colchones o entre las cosas amontonadas o colgadas en la pared. De noche sale a alimentarse. Este insecto transmite el Chagas porque mientras pica, para alimentarse, defeca y cuando la persona se rasca arrastra los parásitos de la materia fecal hacia el lugar de la picadura introduciendo los parásitos en su cuerpo.

La Tripanosomiasis americana se encuentra en aquellas zonas del país donde hay chinches aunque los movimientos migratorios han generado un aumento de infectados en lugares donde no se encuentra el insecto. En México se estima en 1.1 millones de personas que tienen Chagas, de acuerdo a cifras oficiales (WHO), aunque existen otras

estimaciones: 1 – 6 millones (Hotez, et. Al. 2013). Es una de las endemias más expandidas de América Latina. Las estimaciones de la Organización Mundial de la Salud señalan que en todo el mundo, pero principalmente en América Latina, unos 10 millones de personas se encuentran enfermas.

Esta enfermedad, más que ninguna otra, está íntimamente ligada con el desarrollo económico y social, asociada a la pobreza y las malas condiciones de la vivienda, y es considerada como una “enfermedad desatendida u olvidada”. A partir de 1993 la OMS la consideró como la enfermedad parasitaria más grave en América y es parte de la lista de las catorce enfermedades "descuidadas o negligidas"; asimismo, se encuentra ampliamente distribuida en las áreas rurales de Latinoamérica y en zonas marginadas de las grandes ciudades principalmente, y debido a los movimientos migratorios se reconoce como un problema de salud global importante.

La enfermedad de Chagas es un claro ejemplo de cómo la ausencia o limitación de los determinantes de la atención de la salud, repercuten en la calidad de vida de las poblaciones humanas en condiciones de riesgo, generado por la presencia del vector y la falta de estrategias para su control (Pérez y Hernández, 2013). En los servicios de salud, la enfermedad de Chagas es vista como una enfermedad indeseable, cuyo control y vigilancia no es un problema, por lo que se termina realizando una exclusión por omisión.

2.1.2 Identidad

Nombre:	Tripanosomiasis americana
Sinonimia:	enfermedad de Chagas Enfermedad de Chagas-Maza
Situación en México:	sujeta a vigilancia epidemiológica NOM-017-SSA-2012 para la vigilancia epidemiológica NOM-032-SSA-2010 para la vigilancia epidemiológica, prevención y control de las enfermedades transmitidas por vector

2.1.3 Etiología

Clasificación del agente causal

Protozoario de la familia tripanosomatidae: *Trypanosoma cruzi*

2.1.4 Epidemiología

El último reporte oficial de la Organización Panamericana de la Salud (2005) muestra que para la región de América existían más de 7 millones de infectados y más de 41 mil casos anuales por transmisión vectorial y más de 14 mil casos anuales por transmisión congénita, dato explicado por las mujeres en edad reproductiva que son positivas al protozoo, así como una prevalencia en bancos de sangre de 1,28. La tasa de prevalencia es de 1,448 con una incidencia de 0,008.

El mismo reporte indica en el caso particular de México que existían más de 1 millón de infectados y una población en riesgo de casi 30 millones, es decir, la población que vive en zonas endémicas. Para el caso del país se presentan casi 8 mil nuevos casos anuales por transmisión vectorial y más de mil casos anuales de transmisión congénita. La tasa de prevalencia es similar a la de América, igualmente la tasa de incidencia (1,028 y 0,007 respectivamente) (Tabla 6).

Tabla 6. Datos de la enfermedad de Chagas en América y México

Datos	Año 2005	
	Países de las Américas	México
Población	531 432 850	107 029 000
Número de infectados	7 694 500	1 100 000
Nuevos casos anuales de transmisión vectorial	41 200	7 700
Casos de Chagas congénito (anual)	14 385	1 100
Mujeres + entre 14 y 44 años	1 809 507	243 000
Tasa de prevalencia	1.448	1.028
Tasa de incidencia	0.008	0.007
Incidencia de Chagas congénito	0.133	0.051
Población expuesta en zonas endémicas	108 595 000	29 500 000
Nacimientos por año	10 832 950	2 159 000
Cardiopatías	1 772 365	99 143
Bancos de sangre (prevalencia donantes)	1.28	0.060

Fuente: OPS, 2005. Estimación cuantitativa de la enfermedad de Chagas en las Américas

2.1.5 Síntomas

Generalmente pasa desapercibida porque no muestra síntomas o exhibe sólo signos y síntomas leves. Pero puede dividirse en dos fases. Inicialmente, la fase aguda dura unos dos meses después de contraerse la infección. Durante esta fase aguda circulan por el torrente sanguíneo una gran cantidad de parásitos. Los síntomas que nota el paciente pueden incluir: fiebre, fatiga, dolor de cuerpo, dolor de cabeza, pérdida de apetito, diarrea y/o vómito. Sin embargo en menos del 50% de las personas picadas por un triatomíneo, se presenta un signo inicial característico que puede ser una lesión cutánea o una hinchazón amoratada de un párpado.

Durante la fase crónica, los parásitos permanecen ocultos principalmente en el músculo cardíaco y digestivo. Hasta un 30% de los pacientes sufren trastornos cardíacos y hasta un 10% presentan alteraciones digestivas (típicamente, agrandamiento del esófago o del colon), neurológicas o mixtas. Con el paso de los años, la infección puede causar muerte súbita o insuficiencia cardíaca por la destrucción progresiva del músculo cardíaco.

2.1.6 Tratamiento

La enfermedad de Chagas puede tratarse con benznidazol, y también con nifurtimox, que matan al parásito. Ambos medicamentos son eficaces casi al 100% para curar la enfermedad si se administran al comienzo de la infección en la etapa aguda. Sin embargo, su eficacia disminuye a medida que transcurre más tiempo desde el inicio de la infección.

El tratamiento con estos medicamentos también está indicado en caso de reactivación de la infección (por ejemplo, por inmunodepresión), en niños que padecen infección congénita y en los pacientes al principio de la fase crónica.

El tratamiento se debe ofrecer a los adultos infectados, especialmente a los que no presentan síntomas dado que puede frenar la progresión de la enfermedad.

Los posibles beneficios de la medicación para prevenir o retrasar el avance de la enfermedad de Chagas deben sopesarse contra la duración prolongada del tratamiento (hasta dos meses) y las posibles reacciones adversas (que se presentan hasta en un 40% de los pacientes tratados).

El benznidazol y el nifurtimox no deben administrarse a las embarazadas ni a las personas con insuficiencia renal o hepática. El nifurtimox también está contraindicado en personas con antecedentes de enfermedades del sistema nervioso neurológicas o trastornos psiquiátricos.

Además, puede ser necesario administrar un tratamiento específico para las manifestaciones cardiacas o digestivas.

2.1.7 Transmisión

La enfermedad de Chagas es una enfermedad transmitida principalmente por insectos triatómicos que se alimentan de sangre y que presentan un parásito llamado *Trypanosoma cruzi*, este parásito puede vivir en el tubo digestivo de los insectos y en la sangre o tejidos de personas y animales. Estos insectos por lo general se encuentran en gallineros, corrales, depósitos de animales o zonas de cultivo muy densas, también podemos encontrarlos en casas de madera o palma cercanas a los sitios antes mencionados, durante el día se esconde en los agujeros de las paredes, techo, debajo de los colchones, entre las cosas amontonadas o colgadas en la pared y de noche sale a alimentarse. Los triatóminos transmiten el Chagas porque mientras pican para alimentarse, defecan y cuando la persona se rasca arrastra los parásitos de la materia fecal hacia el lugar de la picadura introduciendo los parásitos en su cuerpo.

Figura 20. El material de las viviendas y la convivencia de animales favorecen el contacto con los vectores



Fotografías: Hugo Medina G.

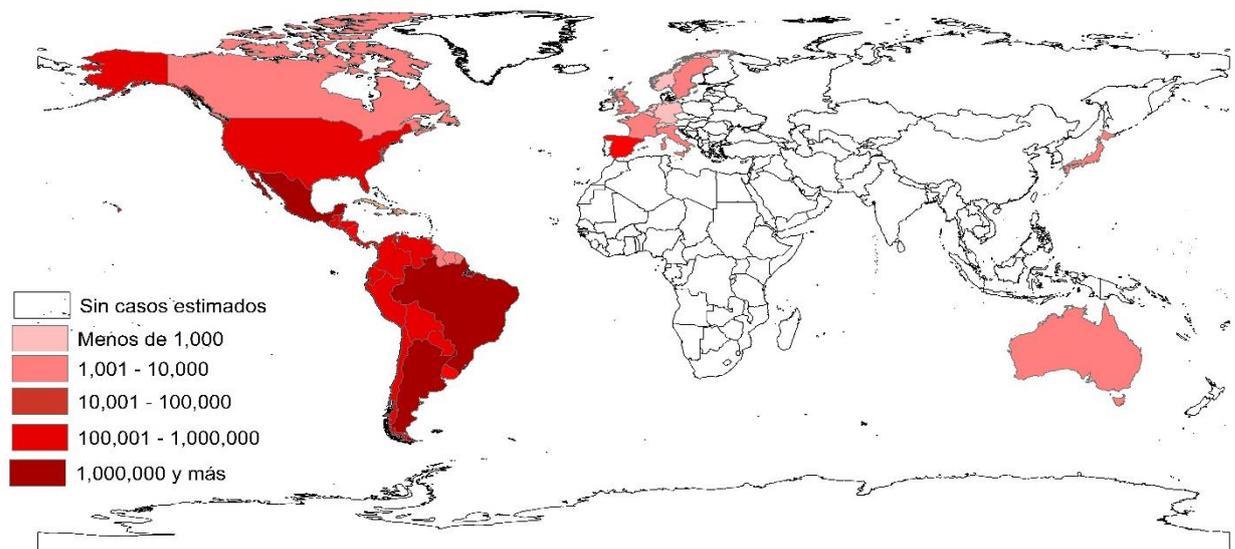
Adicional a la transmisión vectorial se reconocen otros cinco mecanismos de transmisión: congénito (de madre a hijo, muy común en zonas endémicas), trasplante de órganos, trasplante de sangre (principal mecanismo en países no endémicos), por accidentes de

laboratorio y por alimentos, este último ha cobrado gran relevancia en los últimos años en países de Sudamérica.

2.1.8 Distribución geográfica

La enfermedad de Chagas se encuentra principalmente en América Latina, pero en las últimas décadas se ha observado con mayor frecuencia en los Estados Unidos de América, Canadá, muchos países europeos y algunos del Pacífico Occidental. Esto obedece sobre todo a la movilidad de la población entre América Latina y el resto del mundo.

Figura 21. Estimación global de población infectada con *Trypanosoma cruzi* 2009.



Fuente: OPS estimación cuantitativa de la enfermedad de chagas en las américas

Distribución en México

Los primeros reportes de esta enfermedad en México fue en 1938, actualmente se estima en 1.1 millones de personas tienen Chagas, de acuerdo a cifras oficiales (WHO), aunque existen otras estimaciones: 1 – 6 millones (Hotez, et. Al. 2013). Lo cual nos indica de un severo problema de escasez de información, ya que se distribuye en áreas rurales dispersas.

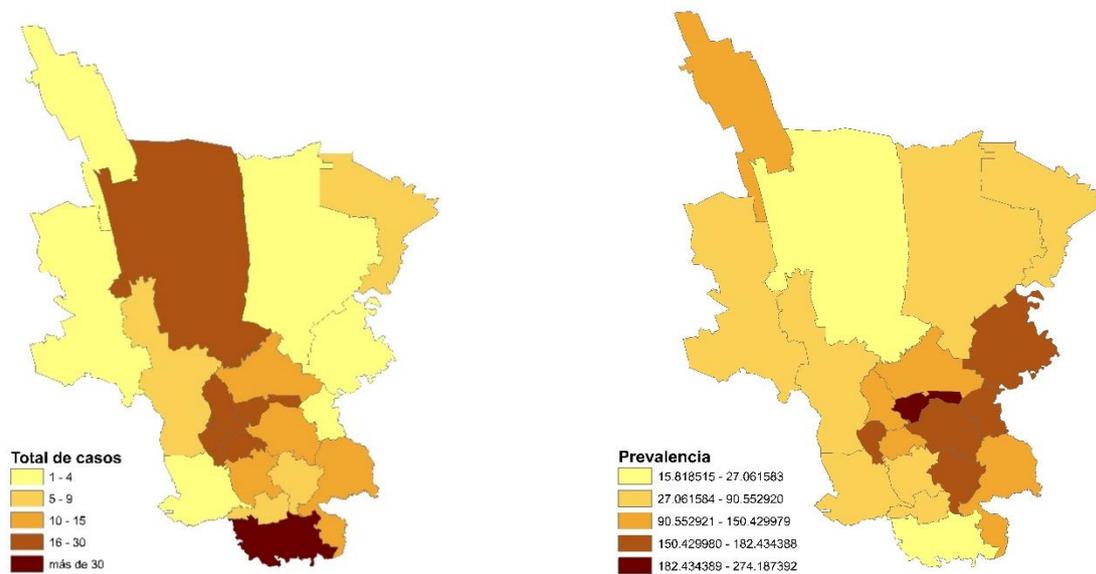
La escasa información que existe en México sobre la enfermedad de Chagas, así como la polémica sobre su importancia, sirvió de pauta al estudio de seroprevalencia contra *Trypanosoma cruzi* dentro de la Encuesta Nacional de Seroepidemiología (ENSE), representativa de la realidad nacional en cuanto a la prevalencia de las enfermedades o factores con impacto en la salud pública. Desafortunadamente, para la investigación de la

tripanosomiasis americana, que se distribuye en áreas rurales dispersas, la cobertura de la ENSE no fue óptima. Sin embargo, los resultados de la encuesta indican que la enfermedad de Chagas se presenta irregularmente en todo el territorio nacional y tiene una prevalencia de 1.6, 0.5 y 0.2 para las diferentes diluciones aplicadas en el análisis, aunque su importancia parece ser menor a las estimaciones calculadas por diversos autores.

2.1.9 Enfermedad de Chagas en la Huasteca Potosina

Esta enfermedad, más que ninguna otra, está íntimamente ligada con el desarrollo económico y social, asociada a la pobreza y las malas condiciones de la vivienda, y es considerada como una “enfermedad desatendida u olvidada”. A partir de 1993 la OMS la consideró como la enfermedad parasitaria más grave en América y es parte de la lista de las catorce enfermedades "descuidadas o negligidas"; asimismo, se encuentra ampliamente distribuida en las áreas rurales de Latinoamérica y en zonas marginadas de las grandes ciudades principalmente, y debido a los movimientos migratorios se reconoce como un problema de salud global importante.

Figura 22. Total de casos de enfermos de chagas en la Huasteca Potosina. 2003 - 2012



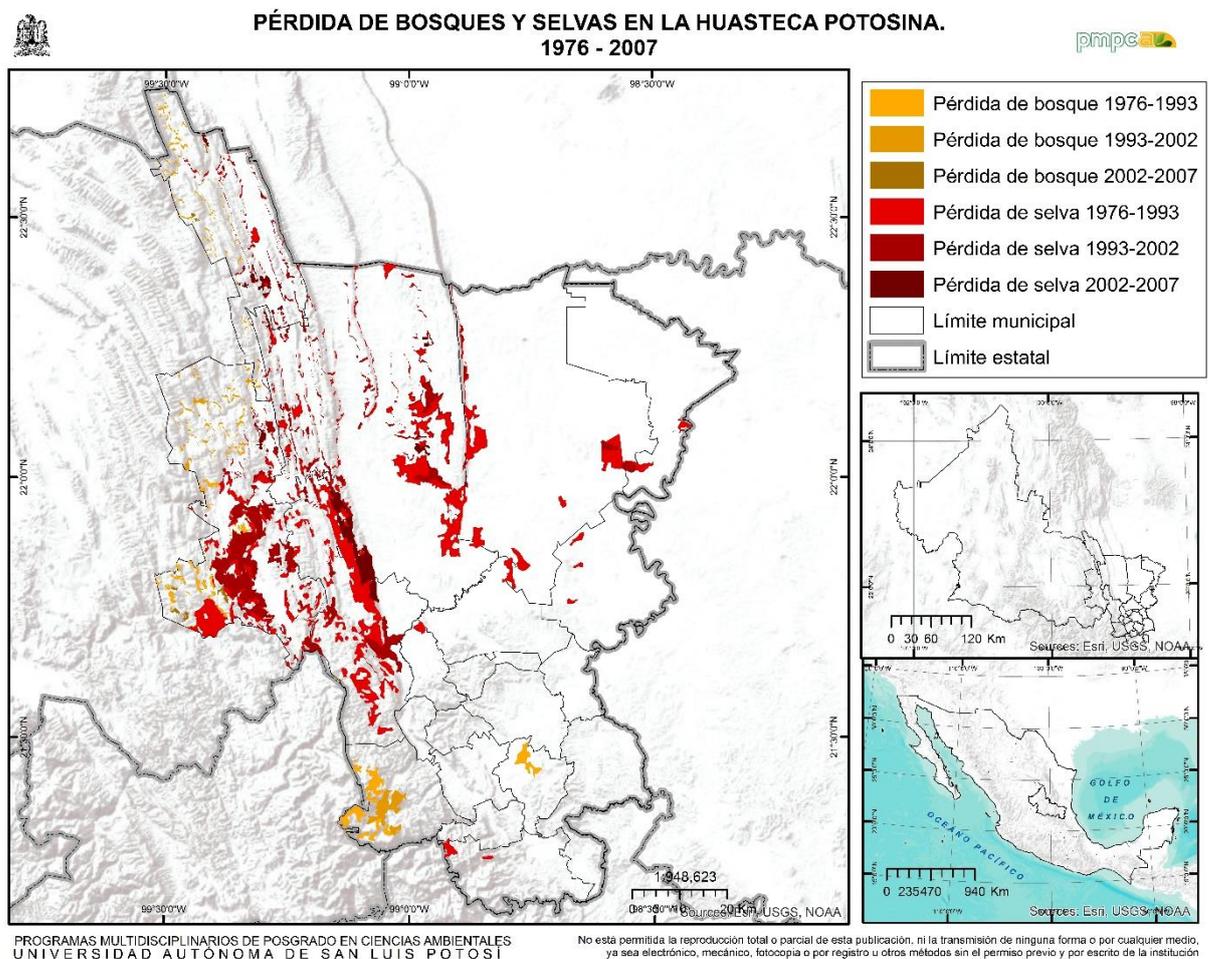
Fuente: elaboración propia con base a Secretaría de Salud de San Luis Potosí

En San Luis Potosí, de acuerdo a los datos de la Secretaría de Salud del Estado, se han reportado un total de 261 infectados en el periodo de 2003 al 2012, siendo la Jurisdicción

Sanitaria Número VI (correspondiente a la región huasteca) la que presenta la mayoría de los casos. En esta zona predominan climas cálidos húmedos y subhúmedos y semicálidos húmedos.

Uno de los determinantes principales en esta enfermedad es el clima y la geografía; esta enfermedad es tropical. En el caso de las chinches y la enfermedad de Chagas es conocida la asociación entre mamíferos, parásitos y vectores en focos enzoóticos, formando “nidos” naturales al interior de una gran variedad de comunidades ecológicas, de acuerdo a la teoría de Pavlovsky (Parra-Henao, 2010). Estos nidos naturales han sido invadidos por las actividades humanas, provocando que los triatominos entren en contacto directo con los humanos, convirtiéndose éstos última en una fuente de alimento al alcance de las chinches, lo que se ve reflejado en los casos reportados para la zona.

Figura 23. Pérdida de bosques y selvas en la Huasteca Potosina



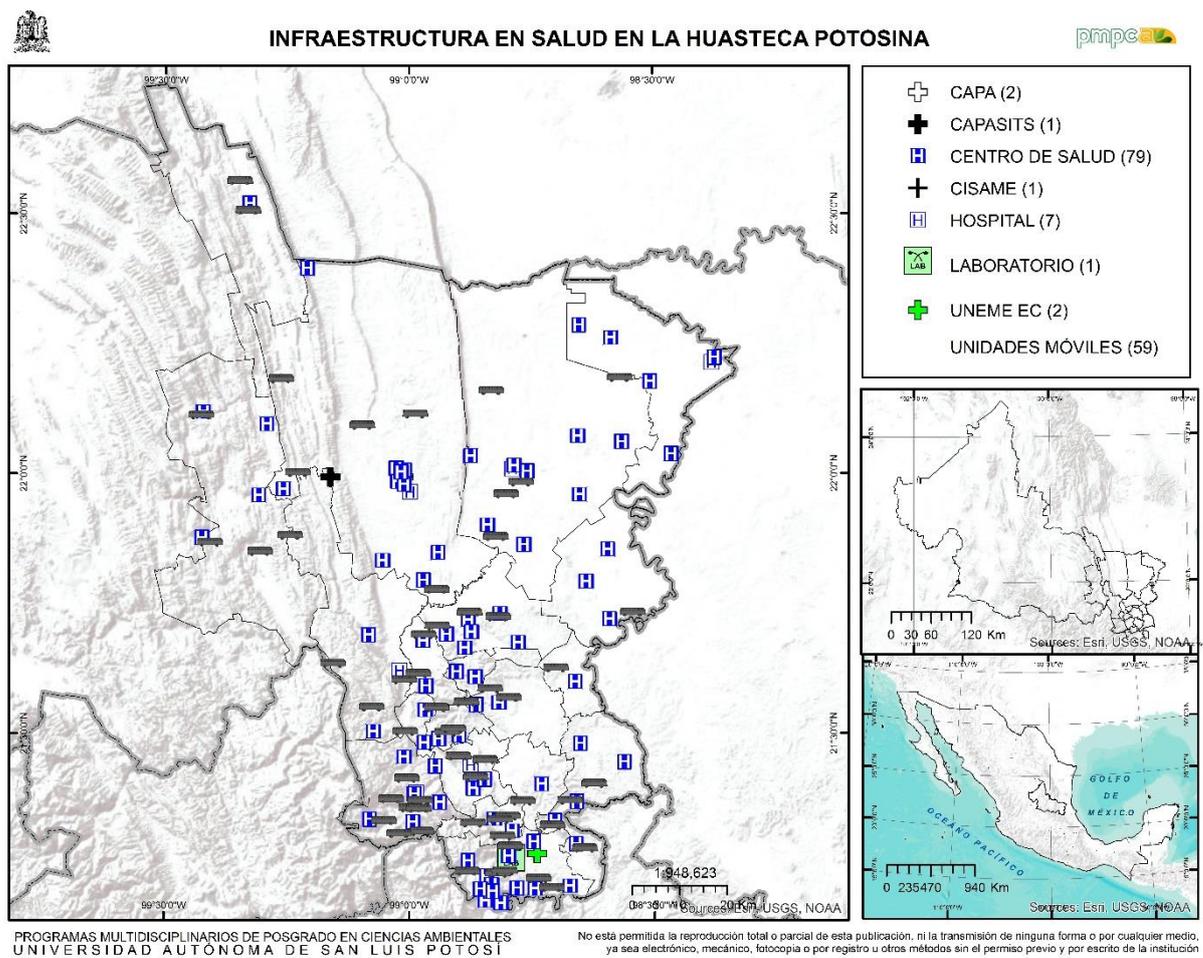
Fuente: Elaboración propia con base a series III, IV y V INEGI

En la Figura 23 puede observarse la deforestación que presenta esta zona: 974.84 km² de selvas y 158.21 km² de bosques en el periodo de 1976 al 2007, lo que favorece el contacto directo con los triatominos.

La enfermedad de Chagas es un claro ejemplo de cómo la ausencia o limitación de los determinantes de la atención de la salud, repercuten en la calidad de vida de las poblaciones humanas en condiciones de riesgo, generado por la presencia del vector y la falta de estrategias para su control (Pérez y Hernández, 2013).

En los servicios de salud, la enfermedad de Chagas es vista como una enfermedad indeseable, cuyo control y vigilancia no es un problema, por lo que se termina realizando una exclusión por omisión.

Figura 24. Infraestructura en salud en la Hausteca Potosina



Fuente: Elaboración propia con base a Secretaría de Salud de San Luis Potosí

En lo referente a riesgos sociales, en esta región existen solamente siete hospitales un laboratorio y 79 centros de salud (Figura 24), la mayoría con carencias y en muchas ocasiones sin doctores que las atiendan.

En cuanto a los riesgos económicos, el 37.7% de la población del estado se encuentra en pobreza moderada, y el 12.8% en pobreza extrema, es decir, el 50.5% de la población del estado se encuentra en pobreza. En el caso de la huasteca Potosina más del 50% de la población se encuentra por debajo de la línea de bienestar de los indicadores asociados a la pobreza.

Aunado a estos factores de riesgo, la huasteca presenta un alto grado de población indígena, entre los que sobresalen pames, teenek y nahual (estos tres grupos representan casi el 35% de la población de la huasteca) (Tabla 7).

Tabla 7. Población total e indígena en la Huasteca Potosina.

Municipio	Población total 2010	Población indígena	% Pob. ind. respecto al total municipal
Ciudad Valles	167,713	12,828	7.6
Ébano	41,529	3,347	8.1
Tamuín	37,956	4,685	12.3
San Vicente Tancuyalab	14,958	3,572	23.9
El Naranjo	20,495	137	0.7
Tamasopo	28,848	3,501	12.1
Tanquian de Escobedo	14,382	2,302	16.0
Tancanhuitz	21,039	13,635	64.8
Tanlajás	19,312	15,281	79.1
Tampamolón Corona	14,274	8,712	61.0
San Antonio	9,390	7,769	82.7
Aquismón	47,423	31,872	67.2
Huehuetlán	15,311	9,679	63.2
Tamazunchale	96,820	39,161	40.4
Matlapa	30,299	18,338	60.5
San Martín Chalchicuatla	21,347	9,586	44.9
Tampacán	15,838	7,106	44.9
Xilitla	51,498	20,808	40.4
Axtla de Terrazas	33,245	16,771	50.4
Coxcotlán	17,015	12,930	76.0

Fuente: Elaboración propia con base a INEGI 2010

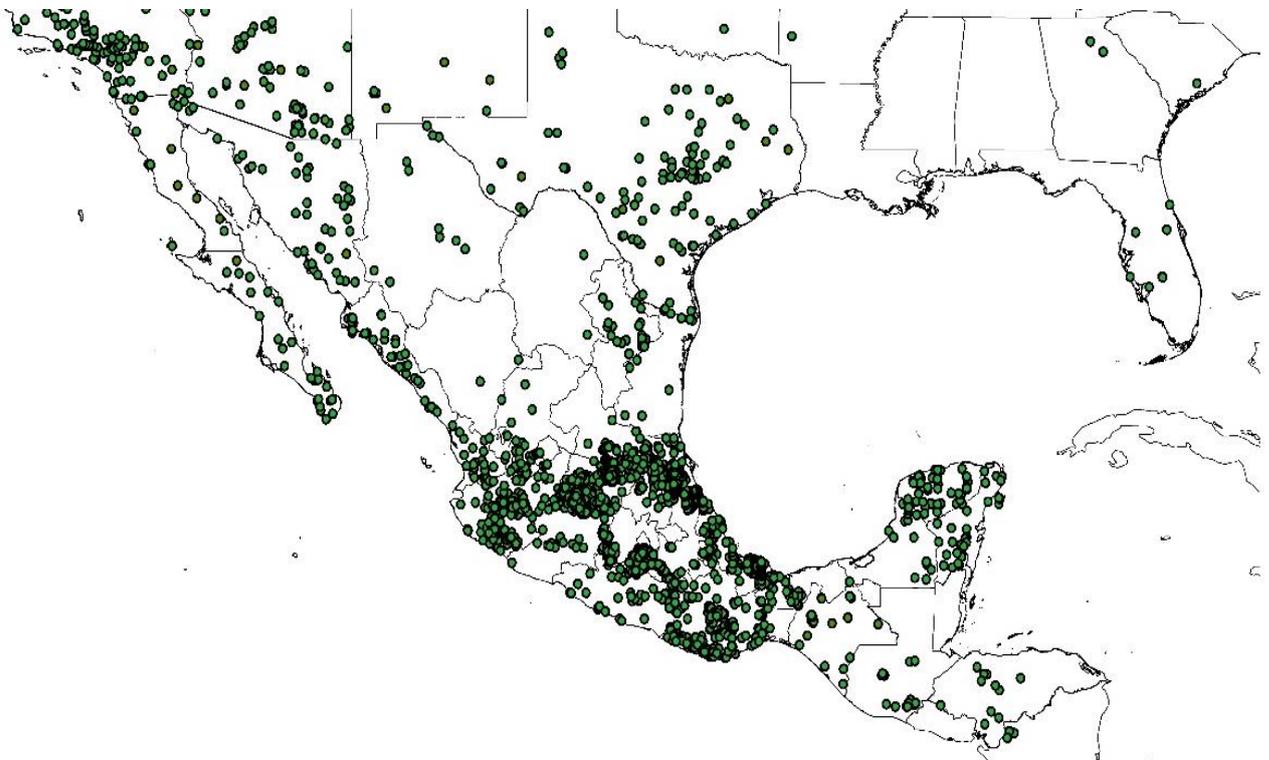
2.1.10 Vectores que la transmiten

Se conocen más de 130 especies de triatomos en las américas, con 39 especies documentadas en México, y al menos 21 de ellas infectadas con el protozoo *T. cruzi* lo que las convierte en vectores potenciales de la enfermedad de Chagas. Entre los insectos vectores de importancia epidemiológica se encuentran: *Triatoma barberi*, *T. dimidiata*, *T. pallidipennis* (*Meccus pallidipennis*), *T. longipennis* (*Meccus longipennis*), *T. infestans*, *T. mazzotti* (*Meccus mazzotti*), *T. mexicana*, *T. gearslaeckeri*, *T. picturata* (*Meccus picturatus*), *Rhodnius prolixus*, *Dipetalogaster maxima* y *Panstrongylus* spp.

En la figura 25 se observa la distribución de vectores del género triatoma en la república mexicana y algunos estados de Estados Unidos en la frontera norte y Guatemala y Belize en la frontera sur.

Como puede observarse en la totalidad de los estados de la República Mexicana se ha reportado presencia de triatomos del género triatoma, siendo mucho más densa la presencia de este género en los estados del centro y sur del país.

Figura 25. Distribución de vectores del género triatoma en la República Mexicana

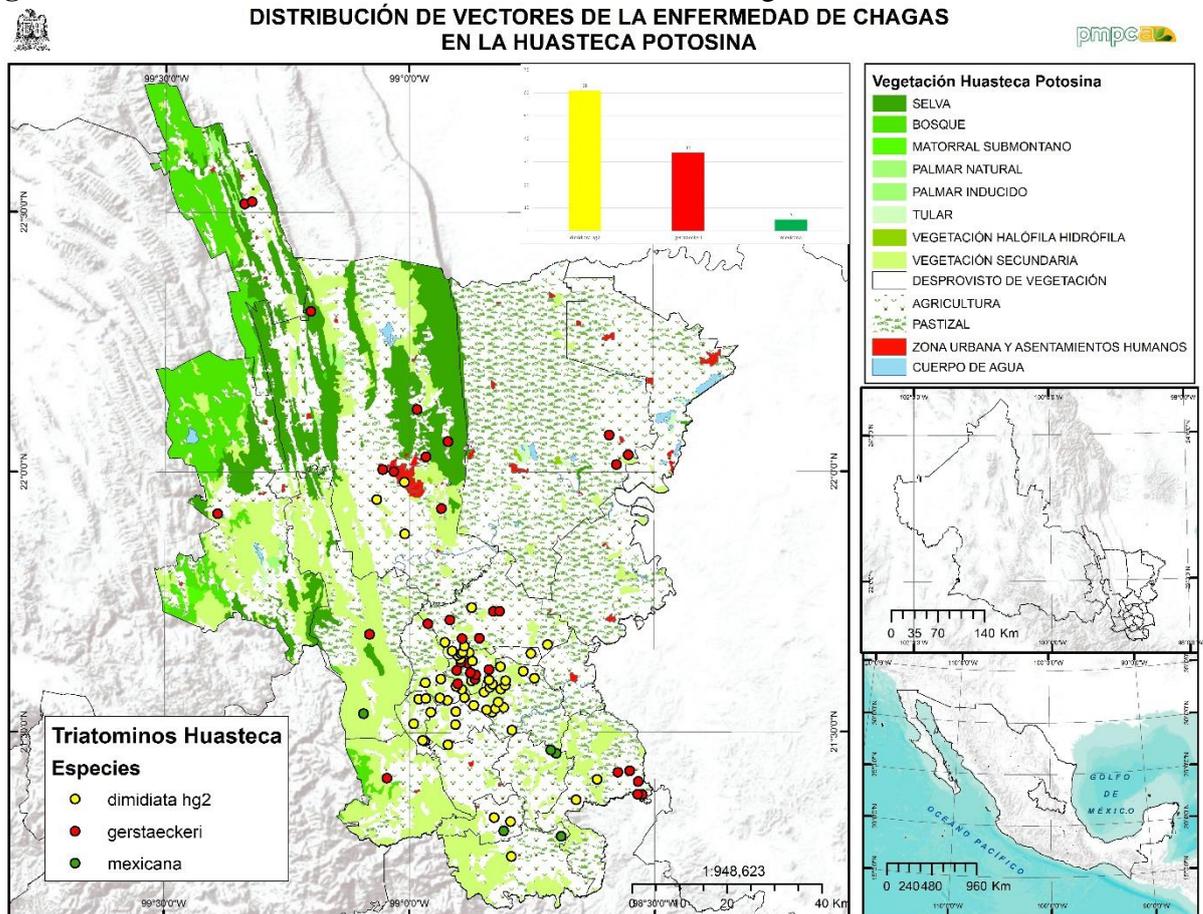


Fuente: elaboración propia con base a recopilación bibliográfica

VECTORES EN LA HUASTECA POTOSINA

En la Huasteca Potosina se han reportado tres especies de triatominos: *T. dimidiata*, *T. mexicana* y *T. gerstaeckeri*, siendo más abundante *T. dimidiata* con 61 registros, seguido de *T. gerstaeckeri* con 34 registros y en mucho menor proporción *T. mexicana* con cinco registros. La distribución de estas especies de vectores es irregular, observándose una mayor abundancia de *T. dimidiata* en áreas de agricultura o pastizal, lo que indicaría una posible domiciliación. *T. mexicana* y *T. gerstaeckeri* por su parte puede ser localizada tanto en áreas agrícolas y de pastizal como en áreas de vegetación natural (selva, bosque y vegetación secundaria) (Figura 26).

Figura 26. Distribución de vectores de la enfermedad de Chagas en la Huasteca Potosina



Fuente: Elaboración propia con base a muestreos e información bibliográfica

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL HÁBITAT

Figura 27. Triatominos en viviendas.



Fuente: WHO

Es una especie selvática que invade las viviendas. Se esconden en grietas en las casas o fuera de ellas, debajo de piedras y entran a las casas y pican durante la noche. Su hábitat natural son los nidos de ratas, en casas construidas de materiales sueltos, como las casas de adobe (Figura 24).

Su importancia epidemiológica se basa en su amplio grado de adaptabilidad, debido a que habita diversos ecosistemas, incluyendo selvas húmedas y secas (Zeledón et. al., 2001), diferentes altitudes (0-1750 msnm) (Tabaru et. al., 1999), explota diversas fuentes alimenticias (Sasaki et. al., 2003), tiene alta diversidad en sitios de descanso (Petana, 1971; Zeledón y Rabinovich, 1981; Monroy et. al., 2003), gran capacidad de colonización de las viviendas (Arzube, 1966; Zeledón et. al., 1973) y alta longevidad (510 días en condiciones de laboratorio) y capacidad de dispersión (Rosabal, 1969, Schofield, 2002). Estos factores tienen un efecto directo sobre las tasas de transmisión de *T. cruzi* a humanos.

El tiempo de vida en condiciones naturales varía de acuerdo al sexo, por ejemplo los machos con alimento sobreviven durante 160 días, mientras que las hembras pueden vivir hasta 172 días aproximadamente (Reyes-Novelo et. al., 2011b).

En la tabla 8 se resumen las características y variables que determinan y favorecen la presencia de los insectos vectores, estas variables incluyen características ambientales y requerimientos alimenticios.

Tabla 8. Requerimientos ambientales y alimenticios de los insectos vectores de la enfermedad de Chagas

Especies: <i>T. dimidiata</i> , <i>T. gerstaeckeri</i> y <i>T. mexicana</i>	
Ecosistemas	Selvas húmedas y secas
Altitud	0 – 1750 msnm
Temperatura óptima	24 – 28 °C

Clima	Cálido húmedo y subhúmedo, se distribuye principalmente en toda la región intertropical de América.
Fuentes alimenticias	Silvestres (principalmente sinantrópicos): tres especies de tlacuaches (<i>Didelphis virginiana</i> , <i>D. marsupialis</i> y <i>Philander opossum</i>) zorra gris (<i>Urocyon cinereoargenteus</i>), tejón (<i>Nasua narica</i>), mapache (<i>Procyon lotor</i>), roedores silvestres (<i>Oryzomys melanotis</i> , <i>Heteromys gaumeri</i> y <i>Peromyscus yucatanicus</i>), armadillo (<i>Dasypus novemcinctus mexicanus</i>) Doméstico: perro (<i>Canis familiaris</i>) vacas, gatos, burros, cerdos, así como ratas y ratones domésticos.
Hábitos domésticos	Puede habitar ambientes silvestres, domésticos y peridomésticos
Fotosensibles	Si
Colocación de huevecillos	Debajo de las piedras, troncos o árboles. En casas desaseadas en el piso y en el ángulo formado por la pared
Mayor actividad	Meses más cálidos y secos (abril – julio)
Generaciones por año	Una
Número de huevos	La hembra pone hasta 200 huevecillos
Dispersión	Por vuelo y por medio de animales y materiales

Hábitos

Las chinches son atraídas por la luz (Salazar-Schetino et. al., 2005; Hernández et. al., 2010). Son ectoparásitos. Se alimentan de sangre humana o de animales de sangre caliente (Figura 8). Pican a la persona cuando duermen. Las chinches jóvenes se pueden alimentar de otros insectos pero requieren alimentarse de sangre para completar su desarrollo. Son generalistas en su alimentación, lo que ha mostrado que la fuente de alimento parece no

influir en el desarrollo de la biología de esta especie (Reyes-Novelo et. al., 2011b).

Después de alimentarse defeca y es ahí donde transmite al hombre o animales domésticos el protozooario después de haberse alimentado de roedores o mamíferos infectados.

Figura 28. Triatomino alimentándose



Fuente: Enfermedad de Chagas, Dpto de Microbiología y Parasitología, UNAM

Pone sus huevecillos en los exteriores, debajo de las piedras, troncos o árboles. En casas desaseadas se recolectan desde huevos, pasan por todos los estadios ninfales hasta adulto, en el piso y en el ángulo formado por la pared (Salazar-Schetino et. al., 2005)

Estas especies invaden las viviendas durante los meses más cálidos y secos (abril-junio) (Dumonteil et. al., 2004; Hernández et. al., 2010), lo que sugiere la existencia de un alto riesgo de transmisión al humano durante este periodo. Se han propuesto diversas razones para la emigración del área selvática a las comunidades; algunos estudios indican que un factor importante es la disminución de fuentes de alimentación silvestres (Arzube 1966; Zeledón et. al., 1973; Sasaki et. al., 2003). Otros estudios mencionan que son atraídas a las comunidades por el alumbrado público (Tabaru et. al., 1999, Monroy et. al., 2003a).

En laboratorio se ha observado que defecan de 20 a 30 minutos después de haberse alimentado

BIOLOGÍA

Apariencia general

Miden de 1.6 a 2.5 cm de largo. Son de color café a negro y marcados con un color rojo o naranja. La cabeza es alargada, un tanto cónica, el protórax se hace angosto hacia el frente, las alas se cruzan en forma plana sobre el dorso y tienen de dos a tres celdas en la membrana. La orilla del abdomen parecen placas planas a los lados de las alas; estas placas están marcadas con color rojo o anaranjado (Figura 29).

Figura 29. Especies de triatomínos reportados en la Huasteca Potosina



Fuente: IREKANI, 2012

Ciclo de vida

Tienen una generación por año. Se distribuyen por vuelo o por medio de animales y materiales.

Son ovíparos. Desde huevo a adultos atraviesan 5 etapas. La hembra pone hasta 200 huevos, de forma elíptica, de color claro, de alrededor de 1 mm de largo. Estos huevos son depositados en la tierra, en las grietas de las paredes o en otros lugares más o menos

Figura 30. Huevos de triatominos



Fuente: Crocco et. al. 2002

ocultos. El periodo de incubación depende de la temperatura ambiente, pero oscila entre 10 y 40 días. A medida que el embrión se desarrolla, los huevos adquieren una coloración rosada. Cuando eclosiona nace una ninfa que se caracteriza además de su pequeño tamaño por carecer de alas. Luego de nacer y hasta alcanzar el estado adulto, el animal experimenta una serie de transformaciones y que tiene una duración variable en relación con la temperatura, la humedad y la alimentación.

Inicialmente, las ninfas tienen unos tres milímetros de largo, son muy parecidas al adulto, pero carecen de alas. Unas semanas después, esta ninfa muda de piel, aumenta su tamaño, pero carece aun de alas. Estas mudas se repiten cuatro veces, dando origen cada una de ellas a una ninfa cada vez mayor. Con la cuarta muda aparece la ninfa más grande, la ninfa de quinto estadio, luego esta ninfa se transforma en el adulto definitivo con alas, y el insecto adquiere su aspecto final. Todo este proceso dura alrededor de seis meses, la vida del adulto es de unos quince meses. Desde la primera transformación, todas las ninfas son hematófagas (Figura 31).

Figura 31. Estadios por los que pasa *T. dimidiata*



Fuente: OPS

Durante el estado juvenil, las ninfas deben alimentarse a repleción cuando menos una vez, para poder mudar al siguiente instar, lo cual las hace susceptibles a la adquisición de *T.*

cruzi desde el primer instar ninfal, ya sea por alimentarse de un hospedero disponible o a través de la coprofagia, la cual se ha registrado en ninfas desde el segundo instar (Zeledón et. al., 1970a). Por esta razón las ninfas requieren estar cerca de su hospedero o tener amplia movilidad (Melgar et. al., 2007) ya que en el primer y segundo instar solamente pueden pasar poco más de 25 días sin alimentarse, el tercer y cuarto instares pueden resistir alrededor de 75 días sin alimento y el quinto instar puede resistir hasta casi 100 días sin alimento, sin embargo, en el estado adulto, muy probablemente por las necesidades energéticas de vuelo y reproductivas, solamente pueden pasar aproximadamente 60 días sin alimentación (Zeledón et. al., 1970a; Reyes-Novelo et al., 2011b).

La cantidad de sangre ingerida por este vector varía de acuerdo con la etapa de desarrollo, ya que las ninfas de primer instar ingieren 4.5-5.4 mg de sangre, las de segundo 11.1-13.3 mg, tercero 42.3-47.1 mg, cuarto 87.6-89.5 mg y quinto instar 174.1-281.6 mg (Reyes-Novelo et al., 2011b). La temperatura ambiental es un factor importante en el desarrollo de esta especie.

En la etapa adulta la cantidad de alimento varía de acuerdo al sexo, pues los machos consumen aproximadamente 220 mg de sangre mientras las hembras consumen 282.6 mg, 60 mg más en promedio, probablemente ligado a factores reproductivos ya que las hembras requieren del alimento para la producción de huevos. Considerando el ciclo completo, una hembra puede consumir entre 4,105.4 a 9,643.6 mg de sangre mientras el macho consume entre 952.3 y 5,329.9 mg a lo largo de su vida (Zeledón et. al., 1970a; Reyes-Novelo et. al., 2011b). Dicho consumo de alimento implica directamente en la capacidad reproductiva de esta especie y por lo tanto en su capacidad de colonización de nuevos ambientes (Reyes-Novelo et. al., 2010).

DINÁMICA ESPACIAL Y TEMPORAL DE LAS POBLACIONES DE TRIATOMINOS

Un aspecto importante son los factores implicados en la dispersión de los adultos ya que al parecer es una especie que se dispersa de forma estacional (marzo-julio) desde el ambiente selvático hacia los ambientes doméstico y peridoméstico (Dumonteil et. al., 2009). La movilidad de los individuos cobra relevancia y principalmente la capacidad de vuelo de los adultos, ya que de esto depende la colonización de los ambientes en los que

encuentran refugio y alimento, como se ha demostrado para otras especies de triatominos (Vazquez-Prokopec et. al., 2004; Gurevitz et. al., 2006).

Esta dispersión del área selvática al área peridoméstica dificulta la implementación de métodos de control vectorial eficaces como la aspersion de insecticidas residuales, ya que al ocurrir la infestación de adultos de manera estacional, el efecto del insecticida se pierde, lo que genera altos costos y pocos beneficios en la eliminación de las chinches en el interior de las viviendas al reinfestar de manera estacional (Dumonteil et. al., 2004; Ferral et. al., 2010).

Otro aspecto importante sobre la ecología y los patrones de reinfestación documentados, es la estacionalidad de dicha reinfestación, la cual se da en los meses más calurosos y secos del año en regiones con clima tropical subhúmedo; si se considera que muchos aspectos fisiológicos y de alimentación en esta especie están influenciados por la temperatura, es posible sugerir que este factor podría generar mayor gasto metabólico y, como consecuencia, requeriría mayor frecuencia y cantidad de alimentación, lo que produce un desarrollo acelerado en los estados inmaduros, acortando el ciclo en su ambiente natural, tal y como sugieren los resultados obtenidos en el trabajo de Martínez-Ibarra et. al., (2001). Esto podría estar ligado a la estacionalidad que esta especie ha mostrado en diferentes regiones, pues varios trabajos documentan este fenómeno e indican que la dispersión de los adultos se realiza durante la época más calurosa y seca del año (Monroy et. al., 2005; Polonio et. al., 2009; Ferral et. al., 2010).

2.2 METODOLOGÍA

Mi metodología contempla las variables, base de datos y trabajo de campo.

Las variables son la información necesaria que de alguna manera explica por qué la enfermedad de Chagas se da más en ciertas zonas que en otras. El contar con las variables que explican la presencia de la enfermedad y del vector permitirá generar los modelos que se plantean en esta sección.

La base de datos es el “almacén” que incluye toda la información de las variables que determinan la presencia del vector y la enfermedad. Una base de datos permite guardar una gran cantidad de información de manera organizada para poder acceder fácilmente a ella.

Por último incluimos el apartado de propuesta de modelos tanto de la presencia de los vectores como de la enfermedad. En la primer propuesta de modelos se realiza un análisis espacial usando métodos bayesianos. Estos métodos permiten determinar que variables son las que explican mejor el modelo y nos ubica el área de mayor riesgo con base a esas variables. El segundo modelo presenta una distribución potencial de cada uno de los vectores presentes en la Huasteca Potosina basándose en variables ambientales. El tercer modelo es mediante una regresión logística usando variables ambientales y sociales, este modelo pretende ubicar áreas de riesgo a la presencia de los vectores y la infección usando estadística multivariada.

2.2.1 Variables

Una vez terminada la ficha técnica tenemos todos los elementos para determinar las variables que serán necesarias para construir la base de datos y poder modelar la presencia de la enfermedad de Chagas en la región de la Huasteca Potosina.

Las variables las dividimos en dos grandes grupos: ambientales y socioeconómicas. Las variables ambientales son aquellas propias del medio físico que influyen en la presencia o no de los vectores y la enfermedad. Las variables socioeconómicas son todas aquellas del medio social que nos indican las características de la población.

Las variables ambientales fueron obtenidas de distintas fuentes: INEGI, CNA, CONABIO, CABI, revisión bibliográfica y muestreos.

El conjunto de datos climáticos fue obtenido de la red de estaciones meteorológicas de la Comisión Nacional del Agua, se usaron normales climatológicas de 1981 – 2010 para obtener la temperatura máxima, mínima y media (en grados centígrados) y la precipitación media anual (en mm). La temperatura y la precipitación pueden ser limitantes en la distribución de los vectores (su rango óptimo de temperatura es de 24 a 28°C), así como la altitud (se distribuyen hasta los 1750 msnm). El tipo de vegetación y el uso de suelo es un indicador de que tan domiciliados están, si se encuentran más en áreas silvestres indicaría poca domiciliación, por el contrario si se encuentran más en áreas agrícolas o pecuarias podría indicar una posible domiciliación. La distribución de las fuentes alimenticias del vector nos dará una idea de las áreas donde podría localizarse: al no haber fuentes de alimento es poco probable encontrar al vector.

La información del medio social se obtuvo del censo de población y vivienda 2010 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). El grado de marginación y las variables usadas para su cálculo se obtuvieron del Consejo Nacional de Población (CONAPO).

Las características de la población determinarán su vulnerabilidad a la enfermedad. Por ejemplo la migración nos mostraría si las personas siempre han vivido ahí o vienen de otros lugares, en caso de proceder de otro lugar podríamos inferir que no siempre han estado expuestos al vector, salvo que provengan de lugares donde la presencia del vector sea también endémica. La población indígena por lo general es la que carece de todo tipo de servicios (Medina-Garza, et. al, 2014), si en una localidad la mayoría es indígena es probable que el riesgo a la enfermedad y el vector sea mayor. Las características educativas también son un factor importante: a mayor educación menor riesgo. Una variable fundamental es el acceso a servicios de salud, el carecer de algún sistema de cobertura de salud pone en mayor riesgo a la población. Las características de las viviendas son también una variable importante a considerar, dependiendo del tipo y material de la misma será el riesgo que puedan o no tener: los vectores prefieren espacios con recovecos y techos de palma o lámina. Por último el índice de marginación es una medida de déficit y de intensidad de las carencias de la población en dimensiones relativas a las necesidades básicas establecidas como derechos constitucionales, un alto índice indicará mayor carencias de esas necesidades, por lo que el riesgo sería mayor.

El formato que presenta cada variable varía entre tabla y shape. Para la generación de los modelos se unificó todo el formato en tablas para poder realizar los análisis estadísticos.

A continuación se presenta un resumen de las variables y la fuente de donde serán obtenidas:

Tabla 9. Resumen de las variables necesarias para el modelado y fuente de donde serán obtenidas

Tipo	variables	Ejemplos	Fuente	Formato
Medio físico	Clima (y todos sus elementos)	Temperatura, precipitación...	INEGI, CNA	Shape, Tabla
	Tipo de vegetación	Selva, bosque...	INEGI	Shape
	Altitud	Msnm	INEGI	Shape
	Uso de suelo	Agrícola, pecuario...	INEGI	Shape
	Vectores	<i>T. dimidiata, mexicana...</i>	<i>T. Red,</i> muestreos	Tabla

Medio social	Transmisión epidemiológica	Mamíferos silvestres...	CONABIO, CABI	Tabla
	Población	Población masculina, femenina...	INEGI	Tabla
	Fecundidad	Promedio de hijos vivos		
	Migración	Población nacida en el lugar, en otro lugar...		
	Población indígena	Población que habla lengua indígena...		
	Discapacidad	Población con limitación en la actividad...		
	Características educativas	Población analfabeta...		
	Características económicas	Población económicamente activa...		
	Servicios de salud	Población derechohabiente...		
	Hogares censales	Población con hogares censales...		
Viviendas	Viviendas con servicios...			
Índice de marginación	Índice de marginación	CONAPO	Tabla	

2.2.2 Base de datos

Esta base contiene datos para cada uno de los municipios que integran la Huasteca Potosina. El archivo está conformado de un registro por localidad con los datos de identificación geográfica y 190 indicadores con las características de la población, los hogares censales y las viviendas. Los indicadores sobre población corresponden a: su estructura por sexo y edad, fecundidad, migración, lengua indígena, discapacidad, características educativas, derechohabiencia a servicios de salud, situación conyugal y religión. En cuanto al tema de hogares información relacionada con el número de hogares y su población de acuerdo con la jefatura del hogar. En lo que respecta a vivienda: viviendas y ocupantes, material de pisos, número de cuartos, servicios de que disponen (energía eléctrica, agua entubada, sanitario, drenaje) y bienes en la vivienda.

En el anexo se muestra la base de datos completa que se utilizará para la generación de los modelos. El anexo contiene las variables, la descripción, los rangos y la longitud de cada una de ellas. También se usaron los indicadores de Marginación y las variables usadas para su cálculo (Tabla 10).

Tabla 10. Índice de marginación y variables con que se construye

Variables
Población total
Viviendas particulares habitadas
% Población de 15 años o más analfabeta
% Población de 15 años o más sin primaria completa
% Viviendas particulares habitadas sin excusado
% Viviendas particulares habitadas sin energía eléctrica
% Viviendas particulares habitadas sin disponibilidad de agua entubada
Promedio de ocupantes por cuarto en viviendas particulares habitadas
% Viviendas particulares habitadas con piso de tierra
% Viviendas particulares habitadas que no disponen de refrigerador
Índice de marginación
Grado de marginación

2.2.3 Trabajo de campo

La obtención de los datos de distribución de vectores se obtendrá de tres fuentes:

- Vigilancia comunitaria,
- una serie de muestreos domésticos (dentro de las viviendas), peridomésticos (en el patio de las viviendas) y silvestre (en la periferia de las comunidades) en la zona de estudio y,
- base de datos proporcionada por la red de especialistas que organizaron el primer congreso internacional de vectores y del *Trypanosoma cruzi*: situación actual y expectativas

Con la información generada y proporcionada por la red se obtendrá la abundancia poblacional y los indicadores entomológicos para cada una de las especies presentes. Esta información asociada a las variables climáticas e información socioeconómica permitirá generar los mapas de riesgo por la presencia de triatominos y su índice de infección.

Se probaron tres métodos de muestreo: vigilancia comunitaria, búsqueda activa hora/hombre y búsqueda pasiva mediante la colocación de trampas de luz.

La vigilancia comunitaria se ha venido realizado por parte de los habitantes de algunas localidades de la zona de estudio: Tanzuyo, Tanjaj nec, El Brazil, Acanzen y Tocoy; en

este método de muestreo la población realiza su propia vigilancia entomológica previa capacitación en el método de captura y preservación de los triatominos.

En la búsqueda activa hora/hombre se realiza una exhaustiva búsqueda dirigida del vector en los sitios en lo que se reporta mayor presencia (esquina del piso y pared, recobecos en las paredes, techos de palma, etc.).

La búsqueda pasiva consiste en la colocación de trampas de luz (los triatominos son atraídos por la luz).

La información generada por este trabajo permitirá obtener la abundancia poblacional y los indicadores entomológicos por especie de triatomo:

Abundancia poblacional

La abundancia poblacional será entendida como el número total de triatominos presentes en la zona. La abundancia poblacional es una estimación que nos permitirá tener una idea de cómo se distribuyen los triatominos en el espacio. Este parámetro nos permitirá, junto con los indicadores entomológicos y las características ambientales y sociales de la zona, determinar las áreas de mayor riesgo a la presencia de triatominos.

2.3 PROPUESTA DE MODELOS

Con la información obtenida de la literatura y el trabajo de campo se procederá a generar los modelos estadísticos y geoestadísticos tanto de la enfermedad como de la presencia del vector.

El análisis y modelaje de datos provenientes de los campos de epidemiología y salud pública, es un área de investigación activa con enorme proyección en estadística. La combinación de los modelos jerárquicos Bayesianos con los sistemas de información geográficos constituyen una herramienta tecnológica importante que puede ser utilizada para caracterizar y estimar patrones de enfermedades, considerando simultáneamente: estructuras complejas de modelaje jerárquico, factores de riesgo sociodemográfico y factores ambientales. También la metodología permite la interpretación de la distribución a posteriori de los riesgos relativos, detectar áreas donde los riesgos disminuyen, se incrementan o se mantienen constantes en el tiempo (González, Infante y Hernández, 2012).

En este apartado se mostrará la metodología de tres modelos: primero un modelado espacial bayesiano de la **enfermedad** para determinar áreas de riesgo en la Huasteca Potosina y las variables que determinan ó decretan ese riesgo. El segundo modelo es un modelo de distribución potencial de cada uno de los **vectores** presentes en la zona de estudio. El tercer modelo es un análisis de regresión logística para detectar áreas de riesgo a la presencia de los insectos y el protozoo transmisor de la enfermedad.

2.3.1 Modelado Bayesiano

Cuando se calculan los riesgos relativos por métodos tradicionales no se puede apreciar en el mapa con claridad los patrones de la distribución de la enfermedad, sobre todo cuando se trata de una enfermedad rara y su muestreo es en áreas pequeñas, en consecuencia se obtienen mapas con mucho ruido sobre todo por la influencia de valores atípicos. Por el contrario, los métodos Bayesianos permiten obtener estimadores consistentes que toman en cuenta la correlación espacial con áreas vecinas permitiendo obtener mapas suavizados.

A diferencia de los métodos estadísticos tradicionales, este enfoque no se reduce a operar con la información empíricamente conseguida sino que la combina con los criterios a priori que posee el investigador, nacidos tanto de estudios previos como de reflexiones racionales y juicios razonablemente conformados. Como resultado de tal integración, que se realiza por conducto del teorema de Bayes, se obtiene una llamada visión a posteriori que constituye la base de las inferencias subsiguientes (Silva y Benavides, 2001).

Datos de la enfermedad de Chagas

Los datos sobre el número de enfermos de Chagas y municipios donde se presentaron los casos entre 2003 y 2012 se obtuvieron mediante una solicitud de información a través de INFOMEX. La base de datos proporcionada contenía información por año y por municipio del total de casos registrados de cada una de las localidades de la Huasteca Potosina que presentaron casos de enfermos de Chagas en el periodo 2003-2012.

Covariables

Se utilizó además una base de datos de variables ambientales (temperatura mínima, máxima, media, precipitación) y sociales (% población indígena, índice de marginación, acceso a servicios, etc.). El conjunto de datos climáticos fue obtenido de la red de

estaciones meteorológicas de la CNA, se usaron las normales climatológicas de 1981-2010 para obtener la temperatura mínima, media y máxima (en grados centígrados) y la precipitación media anual (mm). Se extrajeron los valores medios de temperatura y precipitaciones de toda la zona usando ArcMap 9.3 (ESRI). La información socioeconómica (porcentaje de población de tres años y más que habla lengua indígena, porcentaje de población con hogares indígenas, % de población mayor a 15 años analfabetas, % de población ocupada, % de población sin cobertura de salud) fue obtenida del censo de población y vivienda 2010 del INEGI y el grado de marginación y las variables usadas para su cálculo se obtuvieron del Consejo Nacional de Población (CONAPO).

Análisis exploratorio

La correlación entre la enfermedad de Chagas y cada una de las covariables enumeradas anteriormente se examinó usando diagramas de dispersión y la regresión Poisson univariado en el paquete estadístico R. Las variables que fueron significativamente correlacionadas con el resultado fueron evaluadas para la co-linealidad con otras variables significativas. Cuando dos o más variables que fueron medidas de fenómenos relacionados (por ejemplo temperatura mínima y temperatura promedio) producían una correlación alta (>0.75), la variable con el más pequeño valor del criterio de Akaike (AIC) en el modelo de regresión univariada fue seleccionada para usarse y las otras fueron omitidas. Cuando dos o más variables estaban fuertemente correlacionadas, pero eran consideras mediciones de fenómenos no relacionados, esas covariables fueron usadas en la comparación de modelos en el análisis de regresión de Poisson no espacial.

Análisis de regresión no espacial de Poisson

Una regresión de Poisson multivariada se llevó a cabo utilizando las covariables que se encontraron asociados significativamente durante el análisis exploratorio ($p \leq 0.2$ de la regresión de Poisson univariada). Los modelos candidatos contenían una de las covariables marcadas como colineales entre sí (Tabla 1), junto con todas las otras covariables, no colineales (Tabla 1). Cualquier variable que no fue estadísticamente significativa ($p > 0.05$) se eliminó posteriormente del modelo; si múltiples variables no fueron significativas, la variable con el mayor valor de p fue eliminada primero, se evaluó la significancia del resto de las variables y después se eliminaron las variables adicionales

si era necesario. Para comprobar la autocorrelación espacial de los residuos del modelo de Poisson multivariado (lo que indicaría que las covariables en el modelo no capturaron completamente el patrón espacial de la enfermedad de Chagas) se calculó el estadístico I de Moran usando los residuales de Poisson.

Análisis de regresión espacial de Poisson

La influencia de autocorrelación espacial (donde las observaciones muy juntas en el espacio son más propensas a tener valores similares de observaciones que están muy separados) se abordaron, y la sobredispersión en los datos fue contabilizada, utilizando un modelo de regresión de Poisson log-normal con un efecto aleatorio no espacial y un efecto aleatorio estructurado espacialmente dependiente utilizando un conditionally autoregressive (CAR) previo (Lawson, 2009; Kéry, 2010). El componente CAR utilizó una matriz de pesos adyacencia espacial sencilla para representar relaciones espaciales entre áreas administrativas.

Efectos aleatorios no espaciales también se incluyeron en la comparación de modelos. Las covariables seleccionadas en el análisis de regresión de Poisson multivariante no espacial descrito anteriormente se incluyeron como efectos fijos en esta etapa del análisis.

El modelo, realizado en WinBugs, asumió que la cuenta observada de casos de enfermos de Chagas y_i por municipio i ($i = 1$ a 20) seguido de la distribución Poisson con una media de μ_i :

$$y_i \sim \text{Poisson}(\mu_i) \quad \text{Ec. (8)}$$

y

$$\log \mu_i = \log E_i + \theta_i \quad \text{Ec. (9)}$$

donde E_i (el número de casos esperados de la enfermedad de Chagas en el área administrativa i) es un término de desplazamiento utilizado para el control del tamaño de la población dentro de las áreas administrativas y θ_i es el log relativo de riesgo.

El logaritmo relativo del riesgo fue modelado así:

$$\theta_i = \alpha + \beta_1 \dots C_{1\dots i} + S_i + U_i \quad \text{Ec. (10)}$$

donde α es el término de intersección; $\beta_{1...i}$ es un vector de coeficientes de las covariables, $C_{1...i}$; un efecto aleatorio espacialmente correlacionados estructurado utilizando CAR previo de que se le asignó una sencilla matriz de adyacencias espacial (para identificar qué polígonos son directamente adyacentes entre sí) y precisión τ ; y U_i un efecto aleatorio no correlacionada espacialmente con media cero y precisión τ .

Después de un periodo de ablande inicial de 10.000 iteraciones, se realizaron otras 200.000 iteraciones, y cada décima iteración se almacenó durante la estimación de parámetros para reducir la autocorrelación en las muestras. Las cadenas de Markov Monte Caro (MCMC) fueron inspeccionados para comprobar la convergencia y múltiples valores iniciales para cada parámetro se utiliza para asegurar que los algoritmos MCMC convergían en el mismo espacio de parámetros desde diferentes puntos de partida. Medidas de resumen para la distribución posterior de cada parámetro (posterior media, desviación estándar y el 95% intervalo de credibilidad [CrI]) se almacenaron para proporcionar estimaciones de los parámetros.

Se compararon cuatro modelos candidatos: (i) solo los efectos fijos; (ii) los efectos fijos y efectos aleatorios no espaciales; (iii) los efectos fijos y efectos aleatorios espacialmente correlacionados; y (iv) los efectos fijos, efectos aleatorios espacialmente correlacionadas y efectos aleatorios no espaciales. Los modelos se compararon mediante el criterio de desviación de la información (DIC): el modelo con el modelo más bajo DIC fue seleccionado como el de mejor ajuste. Todas las covariables, incluyendo aquellos que no mantienen la significación estadística ($p > 0,05$), fueron retenidos para proporcionar un resumen de todos los efectos de la covarianza.

2.3.2 Modelado MAXENT

El modelo de máxima entropía (Maxent) es un método de inteligencia artificial que aplica el principio de máxima entropía para calcular la distribución geográfica más probable para una especie. Maxent estima la probabilidad de ocurrencia de la especie buscando la distribución de máxima entropía (lo más uniforme posible) sujeta a la condición de que el valor esperado de cada variable ambiental según es la distribución coincide con su media empírica (Phillips, 2006).

El resultado del modelo expresa el valor de idoneidad del hábitat para la especie como una función de las variables ambientales. Un valor alto de la función de distribución en

un celda determinada indica que ésta presenta condiciones muy favorables para la presencia de la especie. Maxente puede utilizar variables cualitativas, otorgando a cada valor de la variable un peso relativo al número total de puntos de presencia que contiene (Phillips, 2006).

Ventajas:

- Datos ambientales continuos y categóricos (trabaja con la frecuencia de aparición)
- Resultado continuo
- Comportamiento determinista (repetible)
- Capacidad interpretativa en dimensiones ecológicas (curvas de respuesta)
- Rápido
- Exacto (se ajusta a los datos)

Desventajas:

- Tiende a sobre ajustar el modelo

Insumos:

- Puntos con georeferencia de presencia de la especie
- Variables ambientales de acuerdo a las características biogeográficas de la especie.

En años recientes, el modelado de nicho ecológico ha ampliado considerablemente las posibilidades de analizar las relaciones entre los factores ambientales y la ecología de los vectores o la transmisión de enfermedades en salud pública (Peterson, 2008). Así por ejemplo, se han realizado estudios en modelos de distribución para flebotómos (Peterson y Shaw, 2003), triatomíneos (Costa, Peterson y Beard, 2002; Peterson, et. Al., 2002; Beard, et. Al. 2003), y mosquitos (Peterson, et. Al., 2005; Moffett, et. Al. 2007; Foley et. Al., 2008; Larson, et. Al., 2010; Kulkarni, et. Al., 2010).

Metodología

Para el estudio se construyó una base de datos de 100 registros a partir de los muestreos realizados y recursos bibliográficos. Fue modelada la distribución potencial de tres especies de triatomíneos encontrados y reportados para el área: *T. dimidiata*, *T. gerstaeckeri* y *T. mexicana*. Se utilizaron los parámetros de MaxEnt versión 3.2.19: 1000 iteraciones, umbral de convergencia de 1.0E-5 y tomar el 25% de los registros para

realizar pruebas con Jackknife. Se incluyeron variables ambientales y topográficas con resolución espacial de 0.041 x 0.041 pixels: Datos climáticos obtenidos Global Climate Data – WorldClim (Hijmans, et. Al., 2005) que representan variables bioclimáticas derivadas de valores mensuales y anuales de temperatura y precipitación: BIO1 = Temperatura media anual, BIO2 = intervalo medio diurno (media mensual (temp. Max. - temp. Min.)), BIO3 = Isotermalidad, BIO4 = Temperatura estacional (desviación estandar *100), BIO5 = Temperatura máxima del mes más cálido, BIO6 = Temperatura mínima del mes más frío, BIO7 = intervalo anual de temperatura, BIO8 = Temperatura media del cuatrimestre más húmedo, BIO9 = Temperatura media del cuatrimestre más seco, BIO10 = Temperatura media del cuatrimestre más cálido, BIO11 = Temperatura media del cuatrimestre más frío, BIO12 = Precipitación anual, BIO13 = Precipitación del mes más húmedo, BIO14 = Precipitación del mes más seco, BIO15 = Precipitación estacional (Coeficiente de Variación), BIO16 = Precipitación del cuatrimestre más húmedo, BIO17 = Precipitación del mes más seco, BIO18 = Precipitación del cuatrimestre más cálido, BIO19 = Precipitación del cuatrimestre más frío.

2.3.3 Modelado Regresión Lineal Múltiple

Con la información disponible de las estaciones meteorológicas de la Comisión Nacional del Agua (CNA) y del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) así como datos demográficos de INEGI (número de habitantes por localidad, número de casas, material de techos y pisos) y el tipo de vegetación de la zona se construirán modelos predictivos de la presencia de los vectores.

Para el tipo de vegetación se obtendrán imágenes satelitales del satélite LANDSAT y se realizará una clasificación supervisada con el programa ENVI 4.7. Todos los datos serán importados en un SIG en modo raster. Los datos de las estaciones meteorológicas serán interpolados para generar datos continuos para toda el área de estudio. Se modelará la abundancia de cada especie colectada en función de las variables bioclimáticas y sociales con una regresión logística usando la distribución de Poisson de error de probabilidad de ocurrencia de los insectos con el programa SPSS 18.0. El modelo será elaborado paso a paso incorporando las variables una por una en la regresión, y para cada paso se conservará únicamente la variable que mejore más el ajuste del modelo definido como su varianza. Las variables que no mejoren el ajuste serán descartadas del modelo. Esta

metodología ha sido aplicada para generar el primer mapa de riesgo de transmisión natural de la enfermedad de Chagas en la península de Yucatán (Dumonteil y Gourbiere, 2004). La abundancia del vector será ajustada a la ecuación:

$$A = \exp(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_n X_n) \quad \text{Ec. (11)}$$

Donde:

A = abundancia

β = coeficiente de regresión

X = variables incorporadas al modelo

Estimación de la densidad Kernel (KDE)

El análisis de densidad toma conocidas de un fenómeno (en este caso los puntos representan los enfermos de Chagas en la Huasteca Potosina) y las expande a través del paisaje basándose en la cantidad que se mide en cada ubicación y la relación espacial de las ubicaciones de las cantidades medidas. La herramienta densidad considerará donde se encuentra cada punto en relación con el resto de los puntos, luego, las celdas más cercanas a los puntos reciben proporciones más altas de la cantidad medida que aquellas que se encuentran más alejadas (Tisnés, 2012).

La estimación de densidad Kernel fue implementada para examinar la dinámica general de la enfermedad de Chagas utilizando el software R.

La densidad kernel usa estadísticas de probabilidad (función kernel) para calcular la densidad estimada de una población alrededor de los puntos de datos reales de la población produciendo una superficie lisa o cónica que conecta todos los puntos de datos utilizados en el análisis (Wallner et. al. 2014). Seleccionamos la densidad kernel porque este análisis se realiza bien con pequeñas cantidades de datos, son robustos a la autocorrelación y los resultados son utilizados en la distribución en lugar de un esquema simple de rango de distribución

Los valores de los factores bioclimáticos serán importados de la base de datos del SIG a hojas de cálculo de Excel y los modelos de regresión logística serán aplicados a toda el área de estudio. Mapas de abundancia y su tasa de infección serán generados en el SIG.

Estos mapas representarán de forma gráfica las áreas susceptibles por la presencia de los insectos vectores y su índice de infección. El riesgo de transmisión natural de *T. cruzi*

será definido como directamente proporcional al producto de la abundancia del insecto y su tasa de infección por el protozooario (proporcional a la abundancia de insectos infectados) y se generará un mapa de riesgo de la transmisión. El riesgo será dividido en tres niveles (bajo, medio y alto), correspondientes al tercio más bajo, mediano y más alto de la abundancia de insectos infectados, respectivamente; la validez del mapa de riesgo será evaluado comparando la ubicación de casos humanos reportados con la enfermedad (mediante una solicitud de información a la Secretaría de Salud del Estado de San Luis Potosí) con los niveles de riesgo estimados.

3 CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez desarrollada la propuesta teórica-metodológica a continuación se presentan los resultados obtenidos de la misma y la discusión de los mismos

Se iniciará primeramente con los resultados obtenidos del trabajo de campo realizado en algunas localidades de la Huasteca Potosina donde se realizaron muestreos domésticos, peridomésticos y silvestres. El muestreo se realizó de manera activa, con búsqueda hora-hombre-vivienda y vigilancia comunitaria; y pasiva, con trampas de luz.

Una vez realizada la ficha técnica con la información agrupada sobre la enfermedad y con las variables que en la literatura están definidas como determinantes de la enfermedad y con los resultados tanto de los muestreos y los reportes de la literatura se procedió a realizar el modelado tanto de la enfermedad como de la distribución de los vectores:

- Un modelo espacial bayesiano que nos muestra las áreas de mayor riesgo a la presencia de la enfermedad así como las variables ambientales y socioeconómicas que determinan que esas zonas sean las de mayor riesgo. Incluimos un marco bayesiano porque este tipo de enfoque se usa comúnmente para estimar la variación espacial en el riesgo de la enfermedad en áreas pequeñas (por ejemplo los municipios de la Huasteca) y garantizan la plena representación de la incertidumbre en los parámetros estimados (Best, et. al. 2005; Lawson, 2013).
- Un modelo de distribución de los vectores encontrados en el área de estudio. Se utilizó un modelo de distribución espacial de cada una de las tres especies de triatomíneos presentes en la Huasteca Potosina usando información de variables ambientales mediante métodos de inteligencia artificial.
- Y por último un modelo de la abundancia de la enfermedad (recordemos que la enfermedad es silenciosa y solo entre el 5 y 10% de los casos presenta síntomas de entrada del parásito) en función de variables ambientales y socioeconómicas con una regresión lineal múltiple.

Los mapas generados con estos modelos representan de forma gráfica, basándose en variables ambientales y socioeconómicas, las áreas susceptibles a la enfermedad y a la presencia de los insectos.

Contar con estas áreas de riesgo y con las variables que determinan este riesgo permitirá proponer en el siguiente capítulo una plataforma de vigilancia epidemiológica sanitaria para el monitoreo de dicha enfermedad.

3.1 TRABAJO DE CAMPO

Los muestreos domésticos, peridomésticos y silvestres, así como la vigilancia comunitaria tuvo como objetivo obtener datos de la distribución de vectores en la zona.

Se realizaron tres muestreos domésticos y peridomésticos en las localidades de Tanzuyo, Tanjajec, El Brazil, Acanzen y Toco; y muestreo silvestre en la localidad de Toco entre los meses de septiembre y octubre de 2014 (20-21 de septiembre, 11-12 de octubre y 25-26 de octubre).

Los muestreos domésticos y peridomésticos se realizaron usando la metodología hombre-hora-vivienda, dedicando un total de una hora por vivienda en las localidades muestreadas (Figura 32).

Figura 32. Muestreos domésticos y peridomésticos. Se buscaron triatominos en los sitios donde se sospechaba estarían los insectos.



Fotografías: Hugo Medina G.

El muestreo silvestre se realizó en la periferia de las localidades, mediante una trampa de luz para atraer a los insectos. La trampa se colocó desde que oscureció y permaneció por espacio de dos horas (Figuras 33).

Figura 33. Trampas de luz para muestreo silvestre.



Fotografías: Hugo Medina G.

Muestreo 1. Realizado los días 20 y 21 de septiembre de 2014, en este muestreo se colectaron cuatro organismos adultos en total, así como 40 huevecillos, todos de los muestreos peridomésticos. Los organismos adultos se colectaron 1 en Tanzuyo, 2 en Tanjacnec y 1 en Tocoy (Figura 34). Los huevecillos fueron colectados en Tanzuyo (Figura 35).

Figura 34. Huevecillos colectados en Tanzuyo. **Figura 35.** Triatomino colectado en Tocoy.



Fotografías: Hugo Medina G.

Muestreo 2. Realizado los días 11 y 12 de octubre de 2014, en este muestreo se capturaron tres chinches domésticas (ninfas) en tanjasnec y cuatro chinches adultas, también domésticas (en el brazil) (Figura 36).

Figura 36. Vivienda donde se colectaron triatominos domésticos (El Brazil).



Fotografías: Hugo Medina G.

Muestreo 3. Realizado los días 25 y 26 de octubre de 2014. En este muestreo se lograron capturar dos adultos (uno peridoméstico, colectado en la casita (Figuras 40 y 41) y uno doméstico (Figura 37) y cinco ninfas (silvestres) Todos en la localidad de Tocoy.

Figura 37. Chinche peridoméstica, colectada en la casita (Tocoy).



Fotografías: Hugo Medina G.

Figura 38. Chinche doméstica, colectada en Tocoy y casa donde se colectó la chinche, Tocoy.



Fotografías: Hugo Medina G.

Con el muestreo silvestre se lograron capturar 5 organismos, todos en estado ninfal (Figura 39). Estos organismos fueron colectados con el método de muestreo de vigilancia comunitaria, es decir, fue el dueño de la casa ubicada en la selva quien los colectó

Figura 39. Sitio silvestre de colecta, Tocoy. Chinchas en estado ninfal colectadas en Tocoy.



Fotografías: Hugo Medina G.

En total se colectaron 18 triatominos y 40 huevecillos. De los triatominos 10 fueron adultos y ocho fueron ninfas. Del total de organismos cinco fueron peridomésticos y ocho fueron domésticas, el resto (cinco) fue de origen silvestre. El total de huevecillos fue de origen peridoméstico (Figura 40). En la figura 41 se muestra la imagen de todos los sitios y organismos colectados.

Figura 40. Total de insectos y huevecillos colectados en los tres muestreos

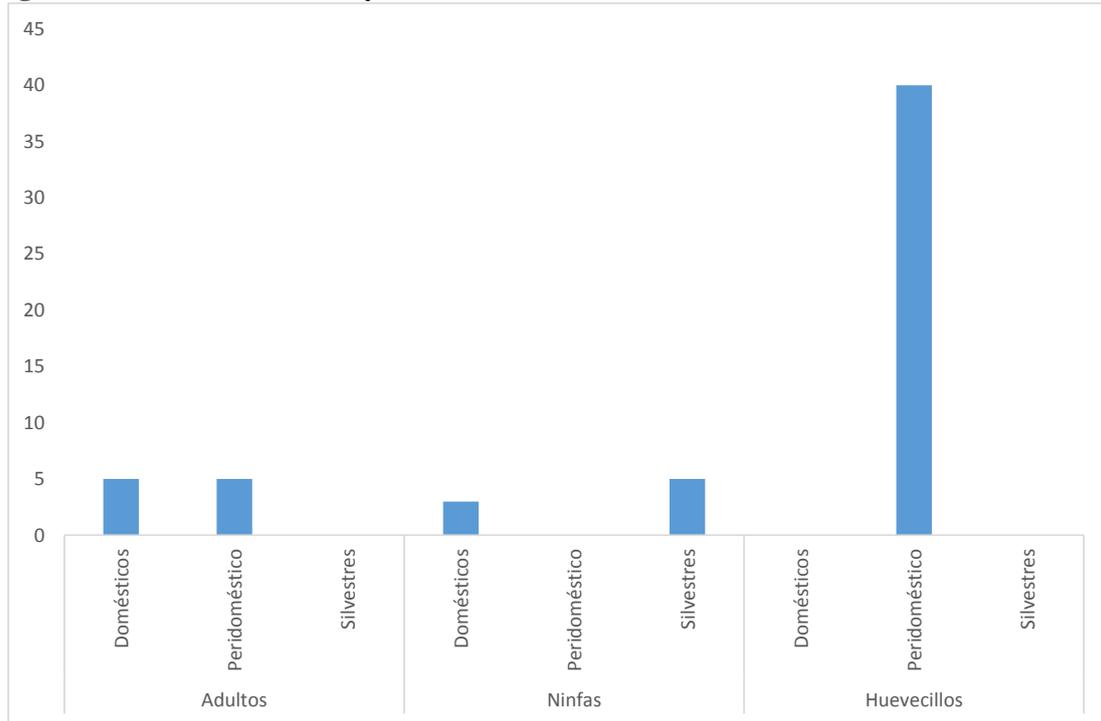
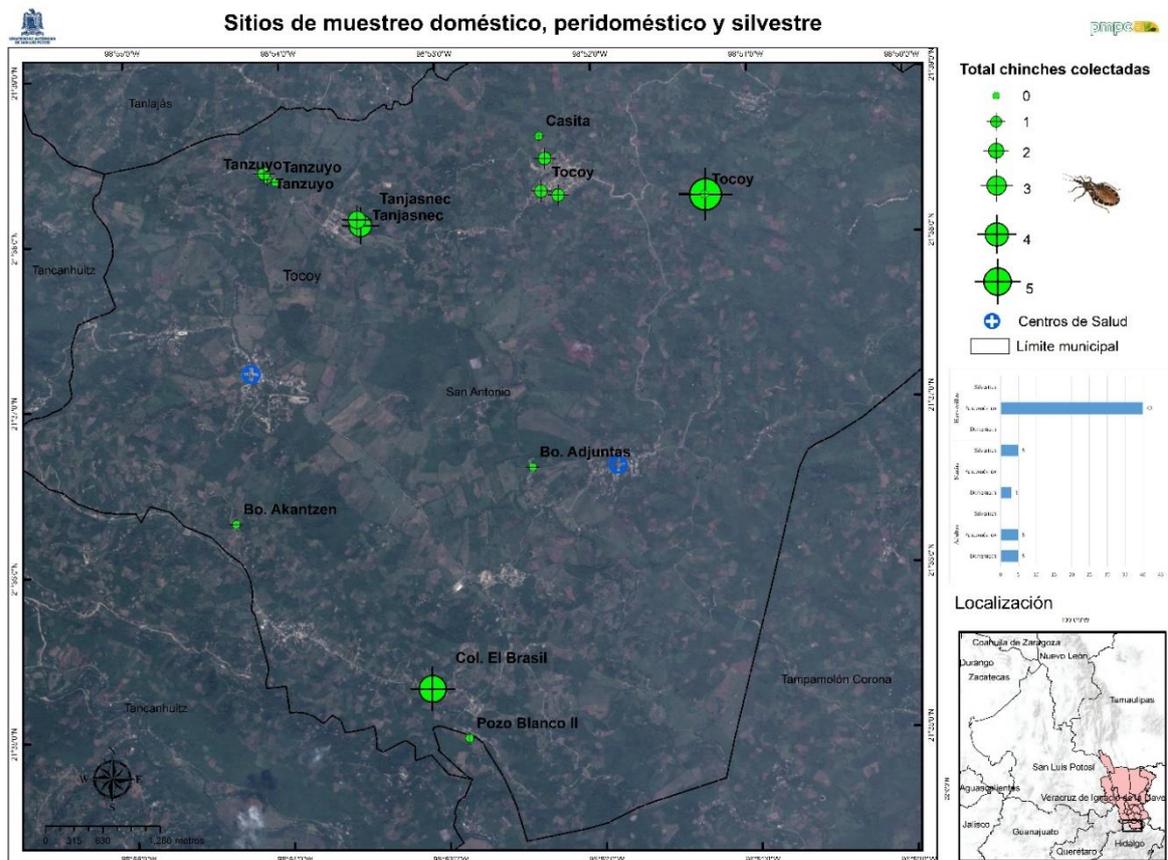


Figura 41. Sitios de colecta



Fuente: Elaboración propia

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia o por registro o otros métodos sin el permiso previo y por escrito de la institución.

Hace falta igualmente involucrar en este método a más comunidades, y que todas tengan el mismo nivel de involucramiento, ya que en la tabla 1 puede verse claramente que únicamente los habitantes de Tanzuyo colectaron más del 80% de los organismos colectados con este muestreo y dada la cercanía geográfica con el resto de las localidades muestreadas es de suponer que en el resto de las localidades podamos tener valores similares a los de Tanzuyo (Figura 41).

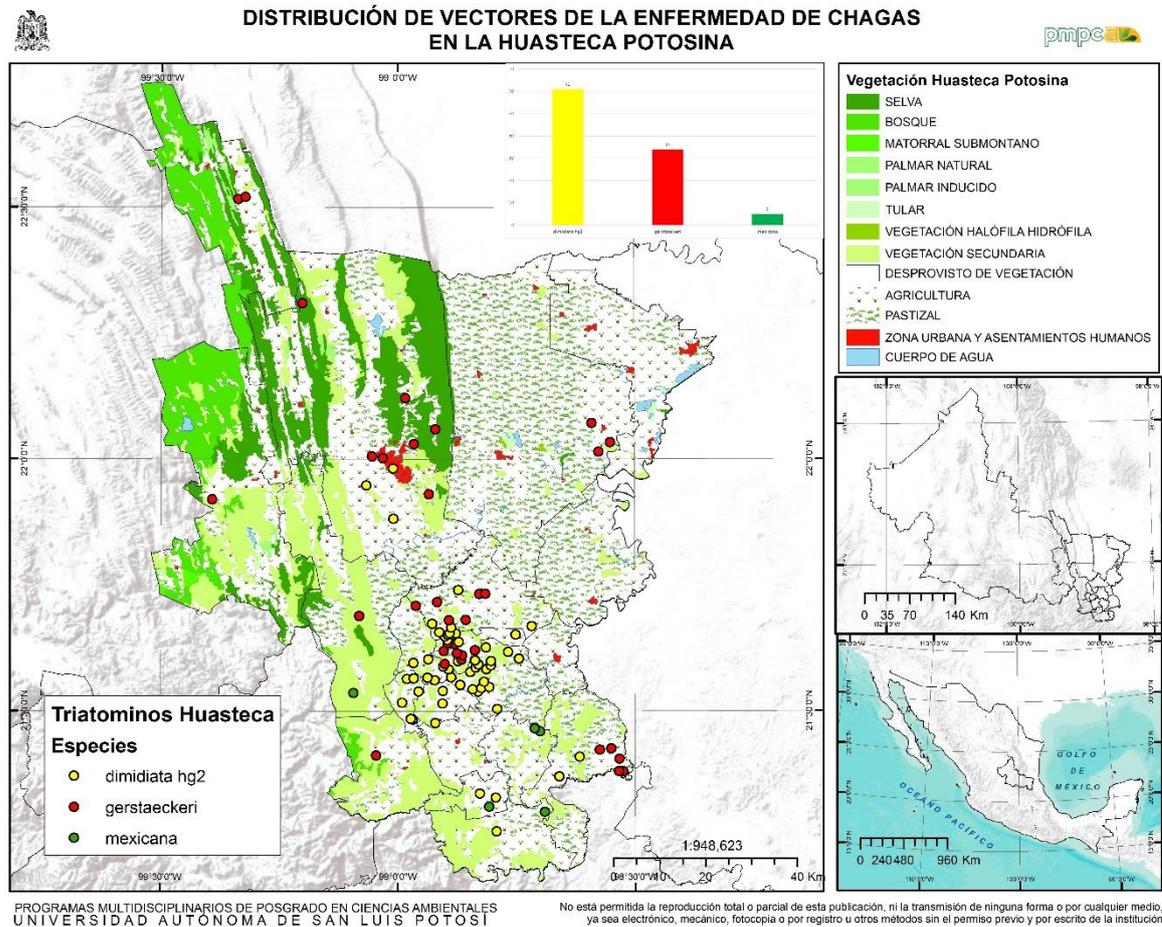
Adicionalmente se realizó una exhaustiva búsqueda bibliográfica en literatura científica y académica de los vectores reportados en la zona de estudio, también se contó con la información proporcionada por investigadores que han estado trabajando con la distribución de vectores de la enfermedad de Chagas. Se encontraron dos especies más a la colectada reportada en la zona de estudio: *Triatoma gerstaeckeri* (34 registros) y *T. mexicana* (cinco registros) (Figura 42).

El método de muestreo que resultó ser más efectivo fue la vigilancia comunitaria, con este método se logró capturar 49 de los 58 organismos colectados (Tabla 11). Sin embargo consideramos que es necesario involucrar a más personas, previa capacitación, en este muestreo, ya que desgraciadamente fue solo una pequeña parte de los habitantes los que estuvieron de acuerdo en colaborar con los muestreos.

Tabla 11. Total de organismos colectados por método de muestreo.

Método de muestreo	Sitio	T. dimidiata			Total
		Adulto	Ninfa	Huevo	
Vigilancia comunitaria	Tanzuyo	0	0	40	40
	Tanjacnec	0	3		3
	Tocoy	2	0		2
	El Brazil	4	0		4
Búsqueda activa hora/hombre	Tanzuyo	1	0		1
	Tanjacnec	2	0		2
	Tocoy	1	0		1
	El Brazil	0	0		0
Búsqueda pasiva (trampa de luz)	Tanzuyo	0	0		0
	Tanjacnec	0	0		0
	Tocoy	0	5		5
	El Brazil	0	0		0
Total		10	8	40	58

Figura 42. Registros en la literatura de triatomíneos en la Huasteca Potosina



Fuente: elaboración propia

3.2 PROPUESTA DE MODELOS

La generalización de los Sistemas de Información Geográfica y el desarrollo de técnicas estadísticas aplicadas ha permitido en los últimos años la expansión de herramientas para el análisis de los patrones espaciales de presencia y ausencia de especies: los modelos de distribución de especies (Franklin 1995; Guisan & Zimmermann, 2000; Rushton et. al. 2004; Foody, 2008; Swenson, 2008).

Un modelo es una representación parcial de la realidad que refleja algunas de sus propiedades. Los modelos son, por lo tanto, simplificaciones, debidas tanto a la necesidad de reducir la complejidad del objeto real como a nuestro desconocimiento de muchas de sus propiedades. Son representaciones cartográficas de la idoneidad de un espacio para la presencia de una especie en función de las variables empleadas para generar dicha representación. La idoneidad no es más que la relación matemática o estadística entre la

distribución real conocida y un conjunto de variables independientes que se usan como indicadores (Mateo et. al., 2011).

Si bien es cierto que las principales aplicaciones de estos modelos son básicamente para estimar riqueza de especies (Cumming, 2000; Lehmann et.al. 2002; Hortal et. al., 2004; Wohlgemuth et. al., 2008) habiéndose publicado trabajos para casi cada grupo imaginable; distribución potencial de comunidades (Maggini et. al., 2006), de hábitats amenazados (Riordan & Rundel, 2009); de especies invasoras (Beaumont et. al., 2009; Herborg et. al., 2009), entre muchas otras, estos modelos han sido utilizados también en la distribución potencial de enfermedades (Peterson et. al., 2002).

3.2.1 Modelado Bayesiano

3.2.1.1 Análisis exploratorio

De 2003 a 2012 se reportaron un total de 257 casos de enfermos de Chagas en la Huasteca Potosina con una tasa media de incidencia de 116.97 casos por año por cada 10,000 habitantes. Dentro de los 20 municipios de la huasteca Potosina, los recuentos acumulativos de casos oscilaron entre 1 y 50 con un promedio de 12.85 y una mediana de 9.5. Una comparación las figuras 22 y 23 muestra una alta incidencia de la enfermedad en áreas donde el porcentaje de hogares donde el jefe del hogar o su cónyuge hablan alguna lengua indígena.

Figura 44. Total de personas que forman hogares censales donde el jefe del hogar o su cónyuge hablan alguna lengua indígena.

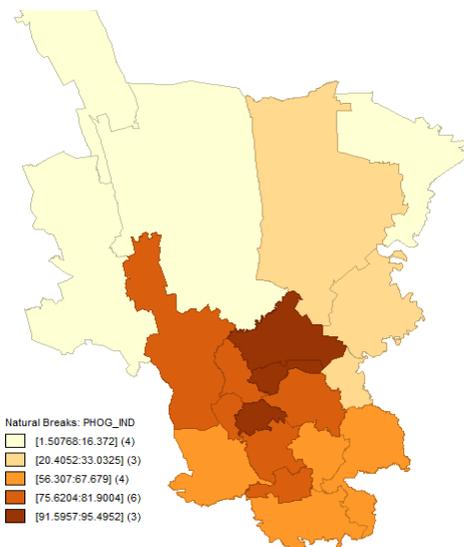
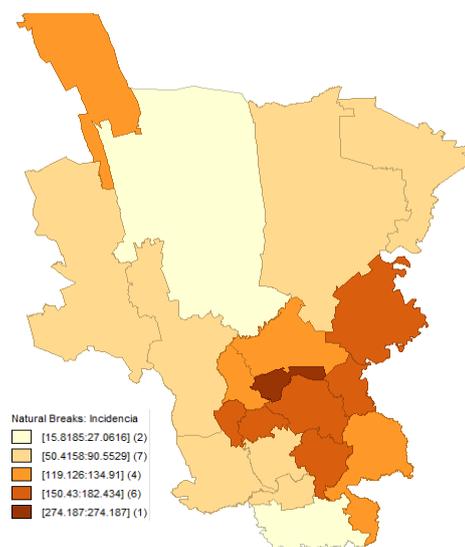


Figura 43. Prevalencia por 100 000 personas de enfermos de Chagas por municipio en la Huasteca Potosina. 2006 – 2012.



Los municipios del centro y sur de la Huasteca son en los que en la mayoría de los hogares habitan personas que hablan alguna lengua indígena. La mayor prevalencia de la enfermedad se da en los municipios del centro y sur de la Huasteca, a excepción de El Naranjo, ubicado en la Huasteca norte.

A excepción de % de viviendas sin drenaje, % de viviendas sin energía eléctrica, población con 2 salarios mínimos y viviendas sin bienes ($p>0.05$), el resto de las variables se correlacionaron significativamente con la enfermedad de Chagas usando una regresión no espacial de Poisson ($p<0.05$) (Tabla 12).

Tabla 12. Parámetros del análisis de regresión Poisson univariado

Variable	Estimado	Intervalo de confianza	Valor z	p	AIC
Índice de marginación	0.23047	0.0418 – 0.4204	2.386	*	278.33
Población total	7.427e-06	4.8e-06 – 9.7e-06	5.951	***	255.07
Precipitación	0.0004628	0.00015 – 0.00076	2.956	**	275.36
Temperatura Máxima	0.17023	0.0451 – 0.3062	2.560	*	276.74
Temperatura Media	0.15344	0.0831 – 0.2326	4.039	***	262.87
Temperatura Mínima	0.24215	0.1406 – 0.3631	4.276	***	254.26
% viviendas con piso tierra	0.019308	0.0064 – 0.0317	2.996	**	275.49
% viviendas sin agua entubada	0.016529	0.0098 – 0.0233	4.783	***	260.4
% viviendas sin drenaje	-0.06813	-0.1659 – 0.0257	-1.39		282.08
% viviendas sin energía eléctrica	0.005844	-0.0182 – 0.0290	0.485		283.84
Población de 3 años y más que habla lengua indígena y no español	0.06545	0.0329 – 0.0971	4.003	***	268.91
Población de 3 años y más que habla alguna lengua indígena	0.014367	0.0093 – 0.0195	5.557	***	251.25
Población de 15 años y más analfabeta	0.04635	0.0209 – 0.0719	3.557	***	271.25
Población derechohabiente a servicios de salud	-0.04781	-0.0603 - -0.0351	-7.45	***	230.74
Población con hogares censales indígenas	0.013501	0.0089 – 0.0182	5.706	***	247.42
Población ocupada con ingresos de hasta 2 salarios mínimos	-0.005306	-0.0165 – 0.0062	-0.91		283.25
Población ocupada	0.13462	0.0558 – 0.2158	3.302	***	272.63
Población sin derechohabiente a servicios de salud	0.046424	0.0336 – 0.0590	7.179	***	234.73
% de viviendas con algún nivel de hacinamiento	0.036331	0.0173 – 0.0551	3.775	***	270.08
Viviendas particulares habitadas que disponen de luz, agua y drenaje	-0.010554	-0.0105 - -0.0036	-2.932	**	274.99
Viviendas particulares habitadas sin ningún bien	0.01658	-0.0049 – 0.0377	1.521		281.79

Significado códigos: '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

La variable temperatura media fue excluida por presentar colinealidad con otras variables relacionadas con el fenómeno, lo mismo para la población sin derechohabencia a

servicios de salud. La variable viviendas con luz, agua y drenaje correlacionó de manera negativa con el total de casos, lo que era de esperarse, ya que estas viviendas tienen menos espacios para ser ocupados por las chinches. Lo mismo pasó con la variable Población derechohabiente a servicios de salud, también correlacionó de manera negativa con el total de casos. El resto de las variables que correlacionaron de manera negativa no fueron significativas.

3.2.1.2 Análisis de regresión no espacial de Poisson

El modelo final de regresión no espacial (el modelo con el más bajo valor de AIC) incluía las siguientes covariables: Población total, Temperatura mínima, % de ocupantes en viviendas con piso de tierra, % de ocupantes en viviendas sin agua entubada, población de tres años y más que habla alguna lengua indígena y no habla español, población de 15 años y más analfabeta, población derechohabiente a servicios de salud, % de viviendas con algún nivel de hacinamiento y viviendas que disponen de luz eléctrica, agua entubada de la red pública y drenaje. La tabla 2 muestra los coeficientes y probabilidades de cada una de las covariables del modelo final. Ajustando para los efectos de las otras covariables, pero no representando la autocorrelación espacial en los datos, % de ocupantes en viviendas con piso de tierra, población de tres años y más que habla alguna lengua indígena y no habla español, produce una correlación negativa con el total de casos de enfermos de Chagas, lo que era contrario a la asociación observada durante el análisis univariado. % de ocupantes en viviendas sin agua entubada también se correlacionó negativamente con el resultado, mientras que el resto de las variables demostraron ser un factor de riesgo. La prueba I de Moran no fue muy clara en la detección de autocorrelación espacial en el modelo de correlación no espacial de Poisson, aunque un tanto dispersa, el patrón puede deberse a la casualidad, lo que indica que las covariables incluidas en el modelo no espacial no explicaban plenamente la variación espacial de la enfermedad de Chagas. Por lo tanto, un análisis de regresión espacial de Poisson fue ajustado utilizando las covariables del modelo de regresión no espacial, para hacer frente a la autocorrelación espacial de los residuales.

Tabla 13. Modelo de regresión de Poisson multivariada final con algunos parámetros del análisis de regresión

Variable	Estimado	Intervalo de confianza	p
(Intercepto)	-1.922e+03		
Población total	7.653e-04	6.1587e-04 – 1.6557e-01	***
Temperatura mínima	-9.810e-01	-1.511e+00 - -5.204e-01	***
% viviendas con piso tierra	-1.421e+00	-1.898e+00 - -9.543e-01	***
% viviendas sin agua entubada	-7.141e-01	-9.7523e-01 - -4.6591e-01	***
% Población de 3 años y más que habla lengua indígena y no español	-1.802e+00	-2.896e+00 - -6.845e-01	***
% Población de 15 años y más analfabeta	3.083e+00	2.3270e+00 – 3.7993e+00	***
% Población derechohabiente a servicios de salud	1.902e+01	1.3356e+01 – 2.4217e+01	***
% de viviendas con algún nivel de hacinamiento	8.758e-01	4.5355e-01 – 1.3162e+00	***
% Viviendas particulares habitadas que disponen de luz, agua y drenaje	-9.541e-01	-1.224e+00 - -6.827e-01	***

Significado códigos: ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

3.2.1.3 Análisis de la regresión espacial de Poisson

El modelo multivariado que contiene efectos fijos y efectos aleatorios tanto espacialmente correlacionados y no correlacionados tuvo el más bajo DIC. Ver Cuadro 2 para los coeficientes de modelo del modelo completo con efectos fijos y efectos aleatorios espacialmente correlacionados y no correlacionados. Los resultados del modelo mostraron correlaciones positivas estadísticamente significativas con la enfermedad de Chagas para viviendas con piso de tierra, población menor de tres años que habla lengua indígena, con derechohabiencia a servicios de salud, viviendas con hacinamiento y servicios. La población total y la población de 15 años y más analfabeta se asociaron negativamente con la enfermedad de Chagas.

Los mapas de riesgo relativo de acuerdo solo a efectos fijos y a efectos fijos y efectos aleatorios se muestran en las figuras 24 y 25, respectivamente. De acuerdo con ambas figuras el mayor riesgo relativo para la enfermedad de Chagas se localiza en los municipios del centro y sur de la Huasteca Potosina, lo que coincide con la ubicación del número de casos del periodo analizado. Sobresale en caso del municipio de El Naranjo, que presenta una alta prevalencia de la enfermedad, pero en el análisis bayesiano no presenta un riesgo alto (Figuras 24 y 25), lo que se debe a que esta área administrativa se encuentra en una zona con características diferentes a la zona media y sur de la Huasteca, por lo que debemos tomar con reserva los casos reportados en este sitio, ya que probablemente sea ahí donde se hayan contabilizado, pero tal vez hayan ocurrido en un lugar diferente.

El modelo multivariado que contiene efectos fijos y efectos aleatorios tanto espacialmente correlacionados y no correlacionados tuvo el más bajo DIC: 1,417.7 comparación con 1,421.1 para el modelo con efectos fijos y efectos aleatorios espacialmente correlacionados; 1,473.8 para el modelo con efectos fijos y efectos aleatorios no correlacionados y 3,673.7 para el modelo con sólo efectos fijos. Ver Tabla 2 para los coeficientes de modelo del modelo completo con efectos fijos y ambos efectos aleatorios espacialmente correlacionados y no correlacionados.

Figura 46. Riesgo relativo de la enfermedad de Chagas en municipios de la Huasteca Potosina, de acuerdo solo a efectos fijos.

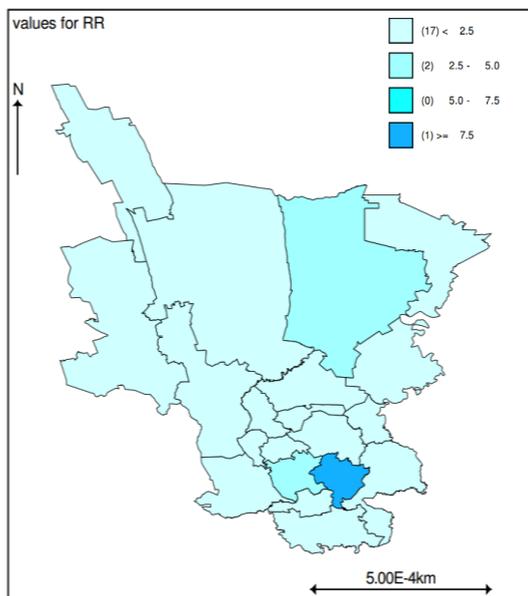


Figura 45. Riesgo relativo de la enfermedad de Chagas en municipios de la Huasteca Potosina, de acuerdo a efectos fijos y efectos aleatorios

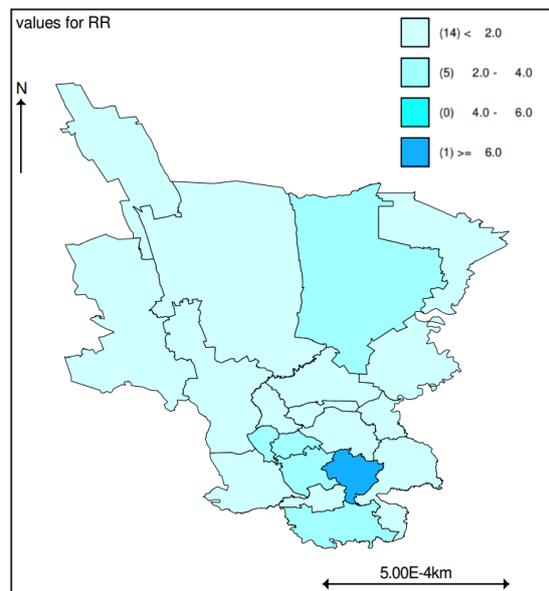


Tabla 14. Parámetros finales estimados del modelo multivariable que incluye efectos fijos y efectos aleatorios correlacionados y no correlacionados

Variable	Posterior mean(SD)	Rate Ratio (95% CrIb)
Intercept	-195.3 (12.31)	
Población total	-0.05229(0.1132)	0.005333(-0.2409 - 0.1522)
Viviendas con piso de tierra	0.3035(1.087)	0.05141(-1.413 - 2.02)
Población de 3 años habla lengua indígena y no español	0.6079(1.755)	0.0828(-2.029 - 4.404)
Población de 15 años y más analfabeta	-0.8239(2.552)	0.1207(-5.446 - 3.284)
Población con derechohabencia a los servicios de salud	2.069(0.1664)	0.007857(1.737 - 2.357)
Viviendas con hacinamiento	0.9796(0.2735)	0.01292(0.5446 - 1.552)
Viviendas con servicios	0.1129(0.2464)	0.01163(-0.3756 - 0.5685)
Efectos aleatorios no correlacionados		
Efectos aleatorios correlacionados		

aDesviación estándar; bIntervalo de confianza

3.2.1.4 Discusión

Cuantificar el efecto de las variables climáticas, ambientales y socioeconómicas sobre la incidencia de la enfermedad de Chagas permite comprender la epidemiología de la enfermedad y la distribución espacial permitiendo la mejora de las iniciativas de control de enfermedades. El análisis espacial presentado aquí muestra que la incidencia de la enfermedad de Chagas incrementa con las variables material del piso de las viviendas (piso de tierra), el acceso a servicios (viviendas sin agua, luz y drenaje), analfabetismo; un alto riesgo de incidencia de la enfermedad se presenta en áreas con mayor porcentaje de población indígena y sin acceso a servicios de salud (parte centro y sur de la huasteca) y un bajo riesgo se presenta en la zona norte (Figura 4).

En este estudio, basados en el análisis de regresión de Poisson univariado, encontramos que la incidencia de la enfermedad de Chagas en la Huasteca Potosina se incrementa con el analfabetismo, la carencia de servicios básicos en las viviendas, el material de las mismas y la falta de servicios de salud, variables que permiten un hábitat idóneo para la chinche transmisora, lo que favorece un contacto de ésta con la población; como puede observarse en la Figura 49, a diferencia de la zona norte, donde las condiciones socioeconómicas de los habitantes contrastan con los de la zona centro y sur, lo que se ve reflejado en una disminución de casos de enfermos de Chagas.

La importancia del tipo y servicios con que cuentan las viviendas en la presencia de la enfermedad indica que los programas de atención y/o control de esta enfermedad deberían ir dirigidos a un cambio en la infraestructura y tipo de construcciones en esta zona, ya que mientras en esas localidades las casas sigan teniendo las condiciones idóneas para la presencia de la chinche de nada servirán los programas dirigidos al control vectorial.

La importancia del porcentaje de población que habla lengua indígena y no español puede ser debido a una combinación de factores: en México este grupo es de los más vulnerables²³: presenta un alto y muy alto grado de marginación, viven en zonas de difícil acceso, lo que dificulta la cobertura de servicios de salud e infraestructura de servicios básicos (agua, luz, drenaje, educación) y en caso de la Huasteca Potosina presenta características ambientales que propician el desarrollo del vector. Por lo tanto el porcentaje de población indígena puede estar actuando como sustituto de una

combinación de estos factores más que como una correlación significativa que se relacione en términos de su propio impacto en la presencia de la enfermedad. Los municipios con un mayor ingreso (reflejado en el porcentaje de viviendas que cuentan con servicios básicos) presentan menor riesgo de presentar la enfermedad de Chagas, lo que refuerza nuestra comprensión de la enfermedad de Chagas en relación con la situación socioeconómica, así como variables climáticas y ambientales.

La población con hogares censales indígenas fue una variable que correlacionó con la incidencia de la enfermedad de Chagas en el análisis univariado (Tabla 12), pero esta variable perdió significancia en el análisis final. Esto pudo deberse a la incorporación de otras variables socioeconómicas. Por otro lado, la inclusión del porcentaje de población de tres años y más que habla lengua indígena y no español en el análisis multivariado sugiere que la incidencia más alta no se presenta en lugares donde existen hogares indígenas, sino en sitios donde la población no habla español, sitios que no necesariamente tienen que coincidir.

El análisis de regresión Poisson univariado indica que todas las variables evaluadas (a excepción de % de viviendas sin drenaje y sin energía eléctrica, población ocupada sin ingresos de hasta dos salarios mínimos y las viviendas particulares habitadas sin ningún bien) fueron significativamente correlacionadas con la incidencia de la enfermedad de Chagas durante el periodo de estudio. La mayor incidencia de la enfermedad se presentó en zonas donde la mayor parte de la población es indígena. La forma en que se distribuyen los indígenas a lo largo de la Huasteca no es homogénea, habiendo una menor presencia de ellos al norte de la región, mientras que al centro y sur hay una mayor concentración²³. Los poblados y comunidades en los que se asientan comúnmente carecen de servicios básicos derivado del pequeño tamaño en que se constituyen y de sus ubicaciones, zonas en el interior de las sierras por lo regular segregadas, con casas construidas de materiales como la palma y madera, lo que resulta contrastante con las zonas urbanas en las que suelen ubicarse principalmente población no indígena, zonas bajas con casas construidas de materiales como el concreto, tabique, etc.

El análisis presentado se realizó usando una inferencia bayesiana. Si bien los métodos bayesianos pueden ser computacionalmente intensivos y requieren altos costos iniciales en términos de formación y comprensión, estos ofrecen un marco sólido para el modelado

de bases de datos jerárquicos y auto-correlacionadas y permiten la incorporación de la incertidumbre en los parámetros del modelo desconocidos²⁰. Nuestros resultados deben tomarse con la consideración de las limitaciones de la investigación. Debido a los diferentes tamaños de las áreas administrativas utilizadas en el análisis, los valores utilizados para varias de las covariables (por ejemplo, temperatura mínima, media y máxima, precipitación) tiene diferentes niveles de precisión (es decir, la precipitación dentro de un área administrativa pequeña tendrá una menor varianza que dentro de un área administrativa grande, dependiendo del número de estaciones meteorológicas): estas diferencias pueden tener un impacto en la estimación de los parámetros y niveles de significancia. Además, la referencia espacial de los datos de enfermos de Chagas donde se llevó a cabo la infección se basa sobre la presunta localización donde se produjo, aunque puede ser difícil determinar la ubicación precisa donde fue adquirida. No es posible evaluar la fiabilidad de estos lugares, pero la agregación de casos en áreas administrativas ayudará a negar cualquier imprecisión en la georreferenciación.

La aplicación de la regresión de Poisson, incluyendo la regresión espacial y no espacial, ha puesto de relieve la importancia de una serie de factores en la distribución espacial de la enfermedad de Chagas en la Huasteca Potosina. Esta investigación ha aportado evidencias de un mayor riesgo de la enfermedad de Chagas en áreas donde la población es indígena. En la Huasteca Potosina, esta población habita en áreas de difícil acceso, que carecen de servicios básicos, de tamaño pequeño y con casas construidas de materiales como palma y madera. Los programas dirigidos al control vectorial deben tomar en cuenta estas consideraciones, ya que las características de la zona favorecen una infestación estacional de los vectores, es decir, se lleva a cabo un control vectorial, pero al no modificar la infraestructura de las localidades, estas siguen permitiendo una reinfestación posterior.

3.2.2 Modelado MAXENT

La evaluación del resultado final del modelo de distribución de especies y la comparación entre los diferentes métodos aplicables al problema se realiza mediante métodos estadísticos que miden el desempeño y la consistencia del modelo en cuanto a su capacidad de discriminar entre los datos de entrada (presencias y ausencias o pseudoausencias) y datos independientes de contraste. El estadístico más empleado en la literatura es el AUC (Area Under the Curve) ó area bajo la curva ROC.

La curva ROC es la representación gráfica de la capacidad discriminativa de un modelo para todos sus posibles puntos de corte, y necesita que los datos que se evalúan sean de presencia/ausencia. El eje de ordenadas representa el error de omisión, ya que corresponde a la sensibilidad o casos positivos bien clasificados, y el de abscisas al error por comisión, ya que representa el complementario de la especificidad, o falsos positivos. El estadístico derivado es el área bajo la curva ROC o AUC en su acrónimo inglés, que es equivalente al estadístico U de Mann-Whitney ya que, en realidad, corresponde a la probabilidad de que, tomando al azar un par de casos, uno presencia y otro ausencia (o pseudoausencia), el modelo adjudique a la presencia un valor mayor de idoneidad o probabilidad, y esto para todos los posibles pares de la muestra. El valor del AUC está comprendido entre 0 y 1; un valor de 1 indica que todos los casos se han clasificado correctamente y uno de 0.5 que el modelo no es diferente al clasificar los casos al azar; valores menores de 0.5 indican que el modelo es realmente malo, ya que clasifica erróneamente más casos que el azar. Las mayores ventajas del AUC son:

- La posibilidad de usarlo para comparar cualquier método, sea cual sea el tipo de valores de salida (probabilidad, idoneidad, puntuaciones, etc.) ya que no depende de supuestos paramétricos, y solo necesita que las distribuciones de estos valores sean monotónicas
- Sus resultados son independientes de las prevalencias
- Es una medida independiente del punto de corte, ya que su valor se genera utilizando todos los posibles puntos de cortes

El AUC tampoco carece de limitaciones, entre las que podemos destacar que necesita de un número mínimo que, aunque difícil de determinar con precisión, se puede establecer cercano a las 10-15 presencias únicas, dependiendo de si son especies de distribución restringida, que necesitarán menos, o generalistas, cuando este número debe aumentar (Stockwell & Peterson, 2002; Hernández et. al., 2006; Papes & Gaubert, 2007; Pearson et. al., 2007; Wisz et. al., 2008; Mateo et. al., 2010).

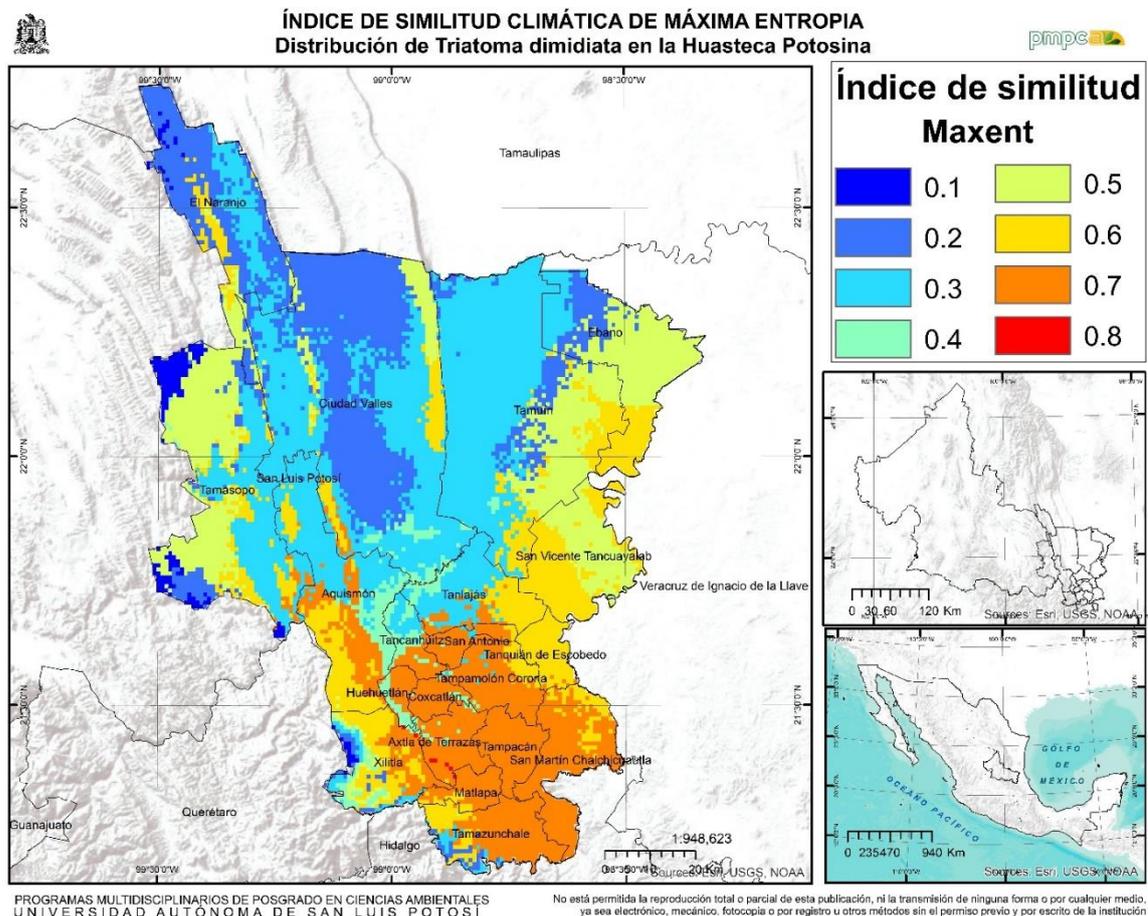
Los modelos de nicho de las tres especies estudiadas, presentaron valores del área bajo la curva (AUC) por encima del parámetro de predicción al azar ($AUC = 0.50$): *T. dimidiata* ($AUC = 0.964$), *T. mexicana* (0.999), *T. gerstaeckeri* (0.998). En la Tabla 4 se aprecia la contribución porcentual de las variables (bioclimáticas) utilizadas para construir el modelo de nicho o distribución potencial de las tres especies. En el caso de *T. dimidiata*

la variable que más contribuyó fue la temperatura mínima del mes más frío, seguida de temperatura estacional (34.4 y 25.6 % respectivamente). Para *T. gerstaeckeri* las variables de mayor importancia fueron Temperatura media anual, temperatura media del cuatrimestre más frío, Precipitación del mes más seco y temperatura media del cuatrimestre más frío con 22.4, 13.4, 11.3 y 10.2 % respectivamente. Las variables que más importancia tuvieron en la distribución de *T. mexicana* fue la temperatura estacional con 65.8 % (Tabla 4).

La prueba de Jackknife, columnas B1 y B2 señala las variables por especie que aportan mayor información al modelo, cuando son utilizadas en forma aislada (B1): temperatura estacional (BIO4) en *T. dimidiata* y *T. mexicana*, temperatura mínima del mes más frío (BIO6) en *T. dimidiata* y temperatura media anual (BIO1), temperatura media del cuatrimestre más frío (BIO11), Precipitación del mes más seco (BIO14) y temperatura media del cuatrimestre más frío (BIO8) en *T. gerstaeckeri*.

3.2.2.1 *Triatoma dimidiata*

Figura 47. Distribución potencial estimada para *T. dimidiata* en la Huasteca Potosina.

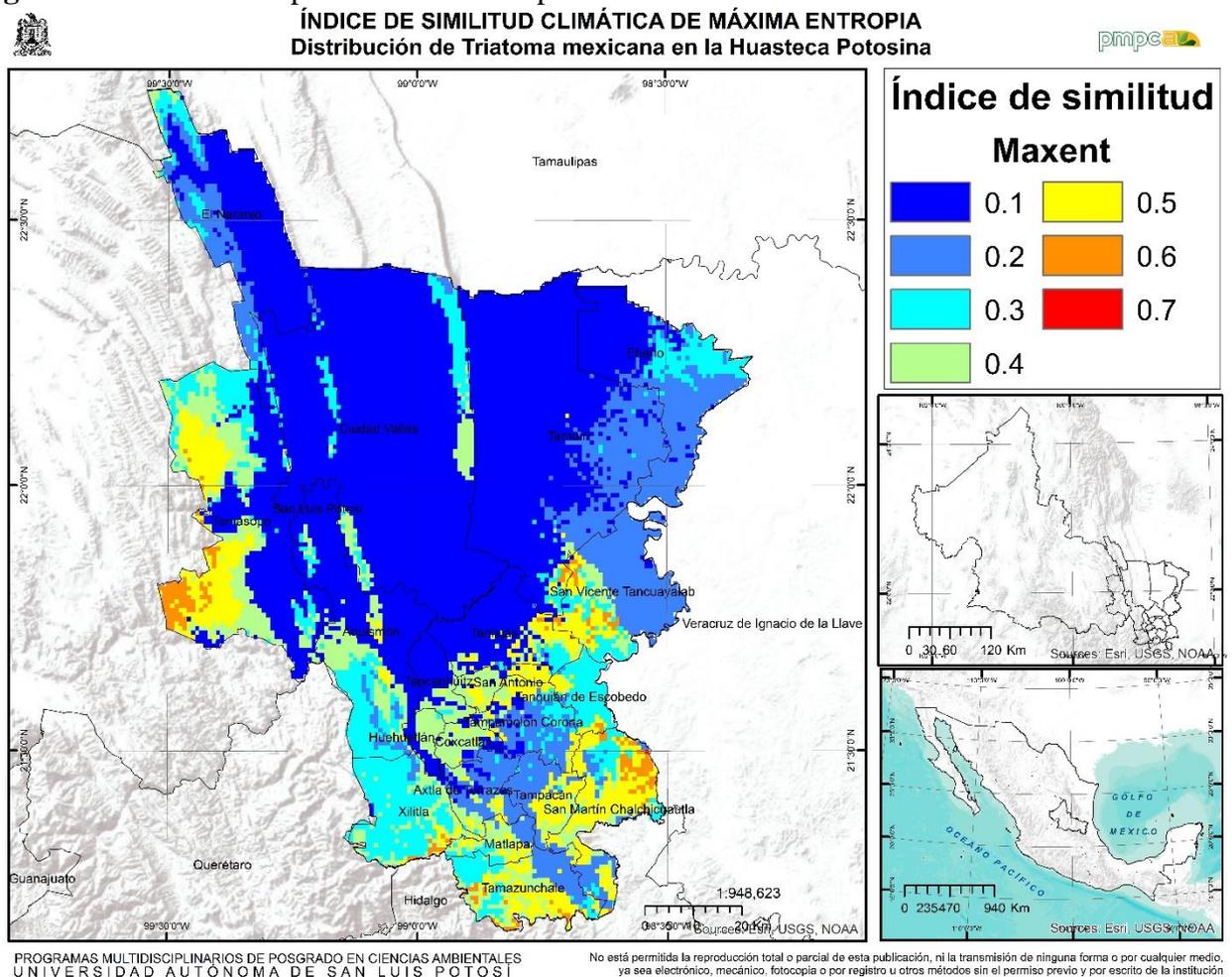


En la figura 47 se muestra el resultado del modelo de nicho con la distribución potencial de *T. dimidiata*, en esta se aprecian condiciones óptimas en municipios de la Huasteca sur: parte de Huehuetlán, Xilitla y Tancanhuitz, casi la totalidad de San Antonio, Tampamolón, Coxcatlan, Matlapa, San Martín y Tamazunchale, y la totalidad de Tampacán y Axtla de Terrazas, siendo menor el riesgo en los municipios de Cd Valles, El Naranjo y Tamuín (Figura 47).

Este modelo se realizó con 61 registros y el AUC fue de 0.964, lo que indica que casi todos los casos han sido clasificados correctamente.

3.2.2.2 *Triatoma Mexicana*

Figura 48. Distribución potencial estimada para *T. mexicana* en la Huasteca Potosina.



En la figura 48 se aprecian áreas óptimas de distribución de *T. mexicana* en la parte occidental de Tamasopo, y parte de los municipios de Matlapa, Tamazunchale, San Martín, San Antonio y San Vicente Tancuayab. Cabe mencionar que los registros de esta

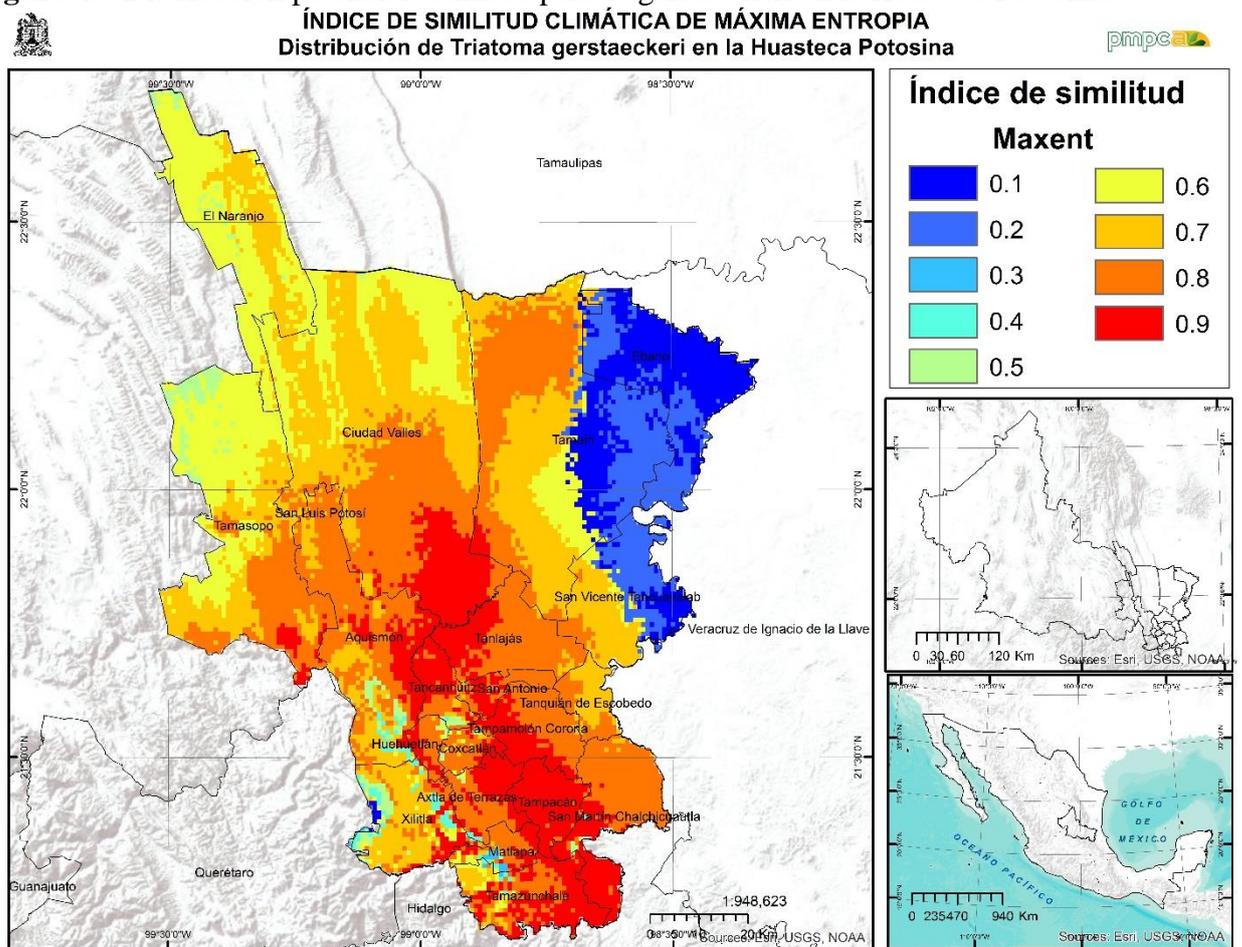
especie eran muy pocos en comparación con los que se obtuvieron de *T. dimidiata*, por lo que se podría estar subestimando la distribución potencial de esta especie.

Se debe tomar con reserva el resultado arrojado por esta especie, ya que el modelo se corrió con solo 5 registros, y al ser en general los triatomíneos una especie generalista, se necesitan muchos más registros para que el análisis sea confiable. A pesar de eso el AUC fue muy cercano a 1

3.2.2.3 *Triatoma gerstaeckeri*

La figura 49 muestra condiciones óptimas para la distribución de *T. gerstaeckeri* en casi la totalidad de los municipios de la Huasteca Potosina, exceptuando al municipio de Ébano y la parte occidental de Tamuín y San Vicente Tanculayab.

Figura 49. Distribución potencial estimada para *T. gerstaeckeri* en la Huasteca Potosina.



Este análisis se realizó con 34 registros, por lo que fue un número adecuado a pesar de ser una especie generalista. El modelo fue capaz de clasificar correctamente la mayoría de los casos (AUC= 0.998).

Tabla 15. Contribución porcentual de las variables bioclimáticas al modelo. B)

Especie	Variable	Contribución	B) Prueba jackknife	
			B1	B2
T. dimidiata N=61	Bio6	34.4	2.2	2.5
	Bio 4	25.6	2.1	2.5
	Bio 1	22.4	1.6	2.9
T. gerstaeckeri N=34	Bio 11	13.4	1.7	2.9
	Bio 14	11.3	0.4	2.8
	Bio 8	10.2	1.3	2.9
T. mexicana N=5	Bio 4	65.8	3.0	3.5

Resultados de la prueba de Jackknife donde se muestra la importancia relativa de cada variable expresado en valores de ganancia; B.1 indica valores cuando la variable es usada de forma aislada en el modelo, y B.2 cuando la variable es omitida del modelo

Al igual que en el modelo bayesiano, las áreas con mayor riesgo de acuerdo al modelo de máxima entropía se ubican en la zona centro y sur de la huasteca potosina, a excepción del modelo de T. gerstaeckeri, incluyendo la parte sur de Aquismón, parte de Tancanhuitz de santos, San Antonio, Tampamolón, Tampacán, San Martín Chalchicuatla, Xilitla y la totalidad de los municipios de Coxcotlán, Huehuetlán, Axtla de Terrazas, Matlapa y Tamazunchale.

3.2.2.4 Discusión

La fiabilidad real de un modelo de distribución potencial es prácticamente imposible de conocer, excepto mediante el uso de organismos virtuales (Mateo et. al. 2011). Sí se conocen factores que influyen en la disminución del desempeño de los modelos, y por lo tanto, de su fiabilidad, normalmente relacionados con la calidad de los datos de entrada, tanto en sus valores como en su distribución. Entre los principales problemas relacionados con la fiabilidad en esta investigación podemos destacar en primer lugar que desconocemos si el muestreo fue bien diseñado o sea inadecuado, lo que generaría información insuficiente o irregular (recuerdese que el trabajo de campo fue complementado con la información proporcionada por investigadores sobre la presencia de los vectores en la zona de estudio), que daría lugar a modelos sesgados en los que sería normalmente

imposible cuantificar dicho sesgo. Otra fuente de error puede ser falta de precisión o fiabilidad en los datos de entrada, ya sea geográfica o taxonómica, así como la precisión en su localización. En este caso como estamos trabajando únicamente con presencias pudieramos estarnos enfrentando a una falta de precisión en la georeferenciación, a errores en la identificación o a un tamaño de muestra insuficiente.

Para dar un poco más de fiabilidad a los modelos por lo anteriormente mencionado se realizó un modelado lineal múltiple con datos de abundancia de triatomíneos en la zona asociandola a variables ambientales y socioeconómicas para obtener mapas de abundancia, y estos se compararon con la densidad de enfermos de Chagas de el área de estudio, de esta manera podemos comprobar si realmente el área de riesgo de los mapas de distribución potencial corresponde a el área de mayor abundancia de los vectores y a la presencia de la enfermedad.

3.2.3 Modelo lineal múltiple

3.2.3.1 Recolección de datos y procesamiento.

Los datos entomológicos de fueron obtenidos de la base de datos compartida por investigadores en el primer congreso internacional de vectores (Hemíptera: Reduviidae: Triatominae) y del *Trypanosoma cruzi*: Panorama actual y expectativas. Los mapas digitales de temperatura anual promedio, temperatura mínima y máxima, precipitación pluvial, humedad relativa, presión atmosférica fueron obtenidos de la red de estaciones meteorológicas de la CNA. Los datos demográficos y administrativos fueron obtenidos del censo de población y vivienda 2010 del INEGI.

La localización geográfica de los pacientes seropositivos reportados durante el periodo 2003 a 2012 fueron proporcionados por el subdirector del departamento de epidemiología de San Luis Potosí (Secretaría de Salud, San Luis Potosí, SLP).

Todos los datos fueron importados en un SIG en modo ráster (ArcGIS 10.0, ESRI) para elaborar una base de datos entomológicos y de factores bioclimáticos de la Huasteca Potosina. Los datos de las estaciones meteorológicas fueron interpolados para generar datos continuos para toda el área de estudio. Los datos bioclimáticos de cada uno de los sitios de colecta fueron extraídos de la base de datos para el análisis estadístico y el modelaje.

3.2.3.2 Modelaje.

Para empezar, dividimos los datos en dos conjuntos, uno para ajustar los modelos y uno para evaluarlos. Para esto, los datos fueron apareados para asegurar que rangos similares de abundancia fueran representados en ambos conjuntos. Entonces, el modelado de la abundancia de los insectos transmisores se llevó a cabo. Se modeló la abundancia de los triatominos en las localidades en función de las variables bioclimáticas a partir del primer conjunto de datos (10 puntos) con una regresión lineal múltiple utilizando una distribución de Poisson del error de la probabilidad de ocurrencia de los insectos, con el programa R. El modelo fue elaborado paso a paso, incorporando las variables una por una en la regresión y para cada paso se conservó únicamente la variable que mejoraba más el ajuste del modelo definido como su varianza. Las variables que no mejoraban el ajuste fueron descartadas del modelo. La abundancia del vector fue entonces ajustada a la ecuación:

$$A = \exp(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n)$$

donde

A representa la abundancia

β_n los coeficientes respectivos de la regresión y

X_n las respectivas variables incorporadas en el modelo.

La relación entre la abundancia ajustada y observada se evaluó por análisis de correlación y regresión lineal. Para evaluar más profundamente el valor predictivo del modelo, lo aplicamos al segundo conjunto de datos (6 puntos) y de la misma manera comparamos la abundancia predicha por el modelo con la abundancia observada por análisis de correlación y regresión lineal.

Los valores de los factores bioclimáticos fueron entonces importados de la base de datos del SIG a hojas de cálculo de Excel (Microsoft, USA) y los modelos de regresión lineal múltiple fueron aplicados a toda el área de estudio. Mapas de la abundancia de triatominos fueron generados en el SIG. Finalmente, definimos el riesgo de transmisión natural de T. cruzi como directamente proporcional al producto de la abundancia de los insectos vectores. El riesgo se dividió en tres niveles (bajo, mediano y alto), correspondiendo a los tercios más bajo, mediano y más alto de la abundancia de insectos, respectivamente. La validez del mapa de riesgo obtenido fue evaluada comparando la ubicación de casos

humanos seropositivos y de cardiopatía chagásica crónica con los niveles de riesgo estimados.

3.2.3.3 Estimación de la densidad Kernel (KDE)

El análisis de densidad toma conocidas de un fenómeno (en este caso los puntos representan los enfermos de Chagas en la Huasteca Potosina) y las expande a través del paisaje basándose en la cantidad que se mide en cada ubicación y la relación espacial de las ubicaciones de las cantidades medidas. La herramienta densidad considerará donde se encuentra cada punto en relación con el resto de los puntos, luego, las celdas más cercanas a los puntos reciben proporciones más altas de la cantidad medida que aquellas que se encuentran más alejadas (Tisnés, 2012).

La estimación de densidad Kernel fue implementada para examinar la dinámica general de la enfermedad de Chagas utilizando el software R.

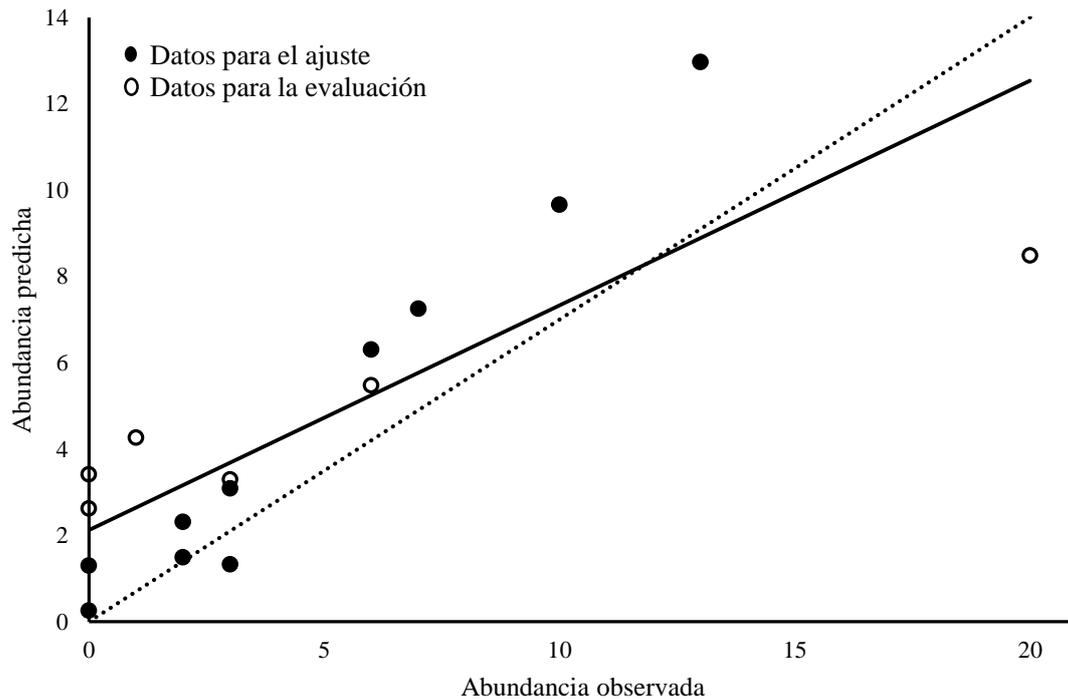
La densidad kernel usa estadísticas de probabilidad (función kernel) para calcular la densidad estimada de una población alrededor de los puntos de datos reales de la población produciendo una superficie lisa o cónica que conecta todos los puntos de datos utilizados en el análisis (Wallner et. al. 2014). Seleccionamos la densidad kernel porque este análisis se realiza bien con pequeñas cantidades de datos, son robustos a la autocorrelación y los resultados son utilizados en la distribución en lugar de un esquema simple de rango de distribución

3.2.3.4 Modelado de la abundancia de triatomíneos

Utilizando el primer conjunto de datos, solamente seis de todas las variables ambientales y socioeconómicas estudiadas fueron conservados durante la elaboración paso a paso de la regresión lineal múltiple. La población de tres años que habla lengua indígena y no habla español, la población de tres años que habla lengua indígena y habla español, la población de tres años y más que habla lengua indígena, el índice de marginación, la población con limitaciones y la precipitación permitieron reducir la varianza del modelo. La correlación entre la abundancia ajustada y observada fue fuerte para los 10 sitios utilizados para elaborar el modelo (Figura 29, $r^2 = 0.9693$, $p < 0.001$). Por otro lado, los residuos de la regresión lineal múltiple no presentaron correlación con la abundancia observada, ni con las variables dependientes o con la abundancia ajustada (datos no mostrados). Evaluamos entonces el valor predictivo del modelo con el segundo conjunto

de datos. Nuevamente, hubo una correlación muy fuerte entre la abundancia predicha y observada (Figura 29 $r^2 = 0.9154$, $p < 0.001$). Globalmente, la combinación de los dos conjuntos de datos indicó una buena coincidencia entre la abundancia de vectores predicha y observada (Abundancia predicha = $2.121 + 0.5208 \times$ Abundancia observada; $r^2 = 0.6772$, $p < 0.001$).

Figura 50. Relación entre los datos entomológicos observados y ajustados/predichos.



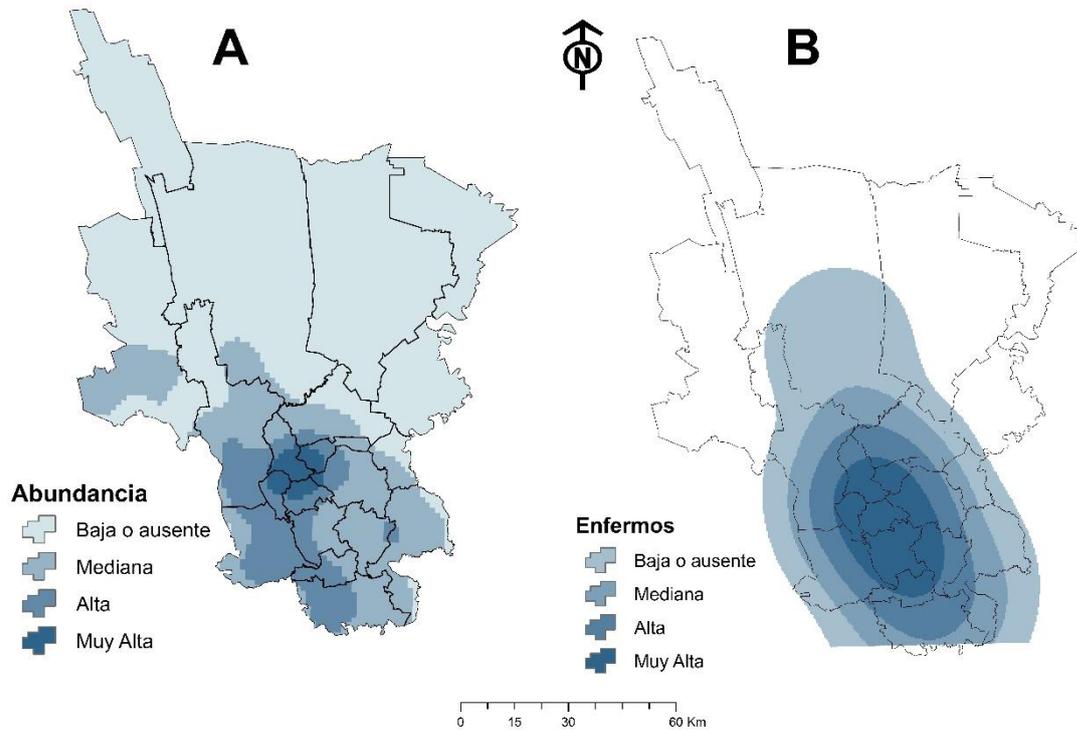
Abundancia de Triatominae observada y ajustada del conjunto de datos utilizado para la elaboración del modelo (círculos negros), y abundancia observada y predicha del conjunto de datos utilizados para la evaluación del modelo (círculos blancos). La relación para el conjunto de datos para la elaboración del modelo fue: Abundancia ajustada = $0.1371 + 0.9694 \times$ Abundancia observada ($r^2 = 0.9693$, $p < 0.001$). La relación para el conjunto de datos para evaluar el modelo fue: Abundancia ajustada = $3.2598 + 0.2667 \times$ Abundancia observada ($r^2 = 0.9154$, $p < 0.001$) y para la combinación de ambos conjuntos de datos: Abundancia predicha = $2.121 + 0.5208 \times$ Abundancia observada ($r^2 = 0.6772$, $p < 0.001$). La línea diagonal interrumpida indica una relación perfecta.

3.2.3.5 Densidad Kernel

En la figura 51 se observa como las áreas de densidad más alta se encuentran en la parte sur de la Huasteca, donde existe una mayor concentración de población indígena; esto es importante porque los poblados y comunidades en los que se asientan comúnmente

carecen de servicios básicos derivado del pequeño tamaño en que se constituyen y de sus ubicaciones, zonas en el interior de las sierras por lo regular segregadas, con casas construidas de materiales como la palma y madera (Medina-Garza et. al., 2016).

Figura 51. Mapa de predicción de abundancia de triatomíneos y de enfermos de Chagas.



El modelo predictivo de la abundancia de insectos vectores (A) fue aplicado a toda el área de estudio y la enfermedad (B) fue estimada mediante la estimación de densidad Kernel (KDE) La estimación de densidad Kernel está basada en la densidad actual y predicha de enfermos de Chagas donde el color más claro indica una baja densidad y los colores más oscuros indican una densidad mayor. La abundancia fue dividida en cuatro niveles arbitrarios y codificados por colores desde nula o baja hasta muy alta. Las líneas representan los límites administrativos de los municipios de la Huasteca Potosina

3.2.3.6 Discusión

Como otras enfermedades transmitidas por vectores, la enfermedad de Chagas es fuertemente influenciada por factores ambientales y numerosos estudios han investigado el efecto de factores climáticos sobre varios aspectos del ciclo de vida de los triatomíneos (Carcavallo, 1999). Sin embargo, muy pocos han intentado incluir a las variables socioeconómicas. Con este modelado presentamos el primer mapa de abundancia de

vectores para predecir el riesgo de la transmisión en la Huasteca Potosina. Este estudio puede ser de gran utilidad para futuros estudios epidemiológicos y entomológicos, ya que permitirá enfocar estos estudios en las áreas de mayor riesgo, pero aun más importante, este mapa representa una herramienta muy importante en la ayuda de la toma de decisiones para programas de control vectorial y el seguimiento epidemiológico en la región, permitiendo optimizar el costo-beneficio de estos programas en la salud pública.

Nuestro modelo permite la predicción de la abundancia de triatomíneos en las localidades y encontramos una muy buena correspondencia entre los datos predichos y observados, tanto para aquellos utilizados para elaborar el modelo como de aquellos usados para probarlo. La predicción de la abundancia del vector fue muy precisa, con más del 90% de la variación explicada por el modelo. De las variables incorporadas en este modelo, la influencia de la precipitación sobre la biología y el ciclo de vida de los triatóminos ha sido bien establecida para varias especies (Carcavallo, 1999).

El resto de las variables que mejoraron el modelo, a excepción de la población con limitaciones, tienen que ver con población indígena y marginada, que viven en condiciones que permiten un hábitat idóneo para la chinche transmisora, como la carencia de servicios básicos en las viviendas, el material de las mismas y la falta de servicios de salud; lo que favorece un contacto de ésta con la población. La forma en que se distribuyen los indígenas a lo largo de la Huasteca no es homogénea, habiendo una menor presencia de ellos en el norte de la región, mientras que al centro y sur hay una mayor concentración (Esquivel et al. 2004).

Nuestro mapa de abundancia fue de alto valor predictivo para los casos humanos (Figura 30). La gran mayoría de los pacientes detectados en años recientes vinieron de las áreas de mayor abundancia, mientras que solo unas cuantas fueron de áreas predichas con baja abundancia. La abundancia de los vectores en las localidades es el indicador de transmisión natural más directo, pero factores adicionales como la presencia de animales domésticos pueden modular el riesgo de transmisión a humanos (Cohen & Gurtler, 2001) y una de las características del área de estudio es precisamente la convivencia con animales de traspatio (Medina-Garza, et al., 2016).

Este mapa representa una primera herramienta de ayuda en la toma de decisiones por parte de las autoridades de salud para la identificación de áreas prioritarias para el control

vectorial. Estudios adioconales y refinamientos de este tipo de análisis, como sería la obtención del índice de infección de los insectos, podrían permitir la elaboración de mapas de mayor resolución espacial y mayor valor predictivo. El uso genralizado de herramientas de este tipo para el control vectorial de la enfermedad de Chagas y la vigilancia epidemiológica pemitiría optimizar estos programas y una mejor distribucion de los recursos

3.3 LIMITACIONES DE LOS MODELOS DE DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES

La naturaleza es compleja y heterogénea y no es razonable esperar que los modelos nos reflejen con precisión los mecanismos inherentes a un proceso espacio-temporal tan complejo como es la distribución de especies. En la literatura se encuentran trabajos diversos sobre las limitaciones asociadas a estos modelos (Pearson & Dawson, 2004; Guisan & Thuiller, 2005; Soberón & Peterson, 2005; Peterson 2006; Zurell et. al., 2009). Muchas de estas limitaciones son inherentes al proceso y difícilmente salvables, mientras otras están siendo objeto de investigaciones en la actualidad (Pearson & Dawson, 2004). A continuación se describen brevemente las limitaciones más comúnmente destacadas en la bibliografía (Mateo et. al., 2011):

Hipótesis de pseudoequilibrio y representatividad

Al generar modelos se asume que la población está en equilibrio o pseudoequilibrio con las condiciones ambientales (Araujo & Pearson, 2005). Eso supone que la distribución de la especie es estable en el tiempo y el espacio, algo que normalmente se desconoce.

Relaciones bióticas

La distribución de las especies responde a procesos complejos donde las relaciones bióticas tienen una gran influencia. La competencia por ejemplo puede llevar a que las especies no ocupen más que una parte del área de distribución potencial (Anderson et. al., 2002; Pearson & Dawson, 2003). Aunque incorporar las relaciones bióticas a los modelos sería probablemente difícil, el desconocimiento casi universal sobre su dinámica a nivel de especies individuales ha hecho que sencillamente se ignore por completo a la hora de generar modelos de distribución.

Ausencia de la componente espacial en el proceso

Es paradójico que en la generación de los modelos, cuyo resultado es un mapa, no se tengan en cuenta las relaciones espaciales entre los puntos a partir de los cuales derivan, ya que las coordenadas de cada presencia se utilizan exclusivamente para extraer los valores de las variables independientes de ese punto, sin considerar lo que sucede a su alrededor. Debido a esta forma de generar los modelos es frecuente encontrar zonas potenciales separadas por amplias barreras climáticas cuando, en realidad, la especie está presente solo en una de esas zonas y la otra podría considerarse aislada e inaccesible.

Ausencia de la componente temporal en el proceso

Los modelos de distribución son fotografías de un instante u no reflejan ningún proceso histórico ni pueden contemplarlo en sus reglas ni en sus clasificadores.

Dificultad de hacer modelos fiables para especies generalistas

Los modelos realizados para especies de distribución geográfica restringida son más fiables que los realizados con especies de amplia distribución. Esto se debe a que en una especie generalista el rango de valores para cada variable obtenido con el número de presencias es muy amplio, mientras que para las especies de distribución restringida las condiciones ambientales están muy claramente definidas por el mismo número de presencias, ya que el rango de valores es mucho menor.

Los modelos de distribución de especies representan una información que sintetiza relaciones entre especies y variables ambientales que serían difíciles de interpretar o incluso apreciar por otros medios. Es una técnica en evolución donde aún queda mucho trabajo por hacer desde el punto de vista metodológico, especialmente a la hora de incluir los factores espacial, temporal y biótico en su forma de operar. La capacidad de construir modelos más realistas está limitada por nuestra comprensión de los sistemas ecológicos y por los datos disponibles, siempre insuficientes.

4 CAPÍTULO IV. PROPUESTA DE PLATAFORMA DE VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA

Este capítulo propone un método para establecer un sistema espacial de apoyo a la toma de decisiones para la prevención y vigilancia de enfermedades transmitidas por vector (ETV, en este caso la enfermedad de Chagas) mediante la integración de SIG, base de datos espaciales, teledetección y tecnologías de la comunicación.

Un aspecto importante en la construcción del sistema espacial de apoyo para la prevención y vigilancia de ETV es la incorporación de modelos de propagación de la enfermedad en un SIG. El capítulo comienza con una propuesta de abordaje de las enfermedades transmitidas por vector, de una manera integral (biocompleja), después se discute la definición de la vigilancia epidemiológica y lo que conlleva para concluir finalmente con la descripción de las capacidades de los SIG en la prevención y vigilancia de enfermedades y la propuesta de una plataforma informática de vigilancia apoyada en sistemas de información geográfica.

Se propone un esquema técnico para integrar modelos epidémicos utilizando un SIG y tecnologías geoespaciales relevantes. El SIG y las plataformas de modelado comparten una base de datos espacial común y los resultados pueden visualizarse en un sitio web.

El sistema espacial de apoyo en la toma de decisiones propuesto abarca varios subsistemas: adquisición de datos, comunicación en red, integración de modelos, base de datos espacial de la enfermedad de Chagas y análisis estadístico, vigilancia epidemiológica de la enfermedad, publicación de información sobre enfermedades basadas en tecnología web SIG

4.1 EL COMPLEJO ABORDAJE DE LAS ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTOR

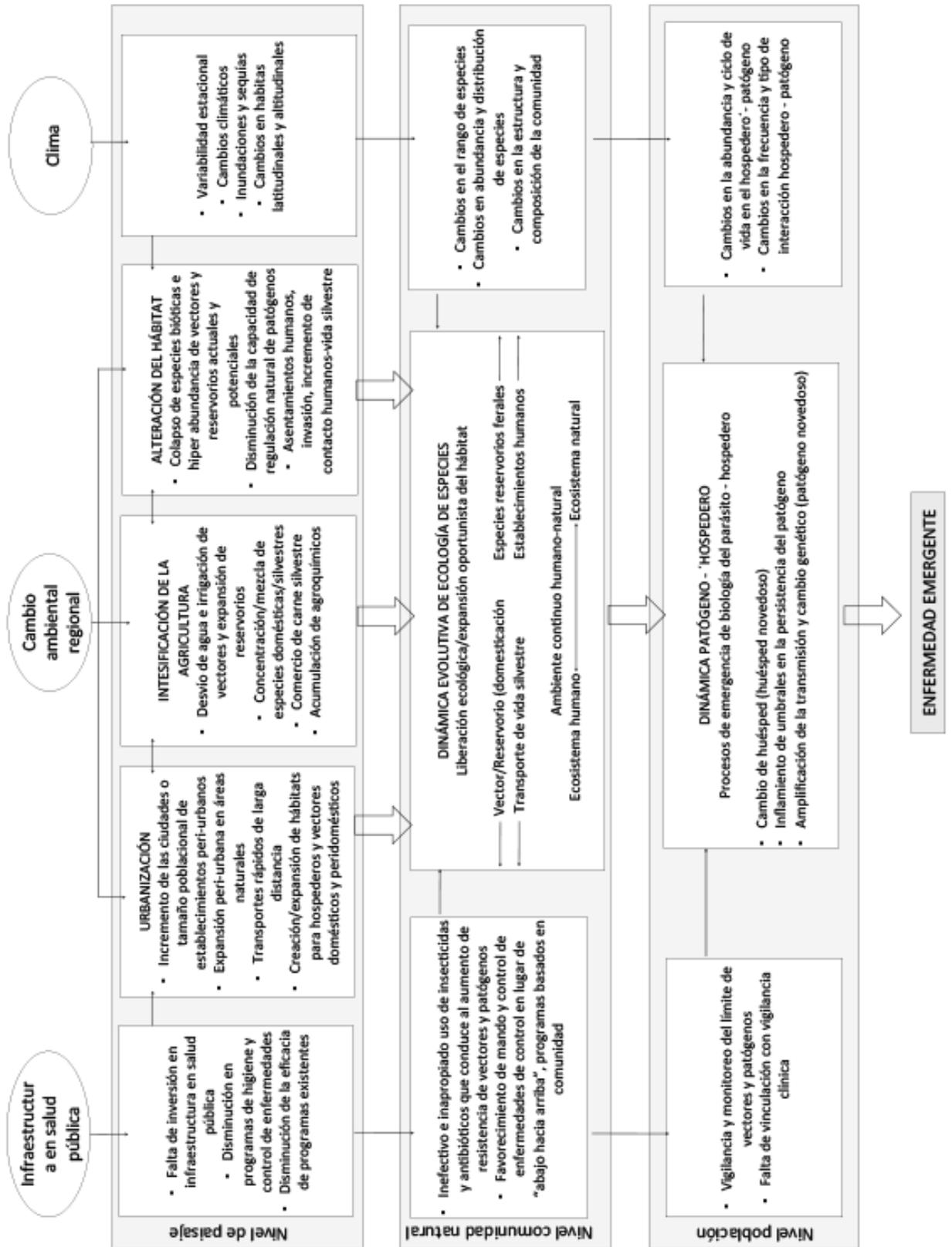
La comprensión de los mecanismos que subyacen las enfermedades infecciosas es uno de los problemas científicos más difíciles que enfrenta la sociedad actual (Wilcox y Colwell, 2005). Ciertamente los mecanismos o procesos de aparición de enfermedades implican también factores distintos a los que están a niveles moleculares y celulares. Estos incluyen el clima, las precipitaciones, fenómenos meteorológicos extremos, así como la ecología de los reservorios y vectores de los patógenos. Sin embargo, si se quiere construir un

marco verdaderamente holístico, se deben incluir también factores relacionados con los mecanismos humanos y sociales (Wilcox y Colwell, 2005; Medina-Garza *et al.* 2014). Este punto de vista, aplicado a la extraordinaria profundidad y riqueza de los sistemas vivos, desde la escala de genomas microbianos hasta ecosistemas poblados por humanos y otras especies evocó el término *biocomplejidad* por Colwell (1998).

Con unas pocas excepciones, en las enfermedades zoonóticas y transmitidas por vectores, en general, son fácilmente comprensibles los vínculos que tienen con el entorno natural. Sin embargo, la conexión entre su epidemiología y la dinámica de los ecosistemas, por no mencionar el acoplamiento humano-naturaleza, hasta ahora está empezando a ser analizado (Wilcox y Colwell, 2005).

Una perspectiva de los sistemas humano-natural ya se ha usado para explicar enfermedades zoonóticas y transmitidas por vectores. La figura 52 muestra un modelo que describe la aparición de enfermedades como la participación de los procesos biológicos que operan a nivel molecular y celular acoplada a escala regional y sistemas humano-naturales. Sin embargo hace hincapié en los conductores demográficos y sociales del cambio ambiental regional (extendido geográficamente en todo el mundo) así como la falta de control de la enfermedad y la política de salud pública. La urbanización, la intensificación de la agricultura y la pérdida y alteración del hábitat, impulsado por el crecimiento y el consumo de la población, caracterizan el modelo. En general, esta representación hace hincapié en el papel del cambio ambiental regional descrito por las transformaciones de uso del suelo y sus conductores (población, capacidad tecnológica y de organización socio-cultural). Estas transformaciones han actuado de la mano con políticas o métodos de control de vectores y prevención de enfermedades inapropiadas o inadecuadas que han promovido la aparición de enfermedades emergentes. Los cambios que tienen lugar en el segundo y tercer nivel de la figura 1 que afectan la ecología y evolución del patógeno y hospedero incluyen las acciones que realizan las agencias públicas de salud o falta de dichas acciones. Estas dinámicas ecológicas-evolutivas son a micro escala en tiempo y espacio. Sin embargo, el efecto acumulativo de estos procesos que involucran al patógeno y la adaptación del hospedero, y un rango de expansión (o re expansión) en última instancia, pueden producir consecuencias regionales o incluso globales.

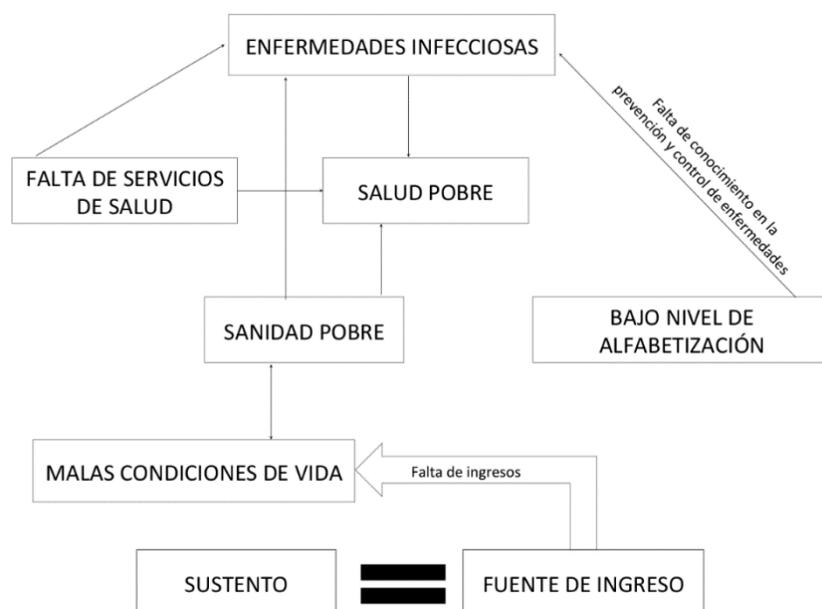
Figura 52. El modelo ilustra los factores ambientales asociados con la aparición de enfermedades.



El cambio ambiental regional, influenciado significativamente por el crecimiento poblacional, el consumo de recursos y la generación de residuos, juega un papel importante en la aparición de enfermedades infecciosas, especialmente en regiones tropicales en desarrollo. Asociación entre uso de suelo y urbanización, expansión e intensificación agrícola y la alteración del hábitat natural han producido cambios en los sistemas ecológicos, y a su vez, en sus comunidades naturales y en última instancia en la dinámica patógeno-hospederos-humanos. Factores relacionados con la infraestructura en salud y la variabilidad del clima y sus interacciones con el cambio ambiental regional, contribuyen de manera significativa a la aparición de enfermedades (Wilcox y Colwell, 2005).

Los modos de vida juegan también un papel trascendental en el ciclo de las enfermedades infecciosas, ya que determinan como la población puede estar expuesta y el riesgo asociado a la exposición. En países como México las enfermedades infecciosas suponen una enorme carga para la población, principalmente la que habita en zonas rurales y áreas marginadas de las ciudades. Malas condiciones de vida, falta de ingresos y de servicios básicos como agua potable, instalaciones de salud deficientes y bajos niveles de alfabetización han contribuido a la propagación de enfermedades infecciosas en dichas áreas (Mphande, 2016) (Figura 53).

Figura 53. Ciclo de las enfermedades infecciosas.



La imagen muestra como la fuente de ingresos está vinculada a las condiciones de vida que afectan a la salud a través y como la falta de conocimiento en la prevención y el control y la falta de servicios médicos contribuyen a la incidencia de las enfermedades infecciosas. Fuente: Mphande (2016).

Las enfermedades transmitidas por vectores (como la enfermedad de Chagas) pueden ser altamente contagiosas y representan una amenaza para la vida humana, dificultan el desarrollo y el progreso social y económico. Los brotes y la propagación incontrolable de una enfermedad transmitida por vector pueden causar graves problemas de salud pública de importancia social y política.

Los sistemas de información espacial que contiene datos espaciales y temporales sobre las enfermedades transmitidas por vector pueden ayudar a las instituciones responsables a realizar el monitoreo y la vigilancia de la enfermedad. Tal sistema ha permitido describir las relaciones entre la enfermedad y su entorno geográfico, así como ofrecer apoyo en la prevención de la propagación de las enfermedades (Xu, 2004)

Es necesario un rediseño conceptual de la vigilancia en enfermedades por vector y crear la interfaz de la información estadística y epidemiológica con una dimensión geográfico-espacial (modelado preventivo de distribución, dispersión y difusión), que muestre la relación causa-efecto entre las condiciones de la salud de la población y sus determinantes, donde la escala de tiempo en el proceso de difusión y retroalimentación de la información sea más corta o en tiempo real. En este sentido, el desarrollo de las Geo tecnologías ha generado cambios importantes en el ámbito digital y revolucionado el concepto en el uso de información geográfica.

El origen y la posterior propagación de enfermedades epidémicas tienen una relación estrecha con el tiempo y ubicaciones geográficas. Si se capturan los datos de la enfermedad en espacio / lugar y la hora y los atributos esenciales de la enfermedad, la distribución espacial y las características temporales de la propagación de la enfermedad se puede vigilar y visualizar para una intervención probable. Con la disponibilidad de modelos de propagación de la enfermedad, el proceso puede ser dinámicamente simulado y se visualizarán en dos o tres escalas espaciales tridimensionales. En consecuencia, grupos de población de alto riesgo pueden ser identificados y localizados visualmente mientras que los patrones de distribución espacial y difusión de comportamientos de una

enfermedad pueden verse en tiempo real. Las decisiones de prevención más eficaces se pueden hacer por las instituciones gubernamentales y de salud pública a través de una mejor asignación de los recursos médicos mediante el uso de los modelos de análisis de la red de un SIG. El uso de las tecnologías SIG en el modelado de las enfermedades epidémicas y la prevención no sólo promueve desarrollos mutuos en Epidemiología y Geografía, sino que también promoverá la formación y desarrollo de la epidemiología espacial, y el trabajo multidisciplinario tan necesarios para enfrentar la preocupación mundial sobre enfermedades transmisibles.

Bajo este contexto y debido a las características de la enfermedad de Chagas o Tripanosomiasis americana (la diversidad de vectores y los factores socioeconómicos y naturales que pueden estar relacionadas), ofrece un adecuado telón para demostrar como un análisis desde el enfoque de la biocomplejidad puede ser usado para entender la conexión entre ambiente, sociedad y ecología de una enfermedad transmitida por vector (Medina-Garza *et. al.*, 2014).

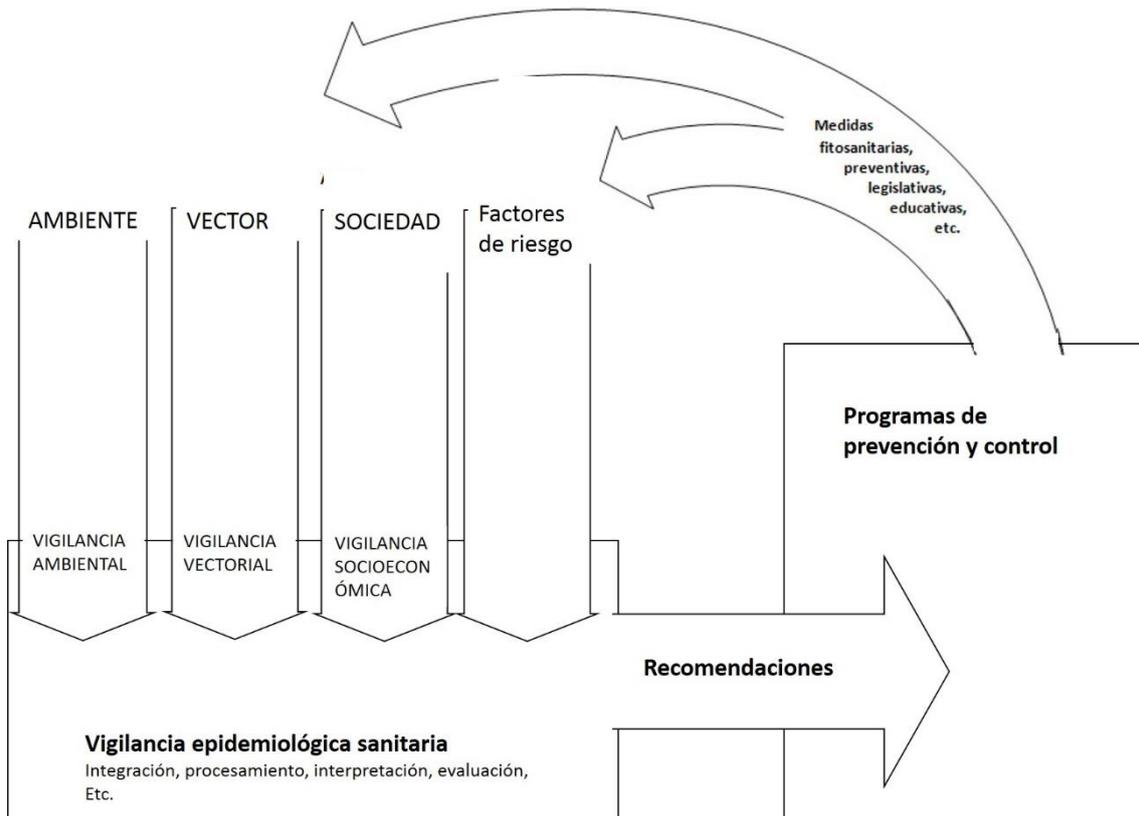
4.2 VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA

Desde los decenios de 1950 a 1960, la vigilancia epidemiológica sólo se percibía como una base de datos actualizada de las principales plagas y enfermedades, incluso se decía, que esa información recopilada (en dicha base) pronosticaba un estado de alerta permanente ya que debía garantizar datos oportunos de la distribución y propagación de los agentes patógenos. Hacia el decenio de los setenta, la vigilancia epidemiológica ya se conceptualiza como un conjunto de actividades con el fin de recomendar oportunamente, las medidas indicadas y eficientes que lleven a la prevención y control de la enfermedad. Sin embargo, la conceptualización integral de la vigilancia epidemiológica queda enmarcada a inicios del siglo XXI como un sistema de procesos para detectar cambios y anomalías en poblaciones (de humanos, animales o plantas). Si partimos de este consenso, no sólo una institución oficial puede determinar o evaluar esos cambios, sino que debe involucrar la sociedad científica y la sociedad civil en general (Galindo, 2011).

La vigilancia epidemiológica estará determinada por el diagnóstico y monitoreo ambiental (meteorología, climatología, vegetación, entre otros) con el apoyo de sensores remotos y un equipo multidisciplinario, el vector (con toda la caracterización biótica y abiótica, distribución y dispersión, reproducción, etc.) y la población (con todas las

características socioeconómicas, así como usos y costumbres). De éste primer diagnóstico dará como resultado los tipos y factores de riesgo a los que nos enfrentamos para la construcción de los programas de prevención y control.

Figura 54. Componentes de la vigilancia epidemiológica y su interacción con los programas de prevención y control



Fuente: Modificado de Rivas et al 2009

4.3 PLATAFORMA INFORMÁTICA

Existen algunos estudios que muestran la importancia del uso de geo tecnologías en el diagnóstico, análisis y modelado de enfermedades parasitarias e infecciosas, desde priorizaciones de intervención (Grant, 2010), modelos espacio-temporales (Estallo et al., 2014; Rogers et al., 2014; Hsueh et al., 2012; Khormi y Kumar, 2011), modelos climáticos (Quintero et al., 2015; Sirisena y Noordeen, 2014; Wu et al., 2009), modelos antrópicos (Burton et al., 2012; Wang y Wang, 2012) y uso de sensores remotos (Khormi, 2011; Tran et al., 2010; Barrientos, 2007) aplicados al reconocimiento de características espaciales asociadas a las enfermedades como el dengue.

La complejidad de las plataformas geo web está en los procesos de integración y análisis de la información. En el ámbito de la salud pública, la línea más usada es la de geografía médica, ya que su abordaje es holístico, tratando de relacionar los sistemas culturales y naturales complejos.

El Paisaje Epidemiológico que distingue a un lugar es una expresión compleja de factores físicos, bióticos y procesos culturales: de los SIG WEB y el análisis espacial, se deben determinar los patrones de comportamiento y cuando uno sabe analizar esta distribución dentro de la complejidad de información, por lo general, se puede determinar que enfermedad puede ocurrir (Brown, *et. al.*, 2010).

Actualmente el Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica (SINAVE) tiene como propósito esencial el producir información que oriente la Política Pública en Salud. Sin embargo, no es una plataforma que propicie la prevención y las alertas tempranas, sino más bien su objetivo fundamental es el seguimiento administrativo de la Vigilancia Epidemiológica. Este sistema está conformado por dos elementos básicos: el Sistema de Información Estadística y el Sistema de Información Epidemiológica; así como el SUIVE (Sistema único de información Epidemiológica) y según lo declara la propia Secretaría de Salud “*dista todavía de conformar un sistema único, de nuevos desarrollos y actualizaciones*” (SSA, 2015), pero además la información no es en tiempo real, lo que tiene dos implicaciones: no es preventiva (es vigilancia pasiva porque se espera a que se presente el brote o el positivo) y no se tiene información del lugar y el perfil de la población afectada y su capacidad de diseminación o contagio. No se tiene una verdadera gestión del riesgo (que implique simulacros regionales con la sociedad científica y civil).

La Plataforma de Vigilancia determinará:

1. Detección de zonas de riesgo a partir de modelado espacial y sensores remotos, Identificación de los factores de riesgo, Reconocimiento de la exposición espacial, factores determinantes de la propagación, simulación de escenarios epidémicos bajo diversas estrategias ambientales y de control.
2. Planes de acción y de contingencia con las comunidades vulnerables para la prevención

La Plataforma a partir de la información estadística y epidemiológica establecerá metodologías y esquemas de trabajo con soporte técnico y científico en sistemas de monitoreo y alerta de enfermedades transmitidas por vectores, para que, mediante el uso de tecnologías de análisis espacio temporales (modelados espacial) promueva el análisis, la interpretación e integración de la información geográfica, biológico-ambiental y antrópica (cultural, económica y de movilidad) que darán como resultado un área de riesgo, la cual servirá como herramienta en la resolución de estudios de caso mediante la implementación de análisis espacio-temporales, que conjuntan datos espaciales como imágenes satelitales (Landsat, SPOT, MODIS, NOAA-AVHRR), imágenes de alta resolución espacial obtenidas mediante VANTS, modelados de distribución ecológicos y antrópicos que basan sus predicciones en la correlación observada entre variables climáticas y la presencia o ausencia de especies, mientras que el otro atiende a consideraciones fisiológicas (Pearson y Dawson, 2003), mediante la utilización de modelos matemáticos y estadística clásica (Gevrey et al., 2006).

Aplicación móvil. Los reportes espacio-temporales (emitido periódicamente) serán alimentados mediante una aplicación móvil, que tendrá la posibilidad de capturar información observada por el personal médico y/o expertos en Salud. Dicha información se almacenará en la memoria del teléfono y posteriormente será enviada un servidor de base de datos de una manera sencilla, rápida y eficaz.

Además de estas funciones, la aplicación también realizará una serie de validaciones en la información que se captura para garantizar su veracidad. Finalmente también será posible adjuntar fotografías, capturar áreas en zonas donde se hizo la observación y enviarlos como evidencia a la base de datos central.

Sistema de Alerta Rápida. Dentro de la plataforma se implementará un módulo referente a un sistema completo y eficaz de alerta temprana el cual comprenderá cuatro elementos interrelacionados:

- 1) Conocimiento de los riesgos y las vulnerabilidades
- 2) Servicio de seguimiento y alerta
- 3) Difusión y comunicación
- 4) Capacidad de respuesta

Con la capacidad de generar alertas de conocimiento general y privadas las cuales podrán ser visualizadas en el portal de la plataforma o mediante el registro de un correo electrónico al que serán enviadas dichas alertas en tiempo cuasi-real lo que acorta los tiempos de difusión de la información.

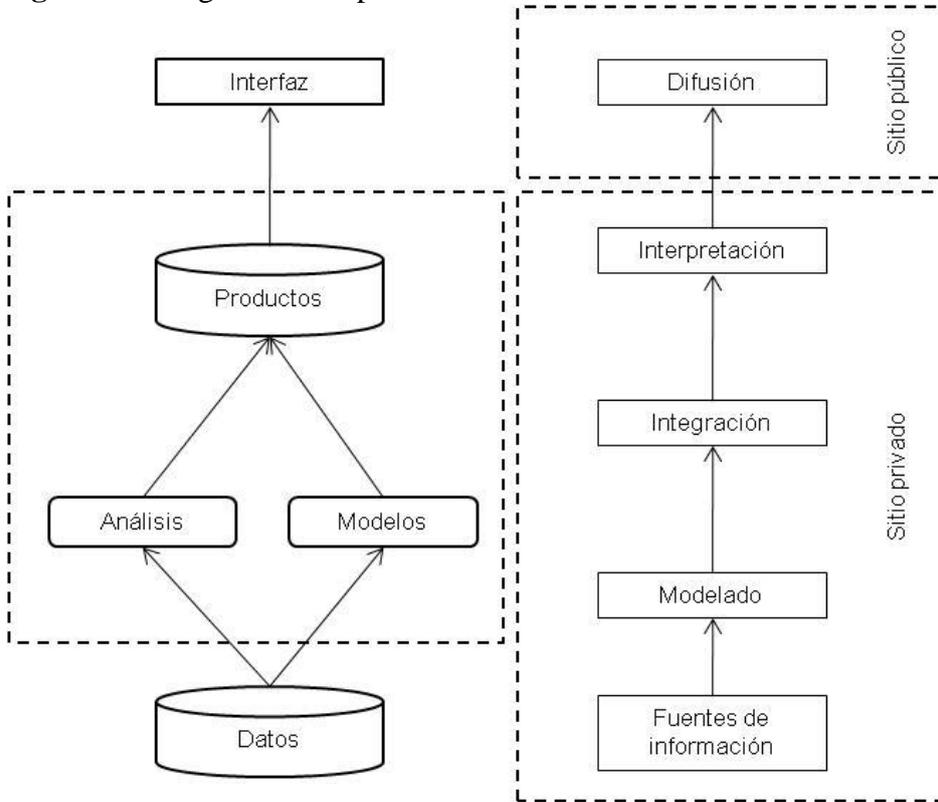
Inventario Nacional de Enfermedades. Otro módulo de vital importancia en la plataforma será la creación de un Inventario Nacional de Enfermedades en el cual se debe concentrar la información básica para su identificación y análisis dicha información. Este inventario debe contener: Nombre común, Nombre científico, sinonimias, clave de identificación, clasificación de la enfermedad, modo de diseminación (vectores) - clasificación, distribución nacional - mundial de acuerdo a los últimos reportes y epidemiología. Dicha información será de vital importancia en los análisis ya que conjuntara la información en un solo lugar lo cual acortara los tiempos de búsqueda documental que fundamentara los análisis Espacio Temporal y/o Alertas emitidas.

Análisis espacio-temporales. Uno de los procesos de análisis en epidemiología espacial es facilitar la identificación de áreas geográficas que presentan mayor riesgo a enfermedades y por tanto requieren de mayor atención ya sea preventiva o de control y manejo. La epidemiología también permite reconocer que la distribución y la importancia de los factores que operan en el aumento de un riesgo determinado no son necesariamente los mismos en todos los problemas de salud pública, aunque también se pueden identificar algunos grupos similares con respecto a los determinantes de riesgo que comparten. El reconocimiento de los componentes de riesgo, suponen a su vez la selección de intervenciones sociales, ambientales y epidemiológicas *ad hoc* que reconozcan los factores específicos de riesgo. El esquema de las variables usadas para la obtención de los indicadores de riesgo, se basarán principalmente en la obtención de algunos índices: movilidad humana, incidencia y condiciones ambientales y socioeconómicas, esto basándose en el triángulo de la ecología humana (Meade and Emch, 2010).

En la figura 55 se muestra el diagrama de la plataforma informática que se pretende construir, en ella los datos serán generados por la Secretaría de Salud, Universidades y centros de investigación, así como otras instancias de gobierno como INEGI, CONEVAL, CONAPO. Estos datos serán analizados y se generarán los modelos, tanto de los vectores como de la enfermedad (modelos discutidos en el capítulo 3), generando los productos

que podrán ser visualizados mediante una página web, a la cual tendrán acceso los tomadores de decisiones en materia de salud pública.

Figura 55. Diagrama de la plataforma informática.



Fuente: Russo 2009

Esta plataforma estará apoyada en herramientas de análisis y acciones muy específicas entre las que podemos mencionar:

- Vigilancia epidemiológica. Es una descripción del trabajo de vigilancia realizado por la Secretaría de Salud de acuerdo a las NOM en la materia. La vigilancia constituye el primer paso en el desarrollo integral de la salud ya que tiene como objetivo instrumentar acciones de vigilancia de enfermedades que ponen en riesgo la salud de la población.
- Mapas de riesgo. Estos mapas representarán el riesgo de dispersión y presencia de la enfermedad de Chagas en la Huasteca Potosina, a través de metodologías de modelado y análisis espacial, discutidas en el capítulo tres de este documento.
- Regionalización. Responde a una necesidad de contar con áreas delimitadas por características geográficas compartidas por las especies de vectores y que responden a su dinámica y condición ambiental. La regionalización

epidemiológica será el resultado de una metodología multivariante y multicriterio para establecer áreas que compartan ciertos grupos de vectores. Estas características serán físicas y climáticas, es decir, factores geográficos, de vectores y climáticos comunes.

- Percepción remota. Herramienta espacial que enriquecerá la vigilancia epidemiológica debido a la información ambiental que se extrae de las imágenes de satélite para el análisis epidemiológico. Estas imágenes ofrecen información sobre uso de suelo, clima, cobertura vegetal, entre otras. Una fortaleza de esta herramienta es la visión sistemática y continua de la problemática sanitaria.

A diferencia de los elementos no espaciales de la plataforma, la información aquí contenida es indispensable para el análisis epidemiológico porque permiten establecer en el tiempo y el espacio los problemas sanitarios que se presenten.

- Imágenes de satélite – Principalmente imágenes NOAA-AVHRR y Landsat, así como Modis y SPOT. Las distintas bandas y resoluciones permiten observar las distintas variables geográficas y ambientales que están relacionadas con el comportamiento de los vectores.
- Muestreos – Información recolectada por el personal de la Secretaría de Salud y las comunidades (vigilancia comunitaria) y que ubican espacialmente el resultado del muestreo puntual de los distintos vectores bajo vigilancia. Estos muestreos son sistemáticos y alimentan a la plataforma para realizar el modelado discutido en el capítulo tres y de la elaboración de los mapas de riesgo.
- Climatología - Base de datos que cuenta con 2 fuentes de información:
 - a) INIFAP: la Red de Estaciones Agroclimáticas del INIFAP proveen de la información meteorológica diaria que se carga mensualmente de cerca de 800 estaciones del país. Esta fuente cuenta con variables importantes para el análisis climático-sanitario: precipitación, temperatura, humedad relativa y evapotranspiración potencial. El principal uso de esta información es para las etapas de monitoreo y pronóstico de la vigilancia.
 - b) SMN: las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional cuenta con la información histórica más completa de nuestro país con registros de más de 6,000 disponibles. Algunos registros datan de la década de los 20's y cerca de 1,500

estaciones cuentan con 30 años o más de registros. Con estos registros se realiza el modelo biológico, de acuerdo al tipo de información disponible para cada vector. Estos modelos constituyen la etapa de diagnóstico del análisis epidemiológico.

- Servidor de mapas para trabajo interno – Herramienta de trabajo para el análisis alojado en el servidor de la plataforma donde estarán disponibles todas las imágenes georreferenciadas, imágenes de satélite, y cualquier archivo cartográfico, ya sea en formato raster o vector.
- Atlas epidemiológico sanitario – En el atlas se muestra la situación de la vigilancia epidemiológica sanitaria. Incluye la situación administrativa, de gestión y climática con relación a la sanidad.

5 CONCLUSIONES

Tras exponer todo el panorama que integra esta enfermedad tan compleja lo podemos resumir en los siguientes puntos:

- Inequidad. Por razones de distribución del vector afecta principalmente a población pobre, desinformada y por lo tanto, olvidada
- Económico. Es la principal causa de problemas cardiacos en América Latina y la cuarta enfermedad infecciosa con más carga en términos de años de vida perdidos. Paradójicamente, la cantidad destinada a Investigación y Desarrollo a lo largo de la década comprendida entre 2003 y 2013 fue tan solo el 2.25% del total de la carga financiera global para pacientes con Chagas en un año
- Acceso a diagnóstico y tratamiento. Las razones por las que solo el 1% de los enfermos recibe tratamiento son múltiples, pero podemos enumerar las siguientes: falta de formación del personal sanitario, falta de acceso, falta de tratamiento eficaz en adultos crónicos.
- Control vectorial. Los programas de control vectorial necesitan mantenerse en el tiempo, por lo que requieren de un esfuerzo sostenido.

Ante este panorama tan desolador, podemos concluir que a pesar de que no existe una solución mágica, si hay esfuerzos que pueden realizarse, aunque requiere de la participación e involucramiento a fondo de distintos actores:

- Gobierno. El gobierno debe reafirmar su compromiso político para desarrollar una estrategia de lucha contra la enfermedad de Chagas, poner en marcha programas para acelerar el acceso al diagnóstico y tratamiento y redoblar esfuerzos en el control de la transmisión.
- Actores públicos y privados. Deben sumarse a los esfuerzos nacionales canalizando esfuerzos en torno a prioridades establecidas y difundiendo el mensaje sobre la importancia de incrementar el acceso al diagnóstico y al tratamiento.

Además de las siguientes acciones:

- Formación del personal de salud
- Integrar el diagnóstico y tratamiento de la enfermedad en el sistema de salud desde el primer nivel de atención
- Cribar a los recién nacidos en áreas de riesgo y tratar a los que sea recomendable
- Garantizar la producción y el acceso a medicamentos de calidad
- Financiar I + D para nuevas pruebas de diagnóstico y tratamiento
- Establecer políticas claras en línea con las metas de la OMS y los Objetivos del Desarrollo Sostenible.
- Fomentar el compromiso de los diferentes actores
- Incrementar los fondos destinados para los programas de control de la enfermedad de Chagas

La buena noticia es que a pesar de que aún no existe vacuna, se puede tratar.

Uno de los determinantes principales en salud en la Huasteca Potosina es el clima y la geografía; es una zona tropical con condiciones climatológicas propicias para la proliferación de los vectores. Esta zona presenta factores de riesgos (biológicos, sociales y económicos), aunado a la susceptibilidad de los individuos, la deficiencia en el acceso a la atención médica y la carencia de tratamientos específicos efectivos hacen de la región un lugar idóneo para la proliferación de este padecimiento.

Además, generalmente los pacientes tratados para la enfermedad de Chagas regresan a las zonas rurales endémicas donde habitan y nuevamente pasan a ser parte de los ciclos de transmisión, lo que probablemente lleva a que sean afectados nuevamente por vectores, y de esta forma deban regresar a los centros de salud en búsqueda de atención. Esta situación conduce a un enfrascamiento donde los habitantes de las zonas rurales permanentemente están sometidos a un círculo de vectores-enfermedades-centros de salud.

Estas características hacen necesario abordar el problema desde una perspectiva ecológica, que permitirá dilucidar los patrones y variables ambientales de cada hábitat que favorecen la proliferación de los vectores y los reservorios de la enfermedad y de esta manera proponer medidas racionales y costo-efectivas para el control de poblaciones de vectores. Se debe tomar en cuenta el componente espacial, tanto a nivel local (micro) como regional

(macro), y para ello es necesario aprovechar los avances en las tecnologías de teledetección satelital y de información geográfica, para la puesta en marcha de una plataforma de vigilancia que permita el monitoreo de esta enfermedad de manera integral.

Es decir, esta propuesta de la plataforma de vigilancia epidemiológica es una opción para lograr abordar esta enfermedad desde una manera integral, que incluya todas las aristas que se involucran y a todos los actores. Obviamente decirlo es sencillo, pero para lograrlo realmente se requiere que los involucrados tengan la voluntad de hacerlo, dejen a un lado sus egos y realmente trabajen para lograr que la enfermedad deje ser silenciada.

BIBLIOGRAFÍA

- Abad-Franch F., Satos W.S., Schofield C.J. (2010). Research needs for Chagas disease prevention. *Acta Tropica*. 115:44-54.
- Aldana C.O., Escobedo J., Velasco C.O., Guzmán C.B. (2009). Seroprevalencia de la enfermedad de Chagas en Tamazunchale San Luis Potosí. *Enf Inf Microbiol*. 29(3):107-110.
- Anderson RP, Gómez-Laverde M, Peterson AT (2002) Geographical distributions of spiny pocket mice in South America: Insights from predictive models. *Global Ecology and Biogeography* 11: 131-41
- Araujo MB, Pearson RG (2005). Equilibrium of species' distributions with climate. *Ecography* 28: 693-95
- Arzube M. (1966). Investigación de la fuente alimenticia de *Triatoma dimidiata* Latreille 1811 (Hemiptera: Reduviidae) mediante la reacción de precipitina. *Rev Ecuatoriana de Higiene Med Trop* 23: 137-152.
- Beamont LJ, Gallagher RV, Thuiller W, Downey PO, Leishman MR. (2009). Different climatic envelopes among invasive populations may lead to underestimations of current and future biological invasions. *Diversity and Distributions* 15: 409-20
- Beard CB, Pye G, Steurer FJ, Rodríguez R, Campman R, Peterson AT, et al. (2003). Chagas Disease in a Domestic Transmission Cycle in Southern Texas, USA. *Emerg Inf Dis* 9 103-105.
- Best N, Richardson S, Thomson A. (2005). A comparison of Bayesian spatial models for disease mapping. *Statistical methods in medical research*. 14(1): 35-59.
- Carcavallo RU (1999) Climatic factors related to Chagas disease transmission. *Memorias del Instituto Oswaldo Cruz* 94:367-9
- Chapman, R.F. (1998). The insects: structure and function. University Press, Cambridge.
- Cohen J, Gurtler RE (2001) Modeling household transmission of american tripanosomiasis. *Science* 293: 694-8
- Costa J, Peterson AT, Beard CB. (2002). Ecological niche modeling and differentiation of populations of *Triatoma brasiliensis* Neiva, 1911, the most important Chagas disease vector in northeastern Brazil (Hemiptera, Reduviidae, Triatominae). *Am J Trop Med Hyg* 67:516-20.
- Coura JR, Borges-Pereira J. (2010). Chagas disease: 100 years after its discovery. A systemic review. *Acta tropica*.115(1): 5-13.
- Coutinho C.F.S., Souza-Santos R., Lima M.M. (2012). Combining geospatial analysis and exploratory study of triatomine ecology to evaluate the risk of Chagas disease in a rural locality. *Acta Tropica*. 121:30-33.
- Cruz-Reyes A., y Pickering-López J.M. (2004). Chagas disease in México: an analysis of geographical distribution during the past 76 years – A review. *Mem Inst Oswaldo Cruz*. 101 (4): 345-354.
- Cumming GS (2000) Using hábitat models to map diversity: Pan-African species richness of ticks (Acari: Ioxida). *Journal of Biogeography* 27: 425-40
- Davoy, K.G. (1965). Reproduction in the insects. Oliver and Boyd, Edinburg and London.
- Depickère S, Durán P., López R., Chávez T. (2011). Presence of intradomicile colonies of the triatomine bug *Panstrongylus rufotuberculatos* in Muñecas, La Paz, Bolivia. *Acta Tropica*. 117:97-100.

- Depickère S., Durán P., López R., Martínez E., Chávez T. (2012). After five years of chemical control: Colonies of the triatomine *Eratyrus mucronatus* are still present in Bolivia. *Acta tropica*. 123:234-238.
- Dumonteil, E., Gourbiere S., Barrera-Pérez M., Rodríguez-Félix E., Ruíz-Piña H., Baños-López O., Ramírez-Sierra M., Menu F. y Rabinovich J.E. (2002). Geographic distribution of *Triatoma dimidiata* and transmission dynamics of *Trypanosoma cruzi* in the Yucatan Peninsula of Mexico. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 67: 176-183.
- Dumonteil E, Gourbiere S. (2004). Predicting triatoma dimidiata abundance and infection rate: a risk map for natural transmission of Chagas disease in the Yucatan peninsula of Mexico. *The American Journal of tropical medicine and hygiene*. 70(5): 514-519.
- Dumonteil, E., Ramírez-Sierra M.J., Ferral J., Euán-García M. y Chavez-Nuñez L. (2009). Usefulness of Community Participation for the Fine Temporal Monitoring of House Infestation by Non-Domiciliated Triatomines. *Journal of Parasitology*, 95: 469-471.
- Dumonteil, E., Ruíz-Piña H., Rodríguez-Félix E., Barrera-Pérez M., Ramírez-Sierra M., Rabinovich J.E. y Menu F. (2004). Re-infestation of houses by *Triatoma dimidiata* after intra-domicile insecticide application in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, 99: 253-256.
- Esquivel JV, Arias PG, Alvarado JB. (2004) *Huastecos en San Luis Potosí: pueblos indígenas del México contemporáneo*. Comisión Nacional para el Desarrollo de los pueblos indígenas 34 p
- Ferral, J., Chavez-Nuñez L., Euán-García M., Ramírez-Sierra M.J., Nájera-Vázquez R. y Dumonteil E. (2010). Comparative field trial of alternative vector control strategies for non-domiciliated *Triatoma dimidiata*. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 82: 60-66.
- Fody GM (2008) GIS: Biodiversity applications. *Progress in Physical Geography* 32: 233-35
- Foley DH, Rueda L, Peterson AT, Wilkerson RC. (2008). Potential Distribution of Two Species in the Medically Important Anopheles minimus Complex (Diptera: Culicidae). *J Med Entomol* 45:852-860.
- Franklin K (1995). Predictive vegetation mapping: Geographic modelling of biospatial patterns in relation to environmental gradients. *Progress in Physical Geography*. 19:474-99.
- Gallardo, P. (2004). Huastecos de San Luis Potosí, Pueblos indígenas del México contemporáneo. Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Pp 34.
- Gascón J., Bern C., Pinazo M.J. (2010). Chagas diseases in Spain, the United States and other non-endemic countries. *Acta Tropica*. 115:22-27
- Gomes N.A., Marques S.A., de Ornelas M.J., Aparecida M.F., Gomes M.L. (2011). *Trypanosoma cruzi* I-III in southern Brazil causing individual and mixed infection in humans, sylvatic reservoirs and triatomines. *Acta Tropica*. 120:167-172.
- Guisan A, Thuiller W (2005) Predicting species distribution: Offering more than simple habitats models. *Ecology Letters* 8: 993-1009
- Guisan A., Zimmermann NE (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological modelling*. 135: 147-86.
- Gurevitz, J.M., Ceballos L.A., Kitron U y Gürtler R.E. (2006). Flight initiation of *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) under natural climatic conditions. *Journal of Medical Entomology*, 43: 143-150.

- Hernández PA, Graham CH, Master LL, Albert DL (2006) The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography* 29: 773-85
- Hernández J.L., Rebollar-Tellez E.A., Infante F., Morón A., Castillo A. (2010). Indicadores de infestación, colonización e infección de *Triatoma dimidiata* (Latreille) en Campeche, México. *Neotropical Entomology* 39(6):1024-1031.
- Herborg LM, O'hara P, Therriault TW (2009). Forecasting the potential distribution of the invasive tunicate *Didemnum vexillum*. *Journal of Applied Ecology* 46: 64-72
- Hijmans OJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int J Climatol* 25:1965-1978.
- Hortal J, García-Pereira P, García-Barros E. (2004). Butterfly species richness in mainland Portugal: Predictive models of geographic distribution patterns. *Ecography* 27: 68-82
- Hotez PJ, Dumonteil E, Heffernan MJ, Bottazzi ME. (2013) Innovation for the 'bottom 100 million': eliminating neglected tropical diseases in the Americas. *Adv Exp Med Biol.* 764:1-12.
- InDRE, RNLSP, (2012). Lineamientos para la vigilancia por Laboratorio de Enfermedad de Chagas
- Informe sobre Desarrollo Humano San Luis Potosí 2005. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Pp. 112.
- Instituto Nacional de Estadística & Geografía (México). Censo de población y vivienda, 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. 2010
- Jasso L.G. (2011). Congenital infections of low frequency in newborns: some relevant aspects. *Bol. Med. Hosp. Infant. Mex.* 68(1):6-18.
- Kulkarni MA, Desrochers RE, Kerr JT. (2010). High Resolution Niche Models of Malaria Vectors in Northern Tanzania: A New Capacity to Predict Malaria Risk? *PlosOne* 5: e9396 Disponible en:10.1371/journal.pone.0009396
- Larson SR, DeGroot JP, Bartholomay LC, Sugumaran R. (2010). Ecological niche modeling of potential West Nile virus vector mosquito species in Iowa. *Journal of Insect Science* 10:110 Disponible en: insectscience.org/10.110
- Lawson AB. Bayesian disease mapping: hierarchical modeling in spatial epidemiology. CRC Press. 2013
- Lee B.Y., Bacon K.M., Bottazzi M.E., Hotez P.J. (2013). Global economic burden of Chagas disease: a computational simulation model. *Lancet infect Dis.* 13:342-348.
- Lehman A, Leathwick JR, Overton JM. (2002) Assessing New Zealand fern diversity from spatial predictions of species assemblages. *Biodiversity and Conservation* 11: 2217-238
- Lent H., Wigodzensky P., (1979). Revision of the triatominae (Hemiptera, Reduviidae) and their significance as vectors of Chagas' Disease. *Bull Amer Museum Nat Hist;* 163: 123-520.
- Maggini R, Lehmann A, Zimmermann NE, Guisan A (2006). Improving generalized regression analysis for the spatial prediction of forest communities. *Journal of Biogeography* 33: 1764-78
- Martínez-Ibarra, J.A., Miguel-Álvarez A., Arredondo-Jiménez J. y Rodríguez-López M.H. (2001). Update on the biology of *Triatoma dimidiata* Latreille (Hemiptera: Reduviidae) under laboratory conditions. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 17: 209-210.
- Mphande, F. A. 2016. Infectious Diseases. Pp 35 – 53. En Mphande F. A. (Eds). Infectious Diseases and rural livelihood in developing countries. Springer

- Mateo RG, Felicísimo AM, Muñoz J (2010) Effects of the number of presences on the reliability and stability of MARS species distribution models: The importance of regional niche variation and ecological heterogeneity. *Journal of vegetation Science* 21: 908-22
- Mateo RG, Felicísimo AM, Muñoz J. (2011). Modelos de distribución de especies: una revisión sintética. *Revista Chilena de historia natural*. 84: 217-40
- Medina-Garza H, Contreras-Servín C, Galindo-Mendoza MG, Mejía-Saavedra JJ, Arreola-Martínez BE. (2016) Patrón de distribución espacial de la enfermedad de Chagas en la Huasteca Potosina. *Entomología Mexicana* 3: 682-88
- Melgar S., Chávez J.J, Landaverde P., Herrera F., Rodas A., Enríquez E., Dorn P.L. y Monroy C.M. (2007). The number of families of *Triatoma dimidiata* in a Guatemalan house. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, 102: 221-223.
- Moffett A, Shackelford N, Sarkar S. (2007). Malaria in Africa: Vector Species' Niche Models and Relative Risk Maps. *PlosOne* 9:1-14.
- Monroy M.C., Bustamante D.M., Rodas A.G., Enriquez M.E., Rosales R.G. (2003a). Habitats, dispersion and invasion of sylvatic *Triatoma dimidiata* (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) in Peten, Guatemala. *J Med Entomol* 40: 800-806.
- Monroy MC, Bustamante DM, Rodas AG, Enriquez ME, Rosales RG. Habitats, dispersion and invasion of sylvatic *Triatoma dimidiata* (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) in Peten, Guatemala. *Journal of medical entomology*. 2003;40(6): 800-806.
- Monroy C.M., Rodas A., Mejía M., Rosales R. y Tabaru Y. (2003b). Epidemiology of Chagas disease in Guatemala: infection rate of *Triatoma dimidiata*, *Triatoma nitida* and *Rhodnius prolixus* (Hemiptera, Reduviidae) with *Trypanosoma cruzi* and *Trypanosoma rangeli* (Kinetoplastida, Trypanosomatidae). *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, 98: 305-310.
- Monroy, C.M., Menes-Hernández M., y Chanquín S.B. (2005). Posible origen de poblaciones reinfestantes de *Triatoma dimidiata* Latreille (Hemiptera: Reduviidae), en seis localidades de Jutiapa, por medio del uso de morfometría tradicional y asimetrías morfométricas. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Organización Mundial de la Salud (2012). Nota descriptiva No. 340. La enfermedad de Chagas (tripanosomiasis americana). Consultado en línea el 4 de Noviembre de 2013. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs340/es/>
- Organización Panamericana de la Salud. (2009). Guía para la vigilancia, prevención, control y manejo clínico de la enfermedad de Chagas aguda transmitida por alimentos. Río de Janeiro: PANAFTOSA-VP/OPAS/OMS. Pp. 92 (Serie de Manuales Técnicos, 12).
- Papes M, Gaubert P (2007) Modelling ecological niches from low numbers of occurrences: Assessment of the conservation status of poorly known viverrids (Mammalia, Carnivora) across two continents. *Diversity and Distributions* 13: 890-902
- Parra-Henao G. (2010). Sistemas de Información Geográfica y Sensores Remotos. Aplicaciones en enfermedades transmitidas por vectores. *CES Medicina*. 24(2):75-89.
- Pearson RG, Dawson TP (2003) Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: Are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography* 12: 361-71

- Pearson RG, Dawson TP (2004) Bioclimate envelope models: What they detect and what they hide – response to Hampe (2004). *Global Ecology and Biogeography* 13: 469-76
- Pearson RG, Raxworthy CJ, Nakamura M, Peterson AT. (2007) Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: A test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography* 34: 102-17
- Petana W.B. (1971). American trypanosomiasis in British Honduras. X natural habitats and ecology of *Triatoma dimidiata* (Hemiptera, Reduviidae) in the El Cayo and Toledo districts, and the prevalence of infection with *Trypanosoma* (Schizotrypanum) cruzi in the wild-caught bugs. *Ann Trop Med Parasitol* 65: 169-178.
- Peterson A.T., Sánchez-Cordero V., Beard C.B., Ramsey J.M. (2002). Ecologic Niche Modelling and Potential Reservoirs for Chagas Disease, México. *Emerging Infectious Diseases*. 8:662-667.
- Peterson AT, Shaw J. (2003). Lutzomyia vectors for cutaneous leishmaniasis in Southern Brazil: ecological niche models, predicted geographic distributions, and climate change effects. *Internat J Parasitol* 33:919-931.
- Peterson AT, Pereira AS, Fonseca De CamargoNeves VL. (2004). Using epidemiological survey data to infer geographic distributions of leishmania vector species. *Rev Soc Bras Med Trop* 37:10-14
- Peterson AT, Martinez-Campos C, Nakazawa Y, Meyer-Martinez E. (2005). Time-specific ecological niche modeling predicts spatial dynamics of vector insects and human dengue cases. *Trans Royal Soc Trop Med Hyg* 99:667-655.
- Peterson AT (2006) Uses and requirements of ecological niche models and related distribution models. *Biodiversity Informatics* 3: 59-72
- Peterson AT. (2008). Biogeography of diseases: a framework for analysis. *Naturwissenschaften*. Disponible en: 10.1007/s00114-008-0352-5
- Pinto-Dias J. (2006). Enfermedad de Chagas: Las etapas recorridas y las perspectivas futuras. En: La Enfermedad de Chagas a la puerta de los 100 años del conocimiento de una endemia americana ancestral. Organización Panamericana de la Salud.
- Polonio, R., Ramirez-Sierra M.J. y Dumonteil E. (2009). Dynamics and distribution of house infestation by *Triatoma dimidiata* in central and Southern Belize. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 9: 19-24.
- Ramírez-Sierra M.J., Herrera-Aguilar M., Gourbiere S. y Dumonteil E. (2010). Patterns of house infestation dynamics by non-domiciliated *Triatoma dimidiata* reveal a spatial gradient of infestation in rural villages and potential insect manipulation by *Trypanosoma cruzi*. *Tropical Medicine and International Health*, 15: 77-86.
- Ramsey J.M., Ordoñez R., Cruz-Celis A., Alvear A.L., Chávez V., López R., Pintor J.R., Gama F., Carrillo S. (2000). Distribution of domestic triatominae and stratification of Chagas disease transmission in Oaxaca, México. *Medical and Veterinary Entomology*. 14:19-30.
- Rivas et. al. (2009). Principios y componentes de un sistema de vigilancia fitosanitaria en Temas de Ciencias y Tecnología, Universidad Agraria de La Habana, Cuba. Vol. 3, Núm. 38, mayo-agosto, pp.39-49.
- Reyes M. y Angulo V.M. (2009). Ciclo de vida de *Triatoma dimidiata* Latreille, 1811 (Hemiptera, Reduviidae) en condiciones de laboratorio: producción de ninfas para ensayos biológicos. *Biomédica*, 29: 119-126.
- Reyes-Novelo, E., Ruiz-Piña H., Escobedo-Ortegon F. y Barrera-Perez M. (2010). Algunos aspectos biológicos preliminares sobre la oviposición de *Triatoma*

- dimidiata* (Latreille, 1811) (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) de Yucatán, México. (pp. 729-734). In: Cruz-Miranda S.G., Tello-Flores J., Mendoza-Estrada A. y Morales-Moreno A. (Eds.). Entomología Mexicana. Sociedad Mexicana de Entomología A. C. Texcoco, Mexico.
- Reyes-Novelo E., Ruiz-Piña H., Escobedo-Ortegón F., Rodríguez-Vivas I., Bolio-González M., Polanco-Rodríguez A. y Manrique-Saide P. (2011a). Situación actual y perspectivas para el estudio de las enfermedades zoonóticas emergentes, reemergentes y olvidadas en la Península de Yucatán, México. *Tropical and subtropical agrosystems*. 14 (1):35-54.
- Reyes-Novelo E., Ruiz-Piña H., Escobedo-Ortegón J., Barrera-Pérea M. (2011b). Biología y ecología de *Triatoma dimidiata* (Latreille, 1811) algunos aspectos de estudio. *Dugesiana*. 18(1):11-16
- Riordan EC, Rundel PW (2009). Modelling the distribution of a threatened hábitat: The California sage scrub. *Journal of Biogeography* 36: 2176-88
- Rodríguez Coura J. y Borges-Pereira J. (2010). Chagas disease: 100 years after its discovery. A systematic review. *Acta Tropica*. 115:5-13
- Rosabal R. (1969). Hallazgo de *Triatoma dimidiata* silvestre infectado por *Schizotrypanum cruzi* en Guapiles, provincia de Limón, Costa Rica. *Arch Col Med El Salvador* 22: 77p.
- Rouston SP, Ormerod SJ, Kerby G. (2004). New paradigms for modelling species distributions? *Journal of Applied Ecology* 41: 193-200
- Ruiz-Piña, H., Cruz-Reyes, A. (2002). The Opossum *Didelphis virginiana* as a synanthropic reservoir of *Trypanosoma cruzi* in Dzidzilché, Yucatan, Mexico. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 97: 613-620.
- Ruiz-Piña, H., Van-Wynsberghe, N. R. (2002). Infección natural con *Trypanosoma cruzi* en roedores silvestres de la Península de Yucatán. VI Congreso Nacional de Mastozología. Oaxaca, Oaxaca. Sociedad Mexicana de Mastozología. México.
- Russo, J. (2009). *Epidemiology in a Cyberinfrastructure World*. 10th International Epidemiology Workshop. Ginebra, Suiza.
- Salazar-Schettino, P. M., Bucio, M. I., Cabrera-Bravo, M., Bautista, J. (1997). First case of natural infection in pigs. Review of *Trypanosoma cruzi* reservoirs in Mexico. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 92: 499-502.
- Salazar Schettino P.M. De Haro Arteaga I., Cabrera Bravo M. (2005). Tres especies de triatomíneos y su importancia como vectores de *Trypanosoma cruzi* en México. *Medicina (Buenos Aires)*. 65:63-69.
- Salazar Schettino P.M., Rosales-Piña J.S., Rojas-Wastavino G., Cabrera-Bravo M., Vences-Blanco M., López- Cárdenas J. (2007). *Triatoma mexicana* (Hemiptera: Reduviidae) in Guanajuato, México. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 102(7):803-807.
- Salazar Schettino P.M., Bucio Torres M., Cabrera Bravo M., Ruiz Hernández A.L. (2011). Presentación de dos casos de enfermedad de chagas aguda en México. *Gaceta médica de México*. 147:63-69.
- Sasaki H., Rosales R., y Tabaru Y. (2003). Host feeding profiles of *Rhodnius prolixus* and *Triatoma dimidiata* in Guatemala (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae). *Med Entomol Zool* 54: 283-289.
- Schmunis G.A., Yadon Z.E. (2010). Chagas disease: A Latin America health problem becoming a world health problem. *Acta Tropica*. 115:14-21.
- Schofield C.J. (2002). Evolución y control de *Triatoma dimidiata*. En Taller para el establecimiento de pautas técnicas en el control de *Triatoma dimidiata*. San Salvador, PAHO documento OPS/ HCP/HCT/214/02, PAHO, 44p.

- Secretaría de Salud (SSA) (2012). Programa de acción específico 2007-2012. Otras enfermedades transmitidas por vector. Subsecretaría de Prevención y Promoción de la Salud. Impreso y hecho en México.
- Soberón J, Peterson AT (2005) Interpretation of models of fundamental ecological niches and species distribution areas. *Biodiversity Informatics*. 2: 1-10
- Stockwell D, Peterson AT (2002). Effects of simple size on accuracy of species distribution models. *Ecological modelling* 148: 1-13
- Swenson NG (2008) The past and future influence of geographic information systems on hybrid zone, phylogeographic and speciation research. *Journal of Evolutionary Biology*. 21: 421-34
- Tabaru Y, Monroy C, Rodas A, Mejia M, Rosales R. (1999). The geographical distribution of vectors of Chagas disease and populations at risk of infection in Guatemala. *Medical Entomology and Zoology*. 50(1): 9-17.
- Tisnés, A. 2012. Análisis de la mortalidad en la ciudad de Tandil utilizando Sistemas de Información Geográfica. *Revista universitaria de Geografía*. 21:89-111.
- Vazquez-Prokopec, G., Ceballos L.A., Kitron U. y Gürtler R.E. (2004). Active dispersal of natural populations of *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) in rural Northwestern Argentina. *Journal of Medical Entomology*, 41: 614-621.
- Vidal-Acosta V., Ibáñez-Bernal S., Martínez-Campos C. (2000). Infección natural de chinches Triatominae con *Trypanosoma cruzi* asociadas a la vivienda humana en México. *Salud Pública de México*. 42(6):496-503.
- Wallner, A.M., Hamilton, G.C., Nielsen, A.L., Hahn, N., Green. E.J., Rodriguez-Saona, C.R. 2014. Landscape factors facilitating the invasive dynamics and distribution of the brown marmorated stink bug, *Halymorpha halys*, (Hemiptera: Pentatomidae), after arrival in the United States. *Plos One*. 9:1-12.
- Wendel S. (2010). Transfusion transmitted Chagas disease: Is it really under control? *Acta Tropica*. 115:28-34.
- Wilcox, B. A. y R. R. Colwell. 2005. Emerging and Reemerging infectious diseases: biocomplexity as an interdisciplinary paradigm. *EcoHealth*, 2:244-257.
- Wis MS, Hijmans RJ, Li J, Peterson AT, Graham CH, Guisan A (2008) Effects of simple size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions* 14: 763-73
- Wohlgemuth T, Nobis MP, Kienast F, Plattner M. (2008). Modelling vascular plant diversity at the landscape scale using systematic samples. *Journal of Biogeography* 35: 1226-40
- World Health Organization. Chagas' disease. Progress 1995-1996: Thirteenth Program Report of the UNDP/World Bank/WHO Special Program for Research and Training in Tropical diseases. 1997
- World Health Organization. Control of Chagas' disease. Report of a WHO Expert Committee. 1991
- World Health Organization. Control of Chagas' disease. Second Report of the WHO Expert Committee. 2002
- Zavala-Velázquez, J., Barrera-Pérez, M., Rodríguez-Félix, E., Guzmán-Marín, E., Ruíz-Piña, H. (1996). Infection by *Trypanosoma cruzi* in mammals in Yucatan, Mexico: a serological and parasitological study. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo* 38: 289-292.
- Zeledón, R., Guardia V.M., Zuñiga A. y Swartzwelder C. (1970a). Biology and ethology of *Triatoma dimidiata* (Latreille, 1811): I. Life cycle, amount of blood ingested,

- resistance to starvation, and size of adults. *Journal of Medical Entomology*, 7: 313-319.
- Zeledón, R., Guardia V.M., Zuñiga A. y Swartzwelder C. (1970b). Biology and ethology of *Triatoma dimidiata* (Latreille, 1811) II. Life span of adults and fecundity and fertility of females. *Journal of Medical Entomology*, 7: 462-469.
- Zeledón R., Montenegro V.M., y Zeledón O. (2001). Evidence of colonization of man-made ecotopes by *Triatoma dimidiata* (Latreille 1811) in Costa Rica. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 96: 659-660.
- Zeledón R., y Rabinovich J.E. (1981). Chagas disease: an ecological appraisal with special emphasis on its insect vectors. *Ann Rev Med Entomol* 26: 101-133.
- Zeledón R., Solano G., Zuniga A., y Swartzwelder J.C. (1973). Biology and ethology of *Triatoma dimidiata* (Latreille, 1811) 3: habitat and blood sources. *J Med Entomol* 10: 363-370.
- Zurell D, Leitch F, Dormann CF, Schroder B (2009) Static species distribution models in dynamically changing systems: How good can predictions really be? *Ecography* 32: 733-44

Páginas Web:

<http://new.paho.org/>

<https://www.vectorbase.org/>

http://www.epidemiologia.salud.gob.mx/dgae/infoepid/intd_informacion.html

<http://www.mara.org.za/>

<http://www.mosquitomap.org/>

ANEXO

Descripción de la base de datos:

No.	Categoría o indicador 2010	Descripción	Mnemónico	Rangos	Long
Identificación geográfica					
1	Clave de entidad federativa	Código que identifica a la entidad federativa. El código 00 identifica a los registros con los totales a nivel nacional.	ENTIDAD	00..32	2
2	Entidad federativa	Nombre oficial de la entidad federativa.	NOM_ENT	Alfanumérico	50
3	Clave de municipio o delegación	Código que identifica al municipio al interior de una entidad federativa, conforme al Marco Geoestadístico Nacional. El código 000 identifica a los registros con los totales a nivel de entidad federativa.	MUN	000..570	3
4	Municipio o delegación	Nombre oficial del municipio o delegación política en el caso del Distrito Federal.	NOM_MUN	Alfanumérico	50
5	Clave de localidad	Código que identifica a la localidad, al interior de cada municipio (o delegación política) conforme al Marco Geoestadístico Nacional. El código 0000 identifica a los registros con los totales a nivel de municipio.	LOC	0000..9999	4
6	Localidad	Nombre con el que se reconoce a la localidad dado por la ley o la costumbre.	NOM_LOCAL	Alfanumérico	70
7	Longitud11	Ubicación de la localidad al Oeste del Meridiano de Greenwich, expresada en grados, minutos y segundos. Las primeras dos o tres posiciones corresponden a los grados; las siguientes dos posiciones indican los minutos y las dos últimas posiciones a los segundos.	LONGITUD	Carácter	7
8	Latitud1	Ubicación de la localidad al norte del Ecuador, expresada en grados, minutos y segundos. Las primeras dos posiciones corresponden a los grados; las siguientes dos a los minutos y las últimas dos posiciones a los segundos.	LATITUD	Carácter	6
9	Altitud1	Altura a la que se encuentra una localidad, respecto al nivel medio del mar, expresada en metros.	ALTITUD	Carácter	4
Relación de indicadores					

Población					
10	Población total	Total de personas que residen habitualmente en el país, entidad federativa, municipio y localidad. Incluye la estimación del número de personas en viviendas particulares sin información de ocupantes. Incluye a la población que no especificó su edad.	POBTOT	0.999999 999	9
11	Población masculina	Total de hombres que residen habitualmente en el país, entidad federativa, municipio y localidad. Incluye la estimación del número de hombres en viviendas particulares sin información de ocupantes. Incluye a la población que no especificó su edad.	POBMAS	0.999999 999	9
12	Población femenina	Total de mujeres que residen habitualmente en el país, entidad federativa, municipio y localidad. Incluye la estimación del número de mujeres en viviendas particulares sin información de ocupantes. Incluye a la población que no especificó su edad.	POBFEM	0.999999 999	9
53	Relación hombres-mujeres	Resultado de dividir el total de hombres entre el total de mujeres y multiplicarlo por cien. Indica el número de hombres por cada 100 mujeres.	REL_H_M	0.999999 999	9
Fecundidad					
57	Promedio de hijos nacidos vivos	Resultado de dividir el total de hijos nacidos vivos de las mujeres de 12 a 130 años de edad, entre el total de mujeres del mismo grupo de edad. Excluye a las mujeres que no especificaron el número de hijos.	PROM_H NV	0.999999 999	9
Migración					
58	Población nacida en la entidad	Personas nacidas en la misma entidad federativa.	PNACEN T	0.999999 999	9
59	Población masculina nacida en la entidad	Hombres nacidos en la misma entidad federativa.	PNACEN T_M	0.999999 999	9
60	Población femenina nacida en la entidad	Mujeres nacidas en la misma entidad federativa.	PNACEN T_F	0.999999 999	9
61	Población nacida en otra entidad	Personas nacidas en otra entidad federativa.	PNACOE	0.999999 999	9

62	Población masculina nacida en otra entidad	Hombres nacidos en otra entidad federativa.	PNACOE_M	0..999999999	9
63	Población femenina nacida en otra entidad	Mujeres nacidas en otra entidad federativa.	PNACOE_F	0..999999999	9
Población indígena					
70	Población de 3 años y más que habla alguna lengua indígena	Personas de 3 a 130 años de edad que hablan alguna lengua indígena.	P3YM_HLI	0..999999999	9
73	Población de 3 años y más que habla alguna lengua indígena y no habla español	Personas de 3 a 130 años de edad que hablan alguna lengua indígena y además no hablan español.	P3HLINHE	0..999999999	9
76	Población de 3 años y más que habla alguna lengua indígena y habla español	Personas de 3 a 130 años de edad que hablan alguna lengua indígena y además hablan español.	P3HLI_HE	0..999999999	9
79	Población de 5 años y más que habla alguna lengua indígena	Personas de 5 años y más que hablan alguna lengua indígena.	P5_HLI	0..999999999	9
80	Población de 5 años y más que habla alguna lengua indígena y no habla español	Personas de 5 años y más que hablan alguna lengua indígena y no hablan español.	P5_HLI_NHE	0..999999999	9
82	Población en hogares censales indígenas	Total de personas que forman hogares censales donde el jefe del hogar o su cónyuge hablan alguna lengua indígena.	PHOG_IND	0..999999999	9
Discapacidad/2					
83	Población con limitación en la actividad	Personas que tienen dificultad para el desempeño y/o realización de tareas en la vida cotidiana.	PCON_LIM	0..999999999	9
89	Población con limitación para poner atención o aprender cosas sencillas	Personas con dificultad para mantener un nivel de atención en cosas sencillas.	PCLIM_MEN	0..999999999	9
90	Población con limitación mental	Personas con dificultad o con alguna limitación mental.	PCLIM_MEN2	0..999999999	9

SISTEMA DE VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA SANITARIA PARA LA HUASTECA POTOSINA.
UNA PLATAFORMA PARA LA VIGILANCIA DE LA ENFERMEDAD DE CHAGAS

91	Población sin limitación en la actividad	Personas que no tienen dificultad para el desempeño y/o realización de tareas en la vida cotidiana.	PSIN_LIM	0..999999999	9
Características educativas					
92	Población de 3 a 5 años que no asiste a la escuela	Personas de 3 a 5 años de edad que no van a la escuela.	P3A5_NOA	0..999999999	9
95	Población de 6 a 11 años que no asiste a la escuela	Personas de 6 a 11 años de edad que no van a la escuela.	P6A11_NOA	0..999999999	9
98	Población de 12 a 14 años que no asiste a la escuela	Personas de 12 a 14 años de edad que no van a la escuela.	P12A14_NOA	0..999999999	9
101	Población de 15 a 17 años que asiste a la escuela	Personas de 15 a 17 años de edad que van a la escuela.	P15A17A	0..999999999	9
104	Población de 18 a 24 años que asiste a la escuela	Personas de 18 a 24 años de edad que van a la escuela.	P18A24A	0..999999999	9
107	Población de 8 a 14 años que no saben leer y escribir	Personas de 8 a 14 años de edad que no saben leer y escribir.	P8A14AN	0..999999999	9
110	Población de 15 años y más analfabeta	Personas de 15 a 130 años de edad que no saben leer ni escribir.	P15YM_AN	0..999999999	9
113	Población de 15 años y más sin escolaridad	Personas de 15 a 130 años de edad que no aprobaron ningún grado de escolaridad o que solo tienen nivel preescolar	P15YM_SE	0..999999999	9
116	Población de 15 años y más con primaria incompleta	Personas de 15 a 130 años de edad que tienen como máxima escolaridad hasta el quinto grado aprobado en primaria. Incluye a las personas que no especificaron los grados aprobados en el nivel señalado.	P15PRI_IN	0..999999999	9
119	Población de 15 años y más con primaria completa	Personas de 15 a 130 años de edad que tienen como máxima escolaridad 6 grados aprobados en primaria.	P15PRI_CO	0..999999999	9
122	Población de 15 años y más con secundaria incompleta	Personas de 15 a 130 años de edad que tienen como máxima escolaridad hasta segundo grado aprobado de secundaria. Incluye a las personas que no	P15SEC_IN	0..999999999	9

ANEXOS

SISTEMA DE VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA SANITARIA PARA LA HUASTECA POTOSINA.
UNA PLATAFORMA PARA LA VIGILANCIA DE LA ENFERMEDAD DE CHAGAS

		especificaron los grados aprobados en el nivel señalado.			
125	Población de 15 años y más con secundaria completa	Personas de 15 a 130 años de edad que tienen como máxima escolaridad 3 grados aprobados en secundaria.	P15SEC_CO	0..999999999	9
128	Población de 18 años y más con educación pos-básica	Personas de 18 a 130 años de edad que tienen como máxima escolaridad algún grado aprobado en: preparatoria <input type="checkbox"/> bachillerato; normal básica, estudios técnicos o comerciales con secundaria terminada; estudios técnicos o comerciales con preparatoria terminada; normal de licenciatura; licenciatura o profesional; maestría o doctorado. Incluye a las personas que no especificaron los grados aprobados en los niveles señalados.	P18YM_PB	0..999999999	9
131	Grado promedio de escolaridad	Resultado de dividir el monto de grados escolares aprobados por las personas de 15 a 130 años de edad entre las personas del mismo grupo de edad. Excluye a las personas que no especificaron los grados aprobados.	GRAPROES	0..999999999	9
Características económicas					
134	Población económicamente activa	Personas de 12 años y más que trabajaron; tenían trabajo pero no trabajaron o; buscaron trabajo en la semana de referencia.	PEA	0..999999999	9
137	Población no económicamente activa	Personas de 12 años y más pensionadas o jubiladas, estudiantes, dedicadas a los quehaceres del hogar, que tienen alguna limitación física o mental permanente que le impide trabajar.	PE_INAC	0..999999999	9
140	Población ocupada	Personas de 12 a 130 años de edad que trabajaron o que no trabajaron pero sí tenían trabajo en la semana de referencia.	POCUPADA	0..999999999	9
143	Población desocupada	Personas de 12 a 130 años de edad que no tenían trabajo, pero buscaron trabajo en la semana de referencia.	PDESOCUP	0..999999999	9
Servicios de salud/3					
146	Población sin derechohabiente a servicios de salud	Total de personas que no tienen derecho a recibir servicios médicos en ninguna institución pública o privada.	PSINDER	0..999999999	9
147	Población derechohabiente a servicios de salud	Total de personas que tienen derecho a recibir servicios médicos en alguna institución de salud pública o privada como: el Instituto Mexicano del Seguro	PDER_SS	0..999999999	9

ANEXOS

SISTEMA DE VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA SANITARIA PARA LA HUASTECA POTOSINA.
UNA PLATAFORMA PARA LA VIGILANCIA DE LA ENFERMEDAD DE CHAGAS

		Social (IMSS), el Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE e ISSSTE estatal), Petróleos Mexicanos (PEMEX), la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA), la Secretaría de Marina Armada de México (SEMAR), el Sistema de Protección Social en Salud o en otra.			
148	Población derechohabiente del IMSS	Total de personas que tienen derecho a recibir servicios médicos en el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS).	PDER_IMSS	0.99999999	9
149	Población derechohabiente del ISSSTE	Total de personas que tienen derecho a recibir servicios médicos en el Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado.	PDER_ISSSTE	0.99999999	9
150	Población derechohabiente del ISSSTE estatal	Total de personas que tienen derecho a recibir servicios médicos en los institutos de seguridad social de los estados (ISSSET, ISSSEMyM, ISSSTEZAC, ISSSPEA o ISSSTESON).	PDER_ISSSTE	0.99999999	9
151	Población derechohabiente del seguro popular o Seguro Médico para una Nueva Generación	Total de personas que tienen derecho a recibir servicios médicos en la Secretaría de Salud, mediante el Sistema de Protección en Salud (Seguro Popular).	PDER_SEGP	0.99999999	9
Hogares censales					
152	Total de hogares censales	Hogares en viviendas particulares habitadas. Se considera un hogar en cada vivienda particular. Incluye casa independiente; departamento en edificio; vivienda en vecindad; vivienda en cuarto de azotea; local no construido para habitación; vivienda móvil; refugio o clase no especificada.	TOTHOG	0.99999999	8
155	Población en hogares censales	Personas en hogares censales. Se considera un hogar en cada vivienda particular. Incluye casa independiente; departamento en edificio; vivienda en vecindad; vivienda en cuarto de azotea; local no construido para habitación; vivienda móvil; refugio o clase no especificada.	POBHOG	0.99999999	9
Viviendas					
158	Total de viviendas	Viviendas particulares habitadas, deshabitadas, de uso temporal y colectivas.	VIVTOT	0.99999999	8

SISTEMA DE VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA SANITARIA PARA LA HUASTECA POTOSINA.
UNA PLATAFORMA PARA LA VIGILANCIA DE LA ENFERMEDAD DE CHAGAS

		Incluye a las viviendas particulares sin información de sus ocupantes.			
159	Total de viviendas habitadas	Viviendas particulares y colectivas habitadas. Incluye a las viviendas particulares sin información de sus ocupantes.	TVIVHAB	0..99999999	8
160	Total de viviendas particulares	Viviendas particulares habitadas, deshabitadas y de uso temporal. Excluye a las viviendas particulares sin información de ocupantes.	TVIVPAR	0..99999999	8
161	Viviendas particulares habitadas	Viviendas particulares habitadas de cualquier clase: casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad, vivienda o cuarto de azotea, local no construido para habitación, vivienda móvil, refugios o clase no especificada. Excluye a las viviendas particulares sin información de ocupantes.	VIVPAR_HAB	0..99999999	8
162	Total de viviendas particulares habitadas	Viviendas particulares habitadas de cualquier clase: casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad, vivienda o cuarto de azotea, local no construido para habitación, vivienda móvil, refugios o clase no especificada. Incluye a las viviendas particulares sin información de ocupantes.	TVIVPAR_HAB	0..99999999	8
163	Viviendas particulares deshabitadas	Viviendas particulares deshabitadas.	VIVPAR_DES	0..99999999	8
164	Viviendas particulares de uso temporal	Viviendas particulares de uso temporal.	VIVPAR_UT	0..99999999	8
165	Ocupantes en viviendas particulares habitadas	Personas que residen en viviendas particulares habitadas de cualquier clase: casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad, vivienda o cuarto de azotea, local no construido para habitación, vivienda móvil, refugios o clase no especificada. Excluye la estimación del número de personas en viviendas particulares sin información de ocupantes.	OCUPVIVPAR	0..99999999	9
166	Promedio de ocupantes en viviendas	Resultado de dividir el número de personas que residen en viviendas particulares habitadas, entre el número de esas viviendas. Excluye la estimación del	PROM_OCUP	0..99999999	8

ANEXOS

SISTEMA DE VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA SANITARIA PARA LA HUASTECA POTOSINA.
UNA PLATAFORMA PARA LA VIGILANCIA DE LA ENFERMEDAD DE CHAGAS

	particulares habitadas	número de personas y de viviendas particulares sin información de ocupantes.			
167	Promedio de ocupantes por cuarto en viviendas particulares habitadas	Resultado de dividir el número de personas que residen en viviendas particulares habitadas entre el número de cuartos de esas viviendas. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda.	PRO_OC UP_C	0..999999 99	8
168	Viviendas particulares habitadas con piso de material diferente de tierra	Viviendas particulares habitadas con piso de cemento o firme, madera, mosaico u otro material. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda.	VPH_PIS ODT	0..999999 99	8
169	Viviendas particulares habitadas con piso de tierra	Viviendas particulares habitadas con piso de tierra. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda.	VPH_PIS OTI	0..999999 99	8
170	Viviendas particulares habitadas con un dormitorio	Viviendas particulares habitadas donde sólo uno de los cuartos se usa para dormir. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda.	VPH_1D OR	0..999999 99	8
171	Viviendas particulares habitadas con dos dormitorios y más	Viviendas particulares habitadas que usan para dormir entre 2 y 25 cuartos. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda.	VPH_2Y MASD	0..999999 99	8

SISTEMA DE VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA SANITARIA PARA LA HUASTECA POTOSINA.
UNA PLATAFORMA PARA LA VIGILANCIA DE LA ENFERMEDAD DE CHAGAS

17 2	Viviendas particulares habitadas con un solo cuarto	Viviendas particulares habitadas que tienen un solo cuarto. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda. Excluye la estimación del número de personas y de viviendas particulares sin información de ocupantes.	VPH_1CU ART	0..999999 99	8
17 3	Viviendas particulares habitadas con dos cuartos	Viviendas particulares habitadas que tienen dos cuartos. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda. Excluye la estimación del número de personas y de viviendas particulares sin información de ocupantes.	VPH_2CU ART	0..999999 99	8
17 4	Viviendas particulares habitadas con 3 cuartos y más	Viviendas particulares habitadas que tienen entre 3 y 25 cuartos. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda.	VPH_3Y MASC	0..999999 99	8
17 5	Viviendas particulares habitadas que disponen de luz eléctrica	Viviendas particulares habitadas que tienen luz eléctrica. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda.	VPH_C_E LEC	0..999999 99	8
17 6	Viviendas particulares habitadas que no disponen de luz eléctrica	Viviendas particulares habitadas que no tienen luz eléctrica. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda.	VPH_S_E LEC	0..999999 99	8

SISTEMA DE VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA SANITARIA PARA LA HUASTECA POTOSINA.
UNA PLATAFORMA PARA LA VIGILANCIA DE LA ENFERMEDAD DE CHAGAS

17 7	Viviendas particulares habitadas que disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda	Viviendas particulares habitadas que tienen disponibilidad de agua entubada dentro de la vivienda, o fuera de la vivienda pero dentro del terreno. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda.	VPH_AG UADV	0..999999 99	8
17 8	Viviendas particulares habitadas que no disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda	Viviendas particulares habitadas que tienen disponibilidad de agua de una llave pública o hidrante, de otra vivienda, de pipa, de pozo, río, arroyo, lago u otro. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda.	VPH_AG UAFV	0..999999 99	8
17 9	Viviendas particulares habitadas que disponen de excusado o sanitario	Viviendas particulares habitadas que tienen excusado, retrete, sanitario, letrina u hoyo negro. Excluye la estimación del número de personas y de viviendas particulares sin información de ocupantes.	VPH_EX CSA	0..999999 99	8
18 0	Viviendas particulares habitadas que disponen de drenaje	Viviendas particulares habitadas que tienen drenaje conectado a la red pública, fosa séptica, barranca, grieta, río, lago o mar. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda.	VPH_DR ENAJ	0..999999 99	8
18 1	Viviendas particulares habitadas que no disponen de drenaje	Viviendas particulares habitadas que no tienen drenaje. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda.	VPH_NO DREN	0..999999 99	8
18 2	Viviendas particulares	Viviendas particulares habitadas que tienen luz eléctrica, agua entubada dentro	VPH_C_S ERV	0..999999 99	8

ANEXOS

SISTEMA DE VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA SANITARIA PARA LA HUASTECA POTOSINA.
UNA PLATAFORMA PARA LA VIGILANCIA DE LA ENFERMEDAD DE CHAGAS

	habitadas que disponen de luz eléctrica, agua entubada de la red pública y drenaje	o fuera de la vivienda, pero dentro del terreno, así como drenaje. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda.			
183	Viviendas particulares habitadas sin ningún bien	Viviendas particulares habitadas que no disponen de radio, televisión, refrigerador, lavadora, automóvil, computadora, teléfono fijo, celular ni internet. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda.	VPH_SN BIEN	0..99999999	8
184	Viviendas particulares habitadas que disponen de radio	Viviendas particulares habitadas que tienen radio. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda.	VPH_RA DIO	0..99999999	8
185	Viviendas particulares habitadas que disponen de televisor	Viviendas particulares habitadas que tienen televisor. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda.	VPH_TV	0..99999999	8
186	Viviendas particulares habitadas que disponen de refrigerador	Viviendas particulares habitadas que tienen refrigerador. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda.	VPH_REF RI	0..99999999	8
187	Viviendas particulares habitadas que	Viviendas particulares habitadas que tienen lavadora. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas	VPH_LA VAD	0..99999999	8

SISTEMA DE VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA SANITARIA PARA LA HUASTECA POTOSINA.
UNA PLATAFORMA PARA LA VIGILANCIA DE LA ENFERMEDAD DE CHAGAS

	disponen de lavadora	como casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda.			
188	Viviendas particulares habitadas que disponen de automóvil o camioneta	Viviendas particulares habitadas que tienen automóvil o camioneta. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda.	VPH_AU TOM	0.999999 99	8
189	Viviendas particulares habitadas que disponen de computadora	Viviendas particulares habitadas que tienen computadora. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda.	VPH_PC	0.999999 99	8
190	Viviendas particulares habitadas que disponen de línea telefónica fija	Viviendas particulares habitadas que tienen línea telefónica fija. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda.	VPH_TEL EF	0.999999 99	8
191	Viviendas particulares habitadas que disponen de teléfono celular	Viviendas particulares habitadas que tienen teléfono celular. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda.	VPH_CEL	0.999999 99	8
192	Viviendas particulares habitadas que disponen de internet	Viviendas particulares habitadas que tienen servicio de internet. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda.	VPH_IN TER	0.999999 99	8

19 3	Tamaño de localidad	Total de personas que residen habitualmente en la localidad, y se clasifica el tamaño en base al número de la población de la localidad. 01= 1 a 249 habitantes 02= 250 a 499 habitantes 03= 500 a 999 habitantes 04= 1,000 a 2,499 habitantes 05= 2,500 a 4,999 habitantes 06= 5,000 a 9,999 habitantes 07= 10,000 a 14,999 habitantes 08= 15,000 a 29,999 habitantes 09= 30,000 a 49,999 habitantes 10= 50,000 a 99,999 habitantes 11= 100,000 a 249,999 habitantes 12= 250,000 a 499,999 habitantes 13= 500,000 a 999,999 habitantes 14= 1,000,000 y más habitantes	TAM_LO C	01..14	2
---------	------------------------	--	-------------	--------	---

[1] El dato de coordenadas se generó a partir del archivo vectorial del Marco Geoestadístico Nacional, donde el insumo para su conformación fueron las imágenes de satélite spot pancromáticas con una resolución espacial de 2.5 mts, con fecha de toma de 2007.

[2] La suma de los distintos tipos de limitación en la actividad puede ser mayor al indicador 74 por aquella población que tiene más de una limitación.

[3] La suma de las distintas instituciones de salud puede ser mayor al indicador 138 por aquella población que tiene derecho a este servicio en más de una institución de salud.