



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO**

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN GEOGRAFÍA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL

**PATRONES ESPACIALES ASOCIADOS A LA INFESTACIÓN DE  
LOCALIDADES HUMANAS POR VECTORES DE LA ENFERMEDAD  
DE CHAGAS**

**TESIS**  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRA EN GEOGRAFÍA

**PRESENTA:**  
GABRIELA RAMÍREZ HERNÁNDEZ

**DIRECTOR DE TESIS**  
DR. JEAN FRANCOIS MAS CAUSSEL  
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL, UNAM.

**CO-DIRECTORA DE TESIS**  
DRA. JANINE MADELEINE RAMSEY WILLOQUET  
CENTRO REGIONAL DE INVESTIGACIÓN EN SALUD PÚBLICA, INSP.

MORELIA, MICHOACÁN. AGOSTO DEL 2017



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



## AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo no hubiese sido posible sin el apoyo de muchas personas. En especial de mis padres **Juan Gabriel** y **Antonia**, y mis hermanos **Karina**, **Juan Francisco** y **Liliana**, quienes estuvieron presentes en cada paso que daba. Gracias por acompañarme y apoyarme siempre en mis decisiones, espero que estén orgullosos de mí. También quiero plasmar mi agradecimiento a mi familia que radica en Estados Unidos, por todo el apoyo que me brindaron durante mi estancia académica.

La asesoría del **Dr. Jean Francois Mas** y la **Dra. Janine M. Ramsey** fue crucial en este trabajo. Con ellos he crecido tanto profesional como personalmente.

Gracias Doctor por aceptar emprender en un tema novedoso para ambos. Por su tiempo, dedicación y compromiso con este estudio y darme la oportunidad de presentarlo en un congreso internacional. Sus enseñanzas en el aula me dieron las herramientas adecuadas para abordar el tema. El camino del aprendizaje fue largo, pero sin duda alguna ahora sabemos más que cuando comenzamos.

Gracias Doctora por darme la oportunidad de trabajar a su lado y permitirme dar continuidad al proyecto en Santos Reyes Nopala, Oaxaca. Su experiencia y dominio sobre el tema me ayudo a comprenderlo de una mejor manera. Ahora no solo veo la enfermedad como un padecimiento, sino entiendo las implicaciones sociales que conlleva y la importancia de realizar estudios como este.

Agradezco a los miembros del sínodo, la **M. G. Gabriela Cuevas García**, el **Dr. Víctor Arroyo Rodríguez** y el **Dr. Carlos Ibarra Cerdeña**, por su disponibilidad para la revisión de este trabajo y las observaciones para la mejora del mismo.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** por la beca otorgada durante los dos años de la maestría.

Agradezco el amor, la comprensión, paciencia y apoyo de **Luis**, quien además aportó valiosos comentarios a este trabajo.

Particularmente, quiero agradecer a mi grandioso equipo de trabajo en campo: **Gonzalo De la Parra**. Gracias por compartir tu valioso tiempo y conocimiento del área de estudio. Por acompañarme a visitar las diferentes localidades y apoyarme en la toma de datos. Sobre todo, gracias por la amistad y confianza que me has brindado.

No quiero dejar pasar mi infinito agradecimiento a los pobladores de Nopala, quienes me abrieron la puerta de su casa y me regalaron unos minutos de su tiempo para contestar unas preguntas. Gracias por compartir su experiencia en el campo y su conocimiento sobre la enfermedad de Chagas. Es por ustedes que este trabajo pudo ser culminado y espero que lo vean reflejado en la disminución de afecciones por este llamado “mal”.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecer a todas aquellas personas que no fueron mencionadas pero que de manera directa o indirecta me auxiliaron, ayudaron y apoyaron.

**A cada uno de ustedes, ¡Muchas Gracias!**

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
CAPÍTULO UNO. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL.....	3
1. ECOLOGÍA Y EPIDEMIOLOGÍA DEL PAISAJE.....	3
2. LA TRANSMISIÓN DEL AGENTE CAUSAL DE LA ENFERMEDAD DE CHAGAS.....	5
<i>Los Reservorios</i> .....	7
<i>Los Vectores</i> .....	8
3. LA INFESTACIÓN EN EL HÁBITAT DOMÉSTICO/PERIDOMÉSTICO Y EL PELIGRO DE EXPOSICIÓN AL VECTOR EN EL PAISAJE.....	10
4. LA ENFERMEDAD DE CHAGAS .....	14
5. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	17
6. HIPÓTESIS.....	17
7. OBJETIVOS .....	18
<i>Objetivo general</i> .....	18
<i>Objetivos específicos</i> .....	18
8. ESTRUCTURA DE LA TESIS .....	19
CAPÍTULO DOS. PATRONES ESPACIALES ASOCIADOS A LA INFESTACIÓN DE LOCALIDADES HUMANAS POR VECTORES DE LA ENFERMEDAD DE CHAGAS .....	20
1. ÁREA DE ESTUDIO .....	20
2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	25
2.1. BÚSQUEDA Y COLECTA DE VECTORES TRIATOMINOS .....	25
2.2. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL PAISAJE .....	27
2.3. SELECCIÓN DE VARIABLES DE ANÁLISIS .....	28
3. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS .....	29
4. RESULTADOS.....	31
<i>Infestación por especie de triatomo</i> .....	33
<i>Efecto del área de influencia</i> .....	35
<i>Factores que influyen en la infestación de las localidades</i> .....	36
5. DISCUSIÓN .....	40
6. CONCLUSIONES .....	45
7. ANEXOS .....	48
REFERENCIAS.....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación del municipio de Santos Reyes Nopala, Oaxaca y las 35 localidades donde se realizó la búsqueda de vectores triatominos. ....	22
<b>Figura 2.</b> Índice de infestación encontrado en las 35 localidades durante los periodos 2003-2006 y 2015-2016. Los círculos blancos representan los outliers y los círculos negros los valores promedios.....	31
<b>Figura 3.</b> Distribución espacial de la prevalencia de infestación por dos especies de triatominos en Santos Reyes Nopala, Oaxaca para los periodos 2003-2006 y 2015-2016. Los números indican el código de referencia para cada localidad ver Anexo 2.....	32
<b>Figura 4.</b> Prevalencia de infestación por <i>T. dimidiata</i> en localidades del municipio de Santos Reyes Nopala, Oaxaca. Las localidades se encuentran ordenadas de manera ascendente de acuerdo al valor de prevalencia de infestación para 2003-2006. ....	34
<b>Figura 5.</b> Prevalencia de infestación por <i>T. mazzottii</i> en localidades del municipio de Santos Reyes Nopala, Oaxaca. Las localidades se encuentran ordenadas de manera ascendente de acuerdo al valor de prevalencia de infestación para 2003-2006. ....	35
<b>Figura 6.</b> Evaluación del "efecto del área de influencia" en la cual la estructura del paisaje en 10 áreas de influencia predice mejor la "presencia de triatomo en hábitat doméstico". Con símbolo de mayor tamaño está señalada el área de influencia con el valor de devianza mas grande y el valor de AIC mas bajo. ....	36

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Descripción de las clases de cubierta y usos de suelo utilizadas para la caracterización espacial del municipio de Santos Reyes Nopala. ....	28
<b>Tabla 2.</b> Índice de infestación promedio (SD) de dos especies de triatominos de acuerdo con la altitud de la localidad. ....	33
<b>Tabla 3.</b> Modelos candidatos a priori que explican “la presencia de triatolino en hábitat doméstico” en 35 localidades de Santos Reyes Nopala, Oaxaca durante el periodo de estudio 2003-2006. ....	37
<b>Tabla 4.</b> Coeficientes de regresión de los modelos promediados (COEF), errores estándar (SE), razón de momios (OR) e intervalos de confianza (IC) del 95 %, a partir de los modelos de la infestación por triatominos durante el periodo 2003-2006. * = Variable considerada como importante. ....	38
<b>Tabla 5.</b> Modelos candidatos a priori que explican la “presencia de triatolino en hábitat doméstico” en 35 localidades de Santos Reyes Nopala, Oaxaca durante el periodo de estudio 2015-2016. ....	39
<b>Tabla 6.</b> Coeficientes de regresión de los modelos promediados (COEF), errores estándar (SE), razón de momios (OR) e intervalos de confianza (IC) del 95 % a partir de los modelos de la infestación por triatominos durante el periodo 2015-2016. * = Variable considerada como importante. ....	39

## RESUMEN

Los vectores juegan un papel importante en la transmisión de enfermedades. Los efectos de pérdida de hábitat y fragmentación alteran las interacciones vector-reservorio, modificando así las condiciones de transmisión de la enfermedad. La enfermedad de Chagas es una de las principales enfermedades transmitidas por vectores poco atendida en el trópico y representa un problema de salud pública en 21 países de América Latina. La enfermedad es una infección que afecta a mamíferos, entre ellos el humano, y es causada por el parásito protozoo *Trypanosoma cruzi*, el cual se transmite a los humanos por medio de las heces de los vectores. Los insectos domésticos y selváticos de la subfamilia Triatominae, comúnmente conocidos como chinches, son los vectores más representativos. La presencia de triatominos en el hábitat doméstico (infestación) es considerada el principal factor de peligro para la transmisión de la enfermedad. Múltiples factores tanto socioculturales como ambientales determinan la presencia de los insectos en el hábitat doméstico, la gran mayoría referidos a las condiciones de la vivienda y las prácticas de confinamiento de animales. En menor medida se ha estudiado la influencia de la variación espacio-temporal dentro del paisaje como determinante de la infestación doméstica. En este trabajo se analizan los efectos de la composición y configuración del paisaje en distintas áreas de influencia y periodos de tiempo sobre la presencia de triatominos en la región de la Sierra y Costa sur de Oaxaca, México. Adicionalmente se incluyó una variable demográfica (densidad de viviendas por ha) y otra referente a la elevación. Mediante la búsqueda y colecta de triatominos se midieron los índices de infestación en 35 localidades rurales durante dos periodos de estudio (2003-2006 y 2015-2016). Fueron elaborados mapas de cubierta y uso de suelo para dos fechas y se calcularon los porcentajes de cada cobertura y la fragmentación del bosque tropical dentro de 10 áreas de influencia (20-200 ha) concéntricos a cada localidad. Se utilizó un enfoque de inferencia multi-modelo a través de la regresión logística y el criterio de información de Akaike para estimar la probabilidad de infestación de las localidades mediante siete modelos elaborados *a priori*. Se reporta la presencia de dos especies de triatominos en el hábitat doméstico: *Triatoma dimidiata* y *T. mazzottii*. Los resultados muestran un incremento significativo en el porcentaje de viviendas infestadas en el municipio, hecho debido al aumento en el índice de infestación por *T. mazzottii*. A pesar de que los índices de infestación variaron en el tiempo, el efecto sinérgico entre la altitud, la densidad de viviendas y el porcentaje de bosque tropical son factores que permiten explicar la variación en la probabilidad de presencia de



triatominos en el hábitat doméstico. A su vez, estas tres variables fueron identificadas como factores de protección para la presencia de triatominos. Este tipo de estudios constituye la base para elaborar medidas de control de vectores enfocados a procesos locales, lo que facilita la implementación de acciones a corto y mediano plazo para detener la transmisión de la enfermedad. Con base en los resultados, se sugiere priorizar las estrategias de vigilancia y control de triatominos vectores de la enfermedad de Chagas en las localidades de las partes bajas del municipio. Es en estos lugares donde la economía de subsistencia mantiene las características propias del estilo de vida rural traducido en condiciones de pobreza y la sobreexplotación de los recursos naturales encontrados en los alrededores. En conclusión, los enfoques de análisis empleados (multivariado y del paisaje) en este estudio brindaron una oportunidad para discriminar los diferentes componentes del paisaje que influyen en el peligro de la infestación doméstica por dos especies de triatominos en un área rural del estado de Oaxaca.

**Palabras clave:** Vectores, índice de infestación, paisaje, fragmentación, enfermedad de Chagas.

## ABSTRACT

Vectors play an important role in the transmission of diseases. The effects of habitat loss and fragmentation affect the interactions between vector and reservoir and the conditions of the transmission. The Chagas disease is one of the main diseases transmitted by a vector which is neglected in the tropics and it represents a public health problem in 21 countries in America Latina. The disease is an infection caused by the protozoon *Trypanosoma cruzi* that affects mammals (humans) and it is transmitted to humans by the vectors' feces. Domestic and sylvatic Triatominae insects are the main Chagas disease vectors. The principal hazard factor for the vector transmission is the triatomino presence in the domestic habitat (infestation).

Sociocultural and environmental factors that determine the presence of insects in the domestic habitat involve house quality and animal confinement practices. On the other hand, the importance of spatial and temporal variation in the landscape as infestation determinant has been less studied. In this study, the effects of landscape's composition and configuration at different influence areas and periods of time on the triatomino presence are analyzed in a region of the Sierra and south Coast of Oaxaca. In the analysis were included two additional variables: house density and elevation. The infestation index was calculated for each of the 35 rural localities in the Santos Reyes Nopala municipality during two periods of time (2003-2006 and 2015-2016). Land cover and land use maps were elaborated for each period. The maps were the basis for calculation of two landscape metrics at 10 influence areas (20-200 ha): lands cover percentage and tropical forest splitting index (fragmentation). The multi model inference approach and the Akaike information criteria were used to estimate the infestation probability by seven *a priori* models. The presence of two triatomino species is reported in the domestic habitat: *Triatoma dimidiata* and *T. mazzottii*. The results show a significant increment of the infested house percentage at municipality level. It is due to the increase in the infestation index by *T. mazzottii*. Even though the infestation indexes were different across the time, the synergic effect between elevation, house density and tropical forest percentage are factors that enable us to explain the variation on the triatomino presence probability in the domestic habitat. At the same time, the three variables were identified as protection factors for the triatomino presence. These types of studies are a framework to develop vector control measures focused on local processes which facilitate the implementation of short and medium-term actions aimed at stopping the transmission of the disease. The results suggest to prioritize the surveillance and control

strategies of Chagas disease's vectors on the low lands of the municipality. In those places, subsistence economy maintains the rural lifestyle characteristics translated in conditions of poverty and overexploitation of the surrounding natural resources. In conclusion, the approaches used in this study provided an opportunity to discriminate the different landscape's elements that influence the hazard of domestic infestation by two species of triatomines in a rural area in Oaxaca.

**Key words:** Vectors, infestation index, landscape, fragmentation, Chagas disease.



## INTRODUCCIÓN GENERAL

El principal factor de peligro asociado con la transmisión a los humanos del parásito causante de la enfermedad de Chagas es la infestación doméstica, es decir, la presencia del vector<sup>1</sup> del parásito dentro y en los alrededores de la vivienda (Ramsey et al. 2012). La variación en la composición y abundancia de las poblaciones domésticas del vector están determinadas por múltiples factores, tanto socioeconómicos y biológicos como ambientales/ecológicos (Dumonteil et al. 2013; Valdez-Tah et al. 2015a,b). De los primeros se pueden mencionar las prácticas de confinamiento de animales de granja, presencia y abundancia de animales domésticos y las condiciones socioeconómicas de las viviendas, donde los vectores encuentran un hábitat que les ofrece un grado de permanencia, refugio climático y acceso a una fuente de sangre (Ramsey et al. 2003; Jurberg & Galvão 2006; Villalobos et al. 2011; Ramsey et al. 2012; Dumonteil et al. 2013; Gürtler & Yadon 2015). En el caso de los factores ambientales, las condiciones climáticas y topográficas, al igual que la variación espacio-temporal en el paisaje son determinantes en el proceso de domiciliación (colonización de las viviendas) de los vectores (Ruiz-Piña & Cruz-Reyes 2002; Ibarra-Cerdeña et al. 2009; Vazquez-Prokopec et al. 2012; Valdez-Tah et al. 2015a). La estructura fragmentada producto de las diferentes modificaciones del paisaje con la finalidad de mejorar los niveles de vida (i.e. cultivo de hortalizas, construcción de viviendas, áreas de pastoreo), alteran la distribución espacial, composición de la comunidad y cambios en el comportamiento o movimiento tanto de los vectores como de los reservorios<sup>2</sup> del parásito (Gottdenker et al. 2014; Valdez-Tah et al. 2015b).

Bajo el marco conceptual de la ecología del paisaje han sido determinados algunos patrones espaciales que hacen referencia a la estructura del paisaje (composición y configuración) y aspectos temporales de la heterogeneidad espacial relacionados con la infestación del vector (Gorla et al. 2011; Gottdenker et al. 2011; Vazquez-Prokopec et al. 2012; Gottdenker et al. 2014; Ramsey et al. 2015). Los efectos de pérdida y fragmentación del hábitat

---

<sup>1</sup> Un vector es aquel artrópodo competente que porta un agente infeccioso o parásito capaz de infectar un hospedero vertebrado (Reisen 2010).

<sup>2</sup> El término reservorio u hospedero reservorio hace referencia a un vertebrado (por lo general silvestre e infectado de manera natural) que mantiene las formas infectantes de un parásito en la naturaleza, sin manifestar signos y síntomas clínicos. Dicho hospedero puede ser fuente de infección para otros animales, ya sean domésticos, silvestres y humanos (Cruz-Reyes & Camargo-Camargo 2001; Reisen 2010).

están estrechamente relacionados con la infestación doméstica y peridoméstica, afectando tanto las interacciones vector-reservorio como sus condiciones de transmisión (Patz et al. 2004; Ostfeld et al. 2005; Gorla et al. 2011; Gottdenker et al. 2011; Ramsey et al. 2012; Vazquez-Prokopec et al. 2012; Barrios et al. 2013; Gottdenker et al. 2014; Valdez-Tah et al. 2015b). Una herramienta clave para el análisis y estudio de la composición, configuración, función y cambios en el paisaje son las métricas de análisis espacial o del paisaje (Gustafson 1998; Vila et al. 2006; Aguilera 2010; Gorla et al. 2011). Mientras que la composición del paisaje hace alusión a la variedad y abundancia de la cobertura vegetal (clases), la configuración del paisaje determina el arreglo espacial de los diferentes tipos de clases (Gustafson 1998; Gergel & Turner 2002; McGarigal et al. 2002; Botequilha et al. 2006; Vila et al. 2006). Existe una gran variedad de software desarrollados con la finalidad de cuantificar la estructura del paisaje, los cuales varían en función del formato de los insumos (vector o raster) y la diversidad de cálculos métricos que se pueden obtener (McGarigal et al. 2002; Vila et al. 2006).

Mientras los paisajes en áreas con presencia endémica del vector se encuentren en constante modificación, la exposición de los humanos a los vectores tendrá lugar si no se reduce la vulnerabilidad humana (Valdez-Tah et al. 2015b). La reducción de la biodiversidad y los cambios en la composición de las comunidades de hospederos puede incrementar la exposición de los humanos a enfermedades transmitidas por vectores o ETV (LoGiudice et al. 2003). A partir de 1986, en el municipio de Santos Reyes Nopala se tiene registro de personas que padecen la enfermedad de Chagas (Goldsmith et al. 1986; Rodarte 1997; Ayuntamiento de Nopala 2005). Considerando lo anterior y ante un escenario cambiante en la cobertura vegetal en el municipio, debido a la ampliación de la frontera agrícola y la utilización intensiva de madera como combustible, en el presente trabajo se caracteriza espacio-temporalmente la estructura del paisaje en localidades con presencia y ausencia de vectores de la enfermedad de Chagas. De manera particular se (i) identifican las variables explicativas (variables estructurales del paisaje, demográficas y de elevación) de mayor relevancia para la infestación y se (ii) modela la probabilidad de infestación en las localidades que conforman el municipio.

## CAPÍTULO UNO. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

### 1. ECOLOGÍA Y EPIDEMIOLOGÍA DEL PAISAJE

La variación espacio-temporal de la vegetación (heterogeneidad espacial) como factor de riesgo de infestación doméstica y peridoméstica ha sido abordada bajo el marco conceptual de la ecología del paisaje (Ostfeld et al. 2005). Esto ha dado pauta para la determinación de patrones espaciales que hacen referencia a la composición, configuración y aspectos temporales de la heterogeneidad espacial relacionados con la infestación (Gorla et al. 2011; Gottdenker et al. 2011; Vazquez-Prokopec et al. 2012; Gottdenker et al. 2014). La ecología del paisaje es un enfoque científico de carácter estructural, morfológico y funcional que toma en consideración la fuerte influencia que tiene el ambiente en los procesos ecológicos a lo largo de una sección del paisaje<sup>3</sup> (Troll 1939; Turner 1989). De acuerdo a dicho enfoque, la base para la interpretación del paisaje es el concepto de matriz o mosaico, que está compuesto de dos elementos: los fragmentos o parches (y gradientes en ellos) y los corredores. Los primeros son las unidades morfológicas que se pueden diferenciar en el territorio y los segundos son las conexiones existentes entre fragmentos separados (Vila et al. 2006). Como resultado, el paisaje puede ser estudiado en un momento determinado y/o su evolución a lo largo del tiempo (Forman & Godron 1986; Vila et al. 2006).

En el marco de este enfoque, surgen dos conceptos fundamentales que abren una amplia gama de posibilidades de valoración cuantitativa del paisaje: la composición y la configuración del paisaje. El primero hace referencia a la variedad y abundancia de parches y el segundo a la distribución espacial de los parches (Gustafson 1998; Botequilha et al. 2006; Vila et al. 2006; Aguilera 2010). Muchas de estas características espaciales de forma, tamaño, distribución, etc., pueden ser cuantificadas mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica y de un conjunto de métricas o índices del paisaje<sup>4</sup> (Gustafson 1998; Vila et al. 2006; Aguilera 2010). Desde el punto de vista comparativo, los resultados de dichos índices aportan información acerca de la evolución y cambios que tienen lugar en un paisaje determinado, o a la hora de comparar diferentes paisajes (Aguilera 2010). Los índices pueden ser aplicables a tres niveles o escalas: 1)

---

<sup>3</sup> El paisaje se define como una porción heterogénea del territorio compuesta por un mosaico de tipos de cubiertas vegetales, usos del suelo y ecosistemas que interactúan (Forman & Godron 1986).

<sup>4</sup> Dichos índices pueden ser definidos como un conjunto de medidas cuantitativas agregadas, derivadas de análisis digital de mapas temáticos (Aguilera 2010).

a nivel de fragmento, el cual es adecuado para determinar el fragmento de mayor superficie entre todos los representados; 2) a nivel de clase, el cual es apropiado para calcular la superficie que ocupa una determinada cubierta vegetal<sup>5</sup> (según criterio del límite); y 3) a nivel de paisaje, con el cual se obtiene el resultado del grado de heterogeneidad o de homogeneidad del conjunto de área cuantificada (Vila et al. 2006).

El número, tipo, grado y distribución espacial de parches, así como su relación espacial, influyen de manera importante en la dinámica de las enfermedades, al generar cambios en las condiciones abióticas e interacciones de las especies relevantes para la prevalencia y dispersión de la enfermedad (Ostfeld et al. 2005; Barrios et al. 2013). En 1996 surge la epidemiología del paisaje como disciplina comprometida con el entendimiento de las causas y consecuencias de la heterogeneidad espacial que puede dar como resultado marcados patrones espaciales en relación con la incidencia y el riesgo de las ETV (Pavlovsky 1966; Ostfeld et al. 2005; Young et al. 2013). Puntualmente, los objetivos de dicha disciplina son: 1) identificar los factores necesarios para la permanencia y transmisión de un patógeno o parásito<sup>6</sup> y 2) describir cómo la dinámica temporal del patógeno, hospedero y vector interactúan espacialmente dentro de un ambiente que permite la transmisión (caracterizado por su vegetación, clima, latitud, elevación, geología e interacciones bióticas; Ostfeld et al. 2005; Reisen 2010; Nnaemeka et al. 2011). Dichos factores se entienden como una causa indirecta que aumenta la probabilidad de ocurrencia de interacción parásito-hospedero, tratándose de condiciones (fenómenos o situaciones) que sirven para identificar causas más proximales (Suárez et al. 2006; Valdez-Tah et al. 2015b). Los factores de peligro de exposición (i.e. deforestación, desarrollo de la agricultura, urbanización) pueden modificar la forma en la cual se transmite el parásito: generan cambios en la composición de la comunidad del vector y del hospedero; cambios en el comportamiento o movimiento de vectores y/o hospederos; y alteración de la distribución espacial de los vectores y/o hospederos debido a las modificaciones en la arquitectura del hábitat, microclima y/o disponibilidad de recursos (Gottdenker et al. 2014).

Debido a que la transmisión de las ETV es un proceso ecológico que involucra interacciones entre al menos tres especies (parásito, hospedero y vector), se ha sugerido que la

---

<sup>5</sup> De acuerdo con Etter (1991), la cubierta vegetal es el resultado de la asociación espacio-temporal de elementos biológicos vegetales característicos, los cuales conforman unidades estructurales y funcionales.

<sup>6</sup> Un patógeno se refiere a un organismo o sustancia que puede causar una enfermedad.



diversidad de especies potencialmente afecta la prevalencia de la enfermedad (Schmidt & Ostfeld 2001; LoGiudice et al. 2003; Keesing et al. 2006; Vaz et al. 2007; Johnson & Thielges 2010; Gottdenker et al. 2012; Johnson et al. 2013; Pfäffle et al. 2015). Los mecanismos a través de los cuales la diversidad de especies de hospederos puede disminuir la distribución del parásito (efecto dilución) o en algunos casos ocasionar la amplificación de ello y los hospederos infestados, depende de las características biológicas de los hospederos, vectores y el patógeno (Keesing et al. 2006; Reisen 2010; Gottdenker et al. 2014). Diversos estudios sobre la conectividad ecológica de las comunidades de hospederos y vectores en diferentes tipos de hábitats a través de un gradiente de disturbio antropogénico han documentado la epidemiología espacial vinculada a la transmisión de *Trypanosoma cruzi*. En un sistema de ETV donde el parásito es generalista, es decir, que puede infectar múltiples especies de hospederos, la diversidad de hospederos en el paisaje (i.e. abundancia relativa de roedores y murciélagos) generalmente incrementa la prevalencia de la enfermedad (Gottdenker et al. 2014; Ramsey et al. 2012; López-Cancino et al. 2015). Como resultado, el riesgo de transmisión del parásito a los humanos no solo puede ser reducido mediante el control de poblaciones del vector sino también con la manipulación poblacional de los hospederos e intervenciones para prevenir el contacto vector-humano en el paisaje (Keesing et al. 2006; López-Cancino et al. 2015).

## **2. LA TRANSMISIÓN DEL AGENTE CAUSAL DE LA ENFERMEDAD DE CHAGAS**

El parásito protozoo *Trypanosoma cruzi* es el patógeno causante de la enfermedad de Chagas<sup>7</sup>. Se trata de un protozoo flagelado de cuerpo alargado con una membrana ondulante que le facilita su movimiento en el torrente sanguíneo. El parásito es un organismo obligado simbiótico de mamíferos debido a que no se puede desarrollar en la sangre de aves, reptiles o anfibios (Jurberg & Galvão 2006). El principal mecanismo de transmisión del parásito hacia los humanos es mediante el contacto con las heces infectadas de insectos domésticos y selváticos (vectores) de la subfamilia Triatominae (Cruz-Reyes & Camargo-Camargo 2001; Schmunis & Yadon 2010; Manne et al. 2013; Carabarin-Lima et al. 2013). Los humanos también pueden ser infectados mediante el trasplante de órganos, transfusión sanguínea, transmisión congénita, vía oral o como

---

<sup>7</sup> Recibe el nombre de enfermedad de Chagas en honor al médico y científico brasileño Carlos Justiniano Ribeiro Das Chagas, quien descubrió al parásito y describió la enfermedad en 1909 (Cruz-Reyes & Camargo-Camargo 2001; Moratal et al. 2006).

resultado de un accidente de laboratorio (Rodrigues 2007; Schmunis & Yadon 2010; Carabarin-Lima et al. 2013; Rodrigues 2015). El ciclo de vida del parásito se realiza entre los vectores y los hospederos reservorios con los cuales el vector vive en asociación cercana. Tanto en los vectores como en los hospederos, el parásito experimenta diferentes etapas de desarrollo: las típicas formas del parásito que se encuentran en los hospederos son los tripomastigotes en sangre y los amastigotes intracelulares, mientras que las formas epimastigote y trypomastigote metacíclico se encuentran en el vector (Rassi et al. 2010).

El esquema tradicional de la transmisión del parásito señala que primitivamente estuvo restringida al ambiente selvático, donde los vectores silvestres acometían a los mamíferos pequeños y medianos en vastas regiones del continente americano (Rodrigues 2007; Rodrigues 2015). Sin embargo, cuando el humano se aventuró en el hábitat natural de los vectores, el parásito comenzó a ser transmitido accidentalmente hacia los humanos (Guhl et al. 2003; Rodrigues 2007; Oliveira 2009; Rodrigues 2015). Es por ello que la transmisión vectorial del parásito puede ocurrir de manera gradual entre tres tipos de hábitat. En el hábitat *selvático* o silvestre, el cual ocurre alejado de los asentamientos humanos, el parásito circula entre reservorios y vectores silvestres (Currin 2007; CFSPH 2009; Alvarado-Otegui et al. 2012). Los humanos y animales domesticados son infectados ocasionalmente cuando entran en contacto con los vectores en el paisaje (CFSPH 2009; Valdez-Tah et al. 2015a). En el *ecotono* existe una combinación de reservorios silvestres, aquellos que tienen un uso pecuario y la presencia humana en actividades tales como la agricultura y el pastoreo (López-Cancino et al. 2015). En el hábitat *doméstico* se infesta la vivienda debido a la presencia de los vectores, originando así parte de la transmisión vectorial de la enfermedad a los humanos (Currin 2007; CFSPH 2009). Dicha presencia dentro de las viviendas está estrechamente relacionada con las características y materiales de construcción de las viviendas y la organización del peridomicilio, con lo que se crean refugios adecuados para el vector. Los vectores persisten después de la limpieza y desmonte para la construcción de la vivienda y pueden invadir las viviendas al ser atraídos por la luz, el calor, ciertos olores o al ser transportados accidentalmente (Zavala-Velázquez et al. 1996; Boquin 2007; Roux et al. 2011a; Villalobos et al. 2011; Dumonteil et al. 2013; Valdez-Tah et al. 2015a). Los animales domesticados (ganado y mascotas) que conviven cercana y diariamente en la vivienda humana son recursos alimenticios presentes todo el año y de fácil acceso para los vectores (Roux et al. 2011a; Dumonteil et al. 2013; Valdez-Tah et al. 2015b). Los vectores

también pueden encontrar refugio en elementos que se encuentran alrededor de las viviendas, tal como las piedras apiladas (Enger et al. 2004; Dumonteil et al. 2013).

### ***Los Reservorios***

Los reservorios son una importante fuente de alimento para los vectores, pero estos últimos no muestran una preferencia hacia ciertas especies y por lo tanto la asociación vector-hospedero se define como generalista (Ibarra-Cerdeña et al. 2009). El número de especies de mamíferos (no-humanos) que actúan como reservorios del parásito rebasa las 180 especies, incluyendo especies silvestres y domesticadas (pecuarios y mascotas). Se tratan de especies de mamíferos terrestres y voladores, ampliamente distribuidas en el continente americano y tolerantes a diferentes grados de modificación del hábitat (i.e. desde conservados hasta alteraciones antropogénicas; McManus 1974; Packard & Montgomery 1978; Lotze & Anderson 1979; Cameron & Spencer 1981; Fritzell & Haroldson 1982; Greenhall et al. 1983; Herd 1983; Lackey et al. 1985; Timm 1985; Oaks et al. 1987; Gannon et al. 1989; Ortega & Castro-Arellano 2001; Brito et al. 2008; Musser et al. 2008; Ojeda et al. 2013; Yamaguchi et al. 2015). En el hábitat *selvático* los marsupiales (i.e. tlacuaches), edentados (i.e. armadillos), roedores (i.e. rata algodonera), quirópteros (i.e. murciélagos), carnívoros (i. e. zorra gris) y primates son los principales reservorios. En el *ecotono* y el *doméstico/peridoméstico* lo son los animales pecuarios (ganado bovino, ovino, porcino), silvestres e invasores (roedores), las mascotas (i.e. perros, gatos), y en ambos hábitats, pero mayormente en el doméstico, el humano (Zavala-Velázquez et al. 1996; Ruiz-Piña & Cruz-Reyes 2002; Villegas-García & Santillán-Alarcón 2004; CFSPH 2009; Ibarra-Cerdeña et al. 2009; Alvarado-Otegui et al. 2012; Ramsey et al. 2012; Jiménez-Coello et al. 2010; López-Cancino et al. 2015).

En el grupo de los roedores se ha observado que la disminución en su abundancia (i.e. debido a la estacionalidad) obliga a los vectores a buscar fuentes de alimento alternas tal como la sangre de los humanos (Ramsey et al. 2012; López-Cancino et al. 2015). En términos de infección, Ramsey et al. (2012) encontraron que existe una relación negativa entre la abundancia del reservorio y la tasa de infección, es decir, las especies de mamíferos más abundantes presentan bajas tasas de infección en comparación con las especies menos abundantes, las cuales presentan altas tasas de infección. Más del 95 % de los individuos en una comunidad de

mamíferos pertenece al 65 % de la diversidad de especies que están infectados con *T. cruzi*, lo que indica que el parásito es oportunista y generalista (López-Cancino et al. 2015).

### ***Los Vectores***

Todos los vectores del parásito son miembros de la subfamilia Triatominae (Familia Reduviidae; Villalobos et al. 2011; Ramsey et al. 2015). De las aproximadamente 140 especies de triatominos identificadas en el mundo, la mayoría son consideradas vectores potenciales (Gürtler & Yadon 2015). Solo en algunos casos se reúnen las condiciones para transformarse de un vector potencial a un vector real de la infección (Rassi et al. 2010). Aquellos vectores que tienen un periodo corto entre la alimentación y la defecación y una amplia distribución, son los vectores más exitosos en términos de transmisión de la enfermedad (Rodrigues 2007; Velarde et al. 2011; Gürtler & Yadon 2015).

A nivel mundial, las dos especies de vectores más importantes en la transmisión de *T. cruzi* a los humanos eran *Triatoma infestans* y *Rhodnius prolixus*. Históricamente *T. infestans* ha sido la especie más importante y el principal vector en Suramérica, mientras que *R. prolixus* lo ha sido en países Centroamericanos (Colombia, Guyana Francesa, Guyana y Venezuela; Coura 2015). La distribución de los vectores en México está determinada por las características climáticas y topográficas de la región: la distribución altitudinal de los insectos no rebasa los 2 500 msnm (Ibarra-Cerdeña et al. 2009; Ramsey et al. 2015). Dependiendo del área geográfica el vector recibe un nombre común. En México se le conoce como chinche (regionalmente se le llama “diac’tin” en chatino, “msin o bidi” en zapoteco y “pic” en maya), en Argentina como vinchuca y en Brasil como barbeiro, entre otros nombres (Ramsey et al. 2003; Mijal 2011; Velarde et al. 2011; Valdez-Tah et al. 2015a; WHO 2015).

El ciclo de vida de los triatominos puede durar entre seis y veinticuatro meses y consta de las fases huevo, cinco estadios ninfales y el adulto (Lent & Wygodzinsky 1979; Jurberg & Galvão 2006). Los triatominos se caracterizan por ser hematófagos estrictos, desde el primer estadio hasta adultos y suelen alimentarse por la noche debido a los hábitos nocturnos de sus hospederos (Lent & Wygodzinsky 1979; Velarde et al. 2011). Incluyendo los cinco estadios ninfales y la etapa adulta, el vector puede portar el parásito y transmitirlo, manteniéndolo de por vida, por lo que se incrementa la tasa de infección con la edad (Jurberg & Galvão 2006).

Solo los triatominos adultos tienen alas para volar, con mayor actividad en la noche para alimentarse o reproducirse (Jurberg & Galvão 2006; Velarde et al. 2011; Dumonteil et al. 2013; López-Cancino et al. 2015). Durante la época de secas es cuando se observa mayor actividad de dispersión y forrajeo fuera de nidos de hospederos hacia hospederos alternativos, como son los animales domésticos y los humanos (Ramsey et al. 2012; Valdez-Tah et al. 2015b). Algunos estudios de rastreo en campo sugieren que las especies *T. infestans*, *T. sordida* y *T. dimidiata* son capaces de dispersar volando distancias de entre 100 y 200 m por noche, aunque cada intento de vuelo logra no más de 2 a 5 m (Schofield et al. 1991; Schofield et al. 1992; Barbu et al. 2010; Ramirez-Sierra et al. 2010). El rango de dispersión puede variar dependiendo de la especie, el sexo, el estado nutricional y reproductivo e incluso el estado de infección (Barbu et al. 2010; Ramirez-Sierra et al. 2010).

La mayoría de las especies de triatominos son generalistas habitando en grietas, agujeros, cuevas y nidos de animales como marsupiales, edentados, roedores, carnívoros y murciélagos (Zavala-Velázquez et al. 1996; Ramsey et al. 2000; Peterson et al. 2002; Ruiz-Piña & Cruz-Reyes 2002; Ibarra-Cerdeña et al. 2009; Ramsey et al. 2012; López-Cancino et al. 2015; Ramsey et al. 2015). Igualmente pueden encontrarse entre rocas, paredes de piedra, troncos caídos, huecos en los árboles, palmeras, arbustos y plantas epifitas (Ramsey et al. 2000; Dumonteil et al. 2013; Ramsey et al. 2015). Las especies de triatominos que persisten en hábitats modificados y conviven con los animales domesticados y el humano suelen hallarse en gallineros, chiqueros y otros corrales, así como en las copas de los árboles, palmeras y arbustos (Ibarra-Cerdeña et al. 2009; Villalobos et al. 2011; Abad-Franch et al. 2015; Ramsey et al. 2015). Sin embargo, la mayoría de los triatominos tienen poblaciones continuas en todo el paisaje, pero el grado en el que están en contacto con los humanos es diferente dependiendo del hábitat (Valdez-Tah et al. 2015a). Dentro de las viviendas habitan en ranuras, grietas de paredes y techos, así como en partes poco visibles de los muebles (Ramsey et al. 2000; Enger et al. 2004; Boquin 2007; Gurevitz et al. 2011; Velarde et al. 2011; Dumonteil et al. 2013; Weeks et al. 2013; Bustamante et al. 2014).

México alberga una gran diversidad de triatominos con 31 especies documentadas y al menos 27 de ellas infectadas por *T. cruzi* (Ibarra-Cerdeña et al. 2009; Villalobos et al. 2011; Carabarin-Lima et al. 2013; Ramsey et al. 2015). Las especies de vectores con mayor

importancia epidemiológica en México son: *Triatoma barberi*, *T. dimidiata*, *T. pallidipennis*, *T. longipennis*, *T. mazzottii*, *T. mexicana*, *T. phyllosoma*, *T. gerstaeckeri*, *T. picturata*, *T. rubida* y *T. protracta* (Ramsey et al. 2003; Estrada-Franco et al. 2006; Ramsey et al. 2012). El género *Triatoma* es el más representado con 22 especies, aunque también están presentes especies de los géneros *Eratyrus*, *Belminus*, *Paratriatoma*, *Dipetalogaster* y *Panstrongylus* con una especie cada uno, la mayoría crípticas y sin comprobar infección (Ibarra-Cerdeña et al. 2009; López-Cancino et al. 2015; Ramsey et al. 2015).

Las áreas geográficas con mayor número de especies son la Sierra Madre Oriental, el Eje Neovolcánico Transversal, el norte de Sonora (a lo largo de la costa del Pacífico) y la Sierra Madre Occidental, la cuenca del Balsas y la Sierra Madre del Sur y Costa de Oaxaca (Ramsey et al. 2015). En esta última región encontramos al estado de Oaxaca, el cual merece mención especial debido a sus antecedentes históricos respecto a la enfermedad y como es evidente por su riqueza de especies de vectores (Mazzotti 1940; Mazzotti & Dias 1949; Tay et al. 1961; Tay et al. 1981; Zarate & Zarate 1985; Ramsey et al. 2000; Galvão et al. 2003; Cruz-Reyes & Pickering-López 2006; Ramsey et al. 2015). Son siete las especies de vectores documentadas en el estado, las cuales se han encontrado habitando en todos los paisajes: *T. barberi*, *T. bolivari*, *T. dimidiata*, *T. mazzottii*, *T. nitida*, *T. pallidipennis* y *T. phyllosoma* (Mazzotti & Dias 1949; Tay et al. 1961; Tay et al. 1981; Zarate & Zarate 1985; Ramsey et al. 2000; Galvão et al. 2003). La distribución de estas especies se basa principalmente en la altitud, en un rango que va desde los 10 msnm hasta los 1785 msnm, y la temperatura media anual (i.e. complejo *T. dimidiata* haplogrupo 2 (Hg2), 10-1045 msnm, 12-26 °C; *T. mazzottii*, 22-1785 msnm, 22 a > 26 °C), aunque se desconoce la importancia de los tipos de vegetación (Ramsey et al. 2000; Ramsey et al. 2015).

### **3. LA INFESTACIÓN EN EL HÁBITAT DOMÉSTICO/PERIDOMÉSTICO Y EL PELIGRO DE EXPOSICIÓN AL VECTOR EN EL PAISAJE**

En México las ETV están incluidas en los programas prioritarios del sistema de atención primaria, sin embargo, la enfermedad de Chagas no cuenta con un programa específico dirigido a la vigilancia epidemiológica y tampoco existe una estrategia para su prevención y control (Ramsey et al. 2003; Yamagata & Nakagawa 2006). En países sudamericanos como Venezuela, Colombia, Honduras, Nicaragua y El Salvador se han empleado diferentes medidas para prevenir

la transmisión de *T. cruzi* a los humanos, entre las principales acciones se encuentra el control de poblaciones de vectores en el área doméstica y peridoméstica (Gürtler & Yadon 2015).

En diversos estudios se ha demostrado que la distribución de los vectores y su domesticación obedece a nivel de micro y macrohábitat con múltiples variables ambientales, demográficas y socioculturales (Ramsey et al. 2003; Gürtler & Yadon 2015). Logrando así localizar a los vectores en casi cualquier hábitat que les ofrezca un grado de permanencia, refugio climático y acceso a una fuente de sangre (Jurberg & Galvão 2006). Entre los factores que explican la variación de infestación doméstica destacan los relacionados con la calidad de la vivienda, las características del hábitat peridoméstico, disponibilidad de hospederos domésticos y la ubicación de la vivienda (Enger et al. 2004; Ramsey et al. 2005; Cohen et al. 2006; Gurevitz et al. 2011; Vazquez-Prokopec et al. 2012; Dumonteil et al. 2013; Bustamante et al. 2014; López-Cancino et al. 2015; Nogared et al. 2015). Los atributos de la calidad de la vivienda incluyen el material usado para la construcción de las paredes (por ejemplo, el bahereque en Guatemala o el adobe en México), piso (suelos de tierra) y techo (de teja, paja o cartón corrugado como en Argentina), el cual puede variar respecto a la ubicación geográfica (Enger et al. 2004; Gurevitz et al. 2011; Bustamante et al. 2014). Específicamente, el hecho de que las paredes no tengan un revestimiento de concreto y presenten grietas son atributos que afectan la disponibilidad de refugios y sitios de reproducción para el vector y pueden ser considerados como predictores de infestación doméstica, tal como ha sido observado en Guatemala y en algunos estados de México (como Veracruz y Morelos) para las especies *T. dimidiata* y *T. pallidipennis* (Enger et al. 2004; Villalobos et al. 2011; Bustamante et al. 2014; Sandoval-Ruiz et al. 2014; Gürtler & Yadon 2015). Algunas especies de vectores, como las ninfas de *T. dimidiata*, son capaces de camuflarse al cubrir sus cuerpos con tierra u otros materiales, por lo que las viviendas con pisos de tierra proporcionan escondites para los vectores (Zeledón et al. 1973).

Los aspectos relevantes del hábitat peridoméstico incluyen la presencia de gallineros, material apilado (basura, rocas, madera y/o tejas), la presencia de un lugar destinado para el almacén de alimentos, así como la frecuencia con la que se hace limpieza en dicho hábitat (Roux et al. 2011a; Dumonteil et al. 2013; Bustamante et al. 2014; Nogared et al. 2015). Al igual que la calidad de la vivienda, estos aspectos promueven la presencia de refugios y sitios idóneos para la reproducción de los vectores (Starr et al. 1991; Enger et al. 2004; Cohen et al. 2006; Dumonteil

et al. 2013). En lo que respecta a la disponibilidad de hospederos, los animales domésticos (presencia y abundancia de perros domésticos, gallinas y roedores) constituyen una importante fuente de alimento para los vectores los cuales no están disponibles todo el año, en comparación con los hospederos silvestres (Zavala-Velázquez et al. 1996; Enger et al. 2004; Ramsey et al. 2005; Estrada-Franco et al. 2006; Bustamante et al. 2009; Gurevitz et al. 2011; Villalobos et al. 2011; Ramsey et al. 2012; Carabarin-Lima et al. 2013; Dumonteil et al. 2013; Gürtler & Yadon 2015).

Es importante tener en cuenta que los aspectos del hábitat doméstico/peridoméstico, considerados como factores asociados a la infestación de las viviendas no están aislados de procesos que ocurren en otros hábitats y dependen de otros factores que ocurren en el paisaje completo (Valdez-Tah et al. 2015a). Según el grado de modificación y antropización del paisaje, la estructura fragmentada (composición heterogénea de hábitats), producto de las diferentes modalidades de aprovechamiento del paisaje da como resultado variaciones en la composición y abundancia de las poblaciones del vector (Gottdenker et al. 2011; Barrios et al. 2013; Gottdenker et al. 2014; Valdez-Tah et al. 2015b).

Se han calculado métricas del paisaje con la finalidad de describir cuantitativamente la estructura del paisaje para determinar su relevancia en la infestación de las viviendas y con ello discernir lugares con altos índices de infestación de aquellos con bajo valor. Por ejemplo, en países como Argentina, se ha encontrado que el área promedio de los parches de “peladar” (porciones de suelo sin vegetación producto de la excesiva explotación de los bosques con fines ganaderos) al igual que el nivel de heterogeneidad del paisaje aumenta en las localidades con elevadas tasas de infestación por vectores de la especie *T. infestans*, las cuales tienden a estar agregadas (Gorla et al. 2011; Vazquez-Prokopec et al. 2012). Los resultados de algunos otros estudios evidencian que los tipos de vegetación que presentan perturbación antropogénica (resultado del cambio de uso de suelo) están asociados con elevadas abundancias de los vectores (Gottdenker et al. 2011; Vazquez-Prokopec et al. 2012; Gottdenker et al. 2014). En términos ambientales, otros factores que tienen una relación positiva con la presencia y abundancia del vector son la elevación altitudinal, el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI por sus siglas en inglés) y la temperatura de la superficie. Particularmente, en lugares de poca elevación donde habita población en pobreza, los índices de infestación tienden a ser mayores.



La elevación determina la productividad del suelo y el drenaje, lo que conlleva cambios significativos en la estructura de la cubierta del suelo, así como el estatus socioeconómico de los pobladores locales. En lugares de bajas altitudes donde la economía local es de subsistencia y los recursos naturales del entorno son sobreexplotados, la baja productividad e ingresos se pueden traducir en una pobreza estructural que da como resultado la construcción de viviendas con materiales antes citados (Ramsey et al. 2000; Ramsey et al. 2005; Vazquez-Prokopec et al. 2012).

Los factores de riesgo no se presentan como variables aisladas y la presencia de dos o más factores incrementan la probabilidad de infestación (Gürtler & Yadon 2015). Es por ello que la reducción de la infestación del hábitat doméstico depende de la correcta identificación de dichos factores (Starr et al. 1991; Enger et al. 2004; Cohen et al. 2006). La capacidad de estratificar las zonas con base en factores de riesgo e índices entomológicos y la correlación significativa entre la predicción y las zonas reales de infestación utilizando modelos, permitirán en un esquema integral de programa de control modelar de forma más precisa los riesgos relativos de las poblaciones y proponer estrategias *ad hoc* para cada nivel de riesgo y contexto local (Ramsey et al. 2003; Vazquez-Prokopec et al. 2012; Valdez-Tah et al. 2015a). Las estrategias más citadas comprenden el uso de insecticidas de efecto residual en el hábitat doméstico/peridoméstico, el mejoramiento de la calidad de la vivienda/ nuevos materiales de construcción y la educación de la salud (Ramsey et al. 2003; Jurberg & Galvão 2006; Dumonteil et al. 2013; Bustamante et al. 2014; Gürtler & Yadon 2015; WHO 2015). Sin embargo, acciones como el uso de mosquiteros y la reducción de las poblaciones de roedores pueden ocasionar una disminución en la población de vectores y al mismo tiempo ser útiles en otros ámbitos. Ejemplo de ello es la transmisión del dengue para el primer caso y la reducción de los efectos negativos sobre la producción y almacenamiento de alimentos en el segundo caso (Dumonteil et al. 2013; Bustamante et al. 2014). La aplicación de estas estrategias no solo reduce el peligro de contacto humano- vector, sino también ayudan a prevenir y/o reducir la transmisión del parásito (Bustamante et al. 2009; Barbu et al. 2010; Ramsey et al. 2012; Dumonteil et al. 2013; Valdez-Tah et al. 2015a).

#### 4. LA ENFERMEDAD DE CHAGAS

La Enfermedad de Chagas se presenta en 21 países de Latinoamérica, desde el sur de EUA hasta Argentina, y ha sido una enfermedad a la cual se le ha brindado poca atención. Se estima que entre ocho a diez millones de personas se encuentran infectadas y que cada año hay 56 000 nuevos casos y mueren 12 000 personas por esta causa (Rassi et al. 2012; WHO 2015). Tan solo en México se estima que el número de personas afectadas por la enfermedad de Chagas asciende a los 2 millones de personas (Ramsey et al. 2003; Manne et al. 2013; Ramsey et al. 2014). Los estados de Chiapas, Veracruz, Guanajuato, Hidalgo, Puebla, Michoacán, Ciudad de México y Oaxaca tienen más del 69 % de los casos seropositivos en el país (Ramsey et al. 2003; Carabarin-Lima et al. 2013).

En términos clínicos, la enfermedad se presenta en dos fases: una fase aguda y una fase crónica, con la posibilidad de que en cualquiera de las dos ocurra la muerte (Rodrigues 2007; Carabarin-Lima et al. 2013; WHO 2015). La fase aguda es comúnmente asintomática, menos de la mitad de los pacientes presenta síntomas evidentes. Ocasionalmente se presenta inflamación en el sitio donde el parásito penetró, la cual recibe el nombre de Chinchoma y signo de Romaña, en caso de que se presente cerca del ojo. Durante la fase crónica se observan dos formas, una intermedia también llamada latente y una sintomática. Al igual que la fase aguda, en la forma latente los pacientes usualmente no presentan síntomas físicos o clínicos, por lo que es detectable únicamente con pruebas de detección de anticuerpos circulantes de *T. cruzi* en la sangre o técnicas moleculares (Rodrigues 2007; Rassi et al. 2012; Carabarin-Lima et al. 2013; Ferrer et al. 2013). Los síntomas se evidencian 25 a 30 años después de haber contraído el parásito, presentándose en forma de alteraciones en el tracto gastrointestinal, trastornos neurológicos y/o trastornos cardíacos, estos últimos son las manifestaciones más frecuentes (WHO 2015).

En la actualidad se cuenta con dos medicamentos anti-parasitarios: Benznidazol y Nifurtimox. Aunque son 95% efectivos cuando se toman en la fase aguda de la enfermedad, en recién nacidos y niños. Su eficacia reduce paulatinamente, siendo 65% en la fase crónica latente. El tratamiento puede prevenir o detener la progresión de la enfermedad, mientras que en la fase crónica más avanzada su eficacia es menor y la incidencia de reacciones adversas es mayor cuanto mayor sea la edad del paciente (Velarde et al. 2011; WHO 2015). Debido a que no existe vacuna para prevenir la enfermedad, la Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas

en inglés) señala que el método más efectivo para impedir incidencia es la prevención de la transmisión con el control de poblaciones de vectores mediante el rociamiento de insecticidas, el mejoramiento de las viviendas, medidas preventivas personales (por ejemplo, el uso de pabellones sobre las camas) y buenas prácticas de higiene (WHO 2015). Estas medidas de prevención pueden reducir las poblaciones domésticas de vectores y con ello el riesgo de transmisión vectorial del parásito (Barbu et al. 2010; Dumonteil et al. 2013).

La relevancia de la enfermedad es crítica en términos socioeconómicos, al representar una pérdida monetaria por incapacidad laboral y causar la muerte repentina de personas aparentemente sanas (Amieva 2013; Ramsey et al. 2014). Se ha estimado que en México los costos económicos de la enfermedad en un paciente con detección y atención temprana oscilan entre los US\$ 10,160, lo que incluye: diagnóstico, asesoría médica, hospitalización, medicamentos y el valor de días laborales perdidos. Mientras que el costo para una persona no diagnosticada es de US\$ 11, 877 debido a que los gastos médicos incrementan considerablemente cuando la atención se hace durante la fase crónica de la enfermedad y la pérdida de días laborales es mayor. A largo plazo, resulta más económico el diagnóstico y atención temprana de pacientes que el no tener una respuesta a la situación, considerando también que una respuesta oportuna puede frenar el desarrollo de la enfermedad y mejorar la calidad de vida de las personas (Ramsey et al. 2014). Al respecto Oliveira (2009) y Velarde et al. (2011), señalan que la enfermedad contribuye a perpetuar el ciclo de pobreza, al reducir la capacidad de aprendizaje, la productividad de las personas y la posibilidad de generar ingresos. Además, existe una falta de interés por parte de los laboratorios para desarrollar nuevos tratamientos debido al escaso poder adquisitivo de los enfermos (Mijal 2011). En años recientes los movimientos migratorios (emigración e inmigración) de personas infectadas le han dado a la enfermedad una importancia de carácter urbano y global (Schmunis & Yadon 2010; Amieva 2013; WHO 2015).

Desde su descubrimiento se le ha vinculado con el limitado acceso a servicios básicos y necesidades básicas insatisfechas (Moratal et al. 2006; Sandoval-Ruiz et al. 2008; Amieva 2013). Acertadamente el descubridor de la enfermedad señalaba (Moratal et al. 2006):

“hay un designio nefasto en el estudio de la tripanosomiasis, cada trabajo, cada estudio apunta un dedo hacia una población mal nutrida que vive en malas condiciones, apunta hacia un problema económico y social”

La exposición de la población a los vectores constituye el principal factor de peligro, lo cual sumado a la vulnerabilidad humana da como resultado un incremento en el riesgo de contacto vector-humano y la transmisión de *T. cruzi* a los humanos. Los contextos socioculturales establecen grados de vulnerabilidad ante la transmisión de la enfermedad. De ellos destacan los conocimientos, la apropiación social del territorio (uso y modificación física de la superficie terrestre determinados por las modalidades de aprovechamiento del paisaje) y las formas de pensar que sustentan las conductas o representaciones sociales (Mijal 2011; Valdez-Tah et al. 2015b). Considerando que la modificación y uso del paisaje resultado de las actividades humanas al igual que la identificación de los factores ecológicos y biológicos dan lugar a la exposición humana hacia los vectores y que su correcta identificación permite elaborar medidas de acción o control integral adecuadas a los contextos locales, se planteó el siguiente estudio con la finalidad de entender qué elementos de la estructura del paisaje, así como sus cambios, están relacionados con la amplificación del vector en el hábitat domestico humano.

## 5. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

El presente estudio tiene como finalidad dar respuesta a dos principales preguntas de investigación:

- ¿Cuáles son los elementos del paisaje que mejor describen la infestación por vectores de *T. cruzi* en las localidades del municipio de Santos Reyes Nopala, Oaxaca?
- ¿Qué indicadores de cambio (grado de modificación y tamaño demográfico) están asociados a la infestación vectorial de localidades humanas?

## 6. HIPÓTESIS

Debido a que las diferentes actividades de aprovechamiento del paisaje, es decir, prácticas de uso y modificación del paisaje derivadas de las actividades humanas, pueden determinar el fenómeno del riesgo de contacto vector- humano, las variaciones en las dimensiones espaciales (porcentaje que ocupa en el paisaje) de las actividades humanas tales como las áreas agrícolas y/o ganaderas, al igual que el crecimiento demográfico (expansión del área rural) limitan o favorecen la presencia de triatominos en el hábitat domestico humano. En la misma sintonía, la pérdida y fragmentación del hábitat natural de los triatominos (bosque tropical) establece una oportunidad para que el insecto se desplace hacia el hábitat doméstico.

## **7. OBJETIVOS**

### ***Objetivo general***

Analizar los patrones espaciales asociados con la presencia y ausencia de vectores de *Trypanosoma cruzi* en localidades del municipio de Santos Reyes Nopala, Oaxaca.

### ***Objetivos específicos***

- Medir la infestación por triatominos en localidades del municipio de Santos Reyes Nopala, Oaxaca.
- Caracterizar espacio-temporalmente la estructura del paisaje de localidades del municipio de Santos Reyes Nopala, Oaxaca.
- Identificar los elementos del paisaje de mayor asociación para la infestación por triatominos de localidades del municipio de Santos Reyes Nopala, Oaxaca.
- Modelar la probabilidad de infestación con triatominos de las localidades en el municipio de Santos Reyes Nopala, Oaxaca.

## **8. ESTRUCTURA DE LA TESIS**

El presente trabajo está organizado en dos capítulos. En este primer capítulo se presenta el marco teórico-conceptual y un panorama general sobre la zoonosis de *Trypanosoma cruzi* y la enfermedad de Chagas en humanos. Se expone también información sobre la historia natural de la parasitosis/zoonosis y de los vectores del parásito, su ecología y los factores de riesgo de infestación de comunidades humanas por el vector. En el segundo capítulo se presentan los resultados de la estructura del paisaje y se expone su importancia en el proceso de infestación para las localidades que conforman el área de estudio, haciendo énfasis en las particularidades que presentan las localidades con reportes de colecta de vectores.

## CAPÍTULO DOS. PATRONES ESPACIALES ASOCIADOS A LA INFESTACIÓN DE LOCALIDADES HUMANAS POR VECTORES DE LA ENFERMEDAD DE CHAGAS

### 1. ÁREA DE ESTUDIO

Para la realización del presente estudio fueron seleccionadas 35 localidades rurales<sup>8</sup> de las 42 que conforman el municipio de Santos Reyes Nopala. El municipio es uno de los 570 que conforman al estado de Oaxaca, y se ubica al suroeste del estado ocupando un área de 226 km<sup>2</sup>, lo que corresponde al 0.2% del territorio estatal (**Figura 1**; INEGI 2009). De acuerdo con el censo poblacional realizado en 2010, la población total en el municipio es de 15 642 habitantes, distribuida en un total de 3 607 viviendas. Aproximadamente dos tercios de la población viven en localidades rurales (10 441 habitantes), mientras que el resto vive en una localidad urbana que corresponde a la cabecera municipal (5 201 habitantes): la mitad de las localidades rurales (52.8 %) consisten de 1 a 25 viviendas (INEGI 2010). Las viviendas rurales usualmente cuentan con una única habitación para toda la familia, solo el 8.5 % de las viviendas cuenta con una estructura adicional donde se encuentra la cocina. Generalmente, las viviendas rurales están construidas con techo de lámina (54 %), paredes hechas con tablones de madera (51.3 %) y piso de tierra (64.7 %). La mitad de la población usa pabellones para dormir, pero no cuentan con mosquiteros en las ventanas. Dentro de la vivienda se almacena la cosecha y se comparte la vivienda con animales como gallinas, perros, gatos y ratones. En el ambiente peridoméstico se observa la presencia de objetos apilados como rocas, leña, tablones de madera, ladrillos y tejas, al igual que la presencia de animales domésticos como perros y gallinas y algunos animales silvestres, los cuales generalmente son ratas y ratones (Ramsey et al. en prensa).

El territorio del municipio comienza en las llanuras costeras del Océano Pacífico entre Puerto Escondido y San José Manialtepec y llega hasta las montañas de la Sierra Madre del Sur. El gradiente altitudinal oscila entre los 100 y 1 800 msnm, con una temperatura promedio que varía entre los 16 y los 28°C y una precipitación anual de 1 000 a 2 500 mm (INEGI 2009; Pérez 2010). Los tipos de clima varían desde cálido sub-húmedo con lluvias en verano (Aw1 (w)) en la parte sur, semi-cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (A(C) m (w)) y templado sub-

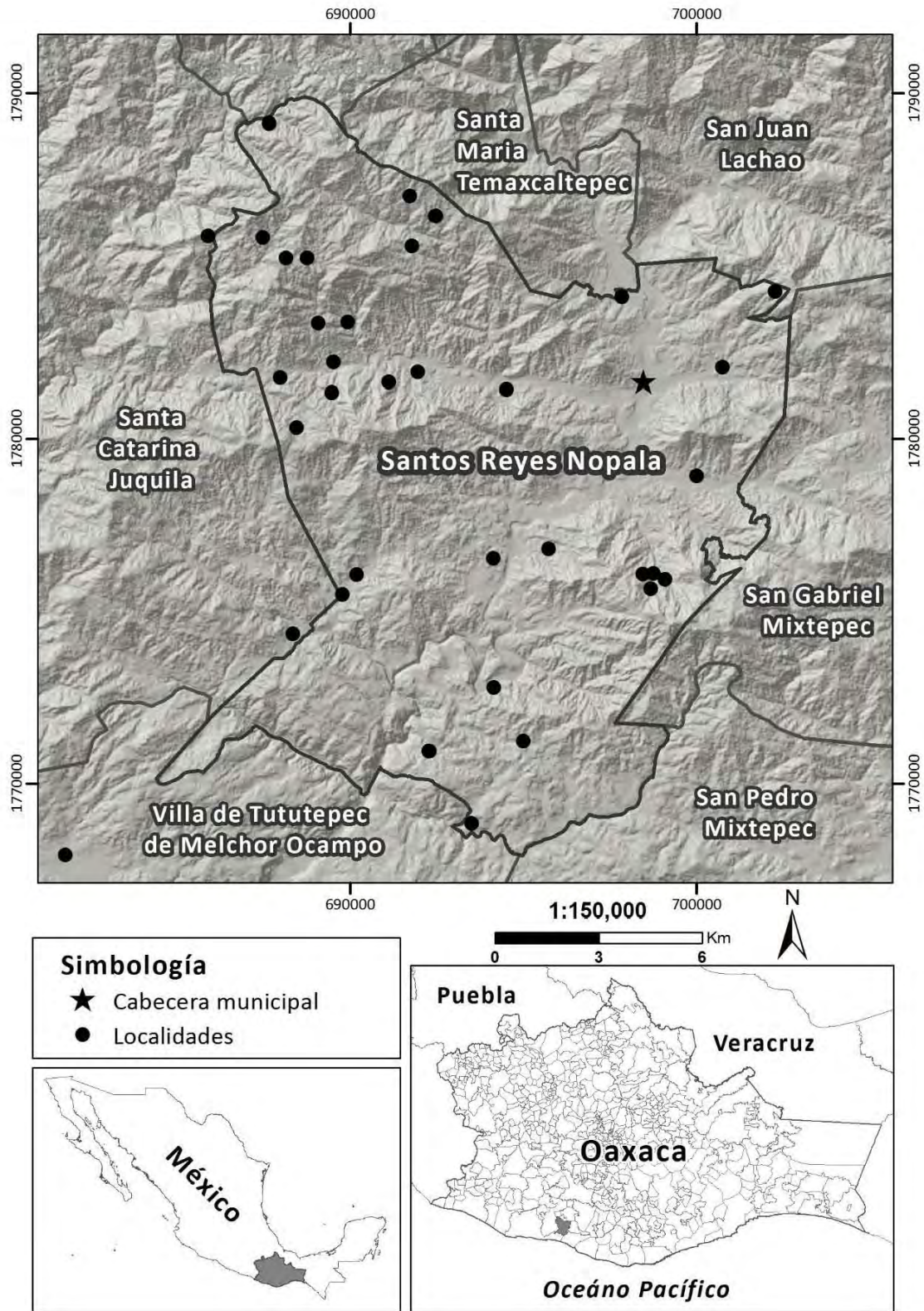
---

<sup>8</sup> La localidad fue considerada como la unidad de análisis, entendida como el conjunto de viviendas habitadas en un lugar reconocido por un nombre. Las localidades rurales se diferencian de las urbanas bajo el criterio de número de habitantes: las primeras están pobladas por menos de 2500 habitantes, mientras que las segundas tienen una población por arriba de esta cifra (De la Vega et al. 2010).



húmedo con lluvias en verano (C (w2) (w)) en las partes centro y norte del municipio. Los grupos de suelos presentes son el Regosol, Phaeozem, Leptosol, Fluvisol, Luvisol y Cambisol, estos dos últimos son los dominantes (28.9% y 27.9% respectivamente). El sistema de topofomas que conforma al municipio consta de sierra baja compleja (66.7%), sierra alta compleja (27.2%), valle de laderas escarpadas (5.5%) y lomerío con llanuras (0.5%; INEGI 2009). El municipio se ubica dentro de la provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur, y las dos subprovincias, Costa del Sur y la Cordillera Costera del Sur (INEGI 2001).

De acuerdo al gradiente altitudinal se distinguen cinco tipos de vegetación: selva baja caducifolia, selva mediana subcaducifolia y subperennifolia, bosque mixto (bosque de pino-encino) y bosque de encino. Las selvas ocupan la mayor parte de la extensión del municipio (36.3 %), mientras que los bosque el 13.6 % (INEGI 2009). La vegetación dominante hasta los 500 msnm es la selva baja caducifolia, con mayor presencia de arbustos con alturas de entre 5 y 8 m. Por su abundancia, en este tipo de vegetación destacan: la caoba (*Swietenia macrophylla*), el palo de Brasil (*Haematoxylon brasiletto*), el ébano (*Pithecellobium dulce* y *P. seleri*) y el pipe (*Erythrina sp.*), aunque también hay gran cantidad de especies xerófilas, como cactáceas. Entre los 500 y los 1500 msnm encontramos la selva mediana subcaducifolia y subperennifolia con un estrato arbóreo dominante (la altura de los árboles oscila entre los 15 y 40 m). La parota o guanacastle (*Enterolobium cyclocarpum*), el cedro rojo (*Cedrela odorata*), la primavera (*Tabebuia sp.*), el granadillo (*Pedilanthus cymbiferus*), el guapinol (*Hymenaea courbaril*) y el hormiguillo (*Cordia alliodora*) son algunas de las especies más dominantes. En altitudes entre los 1500 y los 1800 msnm se presentan zonas de transición entre el clima cálido y el templado, lo que favorece la presencia de bosque mixto compuesto de pino (*Pinus devoniana*, *P. maximinoi*, y *P. teocote*) y encino (*Quercus magnoliifolia*, *Q. peduncularis*, *Q. candicans*, *Q. conspersa*, *Q. scytophylla* y *Q. uxoris*) y en ocasiones solo bosque de encino, con plantaciones de café (Rodarte 1997; Caballero et al. 2004; INEGI 2015). Durante décadas, el área de estudio ha estado expuesta al sistema agrícola de roza-tumba y quema y la utilización intensiva de madera de recolección, lo que ha favorecido la ampliación de la frontera agrícola (Rodarte 1997, Ayuntamiento de Nopala 2005). Como resultado, los principales usos de suelo resultado de la modificación son: el pastizal cultivado (26.5 %), el pastizal inducido (11.8 %), la agricultura de temporal (11.4 %) y la zona urbana (0.4 %; INEGI 2009).



**Figura 1.** Ubicación del municipio de Santos Reyes Nopala, Oaxaca y las 35 localidades donde se realizó la búsqueda de vectores triatominos.

El territorio que abarca el municipio está expuesto a múltiples peligros naturales (inundaciones, deslizamientos, olas de calor y velocidad del viento) que pueden traducirse en desastres naturales cuando el peligro causa un número inaceptable de muertes o daños a propiedades. De acuerdo con Ramsey et al. (2013), los niveles de intensidad de los peligros naturales en el municipio van de bajo a muy alto: domina la intensidad media de peligro de inundación (10,760 ha); la intensidad del peligro de deslizamientos de tierras es mayormente bajo (17,000 ha); un alto peligro de olas de calor con un periodo de retorno de 5 años con temperaturas que oscilan entre los 40.5 °C llegando a los 53.8 °C (14,580 ha); e intensidad muy alta de peligro por la velocidad del viento que puede superar los 24.4 m/s (17,415 ha).

De acuerdo con datos de CONAPO (2010), el grado de marginación para el municipio va de alto a muy alto, con un valor del índice de marginación que oscila de -0.46 hasta 2.27. Se presentan importantes rezagos sociales, en términos del bajo promedio de escolaridad, la carencia de agua entubada (34.3 %) y la no disponibilidad de la red de drenaje (38.3 %; INEGI 2010). El rezago educativo en el municipio es mayor que el estatal y municipal, debido a que aproximadamente la mitad de la población (44 %) no asiste a un centro de educación formal y tampoco cuenta con la educación básica obligatoria. Las condiciones de infraestructura de las 50 escuelas existentes empeoran el rezago educativo: las instituciones educativas no cuentan con aulas suficientes (sin considerar las deficiencias que hay en las 20 escuelas CONAFE); el 13.8% de las escuelas no cuentan con sanitarios adecuados; en 10 escuelas los servicios de agua potable y energía eléctrica están en malas condiciones; y prácticamente en todas las escuelas el mobiliario está en malas condiciones. La educación que se imparte a nivel preescolar y primaria es bilingüe, es decir, se imparte tanto en español como en chatino, la lengua indígena hablante en la región (Ayuntamiento de Nopala 2014). A pesar de que cuenta con servicios educativos, el municipio presenta un bajo promedio de escolaridad (5.34), lo que equivale a la culminación del quinto año de primaria, sin alcanzar la conclusión de la misma (INEGI 2010).

Los servicios de salud también son escasos para atender a la población total ya que cuenta con 11 Casas de Salud, donde el médico acude una vez al mes para dar consulta; dos Centros de Salud Rural; dos Clínicas Rurales IMSS; y a partir de 2008 un Hospital Regional Rural en la cabecera municipal. Existe una brigada de salud de la SSA (Secretaría de Salud) integrada por un médico, una enfermera y un chofer, quienes atienden en las localidades donde

no hay ningún tipo de acceso a servicios médicos (Ayuntamiento de Nopala 2014). Sin embargo, la mayoría de los habitantes acuden a atenderse con médicos tradicionales como hueseros, hierberos y parteros, lo cual en algunos casos les resulta más económico y con médicos particulares en la cabecera municipal o en Puerto Escondido (Ayuntamiento de Nopala 2005).

A nivel estatal, Oaxaca se encuentra entre las primeras cinco entidades que registran el mayor número de casos de personas que padecen la enfermedad de Chagas. De acuerdo con datos de los Servicios de Salud de Oaxaca, en 2015 la entidad ocupó el primer lugar a nivel nacional con cerca de 90 enfermos. Los resultados registrados hasta la semana epidemiológica número 19 (29 de Mayo de 2017) de la Secretaría de Salud registran 15 casos entre agudos y crónicos (DGE 2017). Además de las personas que padecen la enfermedad de Chagas, en el municipio se han reportado casos de pacientes con otras ETV como dengue, chikungunya y Zika, transmitidas principalmente por mosquitos del género *Aedes* (Ramsey com. pers.). Como medida preventiva ante brotes de dengue, el municipio en coordinación con la Jurisdicción Sanitaria 04 Puerto Escondido, cuenta con un programa de vectores. Tres personas se dedican diariamente a revisar que se coloque el abate en los tanques de todos los hogares de la cabecera municipal y a realizar nebulizaciones cuando la Jurisdicción Sanitaria detecta un caso probable o confirmado de dengue a través del hospital de la comunidad (Ayuntamiento de Nopala 2014). Las principales causas de morbilidad detectadas por los servicios de salud en las diferentes localidades del municipio son: infección respiratoria aguda, enfermedad diarreica aguda, infección de vías urinarias, dermatosis, gastritis y úlceras, heridas y traumatismos, parasitosis, síndrome anémico, enfermedades crónico degenerativas y toxicomanías. En el caso de las principales causas de mortalidad en el municipio, entre ellas destacan los tumores y la diabetes, seguido por las enfermedades infecciosas y parasitarias, enfermedades hipertensivas y en última instancia las enfermedades del sistema genitourinario (SEDESOL 2013).

La economía en el municipio se fundamenta principalmente en la agricultura de subsistencia y el comercio. Los principales cultivos son el maíz, la caña, el frijol y el café, mientras que en menor medida se cultiva la yuca (camote) y el chile "tusta". El frijol es el producto que más se comercializa en el municipio (Ayuntamiento de Nopala 2005; Pérez 2010). Durante más de un siglo el cultivo de café ha sido una actividad económica muy importante. Más de la mitad de la producción de café se vende a compradores particulares (coyotes) y la restante

se vende por medio de la organización “Unión de Comunidades Kyat-Nuu”. A principios de los 90s el café fue depreciado lo que originó que algunos dueños vendieran sus fincas o descuidaran las plantaciones por incosteables. En la actualidad, la cafecultura ocupa 2,800 ha donde predominan las pequeñas plantaciones de café de aproximadamente 3-5 ha cada una, apoyadas por un colectivo para su manejo organizado (Emanuel & Greenberg 2000; Ayuntamiento de Nopala 2008; Pérez 2010). En cuanto a la actividad ganadera el principal producto ofertado es el ganado bovino de doble propósito (ganado del cual se obtiene leche y carne) y en segunda instancia el ganado caprino (Ayuntamiento de Nopala 2008).

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. BÚSQUEDA Y COLECTA DE VECTORES TRIATOMINOS**

La búsqueda y colecta de vectores se realizó en dos periodos de tiempo. El primer periodo abarca los meses de diciembre del 2003 a mayo del 2006 (2003-2006). Durante este periodo, el grupo de investigación del proyecto “La Enfermedad de Chagas en Oaxaca: una estrategia educativa y eco-epidemiológica” (LECO), en colaboración con el personal de salud, auxiliares y comités de salud del municipio de Santos Reyes Nopala implementaron un programa de concientización y diálogo participativo para la colecta de vectores (Ramsey et al., 2003, 2000, en prensa). En particular, la población fue capacitada para reconocer correctamente los triatominos y para reportar casos de “chinchomas”, la induración dérmica provocada por la saliva de los triatominos (estos eventos centinelas aumentan 30 veces la probabilidad de infestación; Ramsey com. pers.). Los miembros de comités de salud voluntarios fueron capacitados para evaluar y registrar en un formato las características de las viviendas, tales como el material con el que está construido el techo, las paredes, el tipo de suelo, presencia de animales domésticos y objetos encontrados en el área peri-domiciliaria (encuesta intra-doméstica y peri-domestica)<sup>9</sup>. Cada uno de los triatominos colectados fue colocado en una bolsa o recipiente de plástico y etiquetado con el nombre del jefe de familia, la localidad de colecta, tipo de colecta (intra-domiciliaria, peri domiciliaria, silvestre) y la fecha de colecta. Se pidió a los pobladores que hicieran entrega de la colecta al comité de salud o en las instalaciones de las autoridades sanitarias participantes más próximas a su vivienda

---

<sup>9</sup> El área intradomiciliaria fue definida como el espacio contenido dentro de las paredes principales de la vivienda, donde los miembros del hogar duermen. Mientras que el área peri-domiciliaria era la zona fuera de las paredes principales de la vivienda, que pertenece y es utilizada por los miembros del hogar para las actividades de la familia, la cual generalmente está cercada.

o ubicación. Las colectas fueron recogidas por integrantes del LECO, en visitas a los Centros de Salud durante los meses de marzo a septiembre del 2004 y abril a octubre de 2006. La infestación fue definida al identificar una colecta de vector enviada.

Para el segundo periodo, de junio del 2015 a febrero de 2016 (2015-2016), se realizaron breves encuestas de reconocimiento y avistamiento de vectores dentro y/o alrededor de las viviendas. Con base en la información del último censo poblacional (INEGI 2010), se estimó el porcentaje de viviendas en las cuales fue aplicada la encuesta: en localidades con menos de 300 viviendas (localidades pequeñas), la muestra fue entre 70-80% de las viviendas; mientras que en las localidades grandes (>300 viviendas) la muestra consistió en el 35% de las viviendas. En las localidades pequeñas la selección de viviendas fue aleatoria y en caso de que no se encontrara un adulto al momento de aplicar la encuesta entonces la vivienda más próxima fue la considerada. Para la selección de las viviendas en las localidades grandes se realizó un muestreo por cuadrantes de la siguiente forma: se trazaron cuadrantes de 200 m<sup>2</sup> sobre imágenes satelitales georreferenciadas; a cada cuadrante se le etiquetó con un número; se seleccionaron cuadrantes de manera aleatoria; la encuesta fue aplicada en cada vivienda encontrada dentro del cuadrante; la selección de cuadrantes se detuvo una vez alcanzado el porcentaje de viviendas antes mencionado. Las encuestas consistían en 6 preguntas puntuales: 1) ¿Conocen la chinche de Chagas?; 2) ¿Cuál es en la foto?; 3) ¿Vieron chinches en los últimos 10 años en su casa? ¿Cuándo?; 4) ¿Colectaron chinches en los últimos 10 años? ¿Cuándo?; 5) ¿Entregaron chinches entre 2006 y la fecha?; y 6) ¿A dónde/quién entregaron? Adicionalmente se registró el nombre del encuestado y en el caso de la cabecera municipal también se registró la edad del encuestado y el barrio al que pertenece la vivienda. Para responder a la segunda pregunta de la encuesta, se utilizó una tarjeta a color (tarjeta de identificación, ver **Anexo 1**) que ilustraba a tamaño natural tres especies de triatomos que habían sido colectados históricamente en el municipio (*Rhodnius prolixus*, *Triatoma dimidiata* y *T. mazzottii*) y otros reduvidos (fitófagas y depredadores). La infestación para el periodo 2015-2016 fue tasada en el registro de “ver en el domicilio” o “haber colectado”, ajustado por el valor predictivo positivo/valor predictivo negativo.

## 2.2. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL PAISAJE

### *La fuente de datos*

Para la generación de los mapas temáticos (mapas de cubiertas y uso de suelo), se utilizaron dos pares de imágenes SPOT-5. El primer par con fecha del 25 de abril de 2004 y el segundo con fecha del 24 de febrero de 2015. Cada par de imágenes consiste en una imagen pancromática, con 2.5 m de resolución espacial, y una imagen multiespectral formada por cuatro bandas (rojo, verde, infrarrojo cercano e infrarrojo medio), con 10 m de resolución espacial y en proyección UTM Zona 14N WGS84. Las imágenes fueron proporcionadas por la Estación de Recepción México Nueva Generación (ERMEX) y producidas con corrección radiométrica y geométrica (nivel de producción 2A). La visualización y manipulación de las imágenes se realizó usando el software ArcGIS 10.1.

### *Elaboración de mapas temáticos y cálculo de métricas del paisaje*

Los mapas temáticos fueron elaborados a escala 1: 10 000. El primer mapa temático (periodo 2003-2006) fue generado mediante el método de interpretación visual de la imagen pancromática, con la ayuda de información topográfica y una imagen fusionada con 2.5 m de resolución espacial. Las clases consideradas para la interpretación fueron: los asentamientos humanos, pastizales, agricultura, bosque templado, bosque tropical, suelo desnudo y cuerpos de agua (**Tabla 1**). La elaboración del segundo mapa (periodo 2015-2016) se realizó mediante el método de interpretación interdependiente (FAO 1996): el primer mapa temático fue sobrepuesto a la imagen pancromática de la segunda fecha y mediante interpretación visual fueron modificados los límites de cada clase en caso de ocurrir cambios en la cobertura. El área de análisis utilizada para caracterizar el paisaje fueron 10 áreas de influencia (20-200 ha) a partir del centroide de cada localidad. El radio del paisaje con un área mayor (200 ha) corresponde a 8 veces la mediana de la distancia de dispersión reportada para triatomos que equivale a ~ 800 m (Jackson & Fahrig 2012). Las métricas calculadas para cada localidad fueron la proporción del paisaje ocupada por cada clase de cubierta de suelo (PLAND) y el grado de fragmentación de la cubierta de bosque tropical (índice de separación, SPLIT). El cálculo de las métricas se realizó usando el software FRAGSTATS v3 (Gergel & Turner 2002; McGarigal et al. 2002).

**Tabla 1.** Descripción de las clases de cubierta y usos de suelo utilizadas para la caracterización espacial del municipio de Santos Reyes Nopala.

<b>Clase</b>	<b>Descripción</b>
<i>Asentamientos humanos</i>	Área ocupada con una o más edificaciones utilizadas como viviendas. En el caso de tratarse de un conglomerado, se consideran los elementos naturales y las obras materiales que lo integran (i.e. canchas deportivas, escuelas, mercados, etc.)
<i>Pastizales</i>	Área con poca vegetación dominada por pastos (especies de gramíneas), en su mayoría destinadas para el pastoreo de ganado
<i>Agricultura</i>	Área dedicada a actividades agrícolas
<i>Bosque templado</i>	Área cubierta por bosque de encino y/o bosque mixto (pino- encino)
<i>Bosque tropical</i>	Área cubierta por selva baja caducifolia, selva mediana subcaducifolia y subperennifolia
<i>Suelo desnudo</i>	Área de suelo desprovisto de vegetación o afectado por erosión, carreteras pavimentadas y caminos de terracería
<i>Agua</i>	Área cubierta por agua (ríos, lagos, lagunas)

### 2.3. SELECCIÓN DE VARIABLES DE ANÁLISIS

Como variables de análisis para explicar la “presencia de vector en hábitat doméstico” fueron seleccionadas variables estructurales del paisaje y una variable demográfica. Las variables estructurales del paisaje incluyen el tipo de vegetación (PLAND) y el grado de fragmentación del paisaje (Splitting index o SPLIT). Esta última variable fue evaluada con el índice de separación:

$$S = \frac{A_t^2}{\sum_{n=1}^n A_i^2}$$

Donde  $S$  es el índice de fragmentación del paisaje,  $A_t$  es el área en el paisaje cubierta por bosque tropical y  $A_i$  es el área del  $n$  parche de bosque tropical (Jaeger 2000). La variable demográfica



fue representada con la densidad de viviendas por ha. Adicionalmente se consideró la elevación (msnm) promedio a la cual se encuentra cada localidad.

### 3. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

La información generada, tanto en el primer periodo de estudio como en el segundo, fue tabulada en una hoja de cálculo. Posteriormente se calculó el índice o prevalencia de infestación (proporción viviendas con presencia de al menos un individuo de cualquier especie en el total de viviendas revisadas) para describir el estado de infestación en cada una de las localidades y por especie de triatomino. Para contrastar la igualdad de proporciones de localidades infestadas entre ambos periodos de estudio se utilizó el estadístico de McNemar. En el caso de los índices de infestación, sin importar la especie y por especie de triatomino fueron comparados entre periodos de estudio usando la prueba U de Mann-Whitney.

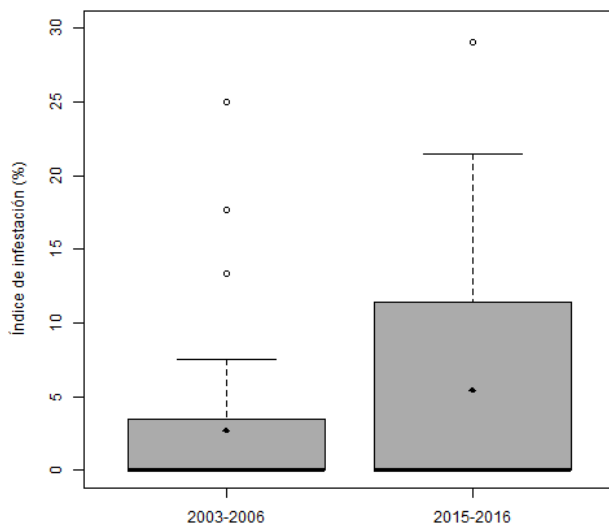
Para identificar los atributos de la estructura del paisaje con mayor influencia sobre la “presencia de triatomino en hábitat doméstico” se realizó un análisis de regresión múltiple con modelos lineales generalizados (GLM). Se utilizó el criterio de información de Akaike corregido para tamaños de muestra pequeños (AICc) y los pesos de Akaike ( $w_i$ ) para evaluar el soporte de modelos generados *a priori*. Las hipótesis fueron evaluadas con los siguientes modelos: 1) efecto de la altitud; 2) efecto del porcentaje de bosque tropical; 3) efecto del porcentaje de pastizales; 4) efecto del porcentaje de pastizal y agricultura; 5) efecto de la fragmentación del bosque tropical; 6) efecto de la altitud, la densidad de viviendas por ha y el porcentaje de bosque tropical; 7) efecto de la altitud, el porcentaje de pastizales y la fragmentación del bosque tropical; 8) modelo global, el cual incluye todas las variables sin interacciones; y 9) modelo nulo. El modelo nulo fue usado para determinar si un modelo aleatorio sin la inclusión de variables generaba un mejor modelo en comparación con los modelos que incluyen alguna de las variables. Aquellos modelos con un  $\Delta AICc \leq 6$  entre el mejor modelo y un modelo dado fueron considerados como el subconjunto de modelos con mayores niveles de soporte empírico (Burnham & Anderson 2002; Symonds & Moussalli 2011). Para tomar en cuenta la incertidumbre de la selección de modelos, se promediaron los parámetros ponderados y sus errores estándar asociado usando los valores de  $w_i$  como factor de ponderación. Debido a que las variables altitud, porcentaje de bosque tropical y porcentaje de pastizal estuvieron más representadas en los modelos (aparecen en dos o más modelos) se reajustaron los  $w_i$  para evitar posible redundancia en los modelos (Burnham &

Anderson 2002). Como se sugiere para variables de respuesta (VR) binarias (0/1, no infestado/infestado), los GLMs fueron construidos usando un error binomial y una función vínculo logit. El test de Hosmer y Lemeshow fue usado para evaluar la bondad de ajuste de un modelo a los datos (Hosmer & Lemeshow 2000). Los parámetros ponderados y sus errores estándar fueron utilizados para calcular la razón de momios (odds ratio) y sus intervalos de confianza asociados (95% IC).

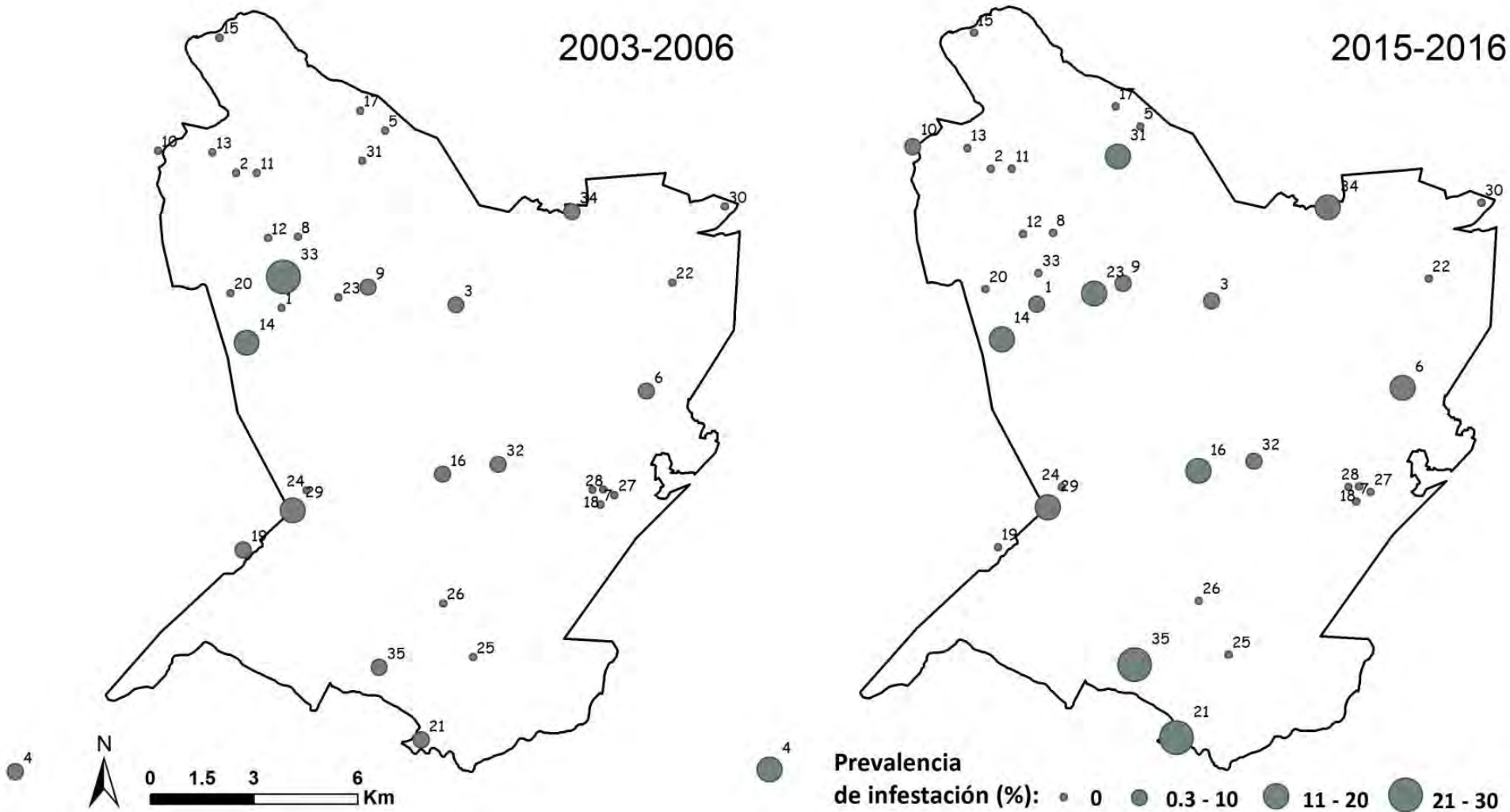
Previo a la evaluación de los modelos *a priori* se realizó la estimación del “efecto del área de influencia” para las variables referentes a la estructura del paisaje, es decir, el área en la cual la estructura del paisaje predice mejor la variable de respuesta (Jackson & Fahrig 2012; Miguet et al. 2016). Mediante una regresión logística fue relacionada la variable “presencia de triatomino en hábitat doméstico” (estado de infestación) y las variables de análisis en cada una de las 10 áreas de influencia: con 20 ha, 40 ha, 60 ha, 80 ha, 100 ha, 120 ha, 140 ha, 160 ha, 180 ha y 200 ha. Para evitar colinearidad entre las variables de análisis incluidas en los modelos se revisó el Factor de Inflación de la Varianza (VIF) de la variable sobre las demás (un VIF > 4 indica posible colinearidad y un VIF > 10 indica fuerte colinearidad) (Neter et al. 1990). Todos los modelos fueron construidos y evaluados usando diversos paquetes en el software estadístico R (R Core Team 2017).

#### 4. RESULTADOS

Se revisaron las viviendas de 35 localidades rurales para cada periodo de estudio, encontrando la presencia de *Triatoma dimidiata* y/o *T. mazzottii* (**Figura 3**). Un total de 13 localidades (37.1 % del total de las 35 localidades) presentaron datos de infestación durante 2003-2006, mientras que en 2015-2016 fueron 15 localidades las que presentaron infestación (42.9 %). La infestación se mantuvo en diez localidades, con una variación en la prevalencia de infestación de 0.4-25 % y de 4.5-29 %, para el primer y segundo periodo de estudio respectivamente. Durante el segundo periodo se identificó nueva infestación en cuatro localidades que anteriormente no presentaron datos de infestación: Rancho CA (Cerro Aire), Cerro Cuero, El Aguacatal y Teotepec. Sin embargo, la proporción de localidades infestadas no ha cambiado significativamente (McNemar's chi-squared = 0.1667, df = 1,  $p > 0.05$ ). El Mapache y el Zacatal fueron localidades que no reportaron infestación desde 2006. En 2003-2006 la prevalencia de infestación promedio fue de 2.7 % (SD = 5.6 %), la cual no difiere significativamente de la encontrada en 2015-2016 que fue de 5.5 % (SD = 7.7 %; Mann-Whitney,  $W = 524$ ,  $p > 0.05$ ) (**Figura 2**). En ambos periodos de estudio, la mayoría de las localidades que no presentaron datos de infestación tienen entre 1 y 20 viviendas.



**Figura 2.** Índice de infestación encontrado en las 35 localidades durante los periodos 2003-2006 y 2015-2016. Los círculos blancos representan los outliers y los círculos negros los valores promedios.



**Figura 3.** Distribución espacial de la prevalencia de infestación por dos especies de triatominos en Santos Reyes Nopala, Oaxaca para los periodos 2003-2006 y 2015-2016. Los números indican el código de referencia para cada localidad, ver **Anexo 2**.

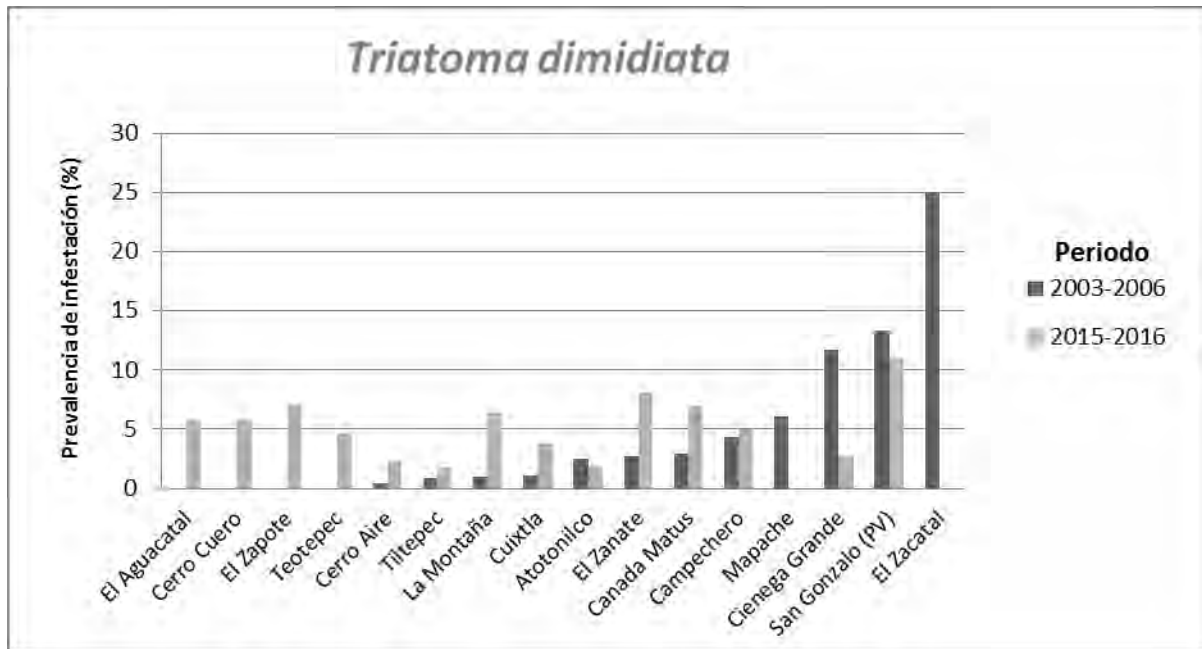
A nivel municipal, el rango altitudinal en el cual se encontró al menos una especie de triatomino pasó de 120-1017 msnm a tener un límite superior de 1287 msnm. Existe un traslape en el rango altitudinal de ambas especies: *T. dimidiata* se encontró desde los 120 msnm hasta los 1017 msnm y 1287 msnm en el primero y segundo periodo, respectivamente; mientras que *T. mazzottii* en el primer periodo tuvo un rango altitudinal de 216-1017 msnm y en el segundo periodo de 120-1287 msnm. El índice de infestación promedio de la especie *T. mazzottii* muestra una correlación inversa con la altitud, es decir, los índices de infestación por dicha especie decrecen conforme aumenta la altitud, mientras que para la especie *T. dimidiata* no existe una tendencia clara (**Tabla 2**).

**Tabla 2.** Índice de infestación promedio (SD) de dos especies de triatominos de acuerdo con la altitud de la localidad.

Altitud (msnm)	<i>T. dimidiata</i>		<i>T. mazzottii</i>	
	2003-2006	2015-2016	2003-2006	2015-2016
120-556	0.0385 (0.0372), n=9	0.0580 (0.0285), n=9	0.0400 (0.0243), n=6	0.1167 (0.0662), n= 8
557-1017	0.1240 (0.1004), n=3	0.0361 (0.0161), n=3	0.0294, n=1	0.1052 (0.0479), n=3
1018-1420	0	0.0525 (0.0063), n=2	0	0.0910 (0.0322), n=2

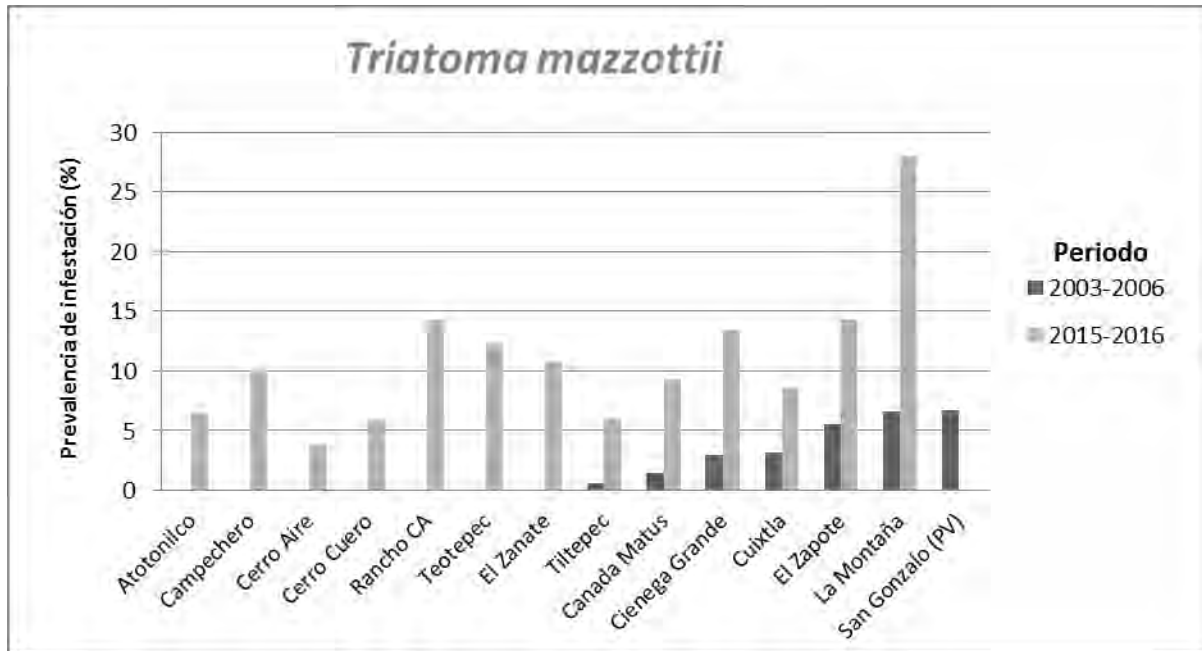
### ***Infestación por especie de triatomino***

La prevalencia de infestación promedio por la especie *T. dimidiata* no difiere temporalmente en el municipio (Mann-Whitney,  $W = 560$ ,  $p > 0.05$ ): 2.1 % (SD = 5.1 %) durante 2003-2006 y 2.1 % (SD = 3.1 %) durante 2015-2016. Si bien la proporción de localidades infestadas por *T. dimidiata* no difiere significativamente entre un periodo y otro (McNemar's chi-squared = 0.16667,  $df = 1$ ,  $p = 0.6831$ ), se observó un incremento en el número total de localidades infestadas por dicha especie (pasaron de ser 12 a 14 localidades infestadas), reportando su presencia en cuatro localidades adicionales (33.3 %) a partir de 2015: El Aguacatal, Cerro Cuero, El Zapote y Teotepec, y dejando de reportarse en otras dos (**Figura 4**). Diez localidades (83.3 %) mantuvieron infestación durante ambos periodos.



**Figura 4.** Prevalencia de infestación por *T. dimidiata* en localidades del municipio de Santos Reyes Nopala, Oaxaca. Las localidades se encuentran ordenadas de manera ascendente de acuerdo al valor de prevalencia de infestación para 2003-2006.

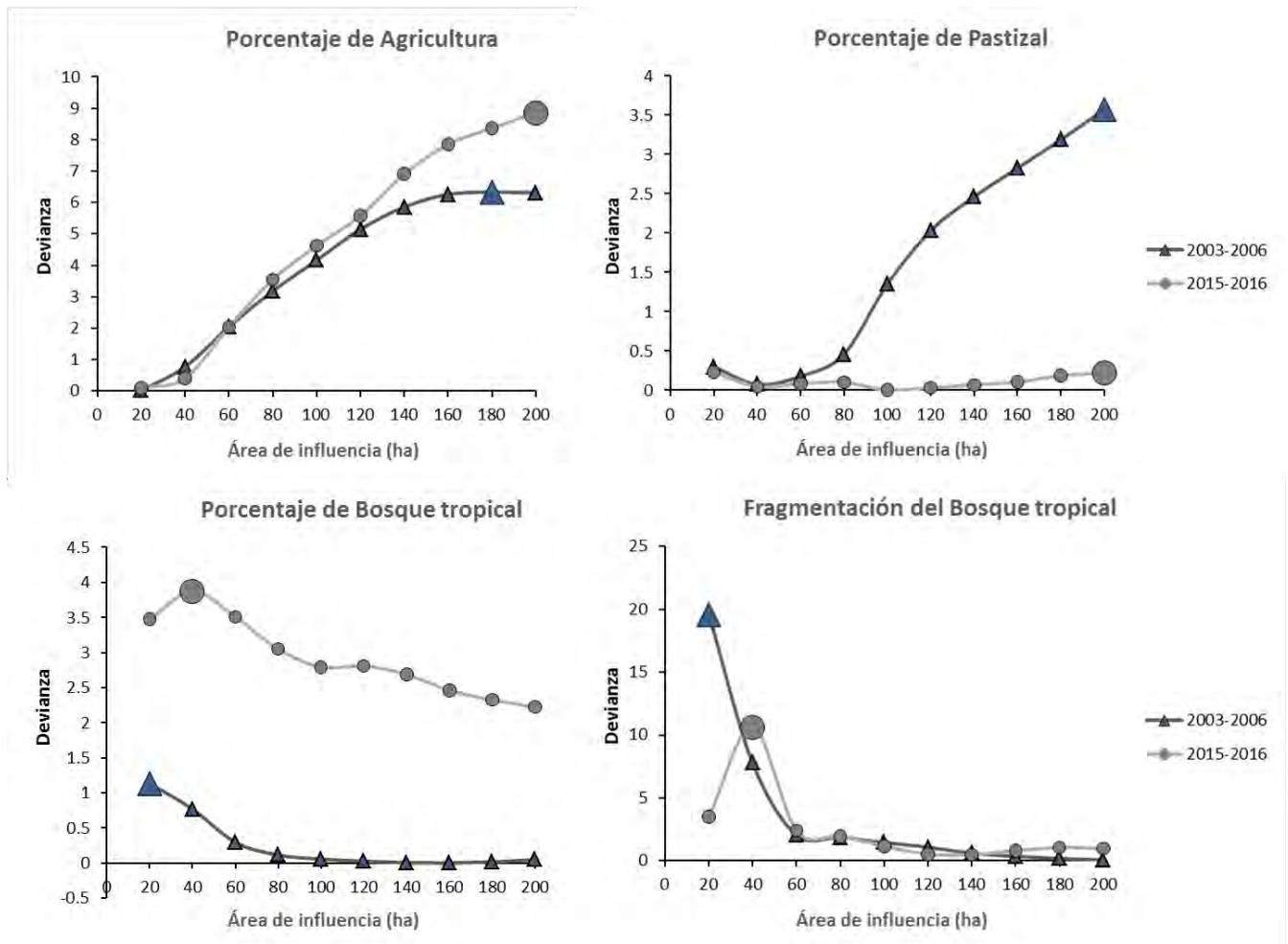
En el caso de la especie *T. mazzottii*, la comparación de la prevalencia de infestación promedio resulta en un incremento significativo al nivel municipal (Mann-Whitney,  $W = 471$ ,  $p < 0.05$ ) dado que en 2003-2006 la prevalencia de infestación promedio fue de 0.8 % (SD = 1.9 %) y para 2015-2016 la prevalencia promedio aumentó a 4.1 % (SD = 6.5 %). Si bien el número de localidades infestadas por *T. mazzottii* inicialmente era siete, se observó un aumento del 100 % en las localidades donde está presente dicha especie: se mantuvieron seis localidades infestadas (85.7 %) y se reportan siete adicionales, además de ya no estar infestada una de las originales. Sin embargo, este cambio global no es significativo (McNemar's chi-squared = 3.125,  $df = 1$ ,  $p = 0.0771$ ; **Figura 5**).



**Figura 5.** Prevalencia de infestación por *T. mazzottii* en localidades del municipio de Santos Reyes Nopala, Oaxaca. Las localidades se encuentran ordenadas de manera ascendente de acuerdo al valor de prevalencia de infestación para 2003-2006.

### **Efecto del área de influencia**

El efecto del área de influencia fue identificado como el área en la cual la estructura del paisaje predice de una mejor manera la “presencia de triatomino en hábitat doméstico”, teniendo un bajo valor de AIC y el valor más alto de devianza explicada. En la **Figura 6** se muestra el comportamiento de la variabilidad explicada en cada una de las áreas de influencia para cada variable de análisis relacionada con la estructura del paisaje. En una primera aproximación, el porcentaje en el total del paisaje ocupado por las áreas agrícola, pastizales y bosque tropical tienen una relación más fuerte en las áreas correspondientes a 180 ha, 200 ha y 20 ha respectivamente. Respecto a esta última, es notorio que las variaciones en cuanto al porcentaje ocupado por bosque tropical son importantes en un entorno inmediato al hábitat doméstico. No hubo cambios marcados en cuanto a las áreas de influencia identificadas para el segundo periodo: se detectó un efecto de área de influencia a las 200 ha para el porcentaje de agricultura y pastizal, mientras que el efecto fue más evidente en un área de 40 ha para el porcentaje y fragmentación del bosque tropical.



**Figura 6.** Evaluación del "efecto del área de influencia" en la cual la estructura del paisaje en 10 áreas de influencia predice mejor la "presencia de triatomino en hábitat doméstico". Con símbolo de mayor tamaño está señalada el área de influencia con el valor de devianza más grande y el valor de AIC más bajo.

### **Factores que influyen en la infestación de las localidades**

La identificación de los modelos *a priori* que mejor predicen la “presencia de triatomino en hábitat doméstico” se realizó en dos etapas dependiendo del periodo de estudio. Durante la primera etapa del proceso de selección de modelos, la prueba de bondad de ajuste de Hosmer y Lemeshow indicó que el modelo global se ajustó a los valores observados ( $X^2 = 7.374$ ,  $DF = 8$ ,  $p = 0.4969$ ). No existe multicolinealidad entre las variables, obteniendo valores de  $VIF < 4$ . Se encontraron tres modelos con el mayor soporte ( $\Delta AICc \leq 6$ ): (1) el modelo global, (2) el modelo que considera el efecto de la altitud, la densidad de viviendas y el porcentaje de bosque tropical en 20 ha (modelo 6) y (3) el modelo con efecto de la altitud, el porcentaje de pastizal en 200 ha y la fragmentación del bosque tropical en 20 ha (modelo 7), los cuales explican el 77.8 %, 52.7 %



y 48.4 % respetivamente, de la variación en la probabilidad de la presencia de un triatomino en una localidad (**Tabla 3**).

Todos los intervalos de confianza de la razón de momios para cada variable fueron estimados a partir de los parámetros de los modelos promediados. Las variables más importantes son aquellas en que los intervalos no se traslapan con 1, sin embargo, traslapes ligeros pueden ser reportados como importantes. Los resultados de los intervalos de confianza de la razón de momios indican que la densidad de viviendas y la altitud tienen un efecto importante sobre la “presencia del triatomino en hábitat doméstico” al nivel municipal. Se identificó una asociación de protección estadísticamente significativa, lo que sugiere que la probabilidad de “presencia del triatomino en hábitat doméstico” disminuye cuando la altitud y la densidad de viviendas aumentan (localidades a más de 1122 msnm y 21 viviendas/ha no estuvieron infestadas). Los efectos del resto de las variables de análisis fueron poco aceptables (**Tabla 4**).

**Tabla 3.** Modelos candidatos a priori que explican “la presencia de triatomino en hábitat doméstico” en 35 localidades de Santos Reyes Nopala, Oaxaca durante el periodo de estudio 2003-2006.

Modelo	Variable	$K$	$\text{Log}_e(L)$	$\text{AIC}_c$	$\Delta\text{AIC}_c$	$w_i$
<b>Global</b>	<b>Todas las variables</b>	7	-6.0501	26.2718	0	0.8077
<b>6</b>	<b>Efecto de la altitud, la densidad de viviendas por ha y el porcentaje de bosque tropical en 20 ha</b>	4	-10.9200	29.9009	3.6292	0.1316
<b>7</b>	<b>Efecto de la altitud, el porcentaje de pastizal en 200 ha y la fragmentación del bosque tropical en 20 ha</b>	4	-11.9203	31.9015	5.6298	0.0484
1	Efecto de la altitud	2	-15.4093	34.8368	8.5650	0.0112
5	Fragmentación del bosque tropical en 20 ha	2	-18.5646	41.1474	14.8757	0.0005
4	Efecto del porcentaje de pastizal en 200 ha y el porcentaje de agricultura en 180 ha	3	-18.5044	43.0454	16.7736	0.0006
Nulo		1	-23.0899	48.1859	21.9141	0.0001
3	Efecto del porcentaje de pastizal en 200 ha	2	-22.2645	48.5473	22.2755	0.0000
2	Efecto del porcentaje de bosque tropical en 20 ha	2	-22.8284	49.6750	23.4032	0.0000

$K$ , número de parámetros estimado para cada modelo;  $\text{Log}_e(L)$ , función logística de máxima verosimilitud;  $\text{AIC}_c$ , criterio de información de Akaike;  $\Delta\text{AIC}_c$ , diferencia de  $\text{AIC}_c$  y  $w_i$  pesos de Akaike. En negritas se resaltan los modelos con mayor soporte.

**Tabla 4.** Coeficientes de regresión de los modelos promediados (COEF), errores estándar (SE), razón de momios (OR) e intervalos de confianza (IC) del 95 %, a partir de los modelos de la infestación por triatomíneos durante el periodo 2003-2006. \* = Variable considerada como importante.

Variable	$\Sigma w_i$	COEF	EE	OR (IC 95%)
<b>Altitud</b>	0.9988	-0.0055	0.0034	0.9945 (0.9879-1.0011) *
<b>Porcentaje de Bosque tropical en 20 ha</b>	0.9393	0.0572	0.1014	1.0588 (0.8680-1.2917)
<b>Porcentaje de Pastizal en 200 ha</b>	0.8567	0.2359	0.1693	1.2660 (0.9086-1.7641)
<b>Porcentaje de Agricultura en 180 ha</b>	0.8083	0.3230	0.1937	1.3813 (0.9451-2.0190)
<b>Fragmentación del bosque tropical en 20 ha</b>	0.8566	0.0201	0.0326	1.0203 (0.9571-1.0876)
<b>Densidad de viviendas por ha</b>	0.9393	-0.3386	0.1982	0.7128 (0.4833-1.0513) *

En la segunda etapa del proceso de selección de modelos, de acuerdo con la prueba de bondad de ajuste de Hosmer y Lemeshow el modelo global muestra un ajuste a los valores observados ( $X^2 = 4.8626$ ,  $DF = 8$ ,  $P = 0.7722$ ). Estrictamente fueron cuatro los modelos equivalentes al mejor modelo ( $\Delta AICc \leq 2$ ), siendo el modelo con mayor soporte el que incluye el efecto de la fragmentación del bosque tropical en 40 ha (modelo 5). Sin embargo, todos los modelos incluyendo el modelo global y nulo tienen un  $\Delta AICc \leq 6$  (**Tabla 5**). La variación explicada por el mejor modelo es del 11.2 %, aunque el modelo global explica el 23.3 % de la variación en la probabilidad de “presencia de un triatómimo en hábitat doméstico”. Los intervalos de confianza de la razón de momios que no tienen un traslape con 1.0 o el traslape es ligero, sugieren reportar como variables importantes tanto la altitud como el porcentaje de bosque tropical en un área de 40 ha (**Tabla 6**). En este caso, la asociación de protección sugiere que la probabilidad de “presencia del triatómimo en hábitat doméstico” disminuye conforme el porcentaje de bosque tropical aumenta.

**Tabla 5.** Modelos candidatos a priori que explican la “presencia de triatomino en hábitat doméstico” en 35 localidades de Santos Reyes Nopala, Oaxaca durante el periodo de estudio 2015-2016.

Modelo	Variable	$K$	$\text{Log}_e(L)$	$\text{AIC}_c$	$\Delta\text{AIC}_c$	$w_i$
<b>5</b>	<b>Fragmentación del bosque tropical en 40 ha</b>	2	-21.2317	46.4816	0.0000	0.1598
<b>1</b>	<b>Efecto de la altitud</b>	2	-21.3266	46.6714	0.1898	0.1453
<b>6</b>	<b>Efecto de la altitud, la densidad de viviendas por ha y el porcentaje de bosque tropical en 40 ha</b>	4	-19.3715	46.8040	0.3225	0.1360
<b>7</b>	<b>Efecto de la altitud, el porcentaje de pastizal en 200 ha y la fragmentación del bosque tropical en 40 ha</b>	4	-19.4704	47.0018	0.5202	0.1232
<b>4</b>	<b>Efecto del porcentaje de pastizal en 200 ha y el porcentaje de agricultura en 200 ha</b>	3	-20.5870	47.2105	0.7289	0.1110
Nulo		1	-23.9018	49.8096	3.3281	0.0908
2	Efecto del porcentaje de bosque tropical en 40 ha	2	-22.9762	49.9707	3.4891	0.1675
Global	Todas las variables	7	-18.3257	50.8229	4.3413	0.0547
3	Efecto del porcentaje de pastizal en 200 ha	2	-23.8486	51.7152	5.2337	0.0117

$K$ , número de parámetros estimado para cada modelo;  $\text{Log}_e(L)$ , función logística de máxima verosimilitud;  $\text{AIC}_c$ , criterio de información de Akaike;  $\Delta\text{AIC}_c$ , diferencia de  $\text{AIC}_c$  y  $w_i$  pesos de Akaike. En negritas se resaltan los modelos con mayor soporte.

**Tabla 6.** Coeficientes de regresión de los modelos promediados (COEF), errores estándar (SE), razón de momios (OR) e intervalos de confianza (IC) del 95 % a partir de los modelos de la infestación por triatominos durante el periodo 2015-2016. \* = Variable considerada como importante.

Variable	$\Sigma w_i$	COEF	EE	OR (IC 95%)
<b>Altitud</b>	0.4592	-0.0024	0.0012	0.9976 (0.9952-1.0000) *
<b>Porcentaje de Bosque tropical en 40 ha</b>	0.3582	-0.0244	0.0193	0.9759 (0.9397-1.0136) *
<b>Porcentaje de Pastizal en 200 ha</b>	0.3006	0.0294	0.0538	1.0299 (0.9268-1.1444)
<b>Porcentaje de Agricultura en 200 ha</b>	0.1657	0.0597	0.0375	1.0615 (0.9863-1.1425)
<b>Fragmentación del bosque tropical en 40 ha</b>	0.3377	0.0062	0.0039	1.0062 (0.9984-1.0140)
<b>Densidad de viviendas por ha</b>	0.1907	0.0238	0.0805	1.0241 (0.8746-1.1990)

## 5. DISCUSIÓN

El enfoque de análisis multivariado ha sido ampliamente utilizado para determinar los factores de peligro que explican la infestación doméstica por triatominos (Enger et al. 2004; Ramsey et al. 2005; Gurevitz et al. 2011; Roux et al. 2011a; Vazquez-Prokopec et al. 2012; Dumonteil et al. 2013; Bustamante et al. 2014; Nogared et al. 2015). Este es uno de los primeros trabajos realizados en un área rural de México donde el enfoque utilizado fue la inferencia estadística a partir de la teoría de información (Symonds & Moussalli 2011). Cabe resaltar que se trata del primer estudio que identifica los elementos del paisaje que son más importantes para la presencia de triatominos en el hábitat doméstico de una zona rural de Oaxaca. Aunque como antecedente, se han analizado las características abióticas y las variables ambientales que definen el nicho climático de los triatominos vectores, como la altitud y la precipitación media anual (Ramsey et al. 2000; Ramsey et al. 2015). Los estudios de Enger et al. (2004) y Ramsey et al. (2012) en Morelos, y de Dumonteil et al. (2013) y López-Cancino et al. (2015) en la Península de Yucatán, han identificado factores de peligro de infestación por triatominos en el hábitat doméstico en zonas rurales. En un área urbana (zona metropolitana de Cuernavaca), fue también analizado el efecto de la altitud en los índices de infestación (Ramsey et al. 2005). Son escasos los estudios donde se contempla el uso y modificación del paisaje a consecuencia de la actividad humana como factores de peligro de la infestación doméstica (Gorla et al. 2009; Gottdenker et al. 2011; Vazquez-Prokopec et al. 2012; Valdez-Tah et al. 2015a,b).

El riesgo de contacto vector-humano en el hábitat doméstico no es enteramente explicado por la calidad y carencias de la vivienda, como la vasta literatura sobre la epidemiología de la enfermedad de Chagas lo señalan (Bustamante et al. 2009; Pacheco-Tucuch et al. 2012; Carrillo-Peraza et al. 2014; Sandoval-Ruiz et al. 2014; Nogared et al. 2015). Los resultados del presente estudio muestran evidencia de que la pérdida de bosque tropical, en combinación con la densidad de viviendas en el hábitat doméstico, y la altitud, están asociados con un incremento en la probabilidad de infestación de las localidades por dos especies de triatominos en el municipio de Santos Reyes Nopala, Oaxaca. Las tres variables también fueron identificadas como los principales factores de protección en otros estudios realizados con vectores mexicanos tal como en los de Suramérica (Ramsey et al. 2000; Ramsey et al. 2005; Vazquez-Prokopec et al. 2012). La pérdida de superficie ocupada por bosques tropicales para su conversión en áreas

agropecuarias favorece la presencia de triatominos en el hábitat doméstico humano como lo registrado por Gottdenker et al. (2011), y por Vazquez-Prokopec et al. (2012). Los bosques tropicales albergan una gran diversidad de hospederos reservorios del parásito *T. cruzi* y hospederos de los triatominos, y su modificación altera las comunidades de mamíferos silvestres, así como ofrece fuentes alternativas de hospederos (Ibarra-Cerdeña et al. 2017). Los triatominos en hábitats modificados encuentran alimento abundante y continuo con el ganado, los animales domésticos y la población humana, aunque en el presente estudio las áreas agrícolas o pastizales *per se* no tuvieron efecto significativo sobre la infestación en las localidades (Solís-Franco et al. 1997; Ramsey et al. 2012; López-Cancino et al. 2015). Uno de los principales roedores considerado plaga para cultivos, la rata algodonera *Sigmodon hispidus*, tiene elevadas tasas de infección por *T. cruzi* (23.3 %) en áreas modificadas lo que mantiene alta fuente del parásito y su flujo entre el hábitat doméstico y el ecotono (López-Cancino et al. 2015). Asimismo, la cantidad de huevos producidos por las hembras de triatominos y la dispersión de los machos están correlacionadas con la cantidad de alimento ingerido, el cual es más abundante en áreas modificadas (Reyes-Novelo et al. 2011).

En un estudio realizado al noroeste de Argentina, la infestación doméstica por *T. infestans* se agrupa en áreas con alta densidad de viviendas rurales (Vazquez-Prokopec et al. 2012). Los esfuerzos gubernamentales para abatir la pobreza en el municipio se reflejan en la disminución consistente de las carencias tales como el mejoramiento de las condiciones de las viviendas y el suministro de servicios básicos (SEDESOL 2017), debido a la implementación de diversos programas para dignificar dicho espacio como el Programa Vivienda Digna “Piso Firme” y el Programa de Apoyo a la Vivienda “Estrategia Vivir Mejor” (Ayuntamiento de Nopala 2014). Sin embargo, estos programas han promovido la construcción de viviendas (frecuentemente sin la destrucción de viviendas viejas), el subsecuente desarrollo de las actividades productivas y con ello el inminente contacto con poblaciones silvestres de triatominos. Un ejemplo de ello es el caso particular de la localidad El Aguacatal, donde a partir de 2006 se reportó la presencia de *T. dimidiata* en el hábitat doméstico (prevalencia de infestación del 5.9 %). Desde 2011, la localidad es apoyada por el Programa Estratégico para la Seguridad Alimentaria (PESA) promovido con el apoyo técnico de la Food and Agriculture Organization (FAO) con el fin de incrementar la producción de alimentos y el ingreso de los campesinos y pequeños productores agrícolas en zonas marginadas del país (CONEVAL 2015; SAGARPA & FAO 2015). Por ello,

la localidad se caracterizó por la expansión de la frontera agrícola y la subsecuente separación de grandes fragmentos de bosque tropical. Las áreas anteriormente destinadas para el pastoreo, en la actualidad son empleadas para el cultivo de la caña de azúcar. Dos tercios de las viviendas en esta localidad tienen piso de tierra, calidad de la vivienda que favorece el camuflaje de la especie *T. dimidiata* dentro de la vivienda (Zeledón et al. 1973).

En el municipio se registran un total de cinco especies de triatominos, solo dos de estas han proliferado en el área doméstica humana: *Triatoma dimidiata* y *T. mazzottii*, y el último en una década ha incrementado su presencia en el número de localidades infestadas (Ramsey et al. 2000; Galvão et al. 2003; Ibarra-Cerdeña et al. 2009; Ramsey et al. 2015). El estilo de vida rural (movimiento continuo entre el hábitat doméstico y el área de cultivo o hábitat silvestre) y las características de las viviendas (i.e. viviendas con piso de tierra, techo de lámina y paredes de tablones de madera) prevalecen en gran parte del territorio del municipio, más aún en los asentamientos más pequeños (Ramsey en prensa). Las variables de características de las viviendas no fueron incluidas en los modelos de este estudio, debido a que en todas las localidades las viviendas presentan alto peligro de infestación por triatominos (Enger et al. 2004; Gurevitz et al. 2011; Villalobos et al. 2011; Bustamante et al. 2014; Sandoval-Ruiz et al. 2014). Asimismo, en todas las localidades, la población comparte la vivienda con animales domésticos y pecuarios (gallinas, perros y gatos), así como silvestres invasoras, lo que convierte estos factores determinantes en universales en el municipio (Zavala-Velázquez et al. 1996; Enger et al. 2004; Ramsey et al. 2005; Estrada-Franco et al. 2006; Bustamante et al. 2009; Gurevitz et al. 2011; Villalobos et al. 2011; Ramsey et al. 2012; Carabarin-Lima et al. 2013; Dumonteil et al. 2013; Gürtler & Yadon 2015).

Las condiciones climáticas y topográficas óptimas en las cuales ambas especies están presentes coinciden tanto en el rango de precipitación y temperatura como en el rango altitudinal: para la especie *T. dimidiata* el rango altitudinal abarca desde los 500-1440 msnm y el de temperatura desde los 12 hasta los 26°C, mientras que la especie *T. mazzottii* es encontrada en lugares desde los 15 hasta los 750 msnm y con una variación en la temperatura de los 22 a más de 26°C (Ramsey et al. 2000). Sin embargo, Ramsey et al. (2015) reportan una variación más amplia en el gradiente altitudinal en que ambas especies pueden ser encontradas, al considerar todas las regiones donde estas especies han sido registradas. Dichas variaciones son congruentes

con los resultados de este estudio, donde ambas especies fueron encontradas en un rango que va desde los 120 msnm hasta los 1017 msnm durante el primer periodo de estudio y en localidades por encima de los 1200 msnm en el segundo periodo de estudio. Como resultado, en los últimos 13 años, para ambas especies de triatomíneos se ha presentado una ampliación en el gradiente altitudinal de su distribución, llegando hasta los 1785 msnm para *T. mazzottii* y 1395 msnm para *T. dimidiata* (Ramsey et al. 2015).

La evidencia epidemiológica encontrada en este estudio indica que la infestación a nivel municipal se ha duplicado con el tiempo y que dicho cambio se debe principalmente a un incremento en la infestación por la especie *T. mazzottii*. Se trata de una especie asociada tanto con bosques tropicales como templados (Ramsey et al. 2003; Ramsey et al. 2015) y con alta capacidad para alimentarse de sangre de aves con un desarrollo ventajoso (Martínez-Ibarra et al. 2006). Es probable que los procesos de deforestación, legal o ilegal, que tienen lugar en la Sierra Sur de Oaxaca provoquen la dispersión activa y/o pasiva de la especie (Emanuel & Greenberg 2000; Velázquez et al. 2003).

La prevalencia de infestación por *T. mazzottii* en este estudio de 0.8 % a 4.1 % está por debajo del rango previamente reportado, que oscila entre 4.2 a 33.3 % (Ramsey et al. 2000; Ramsey et al. 2003; Enger et al. 2004; Ramsey et al. 2005). Con un incremento del 100% en el número de localidades infestadas por *T. mazzottii*, al igual que un aumento significativo en el porcentaje de viviendas infestadas (índice de infestación), la especie se mantiene como el vector predominante no sólo en el municipio, sino también en el estado de Oaxaca (Ramsey et al. 2000; Salazar-Schettino et al. 2010).

Una limitación del estudio está dada por la incapacidad de explicar las variaciones en los cambios de infestación entre las localidades del municipio. Dichas variaciones pueden deberse a la presencia transitoria y baja abundancia de insectos triatomíneos en el hábitat doméstico. El valor predictivo positivo (94.7 %) indica que algunas viviendas podrían ser erróneamente clasificadas como no infestadas debido a que existen pobladores que aún no tienen conocimiento sobre la enfermedad y sus vectores. Sin embargo, después de establecer el programa de concientización y colecta de vectores por parte de la población, la capacidad de reconocer correctamente un vector tiene alto valor predictivo positivo y negativo (73.4 %), es decir, los pobladores conocen e identifican correctamente al vector. Algunos autores señalan que la

participación de la comunidad en el monitoreo de la infestación doméstica es un método con buenos resultados para el registro constante de reportes de infestación (Dumonteil et al. 2009; Roux et al. 2011b; Valdez-Tah et al. 2015b).

Para evitar el contacto vector-humano, es necesario tomar medidas preventivas en el paisaje completo, esto es, tanto en el hábitat doméstico y ecotono como en el hábitat selvático. Acciones como el uso de mosquiteros en ventanas o pabellón sobre la cama, alejamiento de los corrales y otras estructuras que se encuentren en el peridoméstico, al igual que el mejoramiento de la vivienda ayuda a reducir la colonización por triatominos en el hábitat doméstico (Ramsey et al. 2003; Dumonteil et al. 2013; Bustamante et al. 2014; Nogared et al. 2015; Valdez-Tah et al. 2015b). Los programas institucionales de sectores asociados (agropecuario, ambiental), requieren revisión para que no existan recomendaciones negativas que promuevan y amplifiquen el peligro para la infestación en las localidades. A pesar de que las campañas de información relacionadas con la prevención de contacto entre vector y la población han tenido impacto en la reducción del número de avistamientos del vector, el peligro para la infestación es latente. El riesgo aumentó a pesar de la concientización y reconocimiento por la población (componentes de la vulnerabilidad). Con base en los resultados obtenidos, se sugiere priorizar las estrategias de información y de vigilancia comunitaria para los triatominos en las localidades de menor altitud del municipio. Es en estos lugares donde la economía de subsistencia mantiene las características propias del estilo de vida rural traducido en condiciones de pobreza y la sobreexplotación de los recursos naturales encontrados en los alrededores (Ayuntamiento de Nopala 2014; Ramsey en prensa). Asimismo, las diferentes actividades productivas (i.e. expansión agrícola) han propiciado la pérdida de bosque tropical, hábitat natural de los triatominos reportados en el municipio. Por lo que se debe promover un diálogo entre la población, el sector agropecuario, el sector salud y el académico, para encausar programas y actividades de gobierno que mitigan el peligro para la enfermedad de Chagas (Ibarra-Cerdeña et al. 2009).



## 6. CONCLUSIONES

- En el presente trabajo se analizó por primera vez la influencia de variables estructurales del paisaje, la densidad de viviendas y la elevación sobre la presencia de triatominos en el hábitat doméstico de áreas rurales en el municipio de Santos Reyes Nopala, Oaxaca durante dos periodos de estudio (2003-2006 y 2015-2016).
- En el municipio, la vivienda rural promedio se caracteriza por tener piso de tierra, techado de lámina y paredes elaboradas con tablones de madera, además de compartir el hábitat doméstico con mascotas, animales domésticos y silvestres. Estas condiciones propias del estilo de vida rural afectan la susceptibilidad de la vivienda a ser invadida por un insecto triatomo y el subsecuente desarrollo de colonias domésticas.
- Se encontraron dos especies de triatominos infestando el hábitat doméstico: *Triatoma dimidiata* y *T. mazzottii*. Sin embargo, también se ha reportado la presencia de *Rhodnius prolixus*, el principal vector de *Trypanosoma cruzi* en Centro y Suramérica.
- La prevalencia de infestación a nivel municipal oscila entre 0.4 % y 29 %. A nivel de especie, la prevalencia de infestación por *T. dimidiata* se mantuvo constante: 2.1 %  $\pm$  5.1 % durante 2003-2006 y 2.1 %  $\pm$  3.1 % durante 2015-2016. Por otro lado, se observó un incremento significativo en la prevalencia de infestación por *T. mazzottii* (0.8 %  $\pm$  1.9 % y 4.1 %  $\pm$  6.5 % para el primer y segundo periodo respectivamente), además de un aumento del 100% en localidades donde dicha especie está presente.
- La especie *T. mazzottii* es el vector que más prevalece en todo el municipio, lo que sustenta su importancia epidemiológica como el principal vector del agente causal de la enfermedad de Chagas no solo en el municipio sino en el estado de Oaxaca.
- De acuerdo con el modelo de mayor soporte, en ambos periodos de estudio, el efecto sinérgico entre la altitud, la densidad de viviendas y el porcentaje de bosque tropical predicen de una mejor manera la infestación doméstica por triatominos en las localidades rurales del municipio.
- La altitud se mantuvo como el factor de protección en ambos periodos de estudio, esto sugiere que la elevación es un factor determinante para la presencia de triatominos en el hábitat doméstico. Ambas especies de triatominos muestran un traslape en su rango de distribución altitudinal, con un límite inferior de 120 msnm y superior de 1287 msnm.

- La pérdida de bosques tropicales favorece el contacto vector-humano debido a la reducción de fuentes de alimento silvestres y la subsecuente dispersión de los triatominos en búsqueda del recurso alimenticio.
- Los diferentes programas gubernamentales implementados en varias de las localidades pueden tener consecuencias directas o indirectas (positivas o negativas) sobre la prevalencia de infestación. Un ejemplo de ello es el PESA, Programa Estratégico para la Seguridad Alimentaria, el cual otorga apoyos a pequeños productores y fomenta la producción de alimentos. En particular, se observó un incremento en la prevalencia de infestación en una localidad apoyada por mencionado programa.
- Se debe promover el diálogo entre la población y los diferentes sectores institucionales (agropecuario, de salud y académico), para evitar recomendaciones que promuevan o amplifiquen la infestación de las localidades, y establecer programas y actividades que mitiguen el peligro para la enfermedad de Chagas latente en el municipio.
- Es necesario retomar las campañas de información para que todos los pobladores en el municipio tengan conocimiento sobre la enfermedad de Chagas, sus vectores, como prevenir la transmisión y que acciones tomar en caso de padecer la enfermedad.
- Se sugiere priorizar las medidas de vigilancia y control de vectores en las partes de menor altitud en el municipio, donde la economía de subsistencia mantiene las características propias del estilo de vida rural traducido en condiciones de pobreza y la sobreexplotación de los recursos naturales.
- Es importante tomar medidas preventivas para evitar el contacto vector-humano en el paisaje completo, dado las diferentes relaciones que los pobladores establecen con su entorno natural. Acciones como el almacenaje de alimentos y confinamiento de animales en lugares lejanos al hábitat doméstico, al igual que el uso de pabellones durante la noche en el caso de dormir en las áreas de pastoreo, ayudarán a prevenir la exposición de los humanos al vector.
- El enfoque de paisaje con la finalidad de determinar patrones espaciales relacionados con enfermedades transmitidas por vectores ha sido poco abordado e incluido en estudios epidemiológicos. El uso de dicho enfoque brinda una oportunidad para discriminar los diferentes componentes del paisaje que influyen en la infestación doméstica. Los resultados constituyen la base para elaborar medidas de control de vectores enfocados a

procesos locales, lo que facilita la implementación de acciones a corto y mediano plazo para frenar la transmisión de ETV.

- En continuidad al presente trabajo, se sugiere realizar diversos estudios para determinar las tasas de infección por *T. cruzi* en las diferentes especies de triatomíneos y reservorios, la disponibilidad de reservorios y hospederos del vector (por ejemplo, abundancia), y el flujo génico del parásito para esclarecer la relación parásito- reservorio-vector presente en el municipio.

## 7. ANEXOS

**Anexo 1.** Tarjeta de identificación de Reduidos utilizada para las encuestas, en la cual se incluyen tres especies de vectores del parásito *T. cruzi*: *Rhodnius prolixus*, *Triatoma dimidiata* y *T. mazzottii*, código 1, 6, 7 y 13 respectivamente.



*Anexo 2.* Datos espaciales de las 35 localidades que comprenden el área de estudio.

<b>Clave INEGI</b>	<b>Código</b>	<b>Localidad</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Altitud (msnm)</b>
28	1	Aguacatal	1781337	689475	887.95
29	2	Armadillo	1785236	688148	1320.67
47	3	Atotonilco	1781423	694509	555.68
101	4	Campechero	1767936	681765	120.12
31	5	Cañada de las flores	1786456	692457	1239.55
32	6	Cañada Matus	1778927	700007	548.90
46	7	Carmen	1775652	698677	846.39
52	8	Carrizal	1783384	689933	924.07
08	9	Cerro Aire	1781933	691958	668.32
96	10	Cerro Cuero	1785877	685897	1286.67
82	11	Cerro Enmedio	1785234	688753	1345.82
51	12	Cerro Iglesia	1783350	689074	1010.17
97	13	Cerro Niño	1785828	687471	1418.11
80	14	Ciénega Grande	1780325	688459	1017.08
35	15	Constancia	1789143	687659	1368.42
20	16	Cuixtla	1776529	694118	413.04
83	17	Hierba Santa	1787033	691739	1360.58
37	18	Lucero	1776091	698758	750.98
11	19	Mapache	1774341	688353	370.35
24	20	Matraca	1781762	687988	893.11
41	21	Montaña	1768853	693494	215.82
39	22	Perla	1782062	700758	539.76
100	23	Rancho Cerro Aire	1781636	691115	745.12
92	24	Rancho Cuixtla	1776062	690194	421.49
63	25	Rancho Viejo	1771241	694997	438.15
17	26	Recodo	1772796	694138	357.58
42	27	San Gonzalo	1775929	699088	805.57
45	28	San Lucas	1776071	698453	774.27
15	29	San Gonzalo Pueblo Viejo	1775482	689786	377.93
21	30	Sinaí	1784259	702281	1122.10
18	31	Teotepec	1785585	691800	1216.06
19	32	Tiltepec	1776810	695725	508.08
49	33	Zacatal	1782224	689520	813.93
44	34	Zanate	1784114	697848	539.93
23	35	Zapotalito	1770951	692287	290.13

## REFERENCIAS

- Abad-Franch, F., Lima, M. M., Sarquis, O., Gurgel-Goncalves, R., Sánchez-Martín, M., Calzada, J., Saldaña, A., Monteiro, F. A., Palomeque, F. S., Santos, W. S., Angulo, V. M., Esteban, L., Dias, F. B. S., Diotaiuti, L., Bar, M. E., & Gottdenker, N. L. (2015). On palms, bugs, and Chagas disease in the Americas. *Acta Tropica*, 151, 126–141.
- Aguilera, F. (2010). Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el Área Metropolitana de Granada. *Anales de Geografía de La Universidad Complutense*, 30(2), 9–29.
- Alvarado-Otegui, J. A., Ceballos, L. A., Orozco, M. M., Enriquez, G. F., Cardinal, M. V., Cura, C., Schijman, A. G., Kitron, U., & Gürtler, R. E. (2012). The sylvatic transmission cycle of *Trypanosoma cruzi* in a rural area in the humid Chaco of Argentina. *Acta Tropica*, 124(1), 79–86.
- Amieva, C. (2013). El Chagas y las Ciencias Sociales: una mirada necesaria para una problemática compleja. *La Colmena*, 6(1), 28–39.
- Ayuntamiento de Nopala. (2005). Plan para el desarrollo integral, sustentable y pluricultural. Santos Reyes Nopala, Oaxaca.
- Ayuntamiento de Nopala. (2008). Plan municipal de desarrollo rural sustentable. Santos Reyes Nopala, Oaxaca.
- Ayuntamiento de Nopala. (2014). Plan municipal de desarrollo 2014-2016. Santos Reyes Nopala, Oaxaca.
- Barbu, C., Dumonteil, E., & Gourbière, S. (2010). Characterization of the dispersal of non-domiciliated *Triatoma dimidiata* through the selection of spatially explicit models. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 4(8), e777.
- Barrios, J., Verstraeten, W., Maes, P., Aerts, J., Farifteh, J., & Coppin, P. (2013). Seasonal vegetation variables and their impact on the spatio-temporal patterns of nephropathia epidemica and Lyme borreliosis in Belgium. *Applied Geography*, 45(2013), 230–240.
- Boquin, G. (2007). A geographical investigation of Chagas disease risk in the community of La Brea, Guatemala. Louisiana State University, Agricultural and Mechanical College.

- Botequilha, A., Miller, J., Ahern, J., & McGarigal, K. (2006). *Measuring landscapes: a planner's handbook*. Washington, D.C.: Island press.
- Brito, D., Astua de Moraes, D., Lew, D., Soriano, P., Emmons, L., Cuarón, A. D., Helgen, K., Reid, R., & Vazquez, E. (2008). *Didelphis marsupialis*. Accesado el 21 de Abril de 2016, <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T40501A10319068.en>
- Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (2002). Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach. *Ecological Modelling* (Segunda edición, Vol. 172). New York: Springer Verlag.
- Bustamante, D. M., De Urioste-Stone, S. M., Juárez, J. G., & Pennington, P. M. (2014). Ecological, social and biological risk factors for continued *Trypanosoma cruzi* transmission by *Triatoma dimidiata* in Guatemala. *PLoS ONE*, 9(8), e104599.
- Bustamante, D. M., Monroy, C., Pineda, S., Rodas, A., Castro, X., Ayala, V., Quiñonez, J., Moguel, B., & Trampe, R. (2009). Risk factors for intradomiciliary infestation by the Chagas disease vector *Triatoma dimidiata* in Jutiapa, Guatemala. *Cadernos de Saúde Pública*, 25(1), S83–S92.
- Caballero, J., Cortés, L., Martínez-Alfaro, M. A., & Lira-Saade, R. (2004). Uso y manejo tradicional de la diversidad vegetal. En A. J. García-Mendoza, M. de J. Ordóñez, & M. Briones-Salas (Eds.), *Biodiversidad de Oaxaca* (Primera edición, pp. 541–564). México: Instituto de Biología, UNAM, Fondo oaxaqueño para la conservación de la naturaleza, World Wildlife Fund.
- Cameron, G. N., & Spencer, S. R. (1981). *Sigmodon hispidus*. *Mammalian Species*, (158), 1–9.
- Carabarin-Lima, A., González-Vázquez, M. C., Rodríguez-Morales, O., Baylón-Pacheco, L., Rosales-Encina, J. L., Reyes-López, P. A., & Arce-Fonseca, M. (2013). Chagas disease (American trypanosomiasis) in Mexico: An update. *Acta Tropica*, 127, 126–135.
- Carrillo-Peraza, J. R., Manrique-Saide, P., Rodríguez-Buenfil, J. C., Escobedo-Ortegón, J. F., Rodríguez-Vivas, R. I., Bolio-González, M. E., Barrera-Pérez, M., Reyes-Novelo, E., & Sauri-Arceo, C. H. (2014). Estudio serológico de la Tripanosomiasis Americana y factores asociados en perros de una comunidad rural de Yucatán, México. *Archivos de Medicina*

Veterinaria, 46, 75–81.

- CFSPH. (2009). American Trypanosomiasis (Chagas Disease ). Accesada el 9 de Marzo de 2016, [http://www.cfsph.iastate.edu/Factsheets/pdfs/trypanosomiasis\\_american.pdf](http://www.cfsph.iastate.edu/Factsheets/pdfs/trypanosomiasis_american.pdf)
- Cruz-Reyes, A., & Camargo-Camargo, B. (2001). Glosario de términos en parasitología y ciencias afines (Primera edición). México: Instituto de Biología, UNAM, Programa Universitario de Investigación en Salud, UNAM, Plaza y Valdés, S.A. de C.V.
- Cruz-Reyes, A., & Pickering-López, J. M. (2006). Chagas disease in Mexico: An analysis of geographical distribution during the past 76 years - A review. *Memorias Do Instituto Oswaldo Cruz*, 10(4), 345–354.
- Currin, F. (2007). Chagas in culture and place: a mixed methods approach to new medical geography of Chagas disease in Los Tuxtlas, Mexico. Louisiana State University, Agricultural and Mechanical College.
- De la Vega, S., Téllez, Y., & López, J. (2010). Índice de Marginación por localidad 2010. Consejo Nacional de Población. México, D. F.
- DGE. (2017). Boletín Epidemiológico, Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica, Sistema Único de Información. Ciudad de México.
- Dumonteil, E., Nouvellet, P., Rosecrans, K., Ramirez-Sierra, M. J., Gamboa-León, R., Cruz-Chan, V., Rosado-Vallado, M., & Gourbière, S. (2013). Eco-Bio-Social determinants for house infestation by non-domiciliated *Triatoma dimidiata* in the Yucatan Peninsula, Mexico. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 7(9), e2466.
- Dumonteil, E., Ramirez-Sierra, M. J., Ferral, J., Euan-Garcia, M., & Chavez-Nuñez, L. (2009). Usefulness of community participation for the fine temporal monitoring of house infestation by non-domiciliated triatomines. *The Journal of Parasitology*, 95(2), 469–471.
- Emanuel, R. M., & Greenberg, J. B. (2000). Lluvia Enojada-Tyoo Kuasi?: The Political Ecology of Forest Extraction in the Sierra Chatina, Oaxaca, Mexico. *Journal of Political Ecology*, 7, 43–64.
- Enger, K. S., Ordoñez, R., Wilson, M. L., & Ramsey, J. M. (2004). Evaluation of risk factors for



- rural infestation by *Triatoma pallidipennis* (Hemiptera: Triatominae), a Mexican vector of Chagas disease. *Journal of Medical Entomology*, 41(4), 760–767.
- Estrada-Franco, J. G., Bhatia, V., Diaz-Albiter, H., Ochoa-García, L., Barbabosa, A., Vazquez-Chagoyan, J. C., Martinez-Perez, M. A., Guzmán-Bracho, C., & Garg, N. (2006). Human *Trypanosoma cruzi* infection and seropositivity in dogs, Mexico. *Emerging Infectious Diseases*, 12(4), 624–630.
- Etter, A. (1991). *Introducción a la Ecología del Paisaje*. Bogotá, Colombia.
- FAO. (1996). *Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes*.
- Ferrer, E., Lares, M., Viettri, M., & Medina, M. (2013). Comparación entre técnicas inmunológicas y moleculares para el diagnóstico de la enfermedad de Chagas. *Enfermedades infecciosas y microbiología clínica*, 31(5), 277–282.
- Forman, R. T., & Godron, M. (1986). *Landscape Ecology*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Fritzell, E. K., & Haroldson, K. J. (1982). *Urocyon cinereoargenteus*. *Mammalian Species*, (189), 1–8.
- Galvão, C., Carcavallo, R. U., Da Silva, D., & Jurberg, J. (2003). A checklist of the current valid species of the subfamily Triatominae Jeannel, 1919 (Hemiptera, Reduviidae) and their geographical distribution, with nomenclatural and taxonomic notes. *Zootaxa*, 36(202), 1–36.
- Gannon, M. R., Willig, M. R., & Knox, J. (1989). *Sturnira lilium*. *Mammalian Species*, (333), 1–5.
- Gergel, S. E., & Turner, M. G. (2002). *Learning landscape ecology : a practical guide to concepts and techniques*. New York: Springer Verlag.
- Goldsmith, R. S., Zarate, R. J., Zarate, L. G., Kagan, I., Jacobson, L. B., & Morales, G. (1986). Estudios clinicos y epidemiologicos de la enfermedad de Chagas en Oaxaca, Mexico, y un estudio complementario de siete años 1. Cerro del Aire. *Bol of Sanit Panam*, 100(2).
- Gorla, D. E., Porcasi, X., Hrellac, H., & Catalá, S. S. (2009). Spatial stratification of house infestation by *Triatoma infestans* in La Rioja, Argentina. *American Journal of Tropical*

- Medicine & Hygiene, 80(3), 405–409.
- Gorla, D., Porcasi, X., & Scavuzzo, M. (2011). El paisaje y su interacción con actividades de control de la enfermedad de Chagas en áreas rurales de Argentina. In Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (pp. 8381–8388). Brasil.
- Gottdenker, N. L., Calzada, J. E., Saldaña, A., & Carroll, C. R. (2011). Association of anthropogenic land use change and increased abundance of the chagas disease vector *Rhodnius pallescens* in a rural landscape of Panama. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 84(1), 70–77.
- Gottdenker, N. L., Chaves, L. F., Calzada, J. E., Saldaña, A., & Carroll, C. R. (2012). Host life history strategy, species diversity, and habitat influence *Trypanosoma cruzi* vector infection in changing landscapes. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 6(11), e1884.
- Gottdenker, N. L., Streicker, D. G., Faust, C. L., & Carroll, C. R. (2014). Anthropogenic land use change and infectious diseases: a review of the evidence. *EcoHealth*, 11(4), 619–632.
- Greenhall, A. M., Joermann, G., & Schmidt, U. (1983). *Desmodus rotundus*. *Mammalian Species*, (202), 1–6.
- Guhl, F., Angulo, V., Restrepo, M., Nicholls, S., & Montoya, R. (2003). Estado del arte de la enfermedad de Chagas: Colombia y estrategias de control. *Biomédica*, 23(1), 31–37.
- Gurevitz, J. M., Ceballos, L. A., Gaspe, M. S., Alvarado-Otegui, J. A., Enríquez, G. F., Kitron, U., & Gürtler, R. E. (2011). Factors affecting infestation by *Triatoma infestans* in a rural area of the humid Chaco in Argentina: A multi-model inference approach. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 5(10), e1349.
- Gürtler, R. E., & Yadon, Z. E. (2015). Eco-bio-social research on community-based approaches for Chagas disease vector control in Latin America. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 109, 91–98.
- Gustafson, E. J. (1998). Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of the art? *Ecosystems*, 1(2), 143–156.
- Herd, R. M. (1983). *Pteronotus parnelli*. *Mammalian Species*, (209), 1–5.

- Hosmer, D. W., & Lemeshow, S. (2000). *Applied Logistic Regression* (Segunda edición). New York: Wiley.
- Ibarra-Cerdeña, C. N., Sánchez-Cordero, V., Peterson, A. T., & Ramsey, J. M. (2009). Ecology of North American Triatominae. *Acta Tropica*, 110, 178–186.
- INEGI. (2001). Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos D15, Escala 1:1 000 000. Accesado el 15 de Septiembre de 2015, <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/metadatos/ntm.aspx?s=geo&c=2374>
- INEGI. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Santos Reyes Nopala, Oaxaca.*
- INEGI. (2010). *Censo de Poblacion y Vivienda 2010. Principales resultados por localidad (ITER).* Accesado el 15 de Septiembre de 2015, [http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta\\_resultados/iter2010.aspx](http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/iter2010.aspx)
- INEGI. (2015). *Carta de Uso de Suelo y Vegetación Salina Cruz clave E15-10, D15-1 Escala 1:250 000 serie V.* Accesado el 15 de Septiembre de 2015, <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/ficha.aspx?upc=702825211585>
- Jackson, H. B., & Fahrig, L. (2012). What size is a biologically relevant landscape? *Landscape Ecology*, 27, 929–941.
- Jaeger, J. A. G. (2000). Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecology*, 15, 115–130.
- Jiménez-Coello, M., Guzmán-Marín, E., Ortega-Pacheco, A., & Acosta-Viana, K. Y. (2010). Serological survey of American Trypanosomiasis in dogs and their owners from an urban area of Mérida Yucatàn, México. *Transboundary and Emerging Diseases*, 57(1–2), 33–36.
- Johnson, P. T. J., Preston, D. L., Hoverman, J. T., & Richgels, K. L. D. (2013). Biodiversity decreases disease through predictable changes in host community competence. *Nature*, 494(7436), 230–233.
- Johnson, P. T. J., & Thielges, D. W. (2010). Diversity, decoys and the dilution effect: how ecological communities affect disease risk. *The Journal of Experimental Biology*, 213(6),

961–970.

- Jurberg, J., & Galvão, C. (2006). Biology, ecology, and systematics of Triatominae (Heteroptera, Reduviidae), vectors of Chagas disease, and implications for human health. *Kataloge Der OÖ. Landesmuseen*, (50), 1096–1116.
- Keesing, F., Holt, R. D., & Ostfeld, R. S. (2006). Effects of species diversity on disease risk. *Ecology Letters*, 9(4), 485–498.
- Lackey, J. A., Huckaby, D. G., & Ormiston, B. G. (1985). *Peromyscus leucopus*. *Mammalian Species*, (247), 1.
- Lent, H., & Wygodzinsky, P. (1979). Revision of the Triatominae (Hemiptera, Reduviidae), and their significance as vectors of Chagas's disease. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 163(3), 125–520.
- LoGiudice, K., Ostfeld, R. S., Schmidt, K. A., & Keesing, F. (2003). The ecology of infectious disease: Effects of host diversity and community composition on Lyme disease risk. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(2), 567–571.
- López-Cancino, S. A., Tun-Ku, E. F., De la Cruz Himmler, K., Ibarra-Cerdeña, C. N., Izeta-Alberdi, A., Pech-May, A., Mazariegos-Hidalgo, C. J., Valdez-Tah, A., & Ramsey, J. M. (2015). Landscape ecology of *Trypanosoma cruzi* in the southern Yucatan Peninsula. *Acta Tropica*, 151, 58–72.
- Lotze, J.-H., & Anderson, S. (1979). *Procyon lotor*. *Mammalian Species*, (119), 1–8.
- Manne, J. M., Snively, C. S., Ramsey, J. M., Ocampo, M., Bärnighausen, T., & Reich, M. R. (2013). Barriers to treatment access for Chagas disease in Mexico. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 7(10), e2488.
- Martínez-Ibarra, J. A., Alexandre-Aguilar, R., Torres-Morales, A., Trujillo-García, J. C., Noguera-Torres, B., & Trujillo-Contreras, F. (2006). Biology of three species of the *Meccus phyllosomus* complex (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) fed on blood of hens and rabbits, 101(7), 787–794.
- Mazzotti, L. (1940). Dos casos de enfermedad de Chagas en el estado de Oaxaca. *Gaceta Medica*

- Mexicana, 70(4), 417–420.
- Mazzotti, L., & Dias, E. (1949). Resumen de los datos publicados sobre la enfermedad de Chagas en México. *Revista de La Sociedad Mexicana de Historia*, 10(1–4), 103–111.
- McGarigal, K., Cushman, S. A., Neel, M. C., & Ene, E. (2002). FRAGSTATS v3: Spatial pattern analysis program for categorical maps. Amherst: University of Massachusetts.
- McManus, J. J. (1974). *Didelphis virginiana*. *Mammalian Species*, (40), 1–6.
- Miguet, P., Jackson, H. B., Jackson, N. D., Martin, A. E., & Fahrig, L. (2016). What determines the spatial extent of landscape effects on species? *Landscape Ecology*, 31, 1177–1194.
- Mijal, G. (2011). Reseña de “La enfermedad de Chagas en Argentina. Investigación científica, problemas sociales y políticas sanitarias” de Juan Pablo Zabala. *REDES*, 17(13), 107–113.
- Moratal, L. M., Carli, A. J., & Kennel, B. (2006). Mal de Chagas. La enfermedad de la pobreza, Casas de fuego (1995). *Revista de Medicina y Cine*, 2, 66–73.
- Musser, G., Amori, G., Hutterer, R., Kryštufek, B., Yigit, N., & Mitsain, G. (2008). *Mus musculus*. Accesado el 21 de Abril de 2016, <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T13972A4374382.en>
- Neter, J., Wasserman, W., & Kutner, M. H. (1990). *Applied linear statistical models*. Irwin, Chicago.
- Nnaemeka, E., Nimzing, L., Mark, O., & Onyedibe, K. (2011). Landscape epidemiology : An emerging perspective in the mapping and modelling of disease and disease risk factors. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 2011, 247–250.
- Nogared, J. C., Duarte, E. C., & Gurgel-Gonçalves, R. (2015). Factors associated with the occurrence of *Triatoma sordida* (Hemiptera: Reduviidae) in rural localities of Central-West Brazil. *Memórias Do Instituto Oswaldo Cruz*, 110(2), 192–200.
- Oaks, E. C., Young, P. J., Kirkland, G. L., & Schmidt, D. F. (1987). *Spermophilus variegatus*. *Mammalian Species*, (272), 1–8.
- Ojeda, R., Bidau, C., Timm, T., Samudio, R., & Emmons, L. (2013). *Dasyprocta punctata*. Accesado el 21 de Abril de 2016, <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013->

2.RLTS.T6277A22198457.en

- Oliveira, W. (2009). All-around care for patients with Chagas disease: a challenge for the XXI century. *Memorias Do Instituto Oswaldo Cruz*, 104(1), 181–186.
- Ortega, J., & Castro-Arellano, I. (2001). *Artibeus jamaicensis*. *Mammalian Species*, 662(662), 1–9.
- Ostfeld, R. S., Glass, G. E., & Keesing, F. (2005). Spatial epidemiology: An emerging (or re-emerging) discipline. *Trends in Ecology and Evolution*, 20(6), 328–336.
- Pacheco-Tucuch, F. S., Ramirez-Sierra, M. J., Gourbière, S., & Dumonteil, E. (2012). Public street lights increase house infestation by the chagas disease vector *Triatoma dimidiata*. *PLoS ONE*, 7(4), e36207.
- Packard, L., & Montgomery, J. B. (1978). *Baiomys musculus*. *Mammalian Species*, (102), 1–3.
- Patz, J. A., Daszak, P., Tabor, G. M., Aguirre, A. A., Pearl, M., Epstein, J., Wolfe, N. D., Kilpatrick, A. M., Fofopoulos, J., Molyneux, D., Bradley, D. J., Amerasinghe, F. P., Ashford, R. W., Barthelemy, D., Bos, R., & Bradley, D. J. (2004). Unhealthy landscapes: Policy recommendations on land use change and infectious disease emergence. *Environmental Health Perspectives*, 112(10), 1092–1098.
- Pavlovsky, E. N. (1966). Natural nidity of transmissible diseaseswith special reference to the landscape epidemiology of zoonthroponoses (Primera edición). Illinois: University of Illinois Press.
- Pérez, J. G. (2010). Buscando el origen de los Chatinos de Nopala. (Carteles Editores, Ed.) (Tercera edición). Oaxaca.
- Peterson, A. T., Sánchez-Cordero, V., Beard, C. B., & Ramsey, J. M. (2002). Ecologic niche modeling and potential reservoirs for Chagas Disease, Mexico. *Emerging Infectious Diseases*, 8(7), 662–667.
- Pfäffle, M., Littwin, N., & Petney, T. N. (2015). The relationship between biodiversity and disease transmission risk. *Research and Reports in Biodiversity Studies*, (4), 9–20.
- Ramirez-Sierra, M. J., Herrera-Aguilar, M., Gourbière, S., & 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(1), 77–86.
- Ramsey, J. M., Alvear, A. L., Ordoñez, R., Muñoz, G., Garcia, A., Lopez, R., & Leyva, R. (2005). Risk factors associated with house infestation by the Chagas disease vector *Triatoma pallidipennis* in Cuernavaca metropolitan area, Mexico. *Medical and Veterinary Entomology*, 19, 219–228.
- Ramsey, J. M., Elizondo-Cano, M., Sanchez-González, G., Peña-Nieves, A., & Figueroa-Lara, A. (2014). Opportunity cost for early treatment of chagas disease in Mexico. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 8(4), e2776.
- Ramsey, J. M., Gutiérrez-Cabrera, A. E., Salgado-Ramírez, L., Peterson, A. T., Sánchez-Cordero, V., & Ibarra-Cerdeña, C. N. (2012). Ecological connectivity of *Trypanosoma cruzi* reservoirs and *Triatoma pallidipennis* hosts in an anthropogenic landscape with endemic chagas disease. *PLoS ONE*, 7(9), e46013.
- Ramsey, J. M., Ordoñez, R., Cruz-Celis, A., Alvear, A. L., Chavez, V., Lopez, R., Pintor, J. R., Gama, F., & Carrillo, S. (2000). Distribution of domestic Triatominae and stratification of Chagas Disease transmission in Oaxaca, Mexico. *Medical and Veterinary Entomology*, 14, 19–30.
- Ramsey, J. M., Peterson, A. T., Carmona-Castro, O., Moo-Llanes, D. A., Nakazawa, Y., Butrick, M., Tun-Ku, E., Cruz-Félix, K., & Ibarra-Cerdeña, C. N. (2015). Atlas of Mexican Triatominae (Reduviidae: Hemiptera) and vector transmission of Chagas disease. *Memórias Do Instituto Oswaldo Cruz*, 110(3), 339–352.
- Ramsey, J. M., Pinto, J. F., El Abidine, Z., Ebener, S., & Colombo, R. (2013). E-Atlas para riesgos de desastres, aplicación en México: Metodologías y procesos de implementación (Primera edición). México: Códice Roseta.
- Ramsey, J. M., Tello, A., & Pohls, L. (2003). Iniciativa para la Vigilancia y el Control de la Enfermedad de Chagas en la República Mexicana.
- Rassi, A., Rassi, A., & Marcondes de Rezende, J. (2012). American Trypanosomiasis (Chagas

- Disease). *Infectious Disease Clinics of North America*, 26, 275–291.
- Rassi, A., Rassi, A., & Marin-Neto, J. A. (2010). Chagas disease. *The Lancet*, 375, 1388–1402.
- Reisen, W. K. (2010). Landscape epidemiology of vector-borne diseases. *Annual Review of Entomology*, 55, 461–483.
- Reyes-Novelo, E., Ruiz-Piña, H. A., Escobedo-Ortegón, J., & Barrera-Pérez, M. A. (2011). Biología y ecología de *Triatoma dimidiata* (Latreille, 1811), algunos aspectos de estudio. *Dugesiana*, 18(1), 11–16.
- Rodarte, R. (1997). Ecosistemas y Biodiversidad en la costa oaxaqueña. *Ciencia y Mar*, 1(2), 44–48.
- Rodrigues, J. (2007). Chagas disease: what is known and what is needed – A background article. *Memorias Do Instituto Oswaldo Cruz*, 102(1), 113–122.
- Rodrigues, J. (2015). The main sceneries of Chagas disease transmission. The vectors, blood and oral transmissions--a comprehensive review. *Memórias Do Instituto Oswaldo Cruz*, 110(3), 277–82.
- Roux, E., De Fátima, A., Girres, J.-F., & Romaña, C. A. (2011a). Spatial patterns and eco-epidemiological systems-part I: multi-scale spatial modelling of the occurrence of Chagas disease insect vectors. *Geospatial Health*, 6(1), 41–51.
- Roux, E., De Fátima, A., Girres, J.-F., & Romaña, C. A. (2011b). Spatial patterns and eco-epidemiological systems--part II: characterising spatial patterns of the occurrence of the insect vectors of Chagas disease based on remote sensing and field data. *Geospatial Health*, 6(1), 53–64.
- Ruiz-Piña, H. A., & Cruz-Reyes, A. (2002). The opossum *Didelphis virginiana* as a synanthropic reservoir of *Trypanosoma cruzi* in Dzidzilché, Yucatán, México. *Memorias Do Instituto Oswaldo Cruz*, 97(5), 613–620.
- Salazar-Schettino, P. M., Rojas-Wastavino, G. E., Cabrera-Bravo, M., Bucio-Torres, M. I., Martínez-Ibarra, J. A., Monroy-Escobar, M. C., Rodas-Retana, A., Guevara-Gomez, Y., Vences-Blanco, M. O., Ruiz-Hernandez, A. L., & Torres-Gutierrez, E. (2010). Revision de



- 13 especies de la familia Triatominae (Hemiptera: Reduviidae) vectores de la enfermedad de Chagas en Mexico. *Journal of the Selva Andina research society*, 1(1), 57–80.
- Sandoval-Ruiz, C. A., Guevara, R., & Ibáñez-Bernal, S. (2014). Household risk factors associated to infestation of *Triatoma dimidiata*, the Chagas disease vector in Central Region of Veracruz, Mexico. *Salud Pública de México*, 56(2), 213–220.
- Sandoval-Ruiz, C. A., Zumaquero-Rios, J. L., & Rojas-Soto, O. R. (2008). Predicting geographic and ecological distributions of triatomine species in the southern Mexican state of Puebla using ecological niche modeling. *Journal of Medical Entomology*, 45, 540–546.
- Schmidt, K. A., & Ostfeld, R. S. (2001). Biodiversity and the Dilution effects in Disease Ecology. *Ecology*, 82(3), 609–619.
- Schmunis, G., & Yadon, Z. E. (2010). Chagas disease: A Latin American health problem becoming a world health problem. *Acta Tropica*, 115(1–2), 14–21.
- Schofield, C. J., Lehane, M. J., McEwan, P., Catalá, S. S., & Gorla, D. E. (1991). Dispersive flight by *Triatoma sordida*. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 85(5), 676–678.
- Schofield, C. J., Lehane, M. J., McEwen, P., Catala, S. S., & Gorla, D. E. (1992). Dispersive flight by *Triatoma infestans* under natural climatic conditions in Argentina. *Medical and Veterinary Entomology*, 6(1), 51–56.
- SEDESOL. (2013). Unidad de Microregiones. Cédulas de información municipal (SCIM).  
Accesado el 3 de Mayo de 2017,  
<http://www.microrregiones.gob.mx/zap/salud.aspx?entra=nacion&ent=20&mun=526>
- SEDESOL. (2017). Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social 2017: Oaxaca, Santos Reyes Nopala Oaxaca (20526).
- Solís-Franco, R. R., Romo-Zapata, J. A., & Martínez-Ibarra, J. A. (1997). Wild reservoirs infected by *Trypanosoma cruzi* in the ecological park “El Zapotal”, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Memorias Do Instituto Oswaldo Cruz*, 92(2), 163–164.
- Suarez, R., Beltran, E. M., & Sanchez, T. (2006). El sentido del riesgo desde la antropología

- medica: consonancias y disonancias con la salud publica en dos enfermedades transmisibles. *Antipoda*, (3), 123–154.
- Symonds, M. R. E., & Moussalli, A. (2011). A brief guide to model selection, multimodel inference and model averaging in behavioural ecology using Akaike's information criterion. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 65, 13–21.
- Tay, J., Salazar, P. M., Bucio, M. I., Zarate, R., & Zarate, L. (1981). Estado actual de nuestros conocimientos sobre la enfermedad de Chagas en la República Mexicana. *Revista Da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 14(1), 29–67.
- Tay, J. Z., Goycoolea, O., & Biagi, F. (1961). Observaciones sobre la enfermedad de Chagas en la Mixteca Baja, nuevo caso humano en la República Mexicana. *Boletín de La Oficina Sanitaria Panamericana*, 51(4), 322–327.
- R Core Team. (2017). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Timm, R. M. (1985). *Artibeus phaeotis*. *Mammalian Species*, (235), 1.
- Troll, C. (1939). Luftbildplan und ökologische Bodenforschung. *Zeitschrift Der Gesellschaft Fur Erdkunde Zu Berlin*, (74), 241–298.
- Turner, M. G. (1989). Landscape Ecology: The Effect of Pattern on Process. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 20, 171–197.
- Valdez-Tah, A., Huicochea-Gómez, L., Nazar-Beutelspacher, A., Ortega-Canto, J., & Ramsey, J. M. (2015a). La vulnerabilidad humana a la transmisión vectorial de *Trypanosoma cruzi* a través de los procesos de salud-enfermedad y la apropiación social del territorio. *Salud Colectiva*, 11(2), 191–210.
- Valdez-Tah, A., Huicochea-Gómez, L., Ortega-Canto, J., Nazar-Beutelspacher, A., & Ramsey, J. M. (2015b). Social representations and practices towards triatomines and Chagas disease in Calakmul, México. *PLoS ONE*, 10(7), e0132830.
- Vaz, V. C., D'Andrea, P. S., & Jansen, A. M. (2007). Effects of habitat fragmentation on wild mammal infection by *Trypanosoma cruzi*. *Parasitology*, 134(12), 1785–1793.

- Vazquez-Prokopec, G. M., Spillmann, C., Zaidenberg, M., Gürtler, R. E., & Kitron, U. (2012). Spatial heterogeneity and risk maps of community infestation by *Triatoma infestans* in rural northwestern Argentina. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 6(8), e1788.
- Velarde, M., Camps, B., & Albajar-Vinas, P. (2011). La lucha contra la enfermedad de Chagas: una enfermedad silenciosa y silenciada cien años después de su descubrimiento. En V. Larraga (Ed.), *La lucha frente a las enfermedades de la pobreza: responsabilidad y necesidad* (Primera edición, pp. 72–85). España: Bilbao: Fundación BBVA.
- Velázquez, A., Durán, E., Ramírez, I., Mas, J.-F., Bocco, G., Ramírez, G., & Palacio, J.-L. (2003). Land use-cover change processes in highly biodiverse areas: The case of Oaxaca, Mexico. *Global Environmental Change*, 13, 175–184.
- Vila, J., Varga, D., Llausas, A., & Ribas, A. (2006). Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology). Una interpretación desde la geografía. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 48, 151–166.
- Villalobos, G., Martínez-Hernández, F., De La Torre, P., Laclette, J. P., & Espinoza, B. (2011). Entomological indices, feeding sources, and molecular identification of *Triatoma phyllosoma* (Hemiptera: Reduviidae) one of the main vectors of Chagas disease in the Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, Mexico. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 85(3), 490–497.
- Villegas-García, J. C., & Santillán-Alarcón, S. (2004). American trypanosomiasis in central Mexico: *Trypanosoma cruzi* infection in triatomine bugs and mammals from the municipality of Jiutepec in the state of Morelos. *Annals of Tropical Medicine & Parasitology*, 98(5), 529–532.
- Weeks, E. N., Cordon-Rosales, C., Davies, C., Gezan, S., Yeo, M., & Cameron, M. M. (2013). Risk factors for domestic infestation by the Chagas disease vector, *Triatoma dimidiata* in Chiquimula, Guatemala. *Bulletin of Entomological Research*, 103(6), 634–643.
- WHO. (2015). Chagas disease (American trypanosomiasis). Accesado el 28 de Septiembre de 2015, <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs340/en/>
- Yamaguchi, N., Kitchener, A., Driscoll, C., & Nussberger, B. (2015). *Felis silvestris*. Accesado

el 21 deAbril de 2016, <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-2.RLTS.T60354712A50652361.en>

- Young, S. G., Tullis, J. A., & Cothren, J. (2013). A remote sensing and GIS-assisted landscape epidemiology approach to West Nile virus, 45(2013), 241–249.
- Zarate, L. G., & Zarate, R. J. (1985). A checklist of the Triatominae (Hemiptera: Reduviidae) of Mexico. *International Journal of Entomology*, 27(1–2), 102–127.
- Zavala-Velázquez, J., Barrera-Pérez, M., Rodríguez-Félix, M. 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 Sao Paulo*, 38 (4), 289–292.
- Zeledón, R., Valerio, C. E., & Valerio, J. E. (1973). The camouflage phenomenon in several species of Triatominae (Hemiptera: Reduviidae). *Journal of Medical Entomology*, 10(2), 209–211.