

# Regional scale environmental variables complementing a Risk Model of Chagas Disease vectorial transmission

Ximena Porcasi<sup>#1</sup>, Verónica Andreo<sup>\*#2</sup>, Anabella Ferral<sup>#3</sup>, Pilar Guimarey<sup>·</sup>, M. Soledad Santini<sup>·3</sup>, Cynthia Spillmann<sup>\$4</sup>, Ricardo Hernandez<sup>4</sup>, Andres Geuna Serra<sup>4</sup>, Exequiel Aguirre<sup>#1</sup>,

<sup>#</sup>Instituto Gulich-CONAE, ruta C-45 Km8, Falda del Cañete, Córdoba, Argentina

<sup>\*</sup>Department of Earth Observation Science, Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), University of Twente, 7500 AE Enschede, The Netherlands

<sup>·</sup>Centro Nacional de Diagnóstico e Investigación en Endemo-epidemias (CeNDIE-ANLIS), Ministerio de Salud de Nación

<sup>\$</sup> Coordinación de Vectores (CV), Ministerio de Salud de Nación

<sup>1</sup>ximena.porcasi@conae.gov.ar

<sup>2</sup>veroandreo@gmail.com

<sup>3</sup>aferral@ig.conae.gov.ar

**Abstract**— In this study we present advances in the analysis of environmental variables obtained from moderate resolution satellite images and their association with infestation indexes by *Triatoma infestans* (vector of Chagas disease). The environmental variables considered are the result of climatology and anomaly summaries derived from MODIS sensor time series (products MOD11A2 and MOD13A2) for the period 2000 to 2015), land use from Serena and precipitation from TRMM.

The infestation, which was measured at the locality / rural LOCATION level, is expressed as a percentage of households with presence of *T. infestans*. Data was collected from the National Chagas service. Generalized linear models are proposed to associate the infestation with the environmental variables OBTAINED FROM SATELLITE IMAGES and other local conditions (characteristics of the dwellings and the presence of domestic animals).

In general, the environmental variables considered in the models have more influence on Infestation indexes than the locals variables. The variables with the best adjustment were: annual average of LST of the years 2013 and 2015, the NDVI of 2014 and the anomalies of NDVI of the same year. These variables showed higher weights than the variables representing local conditions.

From an eco-epidemiological perspective, the usage of products derived from sensors with Medium resolution with national coverage are tools which allow decision makers to generate more accurate responses in less time.

**Resumen**— Se presentan los avances en el estudio de la asociación de variables ambientales de resolución media, respecto a índices de infestación por *Triatoma infestans* (vector de la enfermedad de Chagas). Las variables ambientales bajo análisis son el resultado de climatologías y anomalías derivadas de series temporales de los años 2013 al 2015, de datos del sensor MODIS (productos MOD11A2 y MOD13A2), uso del suelo de Serena y precipitaciones de TRMM.

La infestación, que se midió a nivel de localidad/puesto rural, se expresa como porcentaje de casas con presencia de *T. infestans* utilizando datos relevados por el servicio Nacional de Chagas. Se plantean modelos lineales generalizados para

asociar la infestación con las variables ambientales, las características de construcción de las viviendas y la presencia de animales domésticos (condiciones locales).

En los modelos lineales generalizados usados, las variables ambientales que se combinan en los modelos son las de mayor significancia. Las variables con mejor ajuste fueron: la media anual de LST de los años 2013 y 2015 el NDVI del 2014 y las anomalías de NDVI del mismo año. Incluso con pesos superiores a las variables de condiciones locales.

Desde una visión eco-epidemiológica, estos productos derivados de sensores de resolución media son herramientas que, abarcando una escala Nacional, permiten a los tomadores de decisiones generar respuestas más acertadas en menor tiempo.

## I. INTRODUCCION

La enfermedad de Chagas representa uno de los más graves problemas de salud pública en América Latina, con un alto impacto socio-económico. En Argentina entre un 4 y un 7,2% de la población total está infectada con el parásito *Trypanosoma cruzi*. Esta situación no es uniforme en nuestro país, principalmente porque la distribución geográfica de *Triatoma infestans* (vector de la enfermedad) y grado de respuesta a las acciones de control no son iguales en el territorio [1]. En ese sentido, dimensionar precisamente el riesgo, demostrarlo y definir actividades de vigilancia y control que sean aceptables por las autoridades locales es mandatorio [2].

El estudio que aquí se presenta es de carácter exploratorio y es parte de un Proyecto inter-institucional e interministerial (Msal-Mincyt) para la generación de modelos de riesgo de transmisión vectorial de Chagas. “Herramienta de estratificación de riesgo de transmisión vectorial del Chagas: Ensayo de transferencia y aplicación del Modelo en un entorno SIG-WEB”. El proyecto considera un conjunto de variables básicas sobre las que definir el riesgo final de la transmisión: Vectorial de la enfermedad a nivel nacional: Infestación por *T. infestans* en

el interior y exterior de las viviendas, calidad constructiva de la vivienda, control químico y oferta parasitaria (circulación del parásito en la población).

Existe muy buena documentación sobre el vínculo entre la presencia de *T. infestans* y las condiciones de la vivienda, la presencia de animales de corral y/o domésticos y la historia/calidad de la aplicación de insecticida dentro de cada localidad ([3]-[5]); a éstas variables las consideramos “condiciones locales”.

Sin embargo, por tratarse de un estudio a escala nacional, la infestación probablemente se regule al menos de manera parcial con variables macro ambientales tales como los Índices de Vegetación, cobertura de la tierra y estimaciones climáticas de temperatura de superficie y precipitación derivados de sensores remotos de Resolución Moderada.

Este trabajo apunta a identificar variables locales y macro-ambientales asociadas a la infestación de *T. infestans* a nivel de localidad, Así como identificar variables macro-ambientales relacionadas de manera indirecta con el riesgo de transmisión de Chagas.

## II. METODOLOGÍA

### A. Datos de variables locales

Los datos de “condiciones locales”: infestación, calidad de la vivienda y cantidad de animales por vivienda, fueron extraídos de un sistema de recopilación y generación de mapas que es actualmente utilizado por el MINISTERIO DE Salud. La unidad de análisis para este trabajo fue la localidad (definida según el Programa Nacional de Chagas, ya que el IGN no representa con certeza los poblados rurales pequeños del país). Se trabajó con un total de 240 localidades de 11 provincias. Todo grupo de casas de más de 20 viviendas fue incluido en el análisis. Se trabajó con las provincias que actualmente se consideran en riesgo de transmisión, y con algunas que están a punto de certificar su “interrupción de transmisión” para incluir la mayor variabilidad posible en el análisis.

Una vez obtenida la geo-referencia de las localidades se generó un círculo de radio variable en función del número de casas en cada localidad (así los radios que representan la superficie de cada localidad varío entre 2 y 7 km, según el número de casa identificadas en cada una). Los valores finales de las variables ambientales constituyen la media de todos los PÍXELES que caen dentro del área estimada de cada localidad (Fig. 1)

### B. Datos macroambientales

Las variables ambientales utilizadas para este estudio se obtuvieron a partir del procesamiento de productos satelitales derivados del sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) a bordo del satélite Terra y, del satélite TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission). Para el caso de MODIS, los productos MOD13A2 (Vegetation Index) y MOD11A2 (Land Surface Temperature) Colección 5.5 correspondientes a los tiles h12v12, h12v11, h13v11, h13v12 y h11v11, se descargaron del sitio <https://e4ftl01.cr.usgs.gov/> utilizando la librería pymodis

(<http://www.pymodis.org/>). Para la descarga automática de los datos de precipitación diaria acumulada de la misión TRMM se utilizó un script ad hoc, desde el sitio [ftp://disc2.nascom.nasa.gov/data/TRMM/Gridded/Derived\\_Products/3B42\\_V7/Daily/](ftp://disc2.nascom.nasa.gov/data/TRMM/Gridded/Derived_Products/3B42_V7/Daily/).

Por último se trabajó con un mapa de uso y cobertura de la tierra para Latino-américa generado por Blanco et al. [6], al cual se le calculó el índice de diversidad en una ventana móvil de 9x9 píxeles para evaluar la diversidad de coberturas en el entorno inmediato de cada localidad. Todos los productos descargados fueron importados y procesados en GRASS GIS (GRASS Development Team, 2016).

Se estimaron distintas variables ambientales a través de la agregación temporal de datos diarios, cada 8 o cada 16 días, según el producto. En el caso de las precipitaciones, se estimó la precipitación mínima, media y máxima para el periodo 2000-2015 a partir de las precipitaciones acumuladas para cada año del mencionado período. Para los productos derivados de datos MODIS, se aplicaron las bandas de control de calidad que acompañan los productos, reteniendo sólo aquellos píxeles que representan la mayor calidad. Para el caso de la temperatura de superficie (LST), se utilizaron los datos de la pasada diurna para estimar la temperatura media anual, y los datos de la pasada nocturna, como estimadores de la temperatura mínima anual. Para representar la cobertura vegetal, se utilizaron los valores medios anuales del Índice de Vegetación Normalizado por Diferencia (NDVI) y del Índice de Vegetación Mejorado (EVI). Asimismo, para caracterizar posibles cambios interanuales de la cubierta vegetal, se estimaron anomalías para estos índices. Las mismas se calcularon como la diferencia entre el valor medio de cada año y la media de todo el periodo considerado (2000-2015 en este caso). Finalmente, las variables utilizadas corresponden al periodo 2013-2015 que se corresponden con la fecha de los datos de infestación.

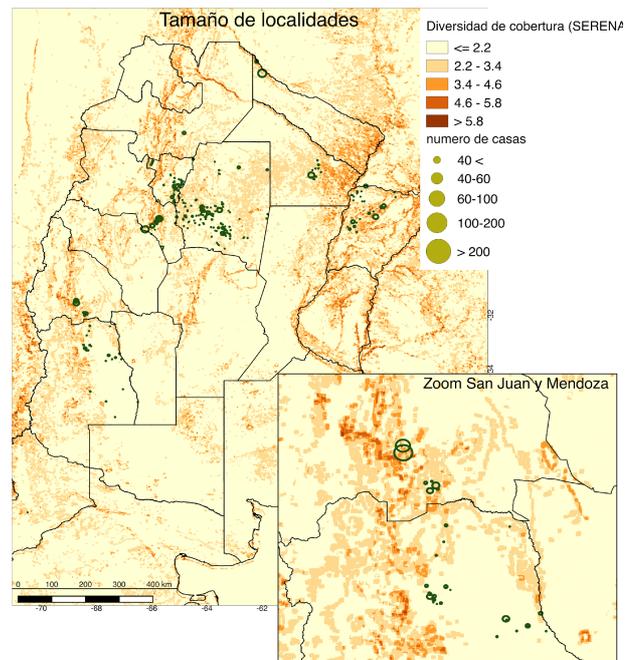


Fig. 1. Distribución y tamaño de las localidades bajo estudio sobre el índice de Diversidad de uso de suelo (los números indican cuantos píxeles de la misma cobertura hay en una grilla de 9x9 píxeles).

### C. Análisis estadístico de los datos

La variable dependiente a modelar fue la infestación a nivel de localidad. Se la trabajó como porcentaje para cada sitio, y de forma independiente en el interior (intradomicilio, ID) y el exterior de las viviendas (Peri-domicilio, PD).

Por la naturaleza de los datos se trabajó con modelos lineales generalizados con link de Poisson. Previamente se testeó la multi-colinearidad de las variables independientes, descartándose aquellas con una correlación de Pearson superior al 0,85.

Para manejar con criterio el número de posibles variables predictoras de la infestación por *T. infestans*, se armaron y probaron subconjuntos de modelos según el tipo de variable predictoras seleccionadas (basado en criterios ecológicos / macroambientales). Así se probaron modelos con variables predictoras solamente de LST (temperatura), luego otros conjuntos de modelos con variables predictoras de vegetación (EVI), otros conjuntos con todas las variables ambientales de cada año y la diversidad de coberturas. Por último se incluyeron modelos con combinaciones de variables locales con ambientales (y estas últimas preseleccionadas de los modelos puramente ambientales), etc... Un ejemplo de los grupos de modelos construidos y puestos a prueba se muestra en la Tabla 1. Se probaron en total 18 modelos para la variable dependiente infestación intradomiciliaria y otros 18 con la infestación peridomiciliaria. Se seleccionaron solo los modelos con coeficientes con niveles cercanos una significancia de 0,1. Y en éstos, se testeó la posible sobre dispersión de los datos mediante el cociente: devianza residual/grados de libertad de cada modelo. Asimismo, se aplicó un test CHI2 para chequear si el valor era significativamente diferente de 1. También se utilizó el test de sobre-dispersión de la librería AER [7], del software R. Los datos fueron trabajados con GRASS, Qgis y R para el análisis estadístico.

TABLA1  
MODELOS DE REGRESION PROPUESTOS

Criterios de agrupación de la VD (N.º total probado)	Ejemplo de combinación de VD (todos GLM, Familia Poisson, link=log)
Solo LST (temperatura) (4 modelos)	IIID= $lst13 + lst14 + 1 \cdot lstmin13 + lstmin14 + lstmin15$ .....
Solo NDVI(Índices Vegetación) (4 modelos)	IIID= $an\_NDVI15 + an\_NDVI14 + NDVI13 + NDVI14 + NDVI15$ .....
Condiciones locales (1 modelo)	IIID= $animales + casacol + Diversidad$
Macro-ambientales por año(6 modelos)	IIID= $an\_NDVI13 + lstmin13 + Diversidad$ IIID= $NDVI14 + lst14 + Diversidad$ .....
Modelos mixtos (4 modelos)	IIID= $animales + casacol + Diversidad + lst14 + lstmin14 + NDVI14$ .....

IIID:Índice de infestación intradomiciliaria. IIPD:Índice de infestación peridomiciliaria. LST13/14/15: Temperatura media de superficie del año 2013/2014/2015, lstmin13/14/15: Media de Temperatura de superficie mínima (nocturna) del año 13/14/15. NDVI13/14/15: media de NDVI para el año 2013/14/15. anNDVI13/14/15: anomalía anual de NDVI del año

2013/14/15, Diversidad: número de clases de cobertura de suelo. Animales: promedio de animales por casa., casacol: % de casas colonizables por *T. infestans* en la localidad. los puntos suspensivos indican que hay más combinaciones similares.

### III RESULTADOS

Las localidades incluidas en el estudio y sus niveles de infestación registrados a nivel de intra y peridomicilio se muestran en la Figura 2. La infestación en ID (Mediana=0%; RIQ: 0%-5,15%) es menor que en el PD (MEDIANA=2,86%; RIQ: 0%-12,85%). En coincidencia con los reportes habituales de infestación [1],[4] para *T. infestans*

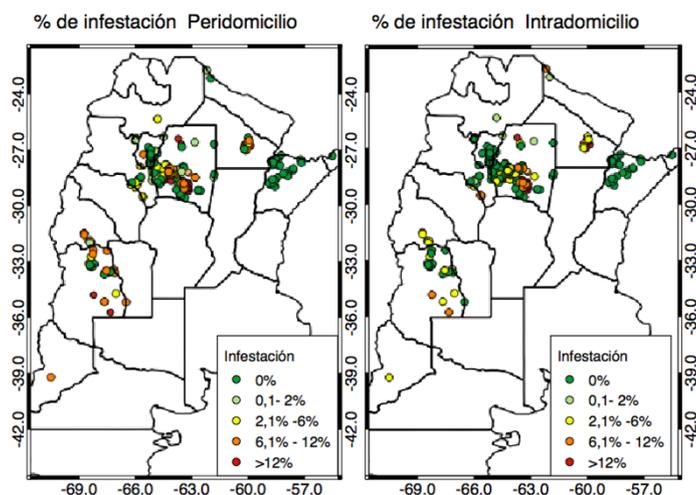


Fig. 2. Infestación para el periodo de estudio, expresada en porcentaje de casas positivas para *T. infestans* por localidad.

Los histogramas de las variables locales se muestran en la Fig. 3. mientras que el porcentaje de casas colonizables es muy variable de una localidad a otra (con una distribución aproximadamente uniforme), el número de animales promedio por casa tiene una gran cantidad de valores bajos y una distribución muy sesgada hacia la izquierda, que coincide con la distribución de los datos de infestación por *T. infestans*.

El resultado más llamativo de este tipo de modelado estadístico es la escasa influencia de las variables que representan “condiciones locales”, dichas variables no resultaron significativas en ninguno de los modelos considerados. En la tabla 2 se presentan solamente las variables que tuvieron valores de significancia menores a 0,1, de todos los modelos analizados (o las que aportan a cada modelo con un nivel de confianza del 90%), discriminados según la variable dependiente utilizada (infestación en el Intra o peridomicilio).

Las variables macro-ambientales con niveles cercanos a la significancia fueron distintas para los modelos de infestación Intradomiciliaria respecto de los de infestación peridomiciliaria (Tabla 2).

En el intradomicilio sólo se observó influencia de la anomalía del NDVI del año 2014 y la diversidad de cobertura vegetal, con niveles cercanos a la significancia ( $P < 0.1$ ). Para ambas variables, los coeficientes mostraron una relación es inversa: a menor vegetación respecto de la

media (anomalía negativa), mayor índice de infestación; y a menor diversidad en cobertura de suelo, mayor infestación.

El peridomicilio, fue el único ambiente con un modelo con variables significativas: el valor medio de NDVI del año 2014 ( $p < 0.05$ ). El modelo en cuestión fue:

$$IIPD = -5.677 - 0.002(\text{animales}) - 0.004(\text{vivcol}) - 0.34(\text{diversidad}) - 0.01(LST14) + 0.02(LSTmin14) - 0.005(NDVI14)**$$

La sobredispersión del modelo fue de 0.147, indicando una sub-dispersión de los datos. El análisis de los residuos y distancias de Cook marca tres localidades con mayor influencia en los coeficientes de regresión. Pero sólo una localidad supera la distancia de Cook considerada influyente ( $DCook > 1$ ). La distribución de los residuos es cercana a la normal (Shapiro Test:  $W = 0.655$ ,  $p = 0.071$ )

En el peridomicilio, al contrario del intradomicilio, las variables de temperatura fueron las más frecuentes: LST 2013 y LSTmin 2013 mostraron coeficientes positivos, mientras que las mismas variables en el año 2015 mostraron una relación inversa. La diversidad también resultó ser una variable con influencia en el peridomicilio con una relación inversa (Tabla 2). Los valores de los índices de vegetación del año 2014 en las localidades bajo análisis tuvieron valores intermedios tanto en la media del año como en las anomalías, respecto a los años 2013 y 2015. pero fue la única significativa con un nivel de confianza del 95%.

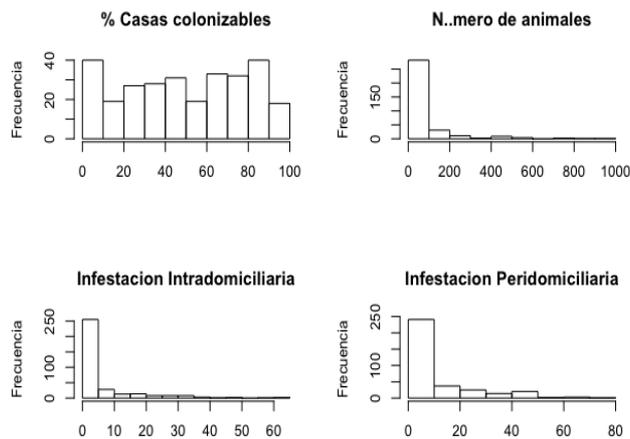


Fig. 3. Histogramas descriptivos de las variables de escala local (condiciones locales).

TABLA 2

VARIABLES CON APORTES A LA INFESTACIÓN SEGÚN LA MLG DE POISSON

Variable	Coefficiente estimado	Desvío Estándar	Valor p
<b>Dependiente:ID</b>			
an_NDVI14	-0.0059	0,0035	0,088
Diversidad	-0,6795	0,38	0,078
<b>Dependiente:PD</b>			
LST13	0,0094	0,0048	0,052
LST15	-0,0082	0,0045	0,066
LSTmin13	0,0049	0,0029	0,085
<b>NDVI14</b>	<b>-0,0005</b>	<b>0,0002</b>	<b>0,044</b>
Diversidad	-0,527	0,290	0,070

### III. DISCUSION Y CONCLUSIONES

Este trabajo se realizó con datos de la Coordinación Nacional de Vectores (Ministerio de Salud), considerando localidades o puestos de un tamaño mucho menor a los habitualmente registrados POR el INDEC [8], pero que son realmente representativas para la planificación de las actividades de control vectorial.

Para la evaluación climatológica se trabajó con un gran volumen de datos de más de 14 años del sensor MODIS. Los productos de este sensor, en combinación con el poder de cálculo en software libre, permitieron integrar en pocas variables, la situación ambiental a gran escala de toda la región endémica de Chagas en Argentina. Dada la persistencia y el alto grado de adaptación al ambiente chaqueño de *T. infestans*, las condiciones no inmediatas del ambiente, aportan información relevante.

Es ampliamente conocida la influencia de las condiciones locales en los niveles de infestación. Pero la mayoría de éstos estudios se realizan en sólo uno o dos parajes [2],[4],[5],[9].

Dentro de los modelos propuestos, las variables macro-ambientales fueron las de mayor significancia. Este hecho demuestra que, según la escala de análisis, las variables que intervienen en los fenómenos observados cambian. El examen de los residuos de los modelos sugiere que una aproximación binomial negativa, o la inclusión de términos cuadráticos para mejorar los ajustes; es el siguiente paso en la exploración de este tipo de las relaciones de la infestación con el ambiente propuestas dentro del proyecto TDR.

Sin embargo, los resultados obtenidos hasta aquí pueden explicarse en términos ecológicos: la predominancia de variables relacionadas a la temperatura en el peridomicilio encuentra su explicación en la mayor influencia climática en dichos ambientes expuestos (corrales, gallineros, chiqueros, cocinas y depósitos externos). Estas variables fueron identificadas en los primeros trabajos de sensores remotos aplicados a la infestación de *T. infestans*, asociando las bajas temperaturas del invierno con menores valores de infestación [10]. Un factor fundamental, es que la efectividad del rociado y la persistencia es mucho mayor en el interior de la vivienda [12] en parte debido a la degradación del insecticida con la luz y altas temperaturas. Esto explica la baja asociación de las variables ambientales en la infestación medida dentro de la casa, como así también los índices menores de infestación en el intra, respecto al peridomicilio.

En particular, la vegetación del año 2014 mostró asociaciones fuertes con un coeficiente negativo; esta variable suele asociarse de manera indirecta a la productividad y por tanto, a la actividad económica de la zona. Los valores bajos de vegetación se asocian a poblaciones con pastoreo de cabras y escasa humedad, que son el ambiente y la actividad económica más relacionados a los problemas de control [10],[11].

La asociación de la infestación dentro de los domicilios sólo mostró dos variables cercanas a la significancia claramente por la menor influencia del macro-ambiente en estos hábitats.

La inclusión del uso/cobertura de la tierra apreciada en la diversidad de coberturas en torno a cada localidad, resultó

significativa, y puede asociarse con la larga trayectoria de adaptación de *T. infestans* a ambientes como el chaco húmedo, semiárido y árido [13]. El efecto de Los cambios graduales y los avances de la agricultura, silvicultura o ganadería a gran escala se ha empezado a explorar en torno a enfermedades endémicas e históricas de nuestro país [14]. De manera general, un ambiente poco modificado parece favorecer la estabilidad de las poblaciones de *T. infestans*. En este trabajo, las localidades tuvieron una diversidad de al menos 2 clases de coberturas y tanto la infestación intra, como peri doméstica se asociaron negativamente a la diversidad de coberturas, lo que estaría apoyando esta hipótesis.

Este estudio es de carácter exploratorio dentro del marco de un proyecto de mayor envergadura. Sin embargo, avanza en cuestiones claves para la generación de mapas de riesgo; la identificación de variables con menor o mayor grado de asociación a la infestación observada a campo, y a distintas escalas de análisis es un elemento clave, requerido desde el ministerio de Salud como herramientas para la prevención y control de enfermedades endémicas y desatendidas.

#### AGRADECIMIENTOS

A la Coordinación Nacional de Vectores por su aporte con los datos del Sistema Integrado de Chagas. Este trabajo está financiado por el Programa TDR GRANT for Neglected Diseases.

#### REFERENCIAS

- [1] C. Spillmann, L. Colantonio., M.F. Pérez , F. Gorostegui , “Estratificación de Riesgo de Transmisión Vectorial de la Enfermedad de Chagas”. *Ministerio de Salud de Nación*. Rep Tec. 1\_13. 2011
- [2] G. M. Vazquez-Prokopec, C. Spillmann, M. Zaidenberg, U. Kitron and R. E. Gürtler. “Cost-effectiveness of Chagas disease vector control strategies in Northwestern Argentina”. *PLoS Negl Trop Dis*. Vol.3, 2009. doi:10.1371/journal.pntd.0000363
- [3] X. Porcasi, H. Hrellac, S. Catalá, M. Moreno, L. Abrahan, L. Hernandez, et al. “Infestation of rural houses by *Triatoma infestans* in the region of Los Llanos (La Rioja, Argentina)”. *Mem Inst Oswaldo Cruz*; vol.102, pp.63–68, 2007. doi:10.1590/S0074-02762007000100010.
- [4] M.C. Cecere, G. M. Vazquez-Prokopec, R. E. Gürtler and U. Kitron. “Reinfestation sources for Chagas disease vector, *Triatoma infestans*, Argentina”. *Emerg Infect Dis*, Vol.12, pp. 1096–1102, 2006. doi:10.3201/eid1207.051445
- [5] R.E. Gurtler, U. Kitron, M. C. Cecere, E.L. Segura and J.E. Cohen. “Sustainable vector control and management of Chagas disease in the Gran Chaco, Argentina”. *Proc Natl Acad Sci U S A*. Vol.104, pp. 16194–16199, 2007. doi:10.1073/pnas.0700863104
- [6] P.D. Blanco, R. R. Colditz, G.López Saldaña, L.A. Hardtke, .M. Llamas, N. A. Mari, A. Fischer, C. Caride et al. “A land cover map of Latin America and the Caribbean in the framework of the SERENA project”. *Remote Sensing of Environment*, Vol.132, pp.13–31. 2013. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425713000035> [Accessed 9 April 2015]
- [7] C. KLEIBER. A ZEILEIS. APPLIED ECONOMETRICS WITH R: PACKAGE VIGNETTE AND ERRATA. 2016 [HTTPS://CRAN.STAT.UNIPD.IT/WEB/PACKAGES/AER/VIGNETTES/AER.PDF](https://cran.stat.unipd.it/web/packages/AER/vignettes/AER.pdf)
- [8] INDEC. Instituto Nacional de estadísticas y Censos. 2010
- [9] L. Hernandez M, P. Dujardin, D.E. Gorla, S. S.Catalá. “Potential sources of *Triatoma infestans* reinfesting peridomiciles identified by morphological characterization in Los Llanos, La Rioja, Argentina”. *Mem Inst Oswaldo Cruz*, Vol.108, pp. 91–97, 2013. doi:10.1590/S0074-02762013000100015
- [10] X. Porcasi, S.S Catalá, H. Hrellac, M.C. Scavuzzo and D.E. Gorla. “Infestation of rural houses by *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) in southern area of Gran Chaco in Argentina.” *J Med Entomol*. Vol.43, pp. 1060–1067, 2006. doi:10.1603/0022-2585(2006)43[1060:IORHBT]2.0.CO;28
- [11] G.M. Vazquez-Prokopec, C. Spillmann, M. Zaidenberg, R.E. Gürtler, U. Kitron. “Spatial Heterogeneity and Risk Maps of Community Infestation by *Triatoma infestans* in Rural Northwestern Argentina”. *PLoS Negl Trop Dis*. Vol. 6, 2012 doi:10.1371/journal.pntd.0001788
- [12] A. Rojas De Arias, M.J Lehane, C.J. Schofield, M. Maldonado “Pyrethroid insecticide evaluation on different house structures in a chagas disease endemic area of the Paraguayan Chaco”. *Mem Inst Oswaldo Cruz*. Vol.99, pp. 657–662, 2004. doi:10.1590/S0074-02762004000600022.
- [13] C.J. Schofield, J. Jannin, R. Salvatella. “The future of Chagas disease control”. *Trends Parasitol*. Vol. 22, pp. 583–588, 2006. doi:10.1016/j.pt.2006.09.011
- [14] M.L. Moreno, L. Hoyos, M. Cabido, S.S. Catalá, D.E. Gorla. “Exploring the association between *trypanosoma cruzi* infection in rural communities and environmental changes in the Southern Gran Chaco”. *Mem Inst Oswaldo Cruz*. Vol.107, pp. 231–237, 2012. doi:10.1590/S0074-0276201200020001