

Infestación Residual y Recolonización en una Campaña de Control Urbana de *Triatoma infestans*

Corentin M. Barbu, Alison M. Buttenheim, Maria-Luz Hancoo Pumahuanca, Javier E. Quintanilla Calderón, Renzo Salazar, Malwina Carrión, Andy Catacora Rospigliossi, Fernando S. Malaga Chavez, Karina Oppe Alvarez, Juan Cornejo del Carpio, César Náquira, y Michael Z. Levy

Afiliación de los autores: Universidad de Pennsylvania, Filadelfia, Pennsylvania, USA (C.M. Barbu, A.M. Buttenheim, M.Z. Levy); Universidad Peruana Cayetano Heredia, Arequipa, Perú (M.H. Hancoo Pumahuanca, J.E. Quintanilla Calderón, R. Salazar, M. Carrión, C. Náquira); Red de Salud Arequipa Caylloma, Arequipa (A. Catacora Rospigliossi); y Dirección Regional del Ministerio de Salud, Arequipa (F.S. Málaga Chavez, K. Oppe Alvarez, J. Cornejo del Carpio)

Actualmente en América Latina, se llevan a cabo campañas a escala masiva para el control de vectores de la enfermedad de Chagas; sin embargo, poco se sabe sobre la eficacia de estos esfuerzos a mediano y largo plazo, especialmente en zonas urbanas. Tras analizar datos entomológicos de 56,491 viviendas durante la fase de tratamiento de una campaña de control de *Triatoma infestans* en Arequipa, Perú durante 2003-2011, estimamos que un 97.1% de infestaciones residuales se debe a viviendas que no recibieron tratamiento. Modelos multivariados para la fase de vigilancia de la campaña obtenidos durante 2009-2012 confirman que la falta de participación en la fase inicial de tratamiento es un factor de riesgo importante (odds ratio [OR] 21.5, 95% CI 3.35–138). La infestación durante la fase de vigilancia también se incrementó con el tiempo (OR 1.55, 95% CI 1.15–2.09 por año). Sin embargo, obtuvimos una interacción negativa entre falta de participación y tiempo (OR 0.73, 95% CI 0.53–0.99), lo cual sugiere que la recolonización por el vector diluye progresivamente el riesgo asociado a la falta de participación. A pesar de que la fase de tratamiento resultó efectiva, la recolonización de viviendas no tratadas amenaza el éxito a largo plazo del control del vector.

La enfermedad de Chagas, una enfermedad común y a menudo mortal en las Américas, es causada por el parásito protozoo *Trypanosoma cruzi* (1,2) y transmitido por insectos triatomíneos hematófagos (3). En el sur de Sudamérica, *Triatoma infestans* es el vector principal (2). En 1991, los países de esta región establecieron la Iniciativa del Cono Sur para coordinar

esfuerzos hacia el control de *T. infestans*. Durante la primera década de esta iniciativa, 2.5 millones de viviendas fueron tratadas con insecticida (4), lo cual causó la interrupción de la transmisión de *T. cruzi* por *T. infestans* en varios países y regiones (2). No obstante, los esfuerzos para el control de vectores han fallado inesperadamente y en repetidas ocasiones en algunas áreas (5, 6).

En la mayor parte de su distribución, *T. infestans* se encuentra predominantemente en zonas rurales (2). Sin embargo, el vector se ha convertido en un problema urbano en Arequipa, Perú, una ciudad de 850,000 habitantes (7-9) donde se han observado vectores infectados desde 1952 (10). Desde 2003, autoridades municipales en colaboración con la Organización Panamericana de la Salud, han trabajado en la eliminación del vector de la ciudad. Los obstáculos para la eliminación en una zona urbana son potencialmente diferentes a aquellos en zonas rurales. Las viviendas urbanas poseen una menor área peri-doméstica, menos fuentes de sangre, y menos lugares de albergue para el vector, lo cual mitiga algunas de las dificultades observadas en ambientes rurales (7, 11-13).

Sin embargo, mientras que la participación en campañas de control es típicamente alta en zonas rurales (5, 7), poblaciones urbanas más afluentes (14) pueden ser más renuentes a participar (15). Por tanto, el control a nivel de vivienda puede ser más fácil en una vivienda urbana que en una rural. Por otro lado, es también posible que el control continuo en una comunidad urbana resulte más difícil.

Exploramos esta hipótesis usando datos obtenidos en Arequipa durante la fase de tratamiento inicial o la fase de ataque de la campaña de control de vectores y durante la posterior fase de vigilancia después de la aplicación de insecticida. Evaluamos la eficacia de la fase de tratamiento de 3 maneras. Primero, estimamos la reducción en la prevalencia de infestación como resultado de las 2 aplicaciones de insecticida de la fase de tratamiento. Segundo, modelamos la recolonización (la colonización de nuevas viviendas después del tratamiento inicial) como una función de factores de la fase de ataque. Tercero, durante la fase de vigilancia, realizamos pruebas en insectos capturados en viviendas tratadas durante la fase de tratamiento para medir resistencia al insecticida. Discutimos resultados convergentes de estos enfoques en términos de sus implicaciones para continuados esfuerzos de la campaña de control en Arequipa y, más generalmente, para el diseño de estrategias de control de vectores de la enfermedad de Chagas en ambientes urbanos.

Materiales y Métodos

Campaña

La campaña de control de vectores en Arequipa procede a través de la ciudad por distritos, o subdivisiones administrativas locales de la región, cada cual comprende 3,000 - 28,000 viviendas. Dentro de cada distrito, el tratamiento se organiza por localidad. Las localidades varían en tamaño desde 50 hasta 2,000 viviendas. La campaña se realizó en 8 distritos de estudio (Jacobo Hunter, José Luis Bustamante y Rivero, La Joya, Paucarpata, Sachaca, Uchumayo, Tiabaya y Socabaya), abarcando 356 localidades. Estas localidades corresponden a ambientes urbanos o peri-urbanos descritos por Delgado et al. (16). Inspecciones preliminares en los meses anteriores a la fase de tratamiento identificaron a las localidades (o cuadras dentro de la localidad) como suficientemente infestadas para proceder al tratamiento (Figura 1; Tabla 1). Sin embargo, los resultados de estas inspecciones preliminares al nivel de la vivienda se encuentran disponibles sólo en las encuestas más recientes.

Después de las inspecciones, el tratamiento procede localidad por localidad. Promotoras de salud y especialistas en control de vectores visitan cada vivienda en las zonas seleccionadas para aplicar insecticida (Apéndice Técnico, <http://wwwnc.cdc.gov/EID/article/20/12/13-1820-Techapp1.pdf>) a todas las estructuras domésticas y peri-domésticas. Estas visitas ocurren 2 veces separadas por 6 meses. Todas las viviendas en zonas seleccionadas son invitadas a participar en esta fase. Mientras que las viviendas son tratadas, personal entrenado recolecta especímenes de *T. infestans* purgados de sus refugios por el insecticida. Seis meses después del segundo tratamiento, las localidades entran en la fase de vigilancia, un esfuerzo comunitario para identificar poblaciones de vectores residuales y reemergentes. Todas las viviendas en el distrito son elegibles a participar en la fase de vigilancia, incluso si no fueron seleccionadas para la fase de tratamiento. La fase de vigilancia consiste de reportes de infestación por viviendas, inspecciones conducidas por personal de la campaña y tratamiento en estas viviendas y alrededor de ellas.

Se pide a los residentes traer cualquier muestra de *T. infestans* encontrada en sus viviendas a los trabajadores de salud comunitaria o centros de salud situados a través de la ciudad. Técnicos entomólogos buscan y recolectan *T. infestans* sistemáticamente en el interior, en áreas peri-domésticas y en viviendas vecinas a aquellas viviendas que reportan infestación (búsqueda de 1 hora por persona por vivienda). Se utiliza aerosol con tetrametrina (Mata

Moscas 0.15% tetrametrina; Sapolio, Doral, FL, USA), el cual tiene un fuerte efecto repelente en insectos triatominos, pero no los mata. Todos los insectos capturados son contados, clasificados por estadio y género, y examinados microscópicamente para presencia de *T. cruzi* (7). Viviendas infestadas y sus vecinos inmediatos son tratados con insecticida tal como en la fase de tratamiento.

Para todas las fases de la campaña, una vivienda con ≥ 1 *T. infestans* observados en cualquier etapa de desarrollo es considerada infestada (huevos no son recolectados o reportados; Apéndice Técnico en línea). Para todas las actividades de control se registra un código de identificación único, el estado de participación (0/1) y el estado de infestación (0/1). Trazamos las posiciones exactas de las viviendas y cuadras utilizando imágenes satelitales en Google Earth (17) y mapas de terreno desarrolladas por el Personal del Ministerio de Salud. Se almacenan para futuro análisis los códigos únicos para identificación geográfica de las viviendas, las coordenadas, el estado de participación, y el estado de infestación por *T. infestans* (16).

Muestra

Durante el período 2004 - 2011, siete distritos urbanos participaron en la fase de tratamiento de la campaña. Estos distritos comprenden un total de 79,972 viviendas en 5,955 cuadras (Tabla 1; Figura 1). Sin embargo, 2,228 (37.4%) cuadras en estos distritos no fueron incluidas en la fase de tratamiento porque no se observó presencia de vectores durante inspecciones preliminares. Las restantes 3,727 cuadras que se incluyeron contienen 56,491 viviendas. Nuestro objetivo fue encontrar una asociación entre la fase de tratamiento e infestación durante la fase de vigilancia, por lo cual restringimos nuestro análisis a estas cuadras y viviendas. Reportamos resultados de inspecciones durante la fase de vigilancia a lo largo de un período de 4 años (2009 - 2012) durante el cual nuestro equipo de estudio colaboró con el Ministerio de Salud para monitorear infestaciones. La vigilancia aún continúa en estas zonas.

Análisis estadístico

Eficacia de modelos de la fase de tratamiento e infestación residual

Incluimos 3 parámetros en nuestro modelo de eficacia de la fase de tratamiento. El primer parámetro es c , la probabilidad de remover colonias de *T. infestans* en viviendas

tratadas con 1 tratamiento. El segundo es s , la sensibilidad de detección, definido como la probabilidad de que técnicos entomólogos entrenados que conducen tratamientos de viviendas observen infestaciones cuando están presentes. El tercero es I_{II} , el número real de viviendas infestadas inmediatamente anterior a cualquier tratamiento.

Para estimar estos parámetros, comparamos la infestación observada durante el primer y segundo tratamiento de la fase inicial de tratamientos en las 35,207 viviendas que aceptaron ambos tratamientos (Tabla 2). Existe poca probabilidad de infestación en las viviendas entre los 2 tratamientos: los tratamientos están separados por sólo 6 meses, la infestación total es drásticamente reducida por el primer tratamiento y viviendas tratadas son protegidas por el efecto residual del insecticida durante varios meses (18). Asumiendo que las viviendas no son infestadas entre los 2 tratamientos, en conjunto estimamos c , s y I_{II} con modelos de infestaciones observadas como un sistema de 3 ecuaciones (infestación observada, tratamiento I y tratamiento II) (Tabla 3) los cuales resolvimos analíticamente. Adicionalmente, consideramos este modelo desde una perspectiva estocástica para calcular intervalos de confianza para nuestras estimaciones; detalles adicionales están disponibles en el Apéndice Técnico en línea.

Extrapolamos la prevalencia de infestación antes del tratamiento en viviendas tratadas sólo 1 vez, utilizando la sensibilidad estimada de detección de infestación (s), (Tabla 2). Para viviendas que nunca fueron tratadas con insecticida, y acorde a otros datos en línea (Apéndice Técnico), utilizamos la prevalencia encontrada en viviendas que fueron tratadas solamente durante el segundo tratamiento de insecticida.

Finalmente, estimamos infestación residual (número de viviendas aún infestadas después de la fase de tratamiento), asumiendo que los efectos del primer y segundo rociado de insecticida en la fase de tratamiento son comparables e independientes. Aplicamos la tasa de desinfestación estimada durante el primer tratamiento, c , a la estimada infestación inicial una o dos veces dependiendo del número de tratamientos (Tabla 3). Examinamos la validez de esta asunción en la sección siguiente y en el Apéndice Técnico en línea.

Modelos logísticos de causas mixtas para infestaciones durante vigilancia

Utilizamos regresiones logísticas de causas mixtas univariadas y multivariadas (19) para describir las correlaciones entre la fase de tratamiento y las observaciones de vigilancia. Utilizamos un término de efecto aleatorio para controlar potenciales similitudes entre viviendas en una localidad (20, 21), a menos que se indique lo contrario.

Nuestro primer modelo logístico multivariado describe la probabilidad de que viviendas seleccionadas durante la fase de tratamiento sean infestadas al menos una vez durante la fase de vigilancia. Esto es calculado como una función de la infestación observada en la vivienda durante la fase de tratamiento, la participación de la vivienda en la fase de tratamiento, y el número de años que la vivienda estuvo en vigilancia desde Enero 1, 2013. También consideramos la interacción entre el tiempo y otros factores de riesgo. El resultado evaluado en el primer modelo consiste de 2 procesos: selección de viviendas inspeccionadas (viviendas con reportes positivos y sus vecinos) y estado individual de infestación de viviendas inspeccionadas. Investigamos estos procesos en separado en el segundo y tercer modelo logístico.

En nuestro segundo modelo logístico, estimamos la probabilidad de que un reporte de infestación sea generado en una cuadra dado el número de viviendas infestadas y participantes en la cuadra durante la fase de tratamiento. En nuestro tercer modelo logístico, estimamos la probabilidad de infestación entre viviendas inspeccionadas dado el estado de infestación y participación de la vivienda durante la fase de tratamiento; usamos un término de efecto aleatorio para controlar potenciales similitudes entre viviendas que rodean a una vivienda con reporte positivo. Un total de 225 reportes fueron generados. Dado que algunas viviendas fueron inspeccionadas múltiples veces durante el estudio, limitamos nuestra muestra a la primera inspección después de la fase de tratamiento. Ya que la sensibilidad y especificidad de nuestro programa de vigilancia depende de reportes comunitarios, evaluamos su fiabilidad (Apéndice Técnico en línea). Estimamos la bondad de ajuste para estos modelos utilizando Nagelkerke pseudo R^2 (22). Todos los análisis fueron realizados en R (23).

Evaluación de Susceptibilidad al Insecticida Piretroide en Poblaciones Residuales

Durante la fase de vigilancia, recolectamos insectos triatominos de viviendas infestadas que fueron tratadas durante la fase de tratamiento para evaluar resistencia a deltametrina. Seguimos las direcciones para bioensayos de paredes de la Organización Mundial de Salud, Programa Especial para Estudio y Entrenamiento en Enfermedades Tropicales (24). En breve, aplicamos un concentrado de suspensión de 5% deltametrina (K-Othrine SC; Bayer, Leverkusen, Germany) con un rociador de compresión X-Pert (Hudson Manufacturing Co., Chicago, IL, USA) en la dosis establecida de 25 mg/m² hacia una pared de cemento, la cual se dejó secar por 24 horas. En cada vivienda, colocamos 10 ninfas quintas en una placa Petri en la pared por 72 horas. Según lo indicado (24), evaluamos el estado de los insectos 3 días después

de ser expuestos. Los insectos utilizados en el bioensayo mudaron 15-20 días antes del experimento, y estuvieron en ayunas por 7 días. A lo largo del experimento, los insectos fueron mantenidos en condiciones ambientales en nuestro laboratorio de campo (19-28 °C, humedad 24% - 51%).

Resultados

Eficacia de la fase de tratamiento e infestación residual estimada

Entre las 56,491 viviendas seleccionadas para la fase de tratamiento inicial en Arequipa, 46,897 (83%) participaron en más de 1 tratamiento. Un total de 35,207 (62%) viviendas seleccionadas para la fase de tratamiento fueron tratadas dos veces, 11,690 (21%) fueron tratadas una vez y 9,594 (17%) no fueron tratadas en ninguna etapa de la fase de tratamiento (Tabla 2). La participación en los 2 tratamientos mostró una fuerte correlación (odds ratio [OR] 1.56, 95% CI 1.54–1.57).

Nuestro modelo de comparación de infestaciones observadas durante el primer y segundo tratamiento de insecticida sugiere que un sólo tratamiento fue satisfactorio en 98.7% (95% CI 98.4% - 98.9%) de viviendas infestadas (Tabla 2; Apéndice Técnico en línea). Entre viviendas tratadas dos veces, la prevalencia de infestación estimada bajó desde 35.6% antes de la fase de tratamiento a 0.006% después del segundo tratamiento. Prevalencias de infestación iniciales estimadas para viviendas que participaron en un sólo tratamiento (rango 6.9% - 12.2%) fueron más bajas que aquellas para viviendas que participaron en dos tratamientos (35.6%), lo cual sugiere una fuerte correlación entre estado de infestación y participación. La probabilidad de detección de infestación en una vivienda infestada durante el tratamiento a (s) fue estimada como 57% (95% CI 0.46 - 0.66) (Tabla 2; Apéndice Técnico en línea), lo cual es comparable a estimaciones previas obtenidas usando otros métodos (25).

Se obtuvieron resultados similares para el distrito de Mariano Melgar (tratado durante 2011 - 2012) utilizando un enfoque de diferencia-de-la-diferencia (Apéndice Técnico en línea). Observamos una gran reducción en infestación atribuible al tratamiento (OR 0.02, 95% CI 0.006 - 0.09) y un fuerte efecto de la presencia de infestación en participación en el tratamiento (OR 4.4, 95% CI 3.5 - 4.5). Estos 2 análisis sugieren que después de la fase de tratamiento inicial, viviendas que no recibieron tratamiento representan más del 90% de viviendas infestadas.

Infestaciones en fase de vigilancia y su relación a fase de tratamiento

Durante 2009-2012, autoridades de vigilancia recibieron 225 reportes de infestaciones vectoriales dentro del área seleccionada para la fase de tratamiento (Tabla 1). Un total de 613 viviendas (incluyendo viviendas que reportaron y sus vecinos inmediatos) fueron inspeccionadas durante la fase de vigilancia. De estas 613 viviendas, 116 (19%) estaban infestadas (Apéndice Técnico en línea). De las 116 viviendas infestadas, 29 (25%) nunca habían sido tratadas, 18 (16%) habían sido tratadas sólo una vez, y la mayoría (69, 59%) habían sido tratadas dos veces, lo cual indica que la recolonización puede ocurrir en viviendas tratadas. Entre las 87 viviendas en que se encontró infestación después de tratamiento, la mayoría (49, 56%) no tenía historial de infestación antes del tratamiento. En ninguna vivienda se observó infestación continua durante las 2 etapas de tratamiento y vigilancia (Apéndice Técnico en línea), lo cual sugiere que los tratamientos fueron altamente efectivos.

Mapas de infestación observadas durante la fase de vigilancia e historial de tratamiento de los 2 distritos representativos tratados durante 2003-2005 y 2007-2009, respectivamente, muestran diferentes patrones de presencia vectorial (Figura 2). En el distrito más recientemente tratado, la mayoría de viviendas (13/18, 72%) en que se encontró infestación durante la fase de vigilancia no habían sido tratadas durante la fase de tratamiento; en el distrito tratado anteriormente, se encontró infestación principalmente en viviendas tratadas (30/32, 94%). En la área más recientemente tratada, la infestación de una vivienda tratada es usualmente (3/5, 60%) asociada a más de 1 vivienda vecina infestada sin tratamiento, mientras que en la área tratada anteriormente, tales infestaciones no son comunes; sólo 3 (9%) de 34 son asociadas a viviendas vecinas no tratadas.

Entre 116 viviendas identificadas como infestadas por el programa de vigilancia en áreas seleccionadas para la fase de tratamiento, encontramos 16 viviendas con *T. infestans* infectados por *T. cruzi*. Estas 16 viviendas están en 5 distritos y muestran una fuerte autocorrelación positiva espacial <50 m (Apéndice Técnico en línea). La mayoría de estas viviendas (75%) fueron tratadas al menos una vez durante la fase de tratamiento.

Factores de riesgo de infestación durante vigilancia

Nuestro primer modelo logístico (Tabla 4) sugiere que la renuencia a participar y la existencia de infestación previa a la fase de tratamiento afecta la observación de infestación en viviendas durante la fase de vigilancia. La renuencia a participar e infestación inicial fueron asociados a la probabilidad de inspección a través de reportes generados al nivel de la cuadra

(Tabla 5) y a la probabilidad de infestación entre viviendas inspeccionadas (Tabla 5). El fuerte efecto del tiempo en la fase de vigilancia en la infestación (Tablas 4 y 5) sugiere un patrón dinámico de recolonización. La interacción negativa entre tiempo desde tratamiento y renuencia a participar en la fase de tratamiento sugiere incidencia de recolonización desde viviendas no participantes a sus vecinos. La recolonización diluye progresivamente la asociación entre infestación y viviendas no tratadas. La falta de una fuerte interacción entre tiempo y renuencia a participar al nivel de la cuadra sugiere menos dispersión de la infestación entre cuadras. Existencia de infestación antes del tratamiento también es un importante predictor de infestación durante vigilancia. La persistencia de esta asociación a través del tiempo, combinado con la progresión de infestación, sugiere que infestaciones previas son un factor de riesgo de recolonización. Esta interpretación es también consistente con modelos alternativos de igual probabilidad (Apéndice Técnico en línea).

Bioensayos de insecticida

Experimentamos con 21 poblaciones de vectores obtenidas de 12 localidades entre 6 distritos de estudio para medir resistencia a deltametrina. Todos los insectos expuestos fueron encontrados muertos acorde a la definición de La PAHO (24) tres días después del término de la exposición, lo cual sugiere inexistencia de resistencia completa al insecticida en poblaciones residuales.

Discusión

Nuestros resultados proveen una imagen consistente del control de *T. infestans* en Arequipa. Después de la fase de tratamiento, las infestaciones fueron eliminadas exitosamente en casi todas las viviendas participantes. Inmediatamente después, la mayoría de las infestaciones fueron atribuibles a las viviendas que no participaron en la campaña. En los años siguientes al tratamiento, estas viviendas no tratadas sirvieron como fuentes de insectos que recolonizaron a sus vecinos. La recolonización afecta desproporcionadamente a viviendas que estaban ya infestadas antes de las actividades de control, probablemente debido a la continua presencia de factores de riesgo de infestación (por ejemplo, construcción de mala calidad) (7, 11, 12, 26).

Estudios similares en áreas rurales enfatizan el rol de las poblaciones de vectores residuales en la recolonización de comunidades después del control del vector (26-30). La recolonización en zonas urbanas es quizás predecible porque el movimiento de insectos entre

viviendas es rápido (25, 31). Sin embargo, el problema de poblaciones de vectores residuales es diferente en nuestras áreas urbanas de estudio. En la ciudad, la infestación residual es causada principalmente por falta de participación, mientras que en ambientes rurales, las tasas de participación son típicamente altas y poblaciones de vectores residuales generalmente se originan desde lugares difíciles de tratar (26-30).

Recientemente, poblaciones de *T. infestans* con resistencia a insecticidas han sido detectadas en el Gran Chaco de Argentina, Bolivia y Paraguay, y muchos autores han destacado la posibilidad de que estas poblaciones resistentes puedan contribuir a la falla de los esfuerzos de control de vectores (32-34). Poblaciones persistentes también se han observado después de la fase de tratamiento en Cochabamba, Bolivia; sin embargo, la razón de esta persistencia no es clara (35). Nuestro estudio sugiere que la resistencia no es una causa mayor de infestación residual en Arequipa. Este resultado es alentador, pero resistencia parcial a insecticidas puede todavía estar presente (36).

Existen varias limitaciones en nuestro estudio. Nuestro análisis de la fase de tratamiento asume independencia y efectividad similar entre los 2 tratamientos. Si relajamos esta suposición, 78% de infestaciones residuales todavía habrían ocurrido en viviendas no tratadas, lo cual disminuye sólo marginalmente la efectividad total de la fase de tratamiento (Apéndice Técnico en línea). En la práctica, no se observó en ninguna vivienda infestación en ambos tratamientos de la fase inicial de tratamiento e inspecciones de vigilancia, lo cual sugiere efectividad del segundo tratamiento. Debido a la existencia de una fuerte correlación entre infestación y participación (15, 21), las viviendas que nunca participaron pudieron tener inicialmente una menor prevalencia de infestación que aquellas que participaron una vez, en contraste con la igual prevalencia asumida en nuestro análisis. Asumiendo una prevalencia conservativa cinco veces menor entre viviendas nunca tratadas relativa a viviendas tratadas una vez, las viviendas nunca tratadas todavía representan más de 85% de infestaciones residuales después de la fase de tratamiento (Apéndice Técnico en línea). Hasta la fecha, no hemos observado ninguna evidencia de agrupación de infestación durante la fase de vigilancia alrededor de áreas no seleccionadas. Sin embargo, la presencia en estas áreas, similarmente a la de viviendas no tratadas en áreas seleccionadas, representa un potencial riesgo de recolonización; consecuentemente, los esfuerzos de vigilancia deben continuar para incluir estas áreas.

A pesar de la eficiencia de tratamiento, observamos un fuerte efecto de infestación previa. La permanencia de factores conocidos que favorecen infestación (por ejemplo,

presencia de cobayos y materiales de construcción) pueden explicar la mayor tasa de recolonización. Sin embargo, no pudimos cuantificar la contribución de diferentes factores a este riesgo. Tampoco investigamos el riesgo de transmisión del parásito. A simple vista, parece que áreas tratadas de la ciudad no están bajo un riesgo inminente de transmisión, pero una recolonización de la ciudad puede crear terreno fértil para reintroducir *T. cruzi*. Las observaciones durante la fase de vigilancia de *T. cruzi* en varias viviendas que participaron en la fase inicial de tratamiento destaca este riesgo. Finalmente, a pesar de que este estudio incluye sólo 1 ciudad, éste abarca una gran parte de una principal área urbana infestada en América Latina, y es caracterizada por paisajes diversos, desde semi-rurales o peri-urbanos (37) a urbanos (25).

Para lograr el control de *T. infestans* a largo plazo, la tasa de detección y eliminación de poblaciones de vectores en vigilancia debe exceder a la de recolonización. El rol predominante de viviendas no tratadas en la mantención de infestación sugiere que cuando una vivienda reporta la presencia de un vector durante vigilancia, debemos identificar viviendas en la vecindad que no participaron en la campaña de control y seleccionarlas para inspecciones y tratamiento. El mayor riesgo de recolonización de viviendas previamente infestadas también sugiere que vigilancia activa de tales viviendas puede ser útil.

Después de la confirmada ausencia de transmisión vectorial de *T. cruzi* en Chile, Uruguay, Brazil, Paraguay oriental, y partes de Argentina, el sur de Perú y la región del Gran Chaco representan los últimos bastiones de infestación doméstica por *T. infestans* (2, 38, 39). Es muy temprano para concluir si el control a largo plazo se logrará más fácilmente en ciudades que en zonas rurales. Sin embargo, nuestros resultados confirman nuestra hipótesis central: menos participación en ciudades como Arequipa es el principal obstáculo del tratamiento eficaz. La identificación de viviendas renuentes a participar como los principales depósitos de infestación residual después de la fase de tratamiento permite nuevas opciones para control sostenible a largo plazo.

Agradecimientos

Agradecemos al Ministerio de Salud del Perú, la Dirección General de Salud de las Personas a través de la Estrategia Sanitaria Nacional de Prevención y Control de Enfermedades Metaxénicas y Otras Transmitidas por Vectores, la Dirección General de Salud Ambiental, el Gobierno Regional de Arequipa, la Gerencia Regional de Salud de Arequipa, la Red de Salud Arequipa Caylloma, la Organización Panamericana de la Salud, Canadian International Development Agency, y el Gobierno Regional de Arequipa por organizar y conducir la campaña de control de la enfermedad de Chagas en Arequipa; a Sébastien Gourbière, Yage Wu, Daniel Rivera Lana, Karthik Sethuraman, y Dylan Tracy por sus sugerencias para la corrección del manuscrito.

Este estudio fue apoyado por las becas NIH-NIAID R01AI101229, P50 AI074285 y K01AI079162 del Instituto Nacional de Salud, y la beca Global Engagement de la Universidad de Pennsylvania.

Dr. Barbu es un investigador postdoctoral en epidemiología en la Universidad de Pennsylvania, Filadelfia, Pennsylvania. Su interés principal de estudio es la aplicación de métodos computacionales y estadísticos para entender y controlar poblaciones de vectores de la enfermedad de Chagas.

Referencias

1. Maguire JH, Hoff R, Sherlock I, Guimarães AC, Sleigh AC, Ramos NB, et al. Cardiac morbidity and mortality due to Chagas' disease: prospective electrocardiographic study of a Brazilian community. *Circulation*. 1987;75:1140–5. [PubMed](#)
<http://dx.doi.org/10.1161/01.CIR.75.6.1140>
2. Moncayo A. Chagas disease: current epidemiological trends after the interruption of vectorial and transfusional transmission in the Southern Cone countries. *Mem Inst Oswaldo Cruz*. 2003;98:577–91. [PubMed](#) <http://dx.doi.org/10.1590/S0074-02762003000500001>
3. Gourbière S, Dorn P, Tripet F, Dumonteil E. Genetics and evolution of triatomines: from phylogeny to vector control. *Heredity*. 2012;108:190–202. [PubMed](#)
<http://dx.doi.org/10.1038/hdy.2011.71>
4. Levine R. Case 12: controlling Chagas disease in the southern cone of South America. In: Center for global development, editor. *Case studies in global health. Millions saved case studies*. Burlington (MA): Jones & Bartlett Learning; 2007. p. 95–102.
5. Porcasi X, Catalá S, Hrellac H, Scavuzzo M, Gorla D. Infestation of rural houses by *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) in southern area of Gran Chaco in Argentina. *J Med Entomol*. 2006;43:1060–7. [PubMed](#) [http://dx.doi.org/10.1603/0022-2585\(2006\)43\[1060:IORHBT\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1603/0022-2585(2006)43[1060:IORHBT]2.0.CO;2)
6. Gurevitz JM, Gaspe MS, Enriquez GF, Provecho YM, Kitron U, Gürtler RE. Intensified surveillance and insecticide-based control of the Chagas disease vector *Triatoma infestans* in the Argentinean Chaco. *PLoS Negl Trop Dis*. 2013;7:e2158. [PubMed](#)
<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pntd.0002158>
7. Levy MZ, Bowman NM, Kawai V, Waller LA, Cornejo del Carpio JG, Benzaquen EC, et al. Periurban *Trypanosoma cruzi*-infected *Triatoma infestans*, Arequipa, Peru. *Emerg Infect Dis*. 2006;12:1345–52. [PubMed](#) <http://dx.doi.org/10.3201/eid1209.051662>
8. Bayer AM, Hunter GC, Gilman RH, Cornejo del Carpio JG, Naquira C, Bern C, et al. Chagas disease, migration and community settlement patterns in Arequipa, Peru. *PLoS Negl Trop Dis*. 2009;3:e567. [PubMed](#) <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pntd.0000567>
9. Oficina Técnica de Difusión INEI. IV Censo nacional agropecuario, nota de prensa. Lima, Peru: Instituto Nacional de Estadística e Informática. July 10 2012 [cited 2013 Jul 8].
<http://www.inei.gob.pe/web/NotaPrensa/Attach/14584.pdf>.

10. Lumbreras Cruz H. Epidemiology of Chagas disease during the urbanization of Miraflores de Arequipa [in Spanish]. *Archivos Patologia*. 1952;6:191–200.
11. Cecere MC, Canale DM, Gürtler RE. Effects of refuge availability on the population dynamics of *Triatoma infestans* in central Argentina. *Journal of Applied Ecology*. 2003;40:742–56. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2664.2003.00825.x>
12. Gürtler RE, Kitron U, Cecere MC, Segura EL, Cohen JE. Sustainable vector control and management of Chagas disease in the Gran Chaco, Argentina. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2007;104:16194–9. [PubMed http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0700863104](http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0700863104)
13. Saunders M, Small A, Dedicat M, Roberts L. The development and validation of a risk score for household infestation by *Triatoma infestans*, a Bolivian vector of Chagas disease. *Trans R Soc Trop Med Hyg*. 2012;106:677–82. [PubMed http://dx.doi.org/10.1016/j.trstmh.2012.07.006](http://dx.doi.org/10.1016/j.trstmh.2012.07.006)
14. Escobal J. The determinants of nonfarm income diversification in rural Peru. *World Development*. 2001;29:497–508. [http://dx.doi.org/10.1016/S0305-750X\(00\)00104-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0305-750X(00)00104-2)
15. Bittenheim AM, Paz-Soldan V, Barbu C, Skovira C, Calderón JQ, Riveros LM, et al. Is participation contagious? Evidence from a household vector control campaign in urban Peru. *J Epidemiol Community Health*. 2014;68:103–9. [PubMed http://dx.doi.org/10.1136/jech-2013-202661](http://dx.doi.org/10.1136/jech-2013-202661)
16. Delgado S, Ernst KC, Pumahuanca ML, Yool SR, Comrie AC, Sterling CR, et al. A country bug in the city: urban infestation by the Chagas disease vector *Triatoma infestans* in Arequipa, Peru. *Int J Health Geogr*. 2013;12:48. [PubMed http://dx.doi.org/10.1186/1476-072X-12-48](http://dx.doi.org/10.1186/1476-072X-12-48)
17. Google Earth. Arequipa, Peru, metropolis. Mountain View (CA): Google Inc. Aug 17 2009 [cited 2010 Apr 1]. <http://www.google.com/earth/index.html>.
18. Palomino M, Villaseca P, Cárdenas F, Ancca J, Pinto M. Efficiency and residuality of two insecticide pyrethroids against *Triatoma infestans* in three types of housing: field evaluation in Arequipa, Peru [in Spanish]. *Perú Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*. 2008;25:9–16.
19. Bates D, Maechler M, Bolker B. *lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and Eigen++, 2013*. R package version 0.999999-2 [cited 2014 Jul 25]. <http://CRAN.R-project.org/package=lme4>.

20. Levy MZ, Barbu CM, Castillo-Neyra R, Quispe-Machaca VR, Ancca-Juarez J, Escalante-Mejia P, et al. Urbanization, land tenure security and vector-borne Chagas disease. *Proc Biol Sci*. 2014;281:20141003. [PubMed http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2014.1003](http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2014.1003)
21. Hong A, Barbu C, Small D, Levy M. Mapping the spatial distribution of a disease transmitting insect in the presence of surveillance error and missing data. *J R Stat Soc [Ser A]*. 2014.
22. Nagelkerke NJ. A note on a general definition of the coefficient of determination. *Biometrika*. 1991;78:691–2. <http://dx.doi.org/10.1093/biomet/78.3.691>
23. R Core Team. R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2014 [cited 2014 Jul 25]. <http://www.R-project.org>.
24. Centro de Investigaciones de Plagas e Insecticidas/ Centro Institucional de Investigaciones Científicas y Técnicas de las Fuerzas Armadas/Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CIPEIN/CITEFA/CONICET). Protocolo de evaluación de efecto insecticida en *Triatoma infestans*. Buenos Aires, Argentina: CIPEIN/WHO/TDR, 2005 [cited 2013 Jul 15]. http://www.anmat.gov.ar/webanmat/Protocolo_Traitoma.asp.
25. Barbu CM, Hong A, Manne JM, Small DS, Quintanilla Calderón JE, Sethuraman K, et al. The effects of city streets on an urban disease vector. *PLOS Comput Biol*. 2013;9:e1002801. [PubMed http://dx.doi.org/10.1371/journal.pcbi.1002801](http://dx.doi.org/10.1371/journal.pcbi.1002801)
26. Gürtler RE, Petersen RM, Cecere MC, Schweigmann NJ, Chuit R, Gualtieri JM, et al. Chagas disease in north-west Argentina: risk of domestic reinfestation by *Triatoma infestans* after a single community-wide application of deltamethrin. *Trans R Soc Trop Med Hyg*. 1994;88:27–30. [PubMed http://dx.doi.org/10.1016/0035-9203\(94\)90483-9](http://dx.doi.org/10.1016/0035-9203(94)90483-9)
27. Gürtler RE, Cecere M, Canale D, Castañera M, Chuit R, Cohen J. Monitoring house reinfestation by vectors of Chagas disease: a comparative trial of detection methods during a four-year follow-up. *Acta Trop*. 1999;72:213–34. [PubMed http://dx.doi.org/10.1016/S0001-706X\(98\)00096-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0001-706X(98)00096-5)
28. Cecere MC, Vazquez-Prokopec GM, Gürtler RE, Kitron U. Spatio-temporal analysis of reinfestation by *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) following insecticide spraying in a rural community in northwestern Argentina. *Am J Trop Med Hyg*. 2004;71:803–10. [PubMed](#)
29. Pérez de Rosas AR, Segura EL, García BA. Microsatellite analysis of genetic structure in natural *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) populations from Argentina: its implication in

- assessing the effectiveness of Chagas' disease vector control programmes. *Mol Ecol.* 2007;16:1401–12. [PubMed http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03251.x](http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03251.x)
30. Gaspe MS, Gurevitz JM, Gürtler RE, Dujardin J-P. Origins of house reinfestation with *Triatoma infestans* after insecticide spraying in the Argentine Chaco using wing geometric morphometry. *Infect Genet Evol.* 2013;17:93–100. [PubMed http://dx.doi.org/10.1016/j.meegid.2013.03.044](http://dx.doi.org/10.1016/j.meegid.2013.03.044)
31. Levy MZ, Quíspe-Machaca VR, Ylla-Velasquez JL, Waller LA, Richards JM, Rath B, et al. Impregnated netting slows infestation by *Triatoma infestans*. *Am J Trop Med Hyg.* 2008;79:528–34. [PubMed](http://dx.doi.org/10.1016/j.meegid.2013.03.044)
32. Picollo MI, Vassena C, Orihuela PS, Barrios S, Zaidemberg M, Zerba E. High resistance to pyrethroid insecticides associated with ineffective field treatments in *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) from northern Argentina. *J Med Entomol.* 2005;42:637–42. [PubMed http://dx.doi.org/10.1603/0022-2585\(2005\)042\[0637:HRTPIA\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1603/0022-2585(2005)042[0637:HRTPIA]2.0.CO;2)
33. Toloza AC, Germano M, Cueto GM, Vassena C, Zerba E, Picollo MI. Differential patterns of insecticide resistance in eggs and first instars of *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) from Argentina and Bolivia. *J Med Entomol.* 2008;45:421–6. [PubMed http://dx.doi.org/10.1603/0022-2585\(2008\)45\[421:DPOIRI\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1603/0022-2585(2008)45[421:DPOIRI]2.0.CO;2)
34. Germano MD, Acevedo GR, Cueto GA, Toloza A, Vassena C, Picollo M. New findings of insecticide resistance in *Triatoma infestans* (Heteroptera: Reduviidae) from the Gran Chaco. *J Med Entomol.* 2010;47:1077–81. [PubMed http://dx.doi.org/10.1603/ME10069](http://dx.doi.org/10.1603/ME10069)
35. Espinoza N, Borrás R, Abad-Franch F. Chagas disease vector control in a hyperendemic setting: the first 11 years of intervention in Cochabamba, Bolivia. *PLoS Negl Trop Dis.* 2014;8:e2782. [PubMed http://dx.doi.org/10.1371/journal.pntd.0002782](http://dx.doi.org/10.1371/journal.pntd.0002782)
36. Adelman ZN, Kilcullen KA, Koganemaru R, Anderson MAE, Anderson TD, Miller DM. Deep sequencing of pyrethroid-resistant bed bugs reveals multiple mechanisms of resistance within a single population. *PLoS ONE.* 2011;6:e26228. [PubMed http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0026228](http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0026228)
37. Levy MZ, Kawai V, Bowman NM, Waller LA, Cabrera L, Pinedo-Cancino VV, et al. Targeted screening strategies to detect *Trypanosoma cruzi* infection in children. *PLoS Negl Trop Dis.* 2007;1:e103. [PubMed http://dx.doi.org/10.1371/journal.pntd.0000103](http://dx.doi.org/10.1371/journal.pntd.0000103)

38. Noireau F. Wild *Triatoma infestans*, a potential threat that needs to be monitored. Mem Inst Oswaldo Cruz. 2009;104:60–4. PubMed <http://dx.doi.org/10.1590/S0074-02762009000900010>
39. Ceballos LA, Piccinali RV, Marcet PL, Vazquez-Prokopec GM, Cardinal MV, Schachter-Broide J, et al. Hidden sylvatic foci of the main vector of Chagas disease *Triatoma infestans*: threats to the vector elimination campaign? PLoS Negl Trop Dis. 2011;5:e1365. PubMed <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pntd.0001365>

Dirección para correspondencia: Corentin M. Barbu, Center for Clinical Epidemiology and Biostatistics, Perelman School of Medicine, University of Pennsylvania, 715 Blockley Hall, 423 Guardian Dr, Philadelphia, PA 19104-6021, USA, email: corentin.barbu@gmail.com

Tabla 1. Zonas seleccionadas dentro de distritos y localidades seleccionadas. Distribución de reportes, inspecciones e infestación descubierta durante la fase de vigilancia, Arequipa, Perú*

Unidades anidadas	Cuadras	Viviendas	Viviendas reportando infestación durante vigilancia	Viviendas inspeccionadas durante vigilancia	Viviendas inspeccionadas con infestación durante vigilancia
Distritos participantes (n=8)	5,955	79,972	301	785	145
Localidades infestadas (n=256)	4,755	67,218	258	714	133
Zonas seleccionadas	3,727	56,491	225†	613	116‡

* Viviendas inspeccionadas con reportes durante vigilancia se cuentan desde Enero de 2009 hasta fin de Diciembre de 2012.

† Viviendas en cuadras seleccionadas tienen una tasa de reportes y riesgos de ser positivos durante la fase de vigilancia similar a otras viviendas en su distrito (odds ratio 1.12, p = 0.45 y 0.94 p = 0.77), controlando diversidad entre distritos.

‡ Entre éstas, 77 son viviendas con reportes (35% de las 219 viviendas con reportes inspeccionadas).

Tabla 2. Estimaciones de infestación inicial y residual para la fase de tratamiento, Arequipa, Perú (2003 - 2011)*

Tratamiento	No.	Prevalencia inicial, %		Infestación residual estimada	
		Observado	Estimado	Prevalencia, %	No. (%) viviendas infestadas
I y II	35,207	20.1	35.6	0.006	2 (0.3)
I	7,521	7.0	12.2	0.16	14 (2.1)
II	4,169	4.0	6.9	0.09	4 (0.5)
No tratado	9,594	-	6.9†	6.9	666 (97.1)
Total	56,491	16.2	25.8	1.2	686 (100)

* Estimaciones son calculadas según Tabla 1 (Estimada sensibilidad de inspectores p = 57% [46%-66%] y probabilidad de despejar viviendas de infestación con un tratamiento c = 98.7% [98.4%-98.9%]).

† Extrapolación de prevalencia en viviendas participantes sólo en el segundo tratamiento a viviendas que nunca fueron tratadas.

Tabla 3. Modelo a nivel de vivienda de observación, infestación inicial, tratamiento e infestación residual durante la fase de tratamiento de una campaña de control vectorial de la enfermedad de Chagas, Arequipa, Perú*

Tratamiento	Infestación observada	Prevalencia inicial estimada	Prevalencia residual estimada
I y II	$\{O_{I+II+} = n_{III} \cdot s \cdot (1 - c) \cdot s$ $\{O_{I+II-} = n_{III} \cdot s \cdot (c + (1 - c) \cdot (1 - s))$ $\{O_{I-II+} = n_{III} \cdot (1 - s) \cdot (1 - c) \cdot s$	$p_{III} = n_{III} / T_{III}$	$r_{III} = p_{III} \cdot (1 - c)^2$
I	$O_{I+I\emptyset} = n_I \cdot s$	$p_I = n_I / T_I$	$r_I = p_I \cdot (1 - c)$
II	$O_{I\emptyset II+} = n_{II} \cdot s$	$p_{II} = n_{II} / T_{II}$	$r_{II} = p_{II} \cdot (1 - c)$
Ninguno	No observado	$p_{\emptyset} = p_{II}$	$r_{\emptyset} = p_{\emptyset}$

* Letras mayúsculas refieren a cantidades observadas. Letras minúsculas refieren a cantidades estimadas. O_{ixly} , el número de viviendas infestadas observadas en la primera (Ix) y segunda (Ily) etapas de tratamiento, donde x, y tienen los siguientes valores: No, no tratamiento e infestación no fue observada; +, tratado e infestación observada; -, tratado e infestación no observada. Para n_z , p_z , T_z , y r_z , el subíndice z corresponde a la participación en tratamientos; I primero, II segundo, I/II ambos; n_z , número estimado de viviendas

infestadas; p_z , estimada prevalencia inicial de infestación; T_z , número total de viviendas; r_z , prevalencia de infestación residual estimada post tratamiento; s , sensibilidad de técnicos que realizan tratamientos para viviendas infestadas; c , probabilidad de despejar infestación cuando tratada. Detalles adicionales y el sistema de ecuaciones resuelto se encuentran en el Apéndice Técnico, <http://wwnc.dcd.gov/EID/article/20/12/13-1820-Techapp1.pdf>.

Tabla 4. Predictores de infestación por *Triatoma infestans* entre todas las viviendas durante la fase de vigilancia (2009 - 2012) en áreas de Arequipa, Perú, tratadas durante 2003-2011*.

Predictor	OR	2.5%	97.5%
Intercepto	$2.1 \times 10^{-5}\dagger$	3.2×10^{-6}	1.4×10^{-4}
Infestado durante fase de tratamiento	3.21†	1.96	5.24
No tratado durante fase de tratamiento	21.5‡	3.35	138
Tiempo, y	1.55‡	1.15	2.09

* Tiempo corresponde al número de años después del término de la fase de tratamiento inicial en la localidad, en Enero 1, 2013. Un efecto aleatorio al nivel de localidad es incluido. Intervalos de confianza asumen normalidad asintótica. $n = 56,491$ (116 infestados), Nagelkerke pseudo $R^2 = 0.16$. OR, odds ratio.

† $p < 0.001$.

‡ $p < 0.01$.

Tabla 5. Predictores de reportes confirmados al nivel de la cuadra y predictores de infestación por *Triatoma infestans* observada entre viviendas infestadas durante fase de vigilancia de la campaña de control vectorial en distritos urbanos de Arequipa, Perú, 2009-2012*.

Reportes confirmados al nivel de cuadra				Infestación entre viviendas inspeccionadas			
Predictor	OR	2.5%	97.5%	Predictor	Estimación	2.5%	97.5%
Intercepto	$8.2 \times 10^{-5}\dagger$	4.5×10^{-6}	1.5×10^{-3}	Intercepto	0.08†	0.05	0.12
Log (infestado + 1)	2.08†	1.42	3.04	Infestado	2.24‡	1.28	3.91
Tiempo, y	1.69§	1.10	2.58	–	–	–	–
Log (no tratado + 1)	4.85§	1.34	17.49	No tratado	5.88†	3.18	10.88
Tiempo x log (no tratado + 1)	0.82¶	0.66	1.02	–	–	–	–

* Para reportes confirmados al nivel de la cuadra, resultado es existencia de ≥ 1 reportes confirmados en la cuadra: reportes que llevan a la observación de ≥ 1 viviendas infestadas en la cuadra en inspecciones siguientes. Infestado es el número de viviendas observadas infestadas al menos una vez durante la fase de tratamiento. No tratado es el número de viviendas no tratadas en la fase de tratamiento de la cuadra. Tiempo corresponde al número de años en 2012 desde el término de la fase inicial de tratamiento para la localidad. Un efecto aleatorio al nivel de localidad es incluido para el análisis al nivel de cuadra. OR odds ratio. $N = 3,727$ cuadras (80 con reportes confirmados) Nagelkerke pseudo- $R^2 = 0.71$. Para infestación entre viviendas inspeccionadas, resultado es el estado de infestación durante la primera inspección de la fase de vigilancia. Infestado es viviendas infestadas en ≥ 1 inspecciones de la fase de tratamiento. No tratado es viviendas que no fueron tratadas durante la fase de tratamiento. Utilizamos un efecto aleatorio en lotes de inspecciones alrededor de una vivienda reportante. Debido a que todas las viviendas en un lote son inspeccionadas al mismo tiempo, tiempo no es incluido como un predictor. Los intervalos de confianza asumen normalidad asintótica. $N = 613$ inspeccionados (102 infestados). Nagelkerke pseudo- $R^2 = 0.91$.

† $p < 0.001$.

‡ $p < 0.01$.

§ $p < 0.05$.

¶ $p < 0.1$.

Figura 1. Zonas seleccionadas para control vectorial de enfermedad de Chagas en el distrito de Paucarpata, Arequipa, Perú. Unidades pequeñas son cuadras y unidades grandes son localidades. Gris oscuro indica localidades no infestadas; gris claro indica zonas seleccionadas; y gris medio indica cuadras no seleccionadas entre localidades infestadas.

Figura 2. Infestación durante la fase de vigilancia mostrada por historia de tratamiento durante la fase de tratamiento para A) Distrito Jacobo Hunter (fase de tratamiento durante 2003-2005) y B) Distrito Paucarpata (tratamiento durante 2006-2009), Arequipa, Perú. Estrellas indican viviendas infestadas durante la fase de vigilancia y no tratadas durante la fase de tratamiento; círculos negros indican viviendas infestadas durante la fase de vigilancia pero tratadas durante la fase de tratamiento; y puntos gris claro indican otras viviendas (su alineación producen el patrón de fondo de calles).

Apéndice Técnico. Materiales suplementales para infestación residual y recolonización durante una campaña de control urbana de *Triatoma infestans*, Arequipa, Perú.