





UADY

CIENCIAS DE LA SALUD

POSGRADO INSTITUCIONAL  
EN CIENCIAS DE LA SALUD

**Fluctuación poblacional de *Triatoma dimidiata* (Latreille, 1811) en el peridomicilio y su infección por *Trypanosoma cruzi* en diez localidades del estado de Yucatán**

Tesis presentada por:

Biól. Daniel Eduardo Chan Espinoza

En opción al grado:

Maestro en Investigación en Salud

Directores de Tesis:

Dr. Enrique Alberto Reyes Novelo

Dr. Hugo Antonio Ruiz Piña

Mérida, Yucatán, México Noviembre 2017



**"Luz, Ciencia y Verdad"**

**Posgrado Institucional en  
Ciencias de la Salud**

Oficio: PICSA/163/17.  
Octubre 27 de 2017.

La tesis, "**Fluctuación poblacional de *Triatoma dimidiata* (Latreille, 1811) en el peridomicilio y su infección por *Trypanosoma cruzi* en diez localidades del estado de Yucatán**", presentada por el **Biól. Daniel Eduardo Chan Espinoza**, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar por el grado de **Maestro en Investigación en Salud**, ha sido aprobada en su contenido científico y en cuanto al cumplimiento de lo establecido en el Plan de Estudios vigente del Posgrado Institucional en Ciencias de la Salud.

Atentamente

**Dra. Norma Elena Pérez Herrera**  
Coordinadora del Programa Institucional  
en Ciencias de la Salud



Ccp. Archivo

**Av. Itzaes x 59 y 59 A. Facultad de Medicina. C.P. 97000. Mérida, Yucatán, México.**  
Tel. (999) 9240554, 9233297 Ext. 36163. <http://www.pics.uady.mx>

## Capítulo II.

*Cómo puedo hacer una tesis sobre Ecología?,  
Preguntó el alumno.*

*Observa lo que ocurre a tu alrededor, plantéate preguntas, piensa la manera de responderlas y trabaja en ello durante un tiempo lo suficientemente grande como para que tus preguntas iniciales hayan sido respondidas parcialmente y, sobre todo, hayan derivado en nuevas preguntas a resolver.*

*cuando termines la tesis te darás cuenta que ésta no es más que un grano de arena en el desierto, que el comienzo de la apasionante carrera en busca del conocimiento. Si al final de la misma eres capaz de seguir planteándote preguntas y, sobre todo, disfrutar intentando resolverlas, sin duda alguna habrá cumplido su misión.*

*Respondió el maestro.*

## DEDICATORIAS

La realización de esta tesis se la dedico a mis padres, *Martha Beatriz y José Hilario*, a los cuales les agradezco enormemente la libertad que me han dado para poder dedicarme a aquello que siempre me ha gustado, así como su cariño y todos los esfuerzos que han realizado para poner a mi disposición todos los medios necesarios para que pudiera conseguirlo. Igualmente a mis hermanos, *Pamela, Jonathan, José y Libia*, han sido una agradable compañía durante todo los años que hemos pasado juntos en casa y por brindarme su gran apoyo. También les dedico esta tesis a mis dos sobrinos *Carlos y Crystian*.

A ti *Tahali Mendoza Oliveros* ♥ por tu ayuda y paciencia la cual fue fundamental sobretodo para entender los conceptos y técnicas moleculares que tanto se me complican, sin ti este camino se hubiera disuelto hace tiempo en un torbellino caótico. Gracias por poner orden en este caos.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de tesis es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente, participaron distintas personas opinando, corrigiendo, teniéndome paciencia, dando ánimo, acompañando en los momentos de crisis y en los momentos de felicidad. Este trabajo me ha permitido aprovechar la competencia y la experiencia de muchas personas que deseo agradecer en este apartado.

En primer lugar quiero agradecer a la que considero mi segunda casa “*El Centro de Investigaciones Regionales Dr. Hideyo Noguchi*” que me permitió realizar la tesis en sus instalaciones, agradezco a cada uno de los doctores del laboratorio de Zoonosis: a la *Dra. Elsy Canche* y el *Dr. Javier Escobedo* por brindarme su tiempo y su ayuda en las técnicas moleculares; al *Dr. Hugo Ruiz* por sus consejos y su gran sabiduría; y sobre todo mi agradecimiento y mención especial para mi asesor el ***Dr. Enrique Reyes Novelo*** (Chico Crush) por haberme confiado este trabajo en persona, por la inmensa paciencia que me tuvo sobre todo en la cuestión ecológica-estadística, por enseñarme aspectos propios de la investigación (rigor científico, lógica a la hora de pensar y argumentar) y sobretodo por darme esa libertad de formular y experimentar tanto hipótesis como análisis.

A mis revisores de tesis *Dra. Eugenia Guzmán*, *Dr. Luis Abdala*, *Dr. Luis Castillo* y el *Dr. Pablo Manrique* por todo el apoyo y consejos que me brindaron durante estos dos años que fueron vitales para terminar este complejo pero fascinante proyecto.

Quisiera mencionar a mis compañeros y amigos del laboratorio que he tenido la suerte de encontrarme *Rosendo*, *Allam*, *Alan*, *Daniel*, *Joel*, *Cristian* y *Eliezer* por su inmensa ayuda en las titánicas colectas de campo y por bautizarme como “*Pickman*”. Gracias por los buenos y malos momentos, por aguantarme y por escucharme. Siempre estuvieron ahí en lo bueno y en lo malo.

Por último agradezco a todos los pobladores de las diez localidades que me permitieron realizar este estudio en sus terrenos.

## LUGAR DE REALIZACIÓN

El presente trabajo de tesis se realizó con el patrocinio del proyecto “Sistema de predicción de focos de transmisión de Enfermedades Zoonóticas” financiado por el CONACYT con clave de registro SISTPROY CIRB-2014-0002 bajo la dirección del Dr. Enrique Reyes Novelo y el Dr. Hugo A. Ruiz Piña en el Laboratorio de Zoonosis y otras Enfermedades Transmitidas por Vectores del Centro de Investigaciones Regionales “Dr. Hideyo Noguchi” de la Universidad Autónoma de Yucatán.

# ÍNDICE

	pág.
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	x
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	xi
<b>I. RESUMEN</b>	1
<b>II. INTRODUCCIÓN</b>	2
<b>III. ANTECEDENTES</b>	4
3.1 La Tripanosomiasis americana o enfermedad de Chagas	4
3.2 <i>Trypanosoma cruzi</i>	6
3.3 Ciclo de transmisión de <i>T. cruzi</i>	8
3.4 Triatominae	10
3.5 Ecología poblacional de Triatominos	11
3.6 <i>Triatoma dimidiata</i> (Latreille)	13
3.7 Ecología de <i>T. dimidiata</i> en el peridomicilio	14
<b>IV. OBJETIVOS</b>	18
4.2 General	18
4.3 Específicos	18
<b>V. HIPOTESIS</b>	19
<b>VI. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	20
a. Tipo y diseño del estudio	20
b. Universo	20
c. Muestra	21
d. Definición de las variables y escalas de medición	21
e. Criterios de inclusión, exclusión y eliminación	22
f. Fuentes	22
g. Métodos y técnicas	22
h. Estadística	26
i. Consideraciones éticas	30

<b>VII. RESULTADOS</b>	31
<b>VIII. DISCUSIÓN</b>	46
<b>IX. CONCLUSIONES</b>	53
<b>X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	54
<b>XI. ANEXOS</b>	70

## ÍNDICE DE CUADROS

	pág.
<b>Cuadro 1.</b> Definición y tipo de variables utilizadas.	21
<b>Cuadro 2.</b> Índices entomológicos por cada localidad estudiada	31
<b>Cuadro 3.</b> Abundancia temporal de <i>T. dimidiata</i> en cada una de las localidades estudiadas.	34
<b>Cuadro 4.</b> Análisis de la devianza del modelo ZINB para la fluctuación de la abundancia de <i>T. dimidiata</i> en función de los factores mes y localidad.	34
<b>Cuadro 5.</b> Resultados de la selección del modelo ZINB para la fluctuación de la abundancia de <i>T. dimidiata</i>	35
<b>Cuadro 6.</b> Porcentaje de <i>T. dimidiata</i> infectados con <i>T. cruzi</i> por estadio	37
<b>Cuadro 7.</b> Análisis de la devianza del modelo GLM para la abundancia de <i>T. dimidiata</i> en función de los factores temperatura y precipitación.	40
<b>Cuadro 8.</b> Resultados de la selección del modelo GLM para la abundancia de <i>T. dimidiata</i> función de las variables climáticas.	40
<b>Cuadro 9.</b> Abundancia de <i>T. dimidiata</i> por estructura peridoméstica	41
<b>Cuadro 10.</b> Análisis de la devianza del modelo GLM para la abundancia de <i>T. dimidiata</i> en función de los factores estructura y mes.	44
<b>Cuadro 11.</b> Resultados de la selección del modelo GLM para la abundancia de <i>T. dimidiata</i> función de las variables estructura y mes.	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1.</b> Posibles modalidades y relaciones entre los ciclos de transmisión de <i>T. cruzi</i> . Figura tomada de Gürtler y Cardinal (2015).	9
<b>Figura 2.</b> Dictamen de aprobación del comité de ética.	30
<b>Figura 3.</b> Fluctuación de la abundancia de cada uno de los estadios de <i>T. dimidiata</i> en los meses de muestreo.	33
<b>Figura 4.</b> Comparación de la abundancia media de <i>T. dimidiata</i> entre los meses de colecta.	36
<b>Figura 5.</b> Comparación de la abundancia media de <i>T. dimidiata</i> entre las diez localidades estudiadas.	36
<b>Figura 6.</b> Frecuencia de ejemplares de <i>T. dimidiata</i> infectados con <i>T. cruzi</i> .	38
<b>Figura 7.</b> Fluctuación de la abundancia de <i>T. dimidiata</i> y la variación de las variables climáticas, a) temperatura y b) precipitación en los meses de colecta.	39
<b>Figura 8.</b> Porcentaje de ninfas y adultos por estructura peridoméstica.	42
<b>Figura 10.</b> Porcentaje de Triatominos infectados por estructura peridomestica.	43
<b>Figura 11.</b> Comparación de la abundancia media de <i>T. dimidiata</i> entre las estructuras peridomésticas.	45
<b>Figura 12.</b> Comparación de la abundancia media de <i>T. dimidiata</i> entre los meses de colecta.	45

## I. RESUMEN

El presente es un estudio longitudinal cuyo objetivo consiste en describir la fluctuación poblacional de *T. dimidiata* en el peridomicilio y su infección con *T. cruzi* en diez localidades del estado de Yucatán. De marzo a diciembre del 2016, se revisaron 10000 peridomicilios. El 12.8% (I.C 95%=10-15) se encontraba infestado; el 78.1% (I.C 95%=70-89) de estos estaba colonizado. Se colectó un total de 1166 especímenes de *T. dimidiata*, el 62.4% fueron ninfas. El 19.3% (I.C 95%=16-21) de los insectos se encontró infectado con *T. cruzi*. Tanto los índices calculados como el número de ejemplares colectados fueron mayores en la localidad de Timucuy. Se observó que hay dos incrementos notables de la abundancia. Uno a finales de la temporada seca y otro en septiembre cuando incrementa la precipitación. Sin embargo, el porcentaje de insectos infectados con *T. cruzi* fue mayor en el mes de octubre. No se encontraron elementos suficientes para decir que existen diferencias en la abundancia con respecto a los meses de colecta y las localidades estudiadas. La abundancia de *T. dimidiata* se relacionó positivamente con las variables climáticas temperatura y precipitación ( $P < 0.005$ ). Seis tipos de estructuras peridomésticas se encontraron infestadas por *T. dimidiata*. En los gallineros se colectó el 88.9% de los insectos y se demostró que la abundancia en esta estructura es diferente, en comparación con las abundancias encontradas en las otras cinco estructuras peridomésticas ( $P < 0.005$ ). Se encontró que la abundancia de las estructuras, durante los meses de mayo, junio, julio y septiembre difiere con las abundancias de los meses de noviembre y diciembre ( $p < 0.05$ ).

## II. INTRODUCCIÓN

La tripanosomiasis americana es una zoonosis compleja, presente en todo el continente americano y que representa una grave amenaza para la salud de la población en los países de esta región <sup>[1]</sup>. Esta enfermedad fue descubierta a principios del siglo XX por el médico brasileño Carlos Chagas, mientras trabajaba en una campaña antimalárica <sup>[2]</sup>. El agente causal, es *Trypanosoma cruzi*, un parásito protozoo generalista capaz de infectar un amplio rango de mamíferos que incluyen animales silvestres y domésticos, así como a los humanos <sup>[3]</sup>.

Las principales vías de transmisión de *T. cruzi* son: vectorial, a través del contacto con la materia fecal de triatomíneos; vertical (congénita o transplacentaria) de madre a hijo; a través de transfusiones de sangre o transplantes de órganos, y ocasionalmente a través de la ingesta de alimentos o líquidos contaminados con *T. cruzi* <sup>[4]</sup>. Entre estas vías la transmisión vectorial de *T. cruzi* es históricamente la de mayor importancia, siendo la causante de la mayor parte de los casos humanos <sup>[5]</sup>. La mayoría de las infecciones en el hombre se producen en zonas rurales, la cual puede darse en regiones o zonas selváticas o sinantrópicas <sup>[6]</sup>.

Se calcula que alrededor de 7 a 8 millones de personas están infectadas en todo el mundo, la mayoría de ellas viviendo en América Central y del Sur <sup>[7]</sup>. En México, la enfermedad de Chagas es endémica en 18 áreas, localizadas en el sureste y estas áreas incluyen los estados de Oaxaca, Jalisco, Chiapas, Veracruz, Puebla, Guerrero, Hidalgo, Morelos y Yucatán <sup>[8]</sup>. Siendo los estados de Chiapas, Oaxaca, Puebla, Veracruz y Yucatán los más afectados <sup>[9]</sup>.

En Yucatán, el vector de la enfermedad es *Triatoma dimidiata*, este insecto se distribuye por todo el estado, siendo más abundante en la parte norte, con diferentes niveles de infestación estacional en las viviendas principalmente por la migración estacional de los adultos al interior de la vivienda a partir del ambiente silvestre y peridomiciliar <sup>[10]</sup>.

En este contexto, algunos estudios en la región han mostrado que el peridomicilio es una importante fuente de infestación y reinfestación para las casas <sup>[11]</sup>. Sin embargo, debido a la falta de estudios longitudinales, la ecología y epidemiología de *T. dimidiata* en este hábitat aún es incompleta. Por lo tanto, el presente estudio pretende abordar la fluctuación poblacional de este insecto vector en el ambiente peridomiciliar, con el fin de profundizar el entendimiento de la ecología de *T. dimidiata* en Yucatán.

### III. ANTECEDENTES

#### 3.1. La tripanosomiasis americana o enfermedad de Chagas.

Hace poco más de un siglo que el médico brasileño Carlos Chagas fue el primero en describir la enfermedad que posteriormente llevaría su nombre, la cual es una parasitosis crónica causada por el cinetoplástido *T. cruzi*<sup>[10]</sup>. Este parásito es transmitido principalmente por insectos hematófagos de la subfamilia Triatominae, los cuales al defecar durante o poco tiempo después de alimentarse sobre su hospedero, depositan las formas infectivas (tripomastigotes metacíclicos que se encuentran en el intestino posterior) sobre la piel e ingresando al cuerpo principalmente por heridas o la abrasión sobre la piel del hospedero<sup>[12]</sup>.

La enfermedad de Chagas fue descrita originalmente como una enfermedad endémica en las poblaciones que habitan viviendas en zonas rurales de los países latinoamericanos donde se producen la mayoría de las infecciones en el ser humano<sup>[5]</sup>. Sin embargo, la invasión humana en los ecotopos naturales, así como el establecimiento de los vectores en las viviendas asociadas con la pobreza (malas condiciones de construcción, grietas en las paredes, estructuras de barro y paja y ciertas estructuras peridomésticas tales como corrales de cabras o cerdos y gallineros etc.) hacen que esta enfermedad sea un problema para la salud pública desde el sur de los Estados Unidos hasta Argentina<sup>[13]</sup>, aunado con el aumento de las migraciones internacionales la infección se ha extendido a regiones no endémicas, incluidas Europa occidental, Australia y Japón, donde la transmisión ocurre por transfusiones de sangre, trasplantes de órganos o vía congénita<sup>[5]</sup>.

Es difícil definir completamente la epidemiología de la enfermedad debido a varios factores atribuibles <sup>[5]</sup>. Primero, la enfermedad de Chagas es una zoonosis y una amplia variedad de mamíferos son susceptibles a infectarse sirviendo como reservorios <sup>[3]</sup>. Otro factor importante que contribuye a la complejidad de dicha enfermedad como una zoonosis es la diversidad de insectos vectores involucrados en su transmisión. Por último otro factor que complica la epidemiología de la enfermedad es la diversidad subespecífica de *T. cruzi*, lo que produce variación en la manifestación clínica y virulencia <sup>[14]</sup>.

La enfermedad de Chagas tiene dos fases clínicas en su historia natural: aguda y crónica. La fase aguda es usualmente subclínica, muy probablemente porque la carga parasitaria es pequeña. Muchos de los casos agudos son asintomáticos; cuando se presentan, los signos y síntomas incluyen los siguientes: inflamación en el sitio de inoculación o Chagoma, edema bipalpebral o signo de Romana, que se presentan cuando ocurre la transmisión vectorial, así como fiebre, dolor de cabeza, de músculos y de articulaciones <sup>[14]</sup>. Esta fase suele desaparecer en 2-4 meses; sin embargo, algunos casos agudos (2-6%) pueden resultar mortales, debido principalmente a la miocarditis y meningoencefalitis <sup>[10]</sup>. En la fase crónica se presentan dos formas principales de la enfermedad, una forma indeterminada y una forma sintomática. Un alto porcentaje de pacientes con la enfermedad permanecen en la forma indeterminada durante 10 o 30 años, e incluso toda su vida, estos pacientes usualmente permanecen asintomáticos. En la forma sintomática (cardíaca crónica y/o forma digestiva crónica) los signos como complicaciones cardíacas o digestivas por lo general pueden ocurrir 25-30 años después de la adquisición de la infección aguda <sup>[15]</sup>.

Aunque la incidencia se ha reducido en lugares donde las campañas de control vectorial y el tamizaje de transfusiones de sangre se han realizado de manera consistente, esta enfermedad aún causa 10000 muertes cada año <sup>[16]</sup>.

En México gran parte de las infecciones humanas y formas clínicas se consideran “leves”, sin embargo se ha estimado que aproximadamente 1.1 millones de personas están infectadas con *T. cruzi* y 29 millones de personas viven en áreas endémicas de riesgo <sup>[17]</sup>. No existe un sistema de control vectorial, aunque existe un interés renovado de las autoridades sanitarias en organizar actividades nacionales y estatales de control de vectores <sup>[18]</sup>. La península de Yucatán se considera una región endémica de la enfermedad donde la seropositividad de *T. cruzi* en humanos alcanza cerca del 1% en áreas urbanas, y hasta un 5% en las comunidades rurales <sup>[19]</sup>.

Aunque la península de Yucatán se considera una región endémica de la enfermedad, en los últimos 10 años se disponía de poca información de la prevalencia de la enfermedad de Chagas <sup>[20]</sup>. En los bancos de sangre se ha estimado que la prevalencia está entre 0.5% y 0.7% <sup>[21]</sup>. La seropositividad de *T. cruzi* en humanos alcanza cerca del 0.1% en áreas urbanas, y hasta un 2.3% en las comunidades rurales <sup>[22]</sup>.

### 3.2. *Trypanosoma cruzi*

*Trypanosoma cruzi*, agente etiológico de la enfermedad de Chagas es un protozoo flagelado de la familia Trypanosomatidae, de la superclase Mastigophora y del orden Kinetoplastida <sup>[2]</sup>. El microorganismo es alargado, fusiforme y de aproximadamente 20 micras de longitud; posee un núcleo grande cerca de la parte central y a lo largo de su cuerpo tiene una

membrana ondulante bordeada por un flagelo que se inicia en el cinetoplasto y que sale del parásito <sup>[23]</sup>. El centrioplasto está localizado en la región subterminal de la parte posterior del protozoo y está formado por la unión del cuerpo parabasal y el blefaroplasto; el tamaño notoriamente grande del cinetoplasto, constituye una de las principales características morfológicas que lo diferencian de otras especies de tripanosoma <sup>[24]</sup>.

Es un protozoario digenético, con un ciclo de vida complejo que presenta alternancia con dos hospederos: un invertebrado (un insecto triatomino) donde se desarrollan dos fases de vida del parásito, el epimastigote y tripomastigote metacíclico y un hospedero vertebrado (mamífero) donde se desarrollan las otras dos fases del parásito, el tripomastigote sanguíneo y el amastigote <sup>[23]</sup>.

Este parásito está compuesto por una diversidad de cepas diferenciadas por características biológicas, bioquímicas y moleculares. Recientemente un comité de expertos llegó a un consenso en la nomenclatura y status de las subdivisiones de *T. cruzi*, clasificándolo en seis “Unidades Discretas de Tipificación” o UDTs (en inglés DTU, “Discrete Typing Units”) <sup>[25]</sup>.

Diferentes UDTs son asociados con diferentes ciclos biológicos de transmisión y varían con respecto a su distribución geográfica. TcI es el más frecuente y está ampliamente distribuido, se ha encontrado desde el sur de los Estados Unidos hasta el norte de Chile y Argentina, puede ser transmitida tanto en el ciclo silvestre como en el doméstico. TcIII y TcIV han sido frecuentemente asociados con el ciclo silvestre y han sido implicados como causantes de caso agudos en la base del Amazonas. TcIII se ha encontrado en armadillos, sin embargo, también se identificó en perros, este UDT es asociado con el ambiente terrestre, mientras que el TcIV se asocia con el ambiente arbóreo. TcII, TcV y TcVI son a menudo asociados con el

ciclo doméstico en países de América del Sur. Recientemente se clasificó un genotipo asociado a murciélagos (TcBat) genéticamente cercano al TcI [14].

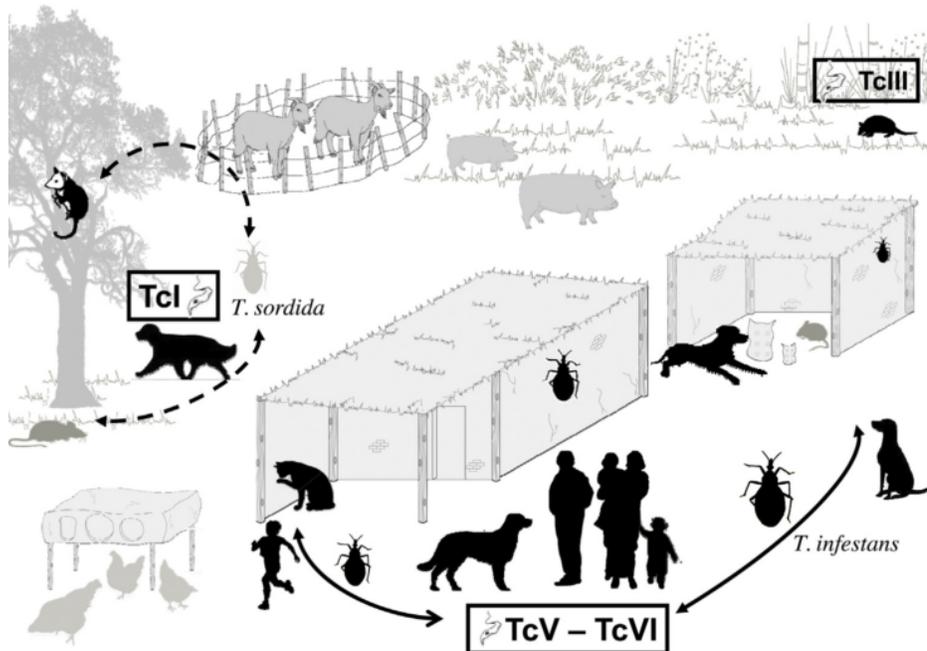
### 3.3. Ciclo de transmisión de *T. cruzi*.

Los sistemas de transmisión de patógenos multihospedero incluyen a muchas zoonosis con dinámicas complejas que desafían el control de la enfermedad y los esfuerzos de prevención, el tener una multiplicidad de hospederos puede favorecer la persistencia de los patógenos (mantenimiento), una alta abundancia de estos (amplificación) o reducir ambos (efecto de dilución) [26].

Un claro ejemplo es *T. cruzi* un parásito exitoso que es transmitido entre más de 100 especies de mamíferos y docenas de especies de insectos vectores de la familia Reduviidae. Los reservorios naturales de *T. cruzi* son aquellos mamíferos domésticos, peridomésticos y silvestres, incluidos los humanos que son infectados naturalmente por el parásito. Tales reservorios juegan un papel importante en el mantenimiento e interacción entre el ciclo de transmisión doméstico y silvestre de la enfermedad de Chagas [27].

Actualmente se sabe que aves y reptiles son refractarios al parásito pero pueden actuar como fuentes de alimentación para los triatomíneos vectores, mejorando o ampliando sus oportunidades de sobrevivir, de esta manera contribuyen indirectamente al mantenimiento del ciclo del parásito [3]. Estas capacidades hacen que se encuentre distribuido casi en todos los biomas y hábitats de América desde el norte de Argentina hasta el sur de los Estados Unidos [27].

Como se mencionó anteriormente, se han distinguido dos ciclos de transmisión de *T. cruzi*: el ciclo doméstico involucrando al humano, animales domésticos y sinantrópicos, y triatominos domiciliados; el ciclo silvestre involucrando a animales y triatominos silvestres (Figura 1). Éstos pueden ocurrir simultánea e independientemente involucrando distintos vectores y reservorios, o pueden ocurrir en simpatía con diferentes grados de solapamiento e interrelación, esto puede ocurrir tanto por la invasión de un vector o reservorio del ciclo doméstico en el ambiente silvestre como en forma inversa [28]. A medida que el ser humano avanza sobre las áreas naturales para su explotación, es más probable de que ocurra un solapamiento, pudiéndose producir una re-emergencia de la enfermedad en áreas donde la transmisión ya fuera controlada [25].



**Figura 1.** Posibles modalidades y relaciones entre los ciclos de transmisión de *T. cruzi*. Figura tomada de Gürtler y Cardinal (2015).

### 3.4. Triatominae

La subfamilia Triatominae es un taxón de reducidos bien caracterizado dentro del orden Hemiptera, definida con base en su hematofagia obligada y las características asociadas con este hábito que la distingue de otros reducidos que son depredadores de invertebrados <sup>[29]</sup>. Todos los triatominos son originarios del ambiente natural, tornándose epidemiológicamente importantes en la medida en que estrechan su relación con el ser humano y las estructuras que habita <sup>[30]</sup>. Especies de triatominos con poblaciones silvestres y/o peridomésticas, representan un potencial riesgo para los programas de control de la enfermedad de Chagas porque pueden infestar fácilmente las áreas tratadas a partir de las poblaciones silvestres <sup>[31]</sup>.

De las 124 especies reconocidas actualmente, 111 están registradas en el continente Americano y en 107 se han reportado infecciones naturales y experimentales con *T. cruzi*, dentro de la subfamilia Triatominae se encuentran cinco tribus: *Alberproseniini*, *Bolboderini*, *Cavernicolini*, *Rhodniini* y *Triatomini*, cada una cuenta con diferentes géneros y especies. Dentro de los triatominos, las especies de mayor importancia epidemiológica son las que colonizan fácilmente las viviendas de los humanos, habitando las grietas y hendiduras de las paredes o los techos de material vegetal en las casas rurales. Los estudios se han concentrado principalmente en cinco especies: *Triatoma infestans*, *Triatoma brasiliensis* y *Pastrongylus megistus* en los países del Cono sur, y *Rhodnius prolixus* y *Triatoma dimidiata* en los países del pacto Andino y partes de América central <sup>[32]</sup>.

En México se han reportado 30 especies de triatominos, de las cuales 21 se han documentado naturalmente infectadas con *T. cruzi* <sup>[33]</sup>. En el sureste de México, el vector principal de *T. cruzi* es *Triatoma dimidiata* (Latreille). En la península de Yucatán su comportamiento se ha descrito como “no

domiciliado” por lo que migra del ambiente peridomiciliar y/o selvático al interior de las viviendas de manera estacional (marzo a julio) <sup>[11-34]</sup>.

### 3.5. Ecología poblacional de Triatominos.

Al hacer una revisión de los estudios poblacionales llevados a cabo con triatominos, tanto bajo condiciones silvestres como de insectos domiciliados, llama la atención el escaso número de dichas investigaciones. Este hecho no es fortuito, y se deriva fundamentalmente de dificultades metodológicas inherentes a las características poblacionales, de hábitat y de hábitos de estas especies <sup>[35]</sup>. En efecto, uno de los principales escollos encontrados en los estudios poblacionales de los triatominos ha sido el problema de un muestreo a lo largo del tiempo. Debido a que ya sea en un ambiente silvestre o bajo condiciones domiciliarias, todos los muestreos perturban de una manera similar a las poblaciones bajo estudio, complicando estudios a largo plazo. Otro factor intrínseco a la dificultad de un muestreo a largo plazo es el carácter de que es un insecto vector de una enfermedad, lo cual hace éticamente difícil el llevar a cabo un muestreo a largo plazo con estos insectos y liberarlos de nuevo a su ambiente o lugar donde fueron colectados <sup>[36]</sup>.

Por otra parte, particularmente cuando se estudian poblaciones domiciliarias, los resultados se ven afectados por tener que llevarse a cabo en habitaciones humanas, lo cual implica una interferencia en las costumbres y hábitos de la vida de sus residentes, si se desea llevar a cabo un muestreo a largo plazo <sup>[37]</sup>.

A pesar de las dificultades metodológicas antes mencionadas existen, aunque sea parcialmente, algunos registros de variaciones estacionales de los triatominos a lo largo del tiempo. Se documentó la incidencia que

tendrían los factores climáticos sobre las fluctuaciones de las poblaciones de estos insectos vectores en relación con las estaciones del año, además el comportamiento de las fluctuaciones entre especies de triatominos es diferente aun estas se encuentren en una misma localidad <sup>[38]</sup>.

Estudios realizados en Venezuela bajo condiciones silvestres, son los que apuntan con mayor claridad a los posibles mecanismos que están afectando a las poblaciones de triatominos desde el punto de vista de los factores físicos climáticos. Un estudio de las poblaciones de *R. prolixus* en el biótomo silvestre de los llanos venezolanos llevado a cabo por un periodo de un año casi completo, con “disecciones” de la palmera (*Copernicia tectorum*) mes a mes entre abril de un año y febrero del año siguiente, ha permitido disponer de información sobre no solo del porcentaje de palmeras con *R. prolixus*, sino también de la fluctuación poblacional de este insecto a lo largo de las estaciones del año y su correlación con las variaciones de los factores climatológicos <sup>[35]</sup>.

Sin lugar a duda la alternancia de períodos secos y lluviosos pareciera ser uno de los factores que juegan un papel esencial no sólo en la fluctuación estacional de las poblaciones de triatominos, sino también en sus características de dispersión y sus habilidades para colonizar estructuras en sus ecotopos <sup>[37]</sup>.

Además de existir una aparente correlación entre estos factores climáticos ligados a la temperatura y la humedad relativa con el tamaño y la fluctuación de las poblaciones de los triatominos, también se ha postulado que estos insectos son muy sensibles a pequeñas variaciones climáticas (en temperatura, lluvias, vientos, etc) <sup>[38]</sup>.

En el caso de las poblaciones de *T. dimidiata* un aspecto importante sobre su ecología, es la estacionalidad de la infestación en las viviendas predominada por adultos, la cual se da en los meses más calurosos y secos del año en regiones con clima tropical subhúmedo <sup>[39]</sup>; si se considera que muchos aspectos fisiológicos y de alimentación en esta especie están influenciados por la temperatura, es posible sugerir que este factor podría generar mayor gasto metabólico en *T. dimidiata* y, como consecuencia, requeriría mayor frecuencia y cantidad de alimentación, lo que produce un desarrollo acelerado en los estadios inmaduros, acortando el ciclo en su ambiente natural, tal y como lo sugiere los resultados obtenidos en el trabajo de Martínez-Ibarra *et al.* <sup>[40]</sup>. Esto podría estar ligado a la estacionalidad que está especie ha demostrado en diferentes regiones, pues varios trabajos documentan este fenómeno e indican que la dispersión de los adultos se realiza durante la época más calurosa y seca del año <sup>[41-42-43]</sup>.

Es posible que durante esta temporada se dé la dispersión de adultos imagos en búsqueda de alimento para la reproducción, del mismo modo, la pérdida de agua por efecto de la temperatura, podría generar condiciones de inanición en los individuos, pues el estrés hídrico genera la necesidad de alimentarse <sup>[39]</sup>.

### 3.6. *Triatoma dimidiata* (Latreille)

*T. dimidiata* es una especie que constituye un ensamblaje de poblaciones morfológicamente similares <sup>[44]</sup>. Ha sido encontrada en un amplio rango de hábitats silvestres, como dentro de las casas y en los peridomicilios <sup>[45-46]</sup>. Este insecto se distribuye desde el centro de México hasta el norte de Colombia y Venezuela, y a través de la mayor parte de América central <sup>[47]</sup>. En muchas de estas regiones se ha adaptado a las viviendas humanas <sup>[48-29]</sup>, mientras que en el sureste de México, Belice, y algunas partes de

Guatemala, las poblaciones son principalmente silvestres con infestaciones periódicas a las viviendas<sup>[43]</sup>. En la península de Yucatán su comportamiento se ha descrito como “no domiciliado”<sup>[11]</sup>, lo que representa un importante reto para su control, ya que la evaluación de diferentes estrategias ha mostrado importantes reducciones en la presencia de *T. dimidiata* en el interior de las viviendas pero por un corto período de tiempo y después generalmente al siguiente año la infestación se vuelve a presentar<sup>[41-49]</sup>. Sin embargo hay que considerar que *T. dimidiata* presenta poblaciones silvestres y peridomésticas, lo que complica su erradicación utilizando los métodos actuales disponibles.

Debido a su amplia distribución y capacidad de colonizar las viviendas humanas, *T. dimidiata* se ha convertido en el principal objetivo de extensas operaciones de control de esta enfermedad<sup>[50]</sup>.

### 3.7. Ecología de *T. dimidiata* en el peridomicilio.

El peridomicilio es el área alrededor de los dormitorios donde se realiza la actividad humana cotidiana y se alojan animales domésticos en una diversidad de estructuras físicas pudiendo abarcar un radio de hasta 150 metros alrededor de los domicilios<sup>[51]</sup>. Esta área es muy atractiva para la fauna sinantrópica silvestre, quienes aprovechan las fuentes de alimento y refugios ahí disponibles y, en ocasiones, colonizan ese espacio durante algún tiempo. Esta fauna es, muchas veces, portadora de patógenos zoonóticos, por lo que juega un papel importante en el establecimiento de ciclos de transmisión de dichos patógenos a la población humana<sup>[3]</sup>.

Investigaciones recientes han adjudicado que los patrones de aproximación de las poblaciones de vectores con hábitats humanos es una consecuencia directa de actividades humanas<sup>[52]</sup>. Como por ejemplo, la fragmentación del

hábitat debido a la deforestación por lo general reduce las poblaciones de mamíferos silvestres y restringe el alimento de estas, promoviendo un mayor contacto con los seres humanos. Como consecuencia de este proceso hay mayor posibilidad de contacto entre los seres humanos, animales (domésticos y silvestres) y vectores. En este escenario, la transmisión de *T. cruzi* puede incrementarse debido a lo siguiente: (i) la selección de especies generalistas con alta competencia como didélfidos y algunos roedores que, sin duda, se adaptan y sobreviven en hábitats degradados, (ii) la consiguiente amplificación del ciclo de transmisión del parásito debido a una mayor abundancia de especies que actúan como reservorios competentes y (iii) el aumento en la prevalencia de los insectos infectados. Además, la escasez de fuentes de alimentos para los triatomíneos obligándolos a invadir las viviendas humanas y anexos que utilizan como refugios más estables, que también contribuyen al crecimiento de estas poblaciones <sup>[3]</sup>.

Se ha observado que el peridomicilio constituye el origen y la principal fuente de infestación y reinfestación para las casas <sup>[11]</sup>. Estudios realizados en un área urbana en Costa Rica demostraron que los peridomicilios representan un riesgo continuo de infestación por *T. dimidiata* a las casas cercanas a los microhábitats colonizados <sup>[51]</sup>.

En la península de Yucatán Gourbière *et al.* (2008) <sup>[53]</sup> mostraron la primera evidencia cuantitativa de que las poblaciones de *T. dimidiata* que infestan las viviendas en Yucatán no son autosostenibles, lo que confirmó que es un vector no domiciliado, cuya población tiene que ser reconstruida periódicamente por la inmigración. Calculando que hasta el 90% de los individuos que se encuentran en las casas son adultos inmigrantes de los ecotopos silvestres y peridomésticos.

La probable contribución del peridomicilio como una fuente de *T. dimidiata* para la infestación de las viviendas fue abordada en el estudio de Barbu *et al.* (2010) <sup>[54]</sup> empleando diferentes estrategias de modelaje matemático espacial en el que encontraron tres resultados interesantes. 1) La contribución proporcional estimada de chinches que infestan las viviendas desde el peridomicilio fue de 55% con respecto a las que provienen del hábitat selvático. 2) Estimaron que los triatominos en fase de dispersión fueron atraídos de 5 a 15 veces más al interior de las casas con respecto al peridomicilio y, 3) Los individuos se dispersan en distancias cortas estimadas en 40 a 60 m/15 días.

Además un estudio realizado en una localidad de Yucatán, Reyes-Novelo *et al.* (2013) <sup>[11]</sup> demostraron la importancia del peridomicilio como potencial fuente de reinfestación, a causa de la colonización de refugios de animales (gallineros, perreras y madrigueras de zarigüeyas), con diferentes estados coexistiendo y estableciendo un riesgo constante para la infestación de las casas circundantes. Otro estudio enfatizó la relevancia de los gallineros como fuente putativa de poblaciones de *T. dimidiata* <sup>[55]</sup>.

Chan-Espinoza *et al.* (sometido) <sup>[56]</sup> documentaron elementos importantes que contribuyen al entendimiento de la influencia del peridomicilio en la infestación de las viviendas, principalmente en tres aspectos. Primero, la configuración espacial de la infestación del intra y el peridomicilio, el notorio estado de colonización de los peridomicilios y finalmente mostró claramente que hay un mayor número de casas infestadas cuando tienen cerca un peridomicilio colonizado por *T. dimidiata*, mientras que el número de éstas disminuye a medida que aumenta la distancia.

Dado que el peridomicilio abarca un área mayor y sus estructuras son más abundantes y complejas que las del domicilio, probablemente se esté

subestimando los porcentajes de infestación y densidad de *T. dimidiata* en este ecotopo.

#### IV. OBJETIVOS.

##### 4.2 General

- Describir la fluctuación temporal de la abundancia de *T. dimidiata* y sus tasas de infección por *T. cruzi* en el peridomicilio de diez localidades del estado de Yucatán.

##### 4.3 Específicos

- Comparar la fluctuación temporal de la abundancia y frecuencia de infección de *T. dimidiata* entre los peridomicilios de 10 localidades de Yucatán.
- Explorar la relación entre la variación temporal de factores climáticos y la abundancia de *T. dimidiata*.
- Comparar la variación temporal de la abundancia de *T. dimidiata* entre las estructuras peridomésticas infestadas.

## **V. HIPOTESIS.**

1. La abundancia de *T. dimidiata* así como su infección con *T. cruzi* en los peridomicilios incrementa en la temporada más calurosa del año.
2. La variación de la abundancia de *T. dimidiata* en los peridomicilios es diferente entre las localidades estudiadas, así como en las estructuras peridomésticas infestadas

## VI. MATERIAL Y MÉTODOS.

### a. Tipo y diseño del estudio.

Se llevó a cabo un estudio longitudinal prospectivo, en el cual se realizó la búsqueda y captura de *T. dimidiata* en los peridomicilios de 10 localidades (Timucuy, Tetiz, Sinanché, Seyé, Mocochoá, Kopomá, Komchén, Homún, Cacalchén y Chicxulub), durante el periodo comprendido de marzo a diciembre de 2016. Dichas localidades están ubicadas en la región cálido subhúmeda (Aw0) con lluvias en verano del estado de Yucatán. Una vez por mes, se visitaron 10 peridomicilios en cada una de las 10 localidades (distintos peridomicilios por localidad en cada censo) resultando en un total de 100 peridomicilios por mes, dando un total de 1000 peridomicilios en todo el estudio. En peridomicilio se definió como el espacio privado que rodea la casa, por lo general limitado por hormigón, muros de piedra o cercas, o por los límites legales de acuerdo con los títulos de propiedad y la información proporcionada por los habitantes de la vivienda, éstos se seleccionaron aleatoriamente y con el consentimiento del propietario para poder realizar la búsqueda.

### b. Universo.

El universo del estudio se compone por la población total de especímenes de *T. dimidiata* en los peridomicilios del estado de Yucatán.

c. Muestra.

En el presente estudio la unidad de análisis será la abundancia y la presencia de *T. dimidiata* en los peridomicilios muestreados de cada localidad e estudio.

d. Definición de las variables y escalas de medición.

**Cuadro 1.** Definición y tipo de variables utilizadas.

<b>Variables</b>	<b>Definición</b>	<b>Tipo</b>	<b>Característica</b>
Abundancia	Número total de triatominos colectados en cada peridomicilio	Discreta	Dependiente
Infección	Proporción de total de triatominos infectados	Proporción	Dependiente
Temperatura	Temperatura registrada en la zona climática (transformada al logaritmo)	Continua	Independiente
Precipitación	Precipitación registrada en la zona climática (transformada al logaritmo)	Continua	Independiente
Tiempo	Cada uno de los meses de muestreo	Categórica	Independiente
Localidad	Localidades muestreadas	Nominal	Independiente
Estructuras	Cada una de las estructuras revisadas	Nominal	Independiente

e. Criterios.

i. Inclusión.

Se incluyeron únicamente los especímenes de *T. dimidiata* capturados en los peridomicilios de las viviendas seleccionadas.

ii. Exclusión.

Se excluyeron del estudio aquellas viviendas donde el propietario de la casa negó el permiso o acceso para realizar la inspección del peridomicilio.

f. fuentes.

Las variables climáticas se obtuvieron de las estaciones de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) más cercanas a cada una de las localidades de estudio.

g. Métodos y técnicas.

- Colectas entomológicas

Todas las estructuras peridomiciliares fueron revisadas en busca de ejemplares de *T. dimidiata* con la ayuda de pinzas de disección, guantes y linternas. El método que se utilizó para coleccionar los insectos fue por búsqueda manual utilizando un equipo de 4 personas capacitadas haciendo un total de 30 minutos por peridomicilio visitado, por lo que se utilizó un esfuerzo de muestreo de 2000 horas/hombre en el trabajo de campo.

Durante la inspección en los peridomicilios, se describieron todas las estructuras presentes y ubicación respecto a la vivienda. Se documentó la presencia y número de animales (gallinas, perros, cerdos, etc.), así como la presencia de corrales y la presencia de madrigueras de animales sinantrópicos.

Los insectos colectados se depositaron en bolsas de transporte con cierre hermético de manera individual, anotando en la misma los siguientes datos de colecta: número de casa, fecha, estadio, hora y ubicación. Posteriormente, se colocaron en una hielera de mano y fueron transportados al Área de Entomología del Laboratorio de Zoonosis y Otras Enfermedades Transmitidas por Vector, del Centro de Investigaciones Regionales “Dr. Hideyo Noguchi”, en donde se colocaron en un congelador para su preservación hasta su procesamiento.

- Extracción de contenido abdominal

A los insectos capturados en los peridomicilios se les realizó un lavado intestinal que consistió en colocarlos ventralmente sobre un tubo de microcentrífuga, sujetados con pinzas entomológicas y con ayuda de una jeringa desechable de 1 mL se le inyectó 0.20 mL de solución salina isotónica al 0.9% a través de la abertura urogenital (pigidio). Después de 2 minutos, la solución fue extraída nuevamente, ya con el contenido del intestino, para después colocarlo en el tubo de microcentrífuga manteniéndolos en un congelador para su preservación hasta su procesamiento. Todo el material empleado fue desechable, por lo que cada lavado se realizó con insumos nuevos para evitar contaminación.

- Diagnóstico de la infección por *T. cruzi*.

El diagnóstico de infección por *T. cruzi* en las chinches capturadas se llevó a cabo por la amplificación del ADN del cinestoplasto del parásito por reacción en cadena de la polimerasa punto final (PCR).

- Extracción y purificación de ADN de *T. cruzi* en *T. dimidiata*.

Para la extracción y purificación de ADN se utilizó el kit ZR Tissue & insect DNA Miniprep™ de Zymo Research® (Zymo Research, California, USA), de acuerdo con las instrucciones del fabricante, como sigue:

Una vez obtenido el contenido intestinal de los insectos, se agregó 400 µL de solución de lisis al contenido intestinal en el tubo de microcentrífuga y se dejó incubar por 10 minutos; posteriormente se colocó en la microcentrífuga Thermo Scientific MicroCL 17 a 10000 rpm por un minuto, para después transferir 400 µL del sobrenadante a la columna Zymo-spin™ IV filter en un tubo colector el cual es nuevamente centrifugado a 7000 rpm por un minuto. Posteriormente, se añadió 1200 µL de buffer de lisis genómico para el filtrado en el tubo colector y se mezcló, para luego transferir 800 µL de la mezcla del paso anterior a una columna Zymo-spin™ IIC en un tubo colector y centrifugar a 10000 rpm por un minuto. Se desechó el flujo a través del tubo colector y se repitió el paso anterior. Posteriormente se añadió 200 µL de buffer DNA pre-wash a la columna Zymo-spin™ IIC en un nuevo tubo colector y se centrifugó a 10000 rpm por un minuto, luego se añadió 500 µL de buffer g-DNA wash a la columna Zymo-spin™ IIC y se centrifugó 10000 rpm por un minuto y por último se transfirió la columna Zymo-spin™ IIC a un tubo de microcentrífuga de 1.5 mL nuevo y se añadió 50 µL de buffer de elusión directamente a la matriz de la columna para dejar en reposo por 30 minutos a temperatura ambiente. Una vez transcurrido este tiempo se

centrifugó a 10000 rpm por 30 segundos, se almacenó el tubo de microcentrífuga con el ADN a 4°C para procesar el mismo día o a -20 °C si su procesamiento fuera en otros días.

- Preparación de la mezcla de PCR.

En un tubo de microcentrífuga “Eppendorf” se depositó el Green Master Mix Go Taq® (es un solución de diferentes componentes para PCR que incluyen dinucleótidos 200 mM, cloruro de magnesio 1.5 mM, buffer de PCR 1x y colorantes como indicadores de corrida en el gel). Se usaron los oligonucleótidos ambos específicos a una porción ADN del cinetoplasto de *T. cruzi*: 121: 5'-AAATAATGTACGGGKGAGATGCATGA-3'; 122: 5'-GGTTCGATTGGGGTTGGTGTAATATA-3', que amplifican una secuencia de 330 pares de bases <sup>[57]</sup>. El grupo de muestras que se utilizó para cada reacción de amplificación equivale a 10 µL de Green Master Mix GoTaq®, 10 pM del oligonucleótido 121, 10 pM del oligonucleótido 122 y 100 ng de ADN. Se empleó el marcador de peso molecular TrackIt™ DNA Ladders de Invitrogen. Se utilizó el programa de amplificación 121-122, el cual consiste en el siguiente perfil de temperaturas: desnaturalización, anillamiento de los iniciadores y la extensión fue un paso de 3 min a 94°C; 2 ciclos de 1 min a 97.5°C, 2 min a 64°C; 33 ciclos de 1 min a 94°C, 1 min a 62 °C y un paso de extensión final de 10 min a 72°C <sup>[57]</sup>.

- Electroforesis y visualización del producto final.

Se separaron los productos de PCR por electroforesis en geles de 1.5 % de agarosa teñida con bromuro de etidio (10 mg/ml) y se documentó en un sistema EDAS 290 (Kodak, Roschester, NY).

#### h. Estadística.

- Análisis de datos.
  - Índices entomológicos.

Se calcularon los índices entomológicos propuestos por la OMS <sup>[58]</sup>: Infestación (número de patios infestados / número de patios examinados × 100); colonización (número de patios con estadios juveniles / número de patios infestados × 100); infección (número de triatominos infectados con *T. cruzi* / número de triatominos examinados). Cada uno con sus intervalos de confianza al 95% de acuerdo con Bush *et al.* (1997) <sup>[59]</sup>. Las estimaciones se realizaron con el paquete Quantitative Parasitology 3.0 <sup>[60]</sup>. También se cuantificó el número de peridomicilios con al menos un insecto infectado. Los índices mencionados anteriormente se realizaron de manera general (considerando los 1000 peridomicilios), y para cada una de las diez localidades estudiadas. Estos análisis se realizaron de manera descriptiva.

- Análisis para la fluctuación de la abundancia.

Se analizó la fluctuación de la abundancia *T. dimidiata* de la siguiente manera: se evaluó el efecto temporal (meses) y de la localidad en la abundancia de *T. dimidiata*.

Considerando la variable mes como factor fijo y la variable localidad como factor aleatorio. Debido a la alta incidencia de ceros (alrededor del 87% del conjunto de datos), se decidió usar un modelo lineal generalizado para inflación de ceros basado en una distribución binomial negativa (ZINB por sus siglas en inglés).

Además para, reducir la sobredispersión de la varianza debido a los ceros, se utilizó la función logit <sup>[61]</sup>. Se consideró trabajar como variable dependiente la abundancia mensual de *T. dimidiata* (la suma de la abundancia de todos los peridomicilios por localidad en cada mes) para reducir el número de ceros en la matriz de datos.

El modelo ZINB, tiene dos componentes uno que evalúa el efecto de las variables independientes a través de un modelo lineal generalizado (GLM) con distribución binomial negativa; y otro que evalúa el efecto de los ceros en la variable dependiente, utilizando un GLM con distribución binomial, para modelar la probabilidad de medir un cero (llamado falso cero)<sup>[61]</sup>.

Para determinar diferencias en los niveles de los factores principales se compararon sus medias, para esto se empleó un análisis de comparaciones múltiples usando la corrección de Bonferroni <sup>[62]</sup>.

- Análisis para la frecuencia de infección

Se usó un modelo lineal generalizado (GLM), con distribución binomial para analizar la frecuencia de infección con *T. cruzi* en *T. dimidiata* (Proporción de triatomíneos infectados por localidad en cada mes).

El modelo que se utilizó evaluó el efecto temporal (mes) y de la localidad en la abundancia de los triatomíneos infectados.

- Análisis del efecto las variables climáticas en la abundancia.

Se realizó un modelo lineal generalizado, con distribución binomial negativa. Para predecir la abundancia mensual de *T. dimidiata* (la suma de la abundancia de todos los peridomicilios por mes) en función de las variables climáticas (temperatura, precipitación y evaporación). Para este modelo se construyó una matriz de datos a partir del promedio mensual de cada una de las variables mencionadas anteriormente para las 10 localidades.

- Análisis del efecto de las estructuras en la abundancia.

Se usó un modelo lineal generalizado con distribución binomial negativa para saber si las estructuras peridomésticas explican la variación temporal (mes) de la abundancia de las chinches. Para evitar el exceso de ceros en la matriz de datos la abundancia se introdujo al modelo como la suma de la abundancia de cada estructura en los meses de colecta. Cabe resaltar que para este modelo la variable estructuras se categorizó en: gallineros, montículos de piedras y otros (que incluía perreras, montículos de láminas, conejeras y bodegas) para disminuir el número de ceros en los datos.

Se empleó un análisis de comparación múltiple usando la corrección de Bonferroni <sup>[62]</sup>, para determinar si existían diferencias en la abundancia mensual de *T. dimidiata* entre los niveles de los factores mes y estructura.

Para validar los modelos de los análisis mencionados anteriormente se calcularon los siguientes supuestos: se realizó la selección hacia atrás de las variables a partir del modelo completo con todas las variables, y se evaluó a través del criterio de información Akaike más bajo (AIC, por sus siglas en

ingles)<sup>[61]</sup>. Se evaluaron los efectos principales de los modelos con distribución binomial negativa con el análisis de la devianza con distribución Chi-cuadrada tipo II; en el modelo con distribución binomial se usó la prueba de Wald con distribución Chi-cuadrada <sup>[62]</sup>. El poder explicativo del modelo se midió a través de la Pseudo R<sup>2</sup> <sup>[63]</sup>.

Los análisis estadísticos y las gráficas se realizaron con el software R (<http://www.r-project.org/>) versión 3.4.1 <sup>[64]</sup> con las siguientes librerías: lattice<sup>[65]</sup>, MASS <sup>[66]</sup>, ggplot2 <sup>[67]</sup>, rgl <sup>[68]</sup>, rcompanion <sup>[69]</sup>, multcompView <sup>[70]</sup>, knitr <sup>[71-72-73]</sup>, car <sup>[74]</sup>, pscl <sup>[75-76]</sup>, rglwidget<sup>[77]</sup>, zoo<sup>[78]</sup>, lmtest<sup>[79]</sup>, estimability<sup>[80]</sup> y lsmeans<sup>[81]</sup>.

i. Consideraciones éticas.

Esta tesis forma parte del proyecto: "Sistemas de predicción de focos de enfermedades zoonóticas" el cual fue aprobado por el comité de ética en investigación del Centro de investigaciones regionales "Dr. Hideyo Noguchi".

 **UADY**  
CENTRO DE INVESTIGACIONES REGIONALES  
"DR. HIDEYO NOGUCHI"

**COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN**

Mérida, Yuc, a 30 de junio del 2015

DICTAMEN			
1ª REVISIÓN	FECHA: 30.04.15	CEI05/15	PROTOCOLO: INVESTIGACIÓN

**TÍTULO:** SISTEMA DE PREDICCIÓN DE FOCOS DE ENFERMEDADES ZONOTICAS

**RESPONSABLES:** Responsable: Dr. HUGO RUIZ PIÑA

**Adscripción:** CIRB- Universidad Autónoma de Yucatán

**DONDE SE REALIZARÁ EL ESTUDIO:**

**Teléfonos:** 9245755 ext 1180      **Correo-e:** rpina@correo.uady.mx

**Dudas y observaciones acerca del protocolo**

1. Se sugiere detallar la parte metodológica para clarificar el procedimiento de colecta, toma de muestra y sacrificio desde el punto de vista ético.

**RECOMENDACIONES**

Informe al Comité de Ética en Investigación cada año de los avances  
Entregar informe de proyecto finalizado

**DICTAMEN:**      APROBADO

**Atentamente**

  
Fernando Isaías Puerto Manzano  
VOCAL PRESIDENTE

  
Francisco Javier Escobedo Ortegón  
VOCAL SECRETARIO

**Figura 2.** Dictamen de aprobación del comité de ética.

## VII. RESULTADOS.

De marzo a diciembre del 2016 se colectó un total de 1166 especímenes de *T. dimidiata* en las diez localidades estudiadas. De los cuales 1007 se encontraron vivos.

### 7.1. Índices entomológicos.

Los índices entomológicos generales mostraron que el 12.8% (I.C 95%= 10-15) de los peridomicilios revisados estaba infestado; y el 78.1% (I.C 95%= 70-89) de estos se encontraba colonizado por *T. dimidiata*. La prevalencia general de insectos infectados con *T. cruzi* fue de 19.3% (I.C 95%= 16-21) (el 20.6% de las ninfas y el 7.6 de los adultos).

Hubo notables diferencias entre las localidades con respecto a sus índices entomológicos. Todos los índices calculados fueron mayores en la localidad de Timucuy. A pesar de que en algunas localidades se encontraron índices más elevados (Chicxulub: colonización; Cacalchén y Komchén: infección) (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Índices entomológicos por cada localidad estudiada

Localidades	Infestación	Colonización	Infección	Patio(+)
Cacalchén	11%(5–18)	72%(39-94)	40%(27-54)	7
Chicxulub	2%(0-7)	100%(15-100)	33%(1-90)	1
Homún	19%(11-28)	78%(54-93)	14%(10-18)	10
Komchén	7%(2-13)	71%(29-96)	40%(12-73)	1
Kopomá	12%(6-20)	83%(51-97)	22%(12-34)	6
Mocochá	7%(2-13)	57%(18-90)	38%(13-68)	3
Seyé	17%(10-25)	76%(50-93)	21%(14-29)	8

Sinanché	15%(8-23)	80%(51-95)	14%(7-23)	8
Tetiz	3%(0-8)	37%(8-75)	33%(7-70)	3
Timucuy	30%(21-40)	93%(77-99)	18%(14-22)	17

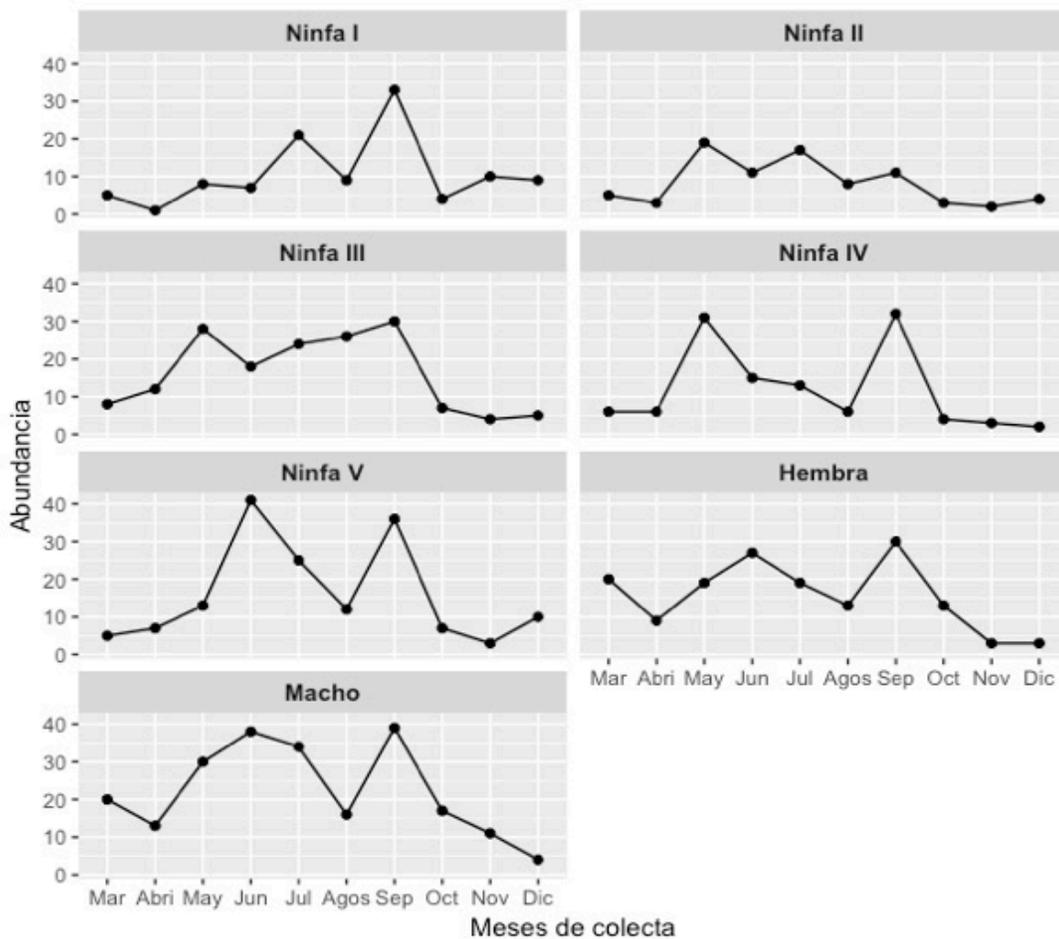
Patio (+) = número de peridomicilios con al menos un insecto infectado; Intervalos de confianza al 95%

## 7. 2. Abundancia de *T. dimidiata*.

El 62.4% de la abundancia de *T. dimidiata* fueron ninfas y el resto adultos. Se observó que las ninfas del quinto estadio tuvieron una mayor abundancia en 5 de los 10 meses de colecta, pero su abundancia total fue menor en comparación con las ninfas tres. Por otra parte, en los adultos, tanto la abundancia mensual como la total de los machos fue mayor en comparación con las hembras.

En el mes de septiembre se capturó el mayor número de ejemplares (211). Se pudo observar que en cada uno de los diez meses se capturaron todos los estadios del ciclo de vida de *T. dimidiata*, con la única excepción de que no se encontraron huevos de este vector en los patios revisados.

Al analizar la fluctuación de la abundancia en cada uno de los estadios, se observó que las ninfas del estadio uno, muestran un incremento gradual en su abundancia en los meses de julio, agosto y septiembre. Mientras que los demás estadios de desarrollo de *T. dimidiata*, mostraron un incremento entre los meses de abril a junio, posteriormente la abundancia decrece notablemente en el mes de agosto y vuelve a incrementar en el mes de septiembre. Pero el repunte no ocurre en las ninfas del segundo estadio (Figura 3).



**Figura 3.** Fluctuación de la abundancia de cada uno de los estadios de *T. dimidiata* en los meses de muestreo.

Con respecto a la abundancia de las chinches en las localidades, se observó que durante todo el tiempo de muestreo se colectó al menos una vez un ejemplar de *T. dimidiata* en cada una de las localidades estudiadas. Únicamente en la localidad de Timucuy se colectaron chinches en los diez meses. Aproximadamente el 40% (396) de los insectos se colectó en esta localidad. Por el contrario, la localidad de Chicxulub tuvo la menor proporción de insectos con tan sólo 3 insectos (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Abundancia temporal de *T. dimidiata* en cada una de las localidades estudiadas.

Localidades	Meses de colecta										TOTAL
	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Cacalchén	1	9	9	12	7	2	0	12	0	0	52
Chicxulub	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	3
Homún	0	8	20	72	11	7	98	15	24	8	263
Komchén	1	0	0	5	1	0	1	0	2	0	10
Kopomá	0	3	0	16	9	1	13	17	0	0	59
Mocochá	2	0	4	1	1	0	5	0	0	0	13
Seyé	7	0	10	9	64	22	2	2	1	0	117
Sinanché	19	9	11	0	28	3	7	1	7	0	85
Tetiz	0	2	1	2	1	0	0	0	0	3	9
Timucuy	39	20	93	40	31	55	83	8	1	26	396
<b>TOTAL</b>	69	51	148	157	153	90	211	55	36	37	1007

A pesar de que el modelo el modelo lineal generalizado para inflación de ceros (ZINB) mostró que los factores mes y localidad explican la abundancia de *T. dimidiata* (Cuadro. 4), la evaluación de los ceros del modelo demostró que este resultado es espurio, por lo tanto no existen elementos suficientes para decir que hay diferencias en la abundancia de chinches en los niveles estos factores ( $p > 0.05$ ).

**Cuadro 4.** Análisis de la devianza del modelo ZINB para la fluctuación de la abundancia de *T. dimidiata* en función de los factores mes y localidad.

	gl	Valor $\chi^2$	Valor $p$
Mes	9	22.597	0.007169 *
Localidad	9	119.782	< 2.2e-16 *

gl = grados de libertad

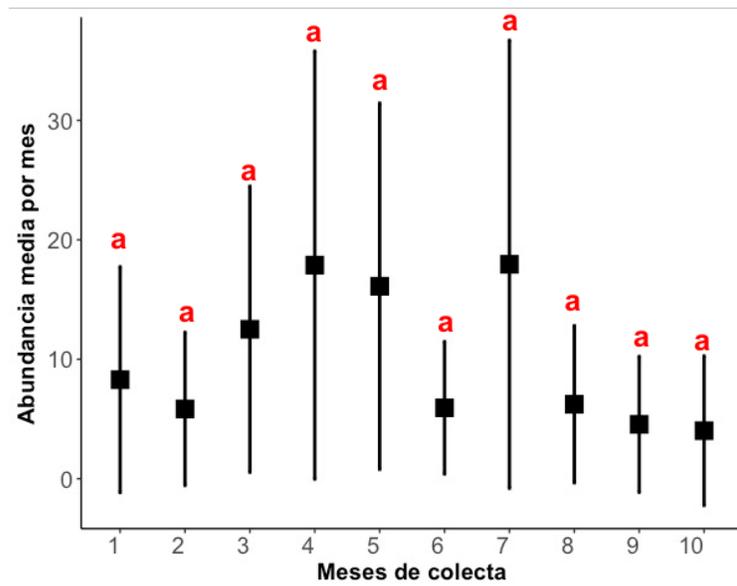
Usando las variables mes y localidad se logró explicar el 62% de la variabilidad del modelo. Además se, comprobó que el modelo planteado anteriormente para predecir la abundancia de las chinches, fue el mejor modelo. Los coeficientes de validación del modelo son resumidos en el cuadro 5.

**Cuadro 5.** Resultados de la selección del modelo ZINB para la fluctuación de la abundancia de *T. dimidiata*.

<b>Modelo</b>	<b>gl</b>	<b>AIC</b>	<b>RV</b>	
<i>Abundancia mensual por localidad</i> ~ mes + localidad   localidad	30	554.7070	$\chi^2= 94.585$	$p < 0.05$
<i>Abundancia mensual por localidad</i> ~ localidad   localidad	21	558.6059	$\chi^2=74.686$	$p < 0.05$

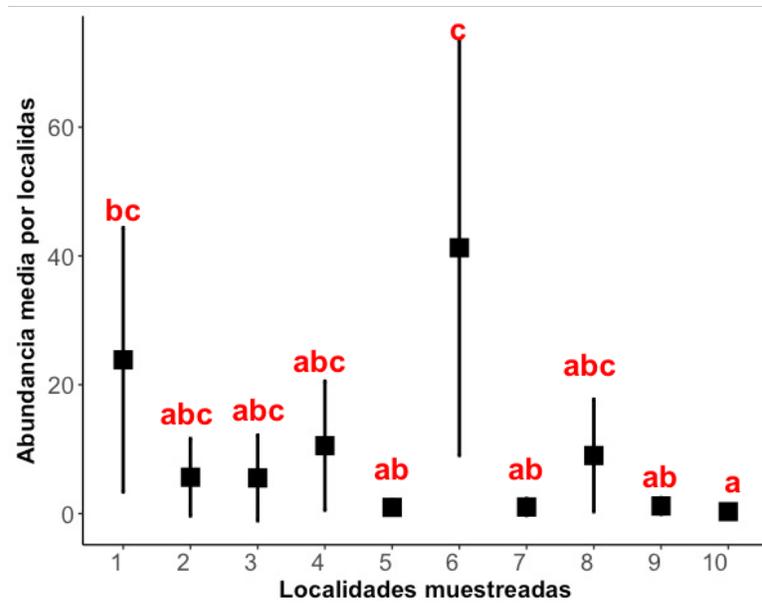
gl = grados de libertad; AIC = Criterio de información Akaike (por sus siglas en ingles); RV = Razón de verosimilitud

El análisis de comparaciones múltiples mostró que no existen diferencias en la abundancia mensual de *T. dimidiata*, cuando se compara entre los meses de colecta (Figura 4). Pero al comparar la abundancia mensual de insecto entre las localidades si se encontraron diferencias (Figura 5), sin embargo, como se mencionó anteriormente, dichas diferencias no son válidas debido a las altas probabilidades de que los ceros contabilizados sean falsos ceros.



Las cajas indican la abundancia media; las barras de error indican el intervalo de confianza al 95%.

**Figura 4.** Comparación de la abundancia media de *T. dimidiata* entre los meses de colecta.



Las cajas indican la abundancia media; las barras de error indican el intervalo de confianza al 95%.

**Figura 5.** Comparación de la abundancia media de *T. dimidiata* entre las diez localidades estudiadas.

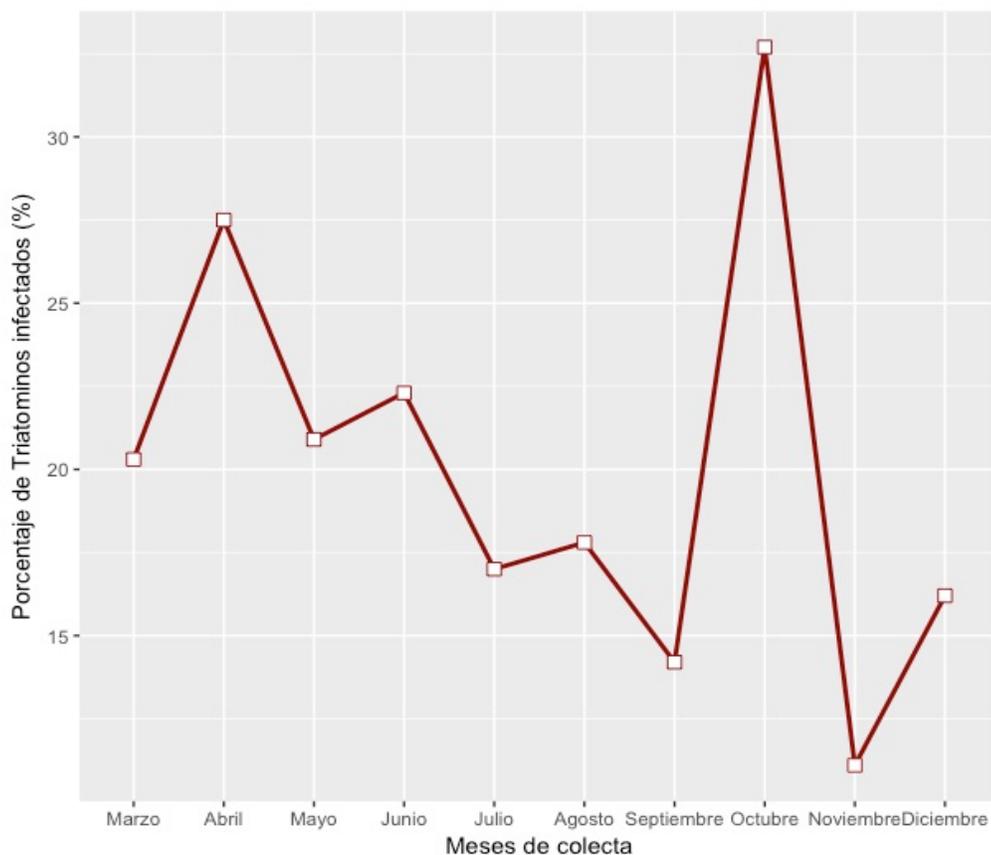
### 7.3. Frecuencia de infección con *T. cruzi*.

El porcentaje de adultos infectados con *T. cruzi* fue mayor en comparación con las ninfas (20.1% vs. 18.8%). En los machos se encontró el porcentaje más alto de insectos infectados con el parásito (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Porcentaje de *T. dimidiata* infectados con *T. cruzi* por estadio.

Estadios	Meses de colecta										TOTAL
	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
I	0	3.4	1	1.1	2	0	1.4	0	9.1	6.7	1.7
II	3.4	0	4	2.2	1	1.6	0.7	4	4.5	0	1.9
III	13.8	6.9	10.1	10.9	3	6.6	4.2	8	0	3.3	4.7
IV	0	3.4	4	4.3	2	3.3	2.1	8	0	0	2.9
V	0	13.8	5.1	7.6	6	3.3	3.5	12	4.5	6.7	5.6
Ninfas	17.2	27.6	24.2	26.1	14	14.8	12	32	18.2	16.7	18.8
♀	12.5	13.6	8.2	7.7	5.7	13.8	13	10	0	14.3	9.8
♂	10	13.6	6.1	9.2	17	10.3	5.8	23.3	0	0	10.3
Adultos	22.5	27.2	14.3	16.9	22	24.1	18.8	33.3	0	14.3	20.1
<b>TOTAL</b>	20.3	27.5	20.9	22.3	17	17.8	14.2	32.7	11.1	16.2	19.3

La frecuencia de insectos infectados mostró dos picos, uno en abril y otro en octubre. El porcentaje de insectos infectados con *T. cruzi* fue mayor en el mes de octubre (Figura 6).



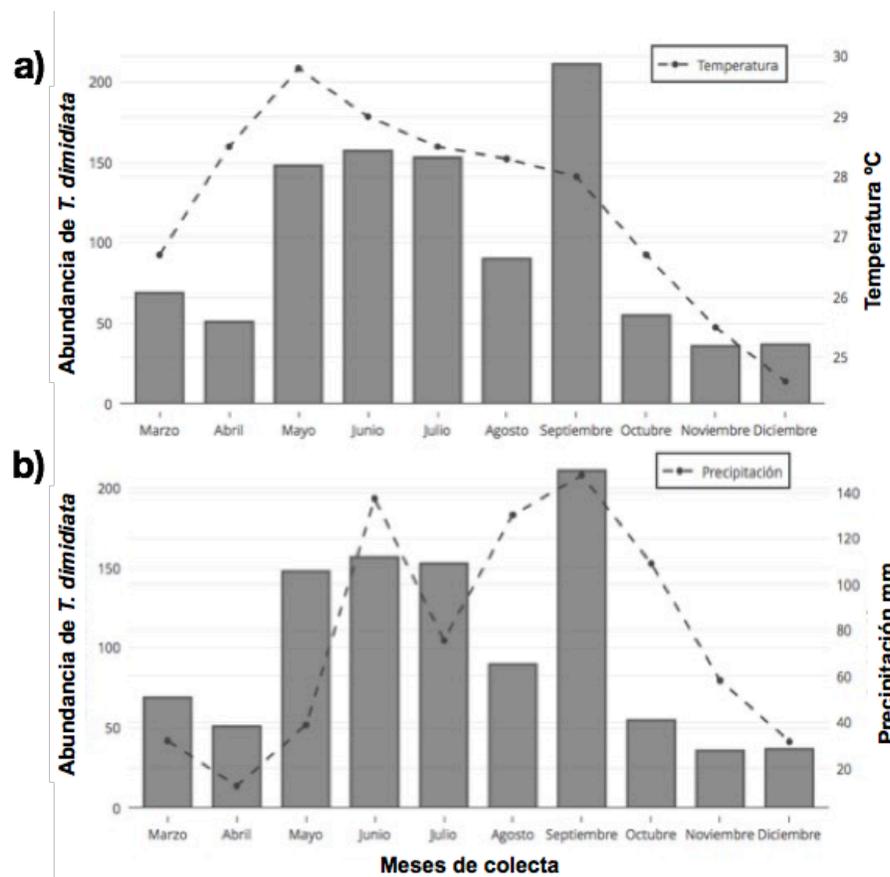
**Figura 6.** Frecuencia de ejemplares de *T. dimidiata* infectados con *T. cruzi*.

El 80% de la abundancia de triatomini infectados se concentró en las localidades de Cacalchén (21), Seyé (25), Homún (37), y Timucuy (73). Siendo esta última donde se encontró la mayor abundancia de ejemplares de *T. dimidiata* infectados con *T. cruzi*.

Se observó que las variables mes y localidad, no explicaron la frecuencia de chinches infectadas con *T. cruzi* ( $\chi^2 = 3.2$ ,  $gl=3$ ,  $p>0.05$ ).

#### 7.4. Variables climáticas

Cuando se sobrepuso la fluctuación de la abundancia de las chinches con las variables climáticas (temperatura y precipitación). Se observó que hay dos incrementos notables de la abundancia de *T. dimidiata*. Uno a finales de la temporada seca (mayo y junio) y otro en el mes de septiembre cuando incrementa la precipitación, ambos dominados por estadios juveniles (Figura 7).



**Figura 7.** Fluctuación de la abundancia de *T. dimidiata* y la variación de las variables climáticas, a) temperatura y b) precipitación en los meses de colecta.

El modelo lineal generalizado (GLM) con distribución binomial negativa utilizando las variables climáticas como predictoras, mostró que tanto la temperatura como

la precipitación se relacionan positivamente con la abundancia mensual de *T. dimidiata* ( $p < 0.05$ ). Indicando que a mayor temperatura la abundancia incrementa, mostrando una relación con los niveles de precipitación medios.

Se demostró que las variables temperatura y precipitación explican la abundancia mensual de *T. dimidiata* (Cuadro 7). El valor de la *Pseudo R*<sup>2</sup> mostró que el 77% de la variabilidad del modelo es explicada. Se obtuvo el mejor modelo cuando se elimino la variable evaporación (Cuadro 8).

**Cuadro 7.** Análisis de la devianza del modelo GLM para la abundancia de *T. dimidiata* en función de los factores temperatura y precipitación.

	gl	Valor $\chi^2$	Valor $p$
Temperatura	1	19.5079	1.002e-05 *
Precipitación	1	5.8755	0.01535 *

gl = grados de libertad

**Cuadro 8.** Resultados de la selección del modelo GLM para la abundancia de *T. dimidiata* función de las variables climáticas.

Modelo	gl	AIC	RV
<i>Abundancia ~ temperatura + precipitación + evaporación</i>	5	104.81	$\chi^2 = 14.691$ $p < 0.05$
<i>Abundancia ~ temperatura + precipitación</i>	5	100.83	$\chi^2 = 14.679$ $p < 0.05$

gl = grados de libertad; AIC = Criterio de información Aikaike (por sus siglas en ingles); RV = Razón de verosimilitud

## 7.5. Estructuras peridomésticas

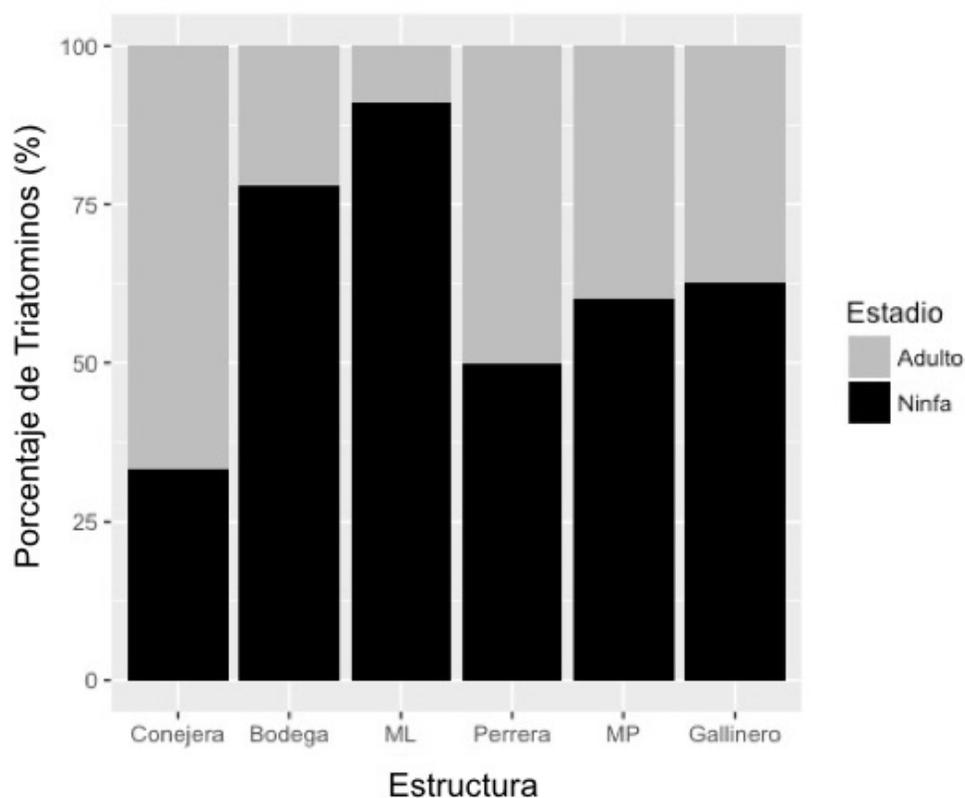
Se revisaron un total de 2100 estructuras en los peridomicilios de las diez localidades estudiadas, de las cuales 1088 fueron gallineros, 682 montículos de piedras, 78 bodegas, 26 montículos de láminas, 120 perrereras, 35 conejeras y 71 corrales y otras. Solo las seis primeras estructuras se encontraron infestadas por *T. dimidiata*. Exclusivamente en los gallineros se colectó el 88.9% de los insectos (Cuadro 9).

**Cuadro 9.** Abundancia de *T. dimidiata* por estructura peridoméstica

<b>Estructura</b>	<b>Abundancia</b>
Conejera	6
Bodega	9
ML	11
Perrera	8
MP	77
Gallinero	896
<b>TOTAL</b>	<b>1007</b>

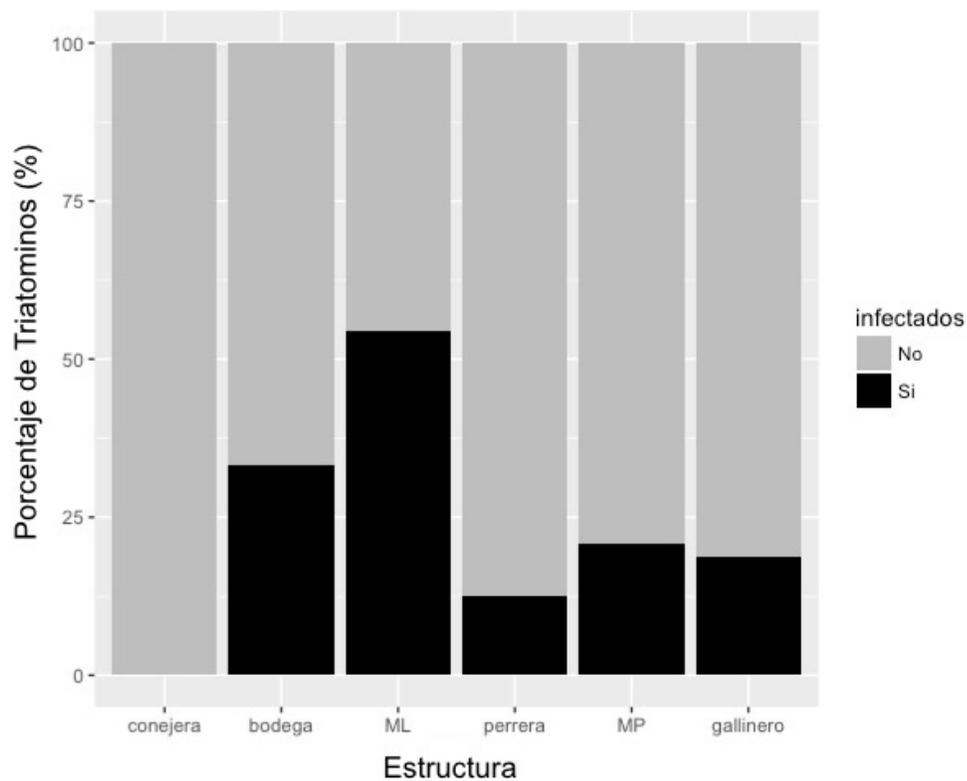
ML = Montículos de laminas; MP = Montículos de piedra.

En 4 de las 6 estructuras peridomésticas se encontró un mayor porcentaje de ninfas, únicamente en las conejeras el porcentaje de adultos fue mayor (Figura 8).



**Figura 8.** Porcentaje de ninfas y adultos por estructura peridoméstica.

Únicamente en las conejeras no se encontraron insectos infectados con *T. cruzi*. El 95% (184) de los triatominos infectados se colectó en los gallineros (168) y montículos de piedra (16), en esta última estructura más del 50% de las chinches se encontraron infectadas (Figura 9).



**Figura 9.** Porcentaje de triatomínicos infectados por estructura peridoméstica.

Finalmente se demostró con el modelo lineal generalizado (GLM) que las variables mes y estructuras influyen en la abundancia mensual de las chinches. Las estructuras peridomésticas, se relacionan positivamente con la abundancia mensual de *T. dimidiata* ( $p < 0.05$ ). Mientras que los meses noviembre y diciembre se relacionan negativamente con la variable de respuesta.

El análisis de la devianza comprobó que las variables estructuras y mes explican la abundancia de las chinches (Cuadro 10). Además, el valor de la *Pseudo R*<sup>2</sup> de este modelo explica que el 89% de la variabilidad.

**Cuadro 10.** Análisis de la devianza del modelo GLM para la abundancia de *T. dimidiata* en función de los factores estructura y mes.

	gl	$\chi^2$	Pr(> $\chi^2$ )
Estructura	2	237.174	< 2.2e-16 *
Mes	9	42.397	2.781e-06 *

gl = grados de libertad

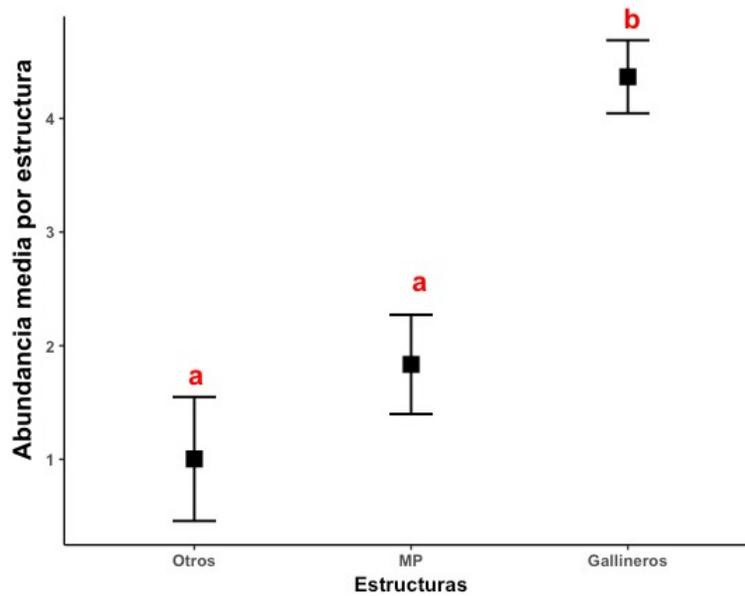
El modelo planteado anteriormente para predecir la abundancia mensual de *T. dimidiata*, resultó ser el mejor modelo (Cuadro 11).

**Cuadro 11.** Resultados de la selección del modelo GLM para la abundancia de *T. dimidiata* función de las variables estructura y mes.

Modelo	gl	AIC	RV
<i>Abundancia ~ Estructura + mes</i>	13	216.9484	$\chi^2= 65.536$ $p < 0.05$
<i>Abundancia ~ Estructura</i>	4	225.5189	$\chi^2= 38.965$ $p < 0.05$
<i>Abundancia ~ mes</i>	11	273.4732	$\chi^2= 5.0109$ $p > 0.05$

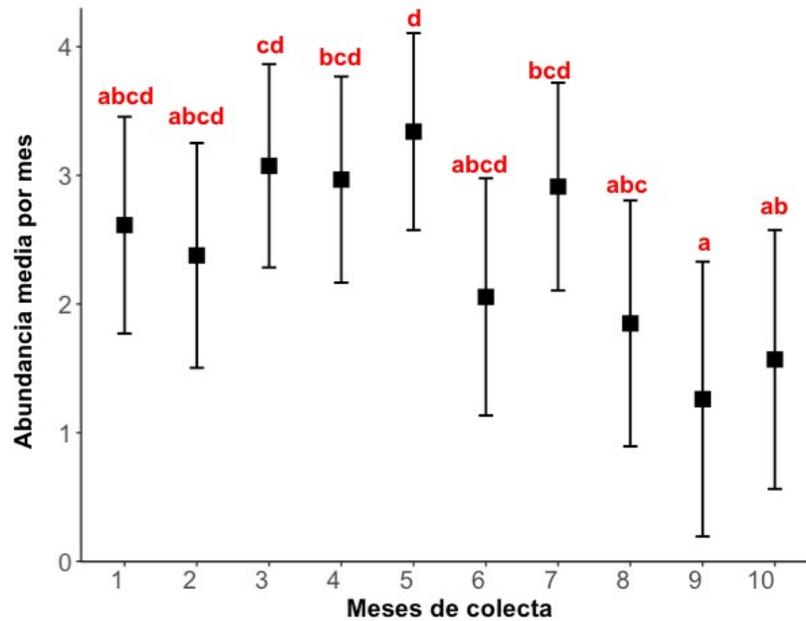
gl = grados de libertad; AIC = Criterio de información Aikaike (por sus siglas en ingles); RV = Razón de verosimilitud

Los dos análisis de comparaciones múltiples realizados. Determinaron: 1) con respecto a las estructuras se encontró que la abundancia media de los triatomos colectados en los gallineros es diferente a la abundancia media de los montículos de piedra y otras estructuras (perreras, montículos de láminas, conejeras y bodegas) (Figura 10). 2) Que la abundancia media en las estructuras, durante mayo, junio, julio y septiembre difiere con las abundancias en noviembre y diciembre ( $p < 0.05$ ), (Figura 11).



Las cajas indican la abundancia media; las barras de error indican el intervalo de confianza al 95%.

**Figura 10.** Comparación de la abundancia media de *T. dimidiata* entre las estructuras peridomésticas.



Las cajas indican la abundancia media; las barras de error indican el intervalo de confianza al 95%.

**Figura 10.** Comparación de la abundancia media de *T. dimidiata* entre los meses de colecta.

## VIII. DISCUSIÓN.

Uno de los mayores retos para la prevención de la enfermedad de Chagas es controlar el riesgo de transmisión de *T. cruzi* asociado a las especies de triatomíneos no domiciliados <sup>[82]</sup>. Estudios realizados en Centro y Sudamérica, demostraron que los peridomicilios juegan un papel fundamental en el alojamiento y mantenimiento de estas poblaciones de triatomíneos <sup>[83-84]</sup>.

En dos localidades del estado de Yucatán recientemente se demostró que los peridomicilios son una importante fuente de *T. dimidiata*, y que incrementan el riesgo de transmisión de *T. cruzi* a los habitantes de las viviendas <sup>[11-55-57]</sup>. Los datos del presente estudio confirman esto, y además describen la fluctuación poblacional de este insecto vector y su infección con *T. cruzi* en los peridomicilios diez localidades del estado.

Los resultados mostraron que *T. dimidiata* se encuentra bien establecida en el peridomicilio, ya que su abundancia en este sitio no mostró diferencias contundentes durante los meses de colecta. Sin embargo, su fluctuación presenta dos picos de abundancia en los meses de junio y septiembre dominados por estadios juveniles. Esto muestran que las poblaciones peridomésticas de *T. dimidiata* en el estado de Yucatán, están compuestas, en gran parte, de insectos en estadios ninfales.

Esta observación puede ser producida por un efecto en conjunto de dos factores. Los peridomicilios proporcionan condiciones microecológicas favorables para el establecimiento de las colonias de este insecto vector, tal y como Zeledón *et al.* (2005) y Reyes-Novelo *et al.* (2013) <sup>[11-50]</sup>, han descrito. Más la explotación de los recursos proporcionados por este hábitat, genera insectos muy prolíficos, que establecen varias generaciones en un año, como se ha observado en estudios

realizados con *T. brasiliensis* en el nordeste de Brasil <sup>[85]</sup>. Produciendo un efecto de traslape generacional en los peridomicilios <sup>[86]</sup>, ya que, en cada uno de los meses de colecta, se pudo encontrar todos los estadios ninfales de *T. dimidiata*.

La diferencia en la proporción de machos y hembras, observada en la fluctuación de la chinche durante los diez meses de colecta, mostró similitudes con trabajos realizados con *T. dimidiata* en los países de Costa Rica, Guatemala, así como en una localidad del estado de Yucatán <sup>[55-86-87]</sup>. Monroy y colaboradores (2003)<sup>[88]</sup> concluyen que esto se debe a que los machos tienen una probabilidad mucho mayor de transportarse volando, en comparación con las hembras, sin embargo, lo observado en el presente estudio podría estar ligado a alguna de las dos ideas que a continuación se plantean.

1) La mayor proporción de machos puede deberse a un efecto indirecto del muestreo de la población, como se ha observado en varios grupos de insectos ectoparásitos, donde las hembras son más activas que los machos, separándose del recurso alimenticio para depositar huevos en otros sitios <sup>[89-90-91]</sup>, y por tanto la proporción de hembras puede estar sesgada a encontrar una mayor cantidad de machos.

Dicha movilidad podría estar relacionada con la competencia intraespecífica entre los integrantes de una colonia de chinches <sup>[92]</sup>. La idea de que las hembras respondan a esta competencia a partir de la dispersión se sustenta en que requieren ingerir una mayor cantidad de sangre para sostener la producción de huevos <sup>[93-94]</sup>. Las hembras migrarían más hacia otros sitios en el peridomicilio o al interior de las casas, como gran parte de la literatura muestra <sup>[11-34-49-55-56]</sup>.

2) Esta diferencia entre sexos, puede también estar dada por un efecto de estrategia de los machos, los cuales se agregarían cerca de las fuentes de alimentación como por ejemplo refugios de animales peridomésticos, donde incitarían la atracción de las hembras por medio de feromonas <sup>[95]</sup>. Si bien se ha

demostrado el papel fundamental que juegan las feromonas en la búsqueda de pareja en trabajos de laboratorio con *T. dimidiata* <sup>[96]</sup>. Dicho comportamiento aún requiere de estudios de campo para corroborarse, como ocurre con otros insectos <sup>[97-98]</sup>.

El hecho de no haber colectado huevos pudo deberse a su tamaño, ya que son muy difíciles de visualizar al momento de realizar la búsqueda en estudios de campo <sup>[88]</sup>, además se ha propuesto que las hembras de *T. dimidiata* ovopositan en diferentes estructuras o sitios para asegurar la viabilidad de la especie <sup>[6]</sup>, tal y como ocurre con otros insectos vectores <sup>[99]</sup>.

Cuando se comparó la fluctuación de la abundancia de *T. dimidiata* entre las diez localidades se encontraron diferencias, debido a que estas fueron muy extremas, ya que en algunas se pudo observar una abundancia constante durante los meses de colecta, como el caso de Timucuy, Homún y Seyé, pero en otras como Mochochá, Tetiz y Chicxulub la abundancia fue mínima o desapercibida. Con ayuda del modelo de regresión con inflación de ceros (ZINP), se pudo predecir que estas diferencias eran dadas por la probabilidad de tener ceros falsos, esto podría parecer contraproducente ya que se pensaría que el diseño del muestreo utilizado para las colectas de las chinches no fue el correcto. Sin embargo, la presencia de estos falsos ceros puede ser producido por el tipo distribución espacial que presentan estos insectos, ya que sus poblaciones no se distribuyen homogéneamente en el espacio.

Las poblaciones peridomesticas de triatomíneos forman focos de agregación en ciertas áreas de las localidades como se observó en Argentina y Colombia <sup>[48-100]</sup>, recientemente en una localidad de Yucatán se documentó que las poblaciones de *T. dimidiata* formaron focos de agregación <sup>[56]</sup>. Por lo tanto, estas diferencias en la fluctuación de la abundancia entre las diez localidades, se puede deber a que en algunas localidades se localizaron estos focos de agregación y en otras no se

logró debido a la aleatoriedad que aparentemente determina la presencia de estos focos en los peridomicilios.

Sin lugar a dudas, la alternancia de periodos secos y lluviosos parece ser uno de los factores que juega un papel esencial no sólo en la fluctuación poblacional de los triatominos, sino también en sus características de dispersión y sus habilidades para colonizar<sup>[36]</sup>. Se observó que los picos de mayor abundancia de las chinches coincidieron con los meses más calurosos y de mayor precipitación. Este patrón se documentó en las poblaciones silvestres de *T. dimidiata* en Guatemala<sup>[88]</sup>. Además, se demostró a través del modelo lineal generalizado que estas variables climáticas explican positivamente la abundancia de *T. dimidiata*.

La respuesta que podría tener *T. dimidiata* a las fluctuaciones de la temperatura, son pobremente entendidas a nivel poblacional. Sin embargo Reyes-Novelo *et al.* (2011)<sup>[39]</sup> consideran que muchos aspectos fisiológicos y de alimentación en esta especie están influenciados por la temperatura, sugiriendo que este factor podría generar mayor gasto metabólico en las chinches y, como consecuencia requeriría mayor frecuencia y cantidad de alimento produciendo un crecimiento acelerado en los estadios inmaduros acortando el ciclo en su ambiente natural, generando un aumento en el tamaño de la población de los insectos como se observó en el trabajo de Martínez-Ibarra *et al.* (2001)<sup>[40]</sup>.

Esto además podría estar ligado a la estacionalidad que *T. dimidiata* ha mostrado en diferentes regiones, pues varios trabajos documentan este fenómeno e indican que la dispersión de los adultos se realiza durante la época más calurosa y seca del año<sup>[34-48-88]</sup>. Es posible que durante esta temporada se dé la dispersión de adultos (en su mayoría hembras), en búsqueda de alimento para la reproducción, del mismo modo, la pérdida de agua por efecto de la temperatura, podría generar condiciones de inanición en los individuos, pues el estrés hídrico generaría la necesidad de alimentarse<sup>[39]</sup>.

El efecto de la precipitación en las poblaciones de *T. dimidiata*, ha sido abordado desde una perspectiva epidemiológica <sup>[49]</sup>. Estos estudios sugieren que la precipitación afecta en la dispersión de los insectos adultos, ya que la abundancia de las chinches y el número de casas infestadas disminuyó durante la temporada lluviosa <sup>[34-49]</sup>. Dichos estudios están enfocados en la variación estacional de los individuos adultos, sin embargo no hay una idea clara de lo que ocurre con los individuos inmaduros <sup>[11-55]</sup>.

Al buscar evidencia que documente el incremento de la abundancia de las chinches en los peridomicilios durante la temporada de lluvias, se encontró que este fenómeno podría ser producto del apareamiento de los adultos en la temporada seca <sup>[88]</sup>, complementado con el traslape generacional mencionando anteriormente <sup>[86]</sup>. Es interesante señalar el papel que juegan ciertas estructuras peridomesticas con respecto a este fenómeno, ya que muchas sirven como refugio en los meses con mayor precipitación como mencionan Gürtler (1999) y Cecere *et al.* (2003) <sup>[51-101]</sup>, esto produciría que los ejemplares de *T. dimidiata* se agreguen en ellas en esta temporada. No obstante se deben realizar estudios con series de tiempo en los peridomicilios, que documenten si este fenómeno se mantiene o varía en el transcurso de los años.

Como se mencionó anteriormente las estructuras peridomesticas juegan un papel fundamental, en la presencia y abundancia de las poblaciones de diferentes especies de triatominos <sup>[102-103]</sup>, debido a que brindan refugio y fácil acceso a fuentes alimenticias <sup>[104]</sup>. Los resultados mostraron que las poblaciones peridomesticas de *T. dimidiata* ocuparon distintas estructuras a lo largo del tiempo de muestro y estas difirieron sustancial y consistentemente tanto en su abundancia como en su estado nutricional. La fluctuación de la abundancia de las chinches observada en las estructuras durante los meses, puede estar dada por la movilidad de las ninfas que migran de una estructura a otra caminando en

busca de fuentes de alimentación <sup>[92]</sup>, ya que deben alimentarse a repleción cuando menos una vez, para poder mudar al siguiente instar <sup>[39]</sup>.

Recientemente se demostró en una localidad de estado de Yucatán, que los gallineros desempeñan un papel importante en el mantenimiento de las poblaciones de *T. dimidiata* <sup>[55]</sup>, tanto como refugio <sup>[87-88]</sup>, como fuente principal de alimentación para los insectos <sup>[105]</sup>. Los ejemplares de *T. dimidiata* colectados en los gallineros mostraron varias características que indican que esta estructura es clave para las poblaciones de los triatominos <sup>[106]</sup>, ya que se encontró una alta abundancia en ellos.

Chan-Espinoza y colaboradores (en prensa)<sup>[56]</sup>, documentaron que hay una mayor probabilidad de encontrar un insecto infectado con *T. cruzi* en la temporada de lluvias, los datos de este estudio apoyan este hallazgo ya que en el mes de octubre se encontró el mayor porcentaje de insectos infectados.

El 95% de los insectos infectados con *T. cruzi* se encontraron en los gallineros y montículos de piedra. Estas estructuras desempeñan un papel indirecto pero considerable en el ciclo de transmisión de *T. cruzi* en las áreas peridomésticas <sup>[55]</sup>; ya que no solo ofrecen una fuente de alimentación continua a las poblaciones de *T. dimidiata*, si no, que también por su heterogeneidad en composición y tamaño generan refugios para consumidores provenientes de la fauna sinantrópica como ratones (*Mus musculus*), ratas (*Rattus rattus*) y zarigüeyas (*Didelphis virginiana*) <sup>[12-107]</sup>, los cuales son reservorios importantes implicados en el mantenimiento del parásito <sup>[27]</sup>.

Por lo tanto, en estas estructuras se podrían estar generando redes dinámicas de transmisión de *T. cruzi* entre estas especies de mamíferos y las poblaciones de *T. dimidiata* <sup>[102-106-26]</sup>. Igualmente, no se puede ignorar el papel que desempeñan los animales domésticos en el mantenimiento de parásito en el

peridomicilio. Uno de los animales domésticos que se encontró con más frecuencia en el estudio fueron los perros, aunque no se realizaron pruebas serológicas para determinar si estaban infectados con *T. cruzi*, varios estudios han demostrado que la presencia o el número de perros aumenta significativamente la probabilidades de que las chinches se infecten con el parásito, por lo tanto aumentando el riesgo de infección hacia los humanos <sup>[26]</sup>.

## IX. CONCLUSIONES

Se observaron dos picos de abundancia de *T. dimidiata* en el año, uno en los meses abril, mayo y junio, predominado por ninfas del quinto estadio y otro en el mes de septiembre predominado por chinches en estadios del 1 a 3.

La mayor proporción de triatominos infectados con *T. cruzi* en los peridomicilios ocurre en el mes de octubre.

El incremento de la abundancia de *T. dimidiata* esta relacionado con los promedios más altos de temperatura y precipitación mensual registrados en el tiempo de estudio

Las poblaciones de *T. dimidiata* están presentes durante todo el año en los peridomicilios de las localidades estudiadas.

Los gallineros y los montículos de piedras fueron las estructuras del peridomicilio en las que se encontró la mayor frecuencia y abundancia de *T. dimidiata*.

## X. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Moncayo A. Current Epidemiological Trends after the interruption of Vectorial and Transfusional Transmission in the Southern Cone Countries. Mem Inst Oswaldo Cruz. 2003; 98: 1-15.
2. Steverding D. The history of Chagas disease. Parasites & Vectors. 2014; 7, 317. <http://doi.org/10.1186/1756-3305-7-317>
3. Xavier SCdC, Roque ALR, Lima VdS, Monteiro KJL, Otaviano JCR, Ferreira da Silva LFC, Jansen AM. Lower Richness of Small Wild Mammal Species and Chagas Disease Risk. PLoS Negl Trop Dis. 2012; 6(5): e1647. doi:10.1371/journal.pntd.0001647.
4. World Health Organization: Chagas disease (American trypanosomiasis). World Health Organ Fact Sheet. 2014; 340: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs340/en/>.
5. Tarleton RL, Gürtler RE, Urbina JA, Ramsey J, Viotti R. Chagas Disease and the London Declaration on Neglected Tropical Diseases. Dumonteil E, ed. PLoS Negl Trop Dis. 2014; 8(10): e3219. doi:10.1371/journal.pntd.0003219.
6. Chan Espinoza DE. Relación entre los ecotopos silvestres y ecotopos antrópicos de *Triatoma dimidiata* (Latreille, 1811) en el poblado de Dzidzilché, Yucatán. Conkal [Tesis de licenciatura]. Conkal: Instituto Tecnológico de Conkal (ITC). 2013.
7. WHO. Chagas disease (American Trypanosomiasis). Fact sheet. 2010 No.

340 [update Agosto 2012]. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs340/en/index.html> [Accessed 20 October 2015].

8. Dumonteil E. Update on Chagas' disease in Mexico *Salud Públ Mex.* 199; 41: 322–327.

9. Guzman-Bracho C. Epidemiology of Chagas disease in Mexico: an update. *Trends Parasitol.* 2001; 17:372–376

10. Carabarin-Lima A, González-Vázquez MA, Rodríguez-Morales O, Baylón-Pacheco L, Rosales-Encina JL, Reyes-López PA, Arce-Fonseca M. Chagas disease (American trypanosomiasis) in Mexico: An update. *Acta Trop.* 2013; 127(2):126–135.

11. Reyes-Novelo E, Ruiz-Piña H, Escobedo-Ortegón J, Barrera-Pérez M, Manrique-Saide P, Rodríguez-Vivas R. *Triatoma dimidia* (Latreille) Abundance and Infection with *Trypanosoma cruzi* in a Rural community of Yucatan, Mexico: Neotropical Entomology. 2013; 10.1007/s13744-013-0120-x.

12. Reyes-Novelo E, Ruíz-Piña H, Escobedo-Ortegón J, Rodríguez-Vivas R, Bolio-González M, Polanco-Rodríguez A, Manrique-Saide P. Situación actual y perspectivas para el estudio de las enfermedades zoonóticas emergentes, reemergentes y olvidadas en la Península De Yucatán, México : *Tropical and Subtropical Agroecosystems.* 2011; 14: 35–54.

13. Pinazo MJ, Gascon J. The importance of the multidisciplinary approach to deal with the new epidemiological scenario of Chagas disease (global health).

Acta Trop. 2015; 151: 16–20.

14. Patterson J, Guhl F. Geographical Distribution of Chagas Disease. En: Telleria J, Tibayrenc M, editores. American trypanosomiasis Chagas disease. One hundred years of research. Elsevier: Burlington; 2010. p. 83–114.

15. Ramos-Ligonio A, López-Monteon A, Guzmán-Gómez D, Rosales-Encina Y, Limón-Flores JL, Dumonteil E. Identification of a hyperendemic area for *Trypanosoma cruzi* infection in central Veracruz, Mexico Am. J. Trop. Med. Hyg. 2010; 83: 164–170.

16. Lee BY, Bacon K M, Bottazzi, ME, Hotez PJ. “Global Economic Burden of Chagas Disease: A Computational Simulation Model.” The Lancet infec Dis. 2013; 342-8. doi: 10.1016/S1473-3099(13)70002-1

17. OPS-OMS. Estimación cuantitativa de la Enfermedad de Chagas en las Américas. Department of control of neglected tropical diseases. Innovative and intensified disease management. 2006; OPS/HDM/CD/425-06.

18. Moncayo A, Silveria AC. Current Trends and Future Prospects for Control of Chagas Disease. En: Telleria J, Tibayrenc M, editores. American trypanosomiasis Chagas disease. One hundred years of research. Elsevier: Burlington; 2010. p. 55-82

19. Gamboa-Leon R, González-Ramírez C, Padilla-Raygoza N, Sosa-Estani S, Caamal-Kantun A. Do commercial serologic tests for *Trypanosoma cruzi* infection detect Mexican strains in women and newborns? J Parasitol. 2011; 97: 338–343.

20. Monteón V, Solis-Oviedo R, Lopez R, Hernández O, Alducin Tellez C. Low seroprevalence of *Trypanosoma cruzi* infection and chronic chagasic cardiomyopathy in a region with abundance of triatomine vectors in Yucatan Peninsula of Mexico. *Ann Parasitol.* 2015; 61(4):263-7. doi: 10.17420/ap6104.17.
21. García-Montalvo B. *Trypanosoma cruzi* antibodies in blood donors in Yucatan state, Mexico. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc.* 2011; 49(4):367-72.
22. Gamboa-Leon R, Ramirez-Gonzalez C, Pacheco- Tucuch F.S, O Shea M, Rosecrans K, Pippitt J, Dumonteil E, Buekens P. Seroprevalence of *Trypanosoma cruzi* among mothers and children in rural Mayan communities and associated reproductive outcomes. *Am J Trop Med Hyg.* 2014; 91(2):348-53. doi: 10.4269/ajtmh.13-0527.
23. Gómez GA, Monteón PVM. Algunos aspectos de la organización y regulación genética en *Trypanosoma cruzi*: El agente etiológico de la enfermedad de Chagas. *Microbiología* 2008; 50(3-4): 103-118.
24. Barret MP, Burchmore RJS, Stich A, Lazzari JO, Frasc AC, Cazzulo JJ, Krishna S. The trypanosomiasis. *The Lancet* . 2003; 362 (9394) : 4.
25. Leonardo A C. Ciclo silvestre de transmisión de *Trypanosoma cruzi* en el noroeste de argentina”, Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UBA), 2010.  
[http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis\\_4703\\_Ceballos.pdf](http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_4703_Ceballos.pdf).
26. Gürtler RE, Cardinal MV. Reservoir host competence and the role of domestic and commensal host in the transmission of *Trypanosoma cruzi*. *Acta trop.* 2015; 151: 32 - 50.

27. Jansen AM, Roque ALR, Xavier SCC. *Trypanosoma cruzi* enzootic cycle: general aspects, domestic and synanthropic hosts and reservoirs. En: Telleria J, Tibayrenc M, editores. American trypanosomiasis Chagas disease. One hundred years of research (segunda edicció). Elsevier: Burlington; 2017. p. 265 - 267.
28. Diotaiuti L, Pereira AS, Loiola CF, Fernandes AJ, Schofield JC, Dujardin JP, Pinto Dias JC, Chiari E. Inter-relation of sylvatic and domestic transmission of *Trypanosoma cruzi* in areas with and without domestic vectorial transmission in Minas Gerais, Brasil. Mem Inst Oswaldo Cruz. 1995; 90: 443-448.
29. Forero D, Weirauch C, Baena M. Synonymy of the Reduviid (Hemíptera;Heteróptera) genus Torre albaia (Triatominae) with Amphibolus (Harpactorinae), with notes on Amphibolus venalor. Zootaxa. 2004; 670: 1-12.
30. Diotauti L. Métodos de Processamento de Triatomíneos e da informacao associada para determinar os fatores de risco de transmissao do *Trypanosoma cruzi* as comunidades humanas. En memorias VIII Curso Internacional Eco-epidemiología de la Enfermedad de Chagas y métodos para su estudio. Editores, Jaramillo, N; Parra, G; Triana, O. 2006.
31. Gorla D, Noireau F. Geographic Distribution of Triatominae Vectors in America. En: Telleria J, Tibayrenc M, editores. American trypanosomiasis Chagas disease. One hundred years of research (segunda edicció). Elsevier: Burlington; 2010. p. 211–226.
32. Ramsey JM, Peterson AT, Carmona-Castro O, Moo-Llanes DA, Nakazawa Y, Butrick M, Tun-Ku E, Cruz-Felix K, Ibarra-Cardena CN. Atlas of Mexican Triatominae (Reduviidae: Hemiptera) and vector transmission of Chagas

disease. Mem Inst Oswaldo Cruz. 2015; 110(3):339-352. doi:10.1590/0074-02760140404.

33. Cruz-Reyes A, Pickering-López J. Chagas disease in Mexico: an analysis of geographical distribution during the past 76 years. Mem Inst Oswaldo Cruz. 2006; 101: 345-354.

34. Dumonteil E, Gourbière S, Barrera-Pérez M, Rodríguez-Félix E, Ruiz-Piña H, Baños-López O. Geographic distribution of *Triatoma dimidiata* and transmission dynamics of *Trypanosoma cruzi* in the Yucatan peninsula of Mexico.: Am J of Trop Med and Hyg. 2014; 67: 176–83.

35. Noireau F, Abad-Franch F, Valente SA, Dias-Lima A, Lopes CM, Cunha V, Valente VC, Palomeque FS, de Carvalho-Pinto CJ, Sherlock I, Aguilar M, Steindel M, Grisard EC, Jurberg J. Trapping Triatominae in Silvatic Habitats. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 2002; 97(1): 61-63.

36. Ravinovich JE. Ecología poblacional de los Triatominos. En: Carcavallo, R. J. E. Rabinovich y R. Tonn (Editores): "Factores Biológicos y Ecológicos en la enfermedad de Chagas". Tomo I: Epidemiología –Vectores. Número Especial de la Revista CHAGAS. 1985. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud (Mexico), Organización Panamericana de la Salud, Washington y Servicio Nacional de Chagas, Ministerio de la salud y acción social, Argentina. 1985. p.121-147.

37. Galvao C, Justi SA. An overview on the ecology of Triatominae (Hemiptera: Reduviidae). Acta Trop. 2015; 151: 116-125.

38. Dias E. Observações sobre eliminação de dejetos e tempo de sucção em alguns triatomíneos sul-americanos. Mem. Inst. Oswaldo Cruz. 1955; 54:

115-124.

39. Reyes-Novelo E, Ruiz-Piña H, Escobedo-Ortegón J, y Barrera-Pérez M. Biología y ecología de *Triatoma dimidiata* (Latreille, 1811), algunos aspectos de estudio. *Dugesiana*. 2011; 18(1): 11-16.

40. Martínez-Ibarra JA, Miguel-Álvarez A, Arredondo-Jiménez J, Rodríguez-López MH. 2001. Update on the biology of *Triatoma dimidiata* Latreille (Hemiptera: Reduviidae) under laboratory conditions. *J Am Mosq Control Assoc*. 2001; 17: 209-210.

41. Ferral J, Chavez-Nuñez L, Euán-García M, Ramirez-Sierra MJ, Nájera-Vázquez R, Dumonteil E. Comparative field trial of alternative vector control strategies for non-domiciliated *Triatoma dimidiata*. *Am J of Trop Med and Hyg*. 2010; 82: 60-66.

42. Monroy, CM, Menes-Hernández M, Chanquín SB. Posible origen de poblaciones reinfestantes de *Triatoma dimidiata* Latreille (Hemiptera: Reduviidae), en seis localidades de Jutiapa, por medio del uso de morfometría tradicional y asimetrías morfométricas. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2005.

43. Polonio R, Ramirez-Sierra MJ, Dumonteil E. Dynamics and distribution of house infestation by *Triatoma dimidiata* in central and Southern Belize. *Vector Borne Zoonotic Dis*. 2009; 9: 19-24.

44. Bargues MD, Klisiowicz DR, Gonzalez-Candelas F, Ramsey JM, Monroy C, Ponce C, Salazar-Schettino PM, Panzera F, Abad-Franch F, Sousa OE, Schofield CJ, Dujardin JP, Guhl F, Mas-Coma S. Phylogeography and Genetic Variation of *Triatoma dimidiata*, the Main Chagas Disease Vector in Central

America, and Its Position within the Genus *Triatoma*. PLoS Negl Trop Dis. 2008; 2(5): e233.

45. Zeledón R, Rabinovich JE. Chagas disease: an ecological appraisal with special emphasis on its insect vectors. Annual Review of Entomology. 1981; 26: 101-133.

46. Panzera F, Ferrandis I, Ramsey J, Ordoñez RE, Salazar-Schettino PM, Cabrera M, Monroy MC, Bargues MD, Mas-Coma S, Oconnor JE, Angulo VM, Jaramillo N, Cordon-Rosales C, Gomez D, Perez, R. Chromosomal variation and genome size support existence of cryptic species of *Triatoma dimidiata* with different epidemiological importance as Chagas disease vectors. Trop. Med. Int. Health. 2006; 11(7): 1092-1103.

47. Dorn PL, Monroy C, Curtis A. *Triatoma dimidiata* (Latreille, 1811): a review of its diversity across its geographic range and the relationship among populations. Infect Genet Evol. 2007; 7(2): 343–52. doi:10.1016/j.meegid.2006.10.001.

48. Suarez-Davalos V, Dangles O, Villacis AG, Grijalva MG. Microdistribution of Sylvatic Triatomine Populations in Central-Coastal Ecuador. J Med Entomol. 2010; 47(1):80-8.

49. Payet V, Ramirez-Sierra MJ, Rabinovich J, Menu F, Dumonteil E. Variations in Sex Ratio, Feeding and Fecundity of *Triatoma dimidiata* (Hemiptera: Reduviidae) Among Habitats in the Yucatan Peninsula, Mexico. Vector Borne Zoonotic Dis. 2009; 9(3):243-51. doi: 10.1089/vbz.2008.0078.

50. Zeledón R, Calvo N, Montenegro VM, Lorosa E, Arévalo C. A survey on *Triatoma dimidiata* in an urban area of the province of Heredia, Costa Rica.

Mem Inst Oswaldo Cruz. 2005;100(6):507-12.

51. Gürtler RE, Cecere MC, Castañera MB, Canale DM, Chuit R, Cohen JE. Monitoring house reinfestation by triatomine vectors of Chagas disease: a comparative trial of detection methods during a four-year follow-up. *Acta Trop*. 1999; 15:72(2):213-34.

52. Ronderos RA, Schnack JA, Mauri RA. Resultados preliminares respecto de la ecología de *Triatoma infestans* (Klug) y especies congénéricas con referencia especial a poblaciones peridomiciliarias. *Medicina (Buenos Aires)* 1980; 40 (Supl 1): 187-96.

53. Gourbière S, Dumonteil E, Rabinovich JE, Minkoue R, Menu F. Demographic and dispersal constraints for domestic infestation by non-domiciliated chagas disease vectors in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Am J Trop Med Hyg*. 2008;78(1):133-9.

54. Barbu C, Dumonteil E, Gourbière S. Characterization of the dispersal of non-domiciliated *Triatoma dimidiata* through the selection of spatially explicit models. *PLoS Negl Trop Dis*. 2010; 3;4(8):e777. doi: 10.1371/journal.pntd.0000777.

55. Koyoc-Cardaña E, Medina-Barreiro A, Escobedo-Ortegón FJ, Rodríguez-Buenfil JC, Barrera-Pérez M, Reyes-Novelo E, Chable-Santos J, Selem-Salas C, Vazquez-Prokopec G.M, Manrique-Saide P. Chicken coops, *Triatoma dimidiata* infestation and its infection with *Trypanosoma cruzi* in a rural village of yucatan, mexico. *Rev Inst Med Trop Sao Paulo*. 2015; 57(3):269-72. doi: 10.1590/S0036-46652015000300015.

56. Chan-Espinoza D, Reyes-Novelo E, Ruiz-Piña H, Escobedo-Ortegón FJ.

Is peridomicile *Triatoma dimidiata* colonization relevant to subsequent house infestation? A spatio-temporal analysis in a rural community in Yucatan, Mexico. *Acta tropica* (sometido).

57. Virreira M, Torrico F, Truyens C, Alonso-Vega C, Solano M, Carlier Y, Svoboda M. Comparison of polymerase chain reaction methods for reliable and easy detection of congenital *Trypanosoma cruzi* infection. *Am J Trop Med Hyg.* 2003; 68: 574–82.

58. WHO. Control of Chagas disease. World Health Organization. Geneva. 2002; 120.

59. Bush A. O, La erty K. D, Lotz J. M, Shostak A. W. Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis et al. revisited. *J Parasitol* 1997; 83(4): 575-583.

60. Rózsa L, Reiczigel J, and Majoros G. Quantifying parasites in samples of hosts. *J Parasitol.* 2000; 86: 228–232.

61. Zuur AF, Leno EL, Neil JW, Saveliev AA, Smith GM. Mixed effects models and extensions in Ecology with R. Springer. 2009.

62. Mangiafico SS. Summary and Analysis of Extension Program Evaluation in R, version 1.9.0. 2016.

63. Burnham KKP, Anderson DRD. Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-theoretic Approach, (2nd ed). Springer-Verlag, New York. 2002.

64. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, 2016. Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

65. Sarkar D. Lattice: Multivariate Data Visualization with R. Springer, New York. 2008. ISBN 978-0-387-75968-5.

66. Venables WN, Ripley BD. Modern Applied Statistics with S. Fourth Edition. Springer, New York. 2002. ISBN 0-387-95457-0.

67. Wickham H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York, 2009.

68. Adler D, Murdoch D, and others. rgl: 3D Visualization Using OpenGL. 2017. R package version 0.98.1.

69. Mangiafico S. rcompanion: Functions to Support Extension Education Program Evaluation. 2017. R package version 1.5.6.

70. Spencer Graves, Hans-Peter Piepho and Luciano Selzer with help from Sundar Dorai-Raj. multcompView: Visualizations of Paired Comparisons. 2015. R package version 0.1-7.

71. Xie Y. knitr: A General-Purpose Package for Dynamic Report Generation in R. 2016. R package version 1.15.1.

72. Xie Y. Dynamic Documents with R and knitr. 2nd edition. Chapman and Hall/CRC. 2015. ISBN 978-1498716963.

73. Xie Y. knitr: A Comprehensive Tool for Reproducible Research in R. In

Victoria Stodden, Friedrich Leisch and Roger D. Peng, editors, Implementing Reproducible Computational Research. 2014. Chapman and Hall/CRC. ISBN 978-1466561595.

74. Fox J, Weisberg S. An {R} Companion to Applied Regression, Second Edition. Thousand Oaks CA: Sage. 2011.

75. Jackman S. pscl: Classes and Methods for R Developed in the Political Science Computational Laboratory, Stanford University. Department of Political Science, Stanford University. Stanford, California. 2015.

76. Zeileis A, Kleiber C, Jackman S. Regression Models for Count Data in R. Journal of Statistical Software. 2008. 27(8).

77. Murdoch D. rglwidget: 'rgl' in 'htmlwidgets' Framework. 2016. R package version 0.2.1. <https://CRAN.R-project.org/package=rglwidget>.

78. Zeileis A, Grothendieck G. zoo: S3 Infrastructure for Regular and irregular Time Series. Journal of Statistical Software. 2005. 14(6), 1-27. doi:10.18637/jss.v014.i06.

79. Zeileis A, Hothorn T. Diagnostic Checking in Regression Relationships. 2002. R News 2(3), 7-10. URL <https://CRAN.R-project.org/doc/Rnews/>.

80. Lenth R. estimability: Tools for Assessing Estimability of Linear Predictions. 2016. R package version 1.2. <https://CRAN.R-project.org/package=estimability>.

81. Lenth RV. Least-Squares Means: The R Package lsmeans. Journal of Statistical Software. 2016; 69(1), 1-33. doi:10.18637/jss.v069.i01.

82. WHO, Report of the Scientific Working Group on Chagas disease Buenos Aires, Argentina. 2005; 17–20. [http://www.who.int/tdr/diseases/chagas/swg\\_chagas.html](http://www.who.int/tdr/diseases/chagas/swg_chagas.html).
83. Ronderos RA, Schnack JA, Mauri RA. Resultados preliminares respecto de la ecología de *Triatoma infestans* (Klug) y especies congénéricas con referencia especial a poblaciones peridomiciliarias. *Medicina*. 1980;40:187–196.
84. Zeledón R, Rabinovich JE. Chagas' disease: an ecological appraisal with special emphasis on its insect vectors. *Annu Rev Entomol*. 1981; 26: 101-133.
85. Sarquis O, Sposina R, Oliveira TG, Mac Cord JR, Cabello PH, Borges-Pereira J, Lima MM. Aspects of peridomiciliary ecotopes in rural areas of Northeastern Brazil associated to triatomine (Hemiptera: Reduviidae) infestation, vectors of Chagas disease. *Mem Inst Oswaldo Cruz*. 2006; 101: 143-147.
86. Sarquis O, Carvalho-Costa FA, Oliveira LS, Duarte R, D Andrea PS, de Oliveira TG, Lima MM. Ecology of *Triatoma brasiliensis* in northeastern Brazil: seasonal distribution, feeding resources, and *Trypanosoma cruzi* infection in a sylvatic population. *J Vector Ecol*. 2010; 35(2):385-94. doi: 10.1111/j.1948-7134.2010.00097.x.
87. Zeledón RJ, Ugalde A, Paniagua LA. Entomological and ecological aspects of six sylvatic species of Triatomines (Hemiptera: Reduviidae) from the collection of the National Biodiversity Institute of Costa Rica, Central America. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*. 2001; 96: 757–764.
88. Monroy CM, Bustamante DM, Rodas A, Enriquez ME, Rosales R. Habitats, dispersion and invasion of sylvatic *Triatoma dimidiata* (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) in Peten, Guatemala. *J Med Entomol*. 2003;40:800-6.

89. Marshall AG. The sex ratio in ectoparasitic insects. *Ecol Entomol.* 1981; 6:155–174.
90. Dick CW, Patterson BD. An excess of males: Skewed sex ratios in bat flies (Diptera: Streblidae) *Evol Ecol.* 2008; 22:757–769. doi: 10.1007/s10682-007-9201-9.
91. Székely T, Weissing FJ, Komdeur J. Adult sex ratio variation: implications for breeding system evolution. *J Evol Biol.* 2014; 27(8):1500-12. doi: 10.1111/jeb.12415.
92. Abraham I, Gorla dE, Catalá S. Dispersal of *Triatoma infestans* and other Triatominae species in the arid Chaco of Argentina: Flying, walking or passive carriage? The importance of walking females. *Mem Inst Oswaldo Cruz.* 2011; 106: 232-239.
93. Zeledón R, Guardia VM, Zuñiga A, Swartzwelder C. Biology and ethology of *Triatoma dimidiata* (Latreille, 1811): I. Life cycle, amount of blood ingested, resistance to starvation, and size of adults. *J Med Entomol.* 1970; 7: 313-319.
94. Reyes, M. and V.M. Angulo. Ciclo de vida de *Triatoma dimidiata* Latreille, 1811 (Hemiptera, Reduviidae) en condiciones de laboratorio: producción de ninfas para ensayos biológicos. *Biomédica.* 2009; 29: 119-126.
95. Cruz-López L, Malo EA, Rojas JC, Morgan ED. Chemical ecology of triatomine bugs: vectors of Chagas disease. *Med Vet Entomol.* 2001; 15(4):351-7.
96. May-Concha I, Rojas JC, Cruz-López L, Millas JG, Ramsey JM. Volatiles compounds emitted by *Triatoma dimidiata*, a vector of Chagas disease: Chemical identification and behavioral analysis. *Med Vet Entomol.* 2013;27:165–74. doi:

10.1111/j.1365-2915.2012.01056.x.

97. Klein M, Ladd T, Lawrence K. Simultaneous exposure of phenethylpropionate-eugenol (7:3) and virgin female japanese beetle as a lure. J. Econ. Entomol. 1973; 66: 373-374.

98. Cooperband M.F, Hartness A, Zilkowski B. Attraction of *Spathius Agrili* Yang (Hymenoptera: Eulophidae) to Male-Produced “Aggregation-sex Pheromone”: Differences Between the Sexes and Mating Status. J Insect Behav. 2015; 28: 167. <https://doi.org/10.1007/s10905-015-9492-6>.

99. Nelson MJ. *Aedes aegypti*: Biología y Ecología.: Washington, DC., Organización Panamericana de la Salud. 1986; 50.

100. Vazquez-Prokopec GM, Cecere MC, Kitron U, Gürtler RE. Spatiotemporal patterns of reinfestation by *Triatoma guasayana* (Hemiptera: Reduviidae) in two rural communities of Northwestern Argentina. Med Vet Entomol. 2008;22:273–282.

101. Cecere MC, Canale DM, Gürtler RE. Effects of refuge availability on the population dynamics of *Triatoma infestans* in central Argentina. J Appl Ecol. 2003; 40: 742–756. doi:10.1046/j.1365-2664.2003.00825.x.

102. Schofield CJ. *Triatominae - Biology & Control*. West Sussex: Eurocommunica Publications. 1994.

103. Walter A, Lozano-Kasten F, Bosseno MF, Ruvalcaba EG, Gutierrez MS, Luna CE, Baunaure F, Phélinas P, Magallón-Gastélum E, Brenière SF. Peridomiciliary habitat and risk factors for *Triatoma* infestation in a rural community of the Mexican occident. Am J Trop Med Hyg. 2007; 76(3):508-15.

104. Canale DM, Cecere MC, Chuit R, Gürtler RE. Peridomestic distribution of *Triatoma garciabesi* and *Triatoma guasayana* in north-west Argentina. *Med Vet Entomol.* 2000;14:383–390.
105. Guzmán-Marín E, Barrera-Perez M, Rodríguez-Félix ME, Zavala-Velázquez J. Hábitos biológicos de *Triatoma dimidiata* en Yucatán, México. *Rev Bioméd.* 1992;3:125-31.
106. Gürtler RE, Cecere MC, Fernández M del P, Vazquez-Prokopec GM, Ceballos LA, Gurevitz JM, Kitron U, Cohen JE. Key Source Habitats and Potential Dispersal of *Triatoma infestans* Populations in Northwestern Argentina: Implications for Vector Control. *PLoS Negl Trop Dis.* 2014; 9;8(10):e3238. doi: 10.1371/journal.pntd.0003238.
107. Ruíz-Piña H, Cruz-Reyes A. The Opossum *Didelphis virginiana* as a synanthropic reservoir of *Trypanosoma cruzi* in Dzidzilché, Yucatan, Mexico. *Mem Inst Oswaldo Cruz.* 2002; 97: 613-620.

**XI. ANEXOS.**

**Instrumento de colecta**

Dinámica poblacional de *Triatoma dimidiata* (Latreille, 1811) en el peridomicilio y su infección por *Trypanosoma cruzi* en diez localidades del estado de Yucatán .



Fecha: \_\_\_\_\_ Localidad: \_\_\_\_\_ ID-casa: \_\_\_\_\_

Ref. de la casa: \_\_\_\_\_ Coordinada: \_\_\_\_\_

Propietario: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

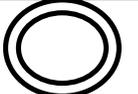
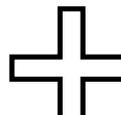
Sitio	Número de Triatominos	Número de hospederos

Animales sin refugio: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Observaciones: \_\_\_\_\_

### Croquis de los componentes del Peridomicilio



Casa Tradicional		Gallinero	
Casa FONDEN		Perrera	
Corral de animales		Leña	
Madrigueras		Pilas de piedras	
Bodega		Otros	