

Modelo de distribución espacial de *Panstrongylus geniculatus* Latreille 1811 (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) vector del agente de la Enfermedad de Chagas en Venezuela

Spatial distribution model of *Panstrongylus geniculatus* Latreille 1811 (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) vector of Chagas Disease agent in Venezuela

Evelyn Tineo-González¹, Yasmín Contreras-Peña¹, Matías Reyes-Lugo², Antonio Morocoima³ y Leidi Herrera^{4*}

¹Instituto Pedagógico de Caracas, Universidad Pedagógica Experimental Libertador - Caracas, Venezuela. ²Sección de entomología médica "Pablo Anduze", Instituto de Medicina Tropical, Facultad de Medicina, Universidad Central de Venezuela - Caracas, Venezuela.

³Centro de Medicina Tropical de Oriente, Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui - Barcelona, Anzoátegui, Venezuela.

⁴Laboratorio de Biología de Vectores y Parásitos, Instituto de Zoología y Ecología Tropical, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela - Caracas, Venezuela. *Correo electrónico: herrerleidi@gmail.com

RESUMEN

Panstrongylus geniculatus es un triatomino, vector del *Trypanosoma cruzi*, agente etiológico de la Enfermedad de Chagas, propio de los corredores biológicos que se dan entre ciclos de transmisión urbano y periurbano en Venezuela. Los modelos de nicho ecológico y distribución potencial de especies permiten conocer la relación entre los factores climáticos y la presencia real de las especies. El modelo de distribución geográfica potencial para *P. geniculatus*, generado mediante MAXENT, mostró áreas con condiciones bioclimáticas próximas a su nicho ecológico; así, definió una amplia distribución potencial con énfasis en la zona norte costera de Venezuela (estados Lara, Yaracuy, Carabobo, Aragua, Miranda, Distrito Capital, Vargas, Monagas y Sucre) con probabilidades de media a muy altas (0,56 - 1). También predijo áreas con condiciones de idoneidad en estados occidentales y orientales a pesar de que los registros reales son escasos. La isothermality and temperatura máxima del mes más caliente contribuyeron en 43,4 % al establecimiento del modelo, en tanto que variables relacionadas con la precipitación, contribuyeron en 56,6 %. Esto coincide con el hecho de que los triatominos son termo-tolerantes y se distribuyen en función de la temperatura, la cual también condiciona el número de triatominos infectados. Las áreas geográficas idóneas del país serían zonas de riesgo para la infestación triatomínica y la transmisión de *T. cruzi*, por coincidencia con la zona de mayor densidad de la poblacional humana, lo cual requeriría afinar estrategias de vigilancia entomológica y control epidemiológico.

Palabras clave: DIVA GIS; MAXENT; *Panstrongylus geniculatus*; *Trypanosoma cruzi*; áreas de riesgo

ABSTRACT

Panstrongylus geniculatus is a triatomine vector of *Trypanosoma cruzi*, an etiological agent of Chagas disease, typical of biological corridors between urban and peri-urban transmission cycles in Venezuela. Ecological niche and potential species distribution models allow to know the relationship between climatic factors and the actual presence of species. The potential geographical distribution model for *P. geniculatus*, generated by MAXENT showed areas with bioclimatic conditions close to their ecological niche; thus, it defined a wide potential distribution with emphasis on the Northern coastal zone of Venezuela (Lara, Yaracuy, Carabobo, Aragua, Miranda, Capital District, Vargas, Monagas and Sucre States) with medium to very high probabilities (0.56 - 1). It, also predicted areas with suitability conditions in Western and Eastern States even though actual records are scarce. The isothermality and maximum temperature of the hottest month, contributed 43.4 % to the model; variables related to precipitation contributed 56.6 %. This coincides with the fact that triatomines are thermo-tolerant and are distributed according to temperature, which also conditions the number of infected triatomines. The ideal geographic areas of the country would constitute risk areas for triatomine infestation and the transmission of *T. cruzi*, coinciding with the area with the highest density of the human population, which would consider fine-tuning strategies for entomological surveillance and epidemiological control.

Key words: DIVA GIS; MAXENT; *Panstrongylus geniculatus*; *Trypanosoma cruzi*; risk areas

INTRODUCCIÓN

El género *Panstrongylus* BERG, 1879 (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) está conformado por insectos hematófagos, hemimetábolos, de amplia y exclusiva distribución en América, ocupando zonas desde el sur de México hasta el norte de Argentina [20].

En Venezuela, existen cinco especies del género, a saber: *P. chinai*, *P. geniculatus*, *P. lignarius*, *P. rufotuberculatus* y *P. martinezorum*, siendo *P. geniculatus* la más abundante, con una distribución coincidente con la de otros triatominos, tales como *Rhodnius prolixus* STÅL, 1859 o *Triatoma maculata* ERICHSON 1848 [3, 8, 34].

P. geniculatus Latreille 1811 ha sido incriminado como vector del hemoflagelado *Trypanosoma cruzi* (Eukarya: Kinetoplastea: Trypanosomatidae), agente etiológico de la tripanosomiasis americana o Enfermedad de Chagas (ECH), una zoonosis que afecta entre 6 a 7 millones de personas, mayormente de zonas rurales y suburbanas de centro y Suramérica, con viviendas deficientes en construcción y servicios y cercanas a áreas ricas en flora y fauna las cuales soportan los nichos de triatominos [36].

La existencia de un corredor para *P. geniculatus*, entre la vivienda y el ambiente circundante rodeado de vegetación, atraídos esencialmente por la luz artificial, constituye un factor de riesgo discutido en la transmisión de *T. cruzi*, por lo cual el análisis de los hábitats reales y potenciales de esta especie es de imperiosa necesidad [1, 2, 7, 18, 33].

El modelado de nicho ecológico (MNE) y los Modelos de Distribución de Especies (MDE) son herramientas que han permitido conocer la distribución de vectores y su relación con el espacio geográfico, así como la identificación de las condiciones ambientales *ad hoc* para su presencia y predicción de hábitats potenciales de vectores que constituirían riesgo epidemiológico [10, 26, 31, 32].

Algunos antecedentes de estas aplicaciones se han centrado en insectos del género *Haemagogus*, *Culex*, *Aedes*, vectores del virus de fiebre amarilla, Mayaro, Dengue y Zika, respectivamente, y en especies de triatominos vectores del agente de la ECH [4, 16, 24, 37].

En el presente trabajo se analizó la distribución geográfica de *P. geniculatus* en Venezuela, basados en registros bibliográficos existentes y de los laboratorios que realizan estudios de campo, para luego asociarlos a variables bioclimáticas características de las regiones de presencia. Los MNE apoyados en sistemas de información geográfica DIVA GIS y MAXENT [26, 32, 37], permitieron predecir la presencia de la especie y las variables bio climatológicas, en especial en áreas con escasos registros, o áreas con ausencias pero con idoneidad para la aparición de la especie, abriendo la necesidad de vigilancia en zonas de presencia real y potencial de *P. geniculatus*, en tanto es un vector que cobra cada vez mayor importancia en los ciclos de transmisión de *T. cruzi*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Registros de distribución de la especie

Se construyó una base de datos con los registros de presencia de *P. geniculatus*, a escala nacional a partir de los datos de registro de presencia desde 2012 hasta 2019 del laboratorio de Biología de Vectores y Parásitos del Instituto de Zoología y Ecología Tropical (IZET-UCV) y reportes bibliográficos, recogiendo 149 puntos o localidades de muestreo no redundantes y georeferenciados mediante sistemas de información geográfica.

Software de modelación y capas ambientales

El software DIVA-GIS 7.3.0 de formato libre fue utilizado para la generación de mapas *raster* de distribución real de la especie; el software MAXENT (algoritmo de Máxima Entropía o de distribución más uniforme posible) se usó para modelar con salida acumulativa, la distribución potencial, obteniéndose una aproximación al NE mediante la relación entre los puntos de presencia y las variables ambientales, para predecir áreas con condiciones idóneas para la presencia de *P. geniculatus* [19].

Las capas de datos ambientales utilizadas son de amplia cobertura global en formato *raster* correspondiendo a 19 variables de las disponibles en Global Climate Data–WorldClim (<http://www.worldclim.org>), compatibles con el área geográfica de Venezuela y con una resolución espacial de 1 kilometro (km) en el Ecuador, resultantes de la interpolación de datos de temperatura media (máximos y mínimos), precipitación mensual y datos de altitud, desde el año 1950 hasta el 2000 [19](TABLA I).

Construcción y evaluación del modelo

Mediante DIVA-GIS se transformó la base de datos de presencia de *P. geniculatus* georeferenciados en archivo Excel de tipo .csv (archivos de valores separados por coma) para la conversión de las variables bioclimáticas al formato ASCII (*.asc) luego de lo cual se efectuó una corrida de 10 modelos, usando los parámetros estándar de funcionamiento de MAXENT, tales como 1000 iteraciones, umbral de convergencia de 1,0 x 10⁻⁵, uso de 75 % de los registros para la calibración del modelo y de 25 % para su evaluación.

Se realizó el análisis de los parámetros estadísticos arrojados por MAXENT en el modelo inicial, a fin de cumplir los requerimientos básicos para la escogencia de las variables predictivas. Pruebas de correlación de Spearman con el software PAST 2.1, fijaron el índice de correlación < 0,75 como un criterio de selección de variables ambientales de mínima colinealidad y de valor predictivo. Adicionalmente se evaluó el porcentaje de contribución y de mejor resultado para el modelo mediante la prueba Jackknife para el estadístico AUC (Area Under the Curve), identificándose como variables más predictivas a aquellas con los valores más altos en la distribución de los datos (<0,80) [25, 29].

Con las variables escogidas se realizó una corrida de 10 réplicas, lo cual generó un modelo para la distribución de *P. geniculatus* siguiendo los criterios de Plasencia-Vázquez [29].

Esta información estadística se contrastó con las variables de mayor relevancia biológica en función de datos bioecológicos para *P. geniculatus*, tales como distribución o presencia en hábitats específicos, reproducción y sobrevivencia, todos asociados a temperatura y humedad [6, 21, 22].

TABLA I

Variables bioclimáticas (WorldClim) utilizadas en la generación del modelo de distribución espacial de *Panstrongylus geniculatus* en Venezuela

Variable	Definición
Bio1	Temperatura media anual
Bio2	Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máx-Temp. Mín)
Bio3	Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100)
Bio4	Estacionalidad de la temperatura (desviación standard*100)
Bio5	Temperatura máxima del mes más caliente
Bio6	Temperatura mínima del mes más frío
Bio7	Rango de temperatura anual (Bio5 - Bio6)
Bio8	Temperatura promedio del trimestre más húmedo
Bio9	Temperatura promedio del trimestre más seco
Bio10	Temperatura promedio del trimestre más cálido
Bio11	Temperatura promedio del trimestre más frío
Bio12	Precipitación anual
Bio13	Precipitación del mes más húmedo
Bio14	Precipitación del mes más seco
Bio15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)
Bio16	Precipitación del trimestre más húmedo
Bio17	Precipitación del trimestre más seco
Bio18	Precipitación del trimestre más cálido
Bio19	Precipitación del trimestre más frío

El modelo generado se evaluó en cuanto a la sensibilidad y la especificidad de las predicciones mediante la validación a partir de la curva ROC (receiver operating characteristic), replicado diez veces mediante la opción validación cruzada con diferentes subconjuntos de entrenamiento y validación, obteniéndose un valor promedio. Se utilizó el valor de AUC como medida de la actuación del modelo, para revelar que mientras más cercano el valor está a 1 se tendría un modelo de muy buena aproximación a la realidad, en tanto que el valor cercano a 0,5 indicaría un modelo de una aproximación deficiente [13].

La salida .asc del modelo promedio de MAXENT se convirtió mediante DIVA GIS en un mapa binario con un umbral de corte del percentil 10 (umbral 10 percentil training presence) que limitó las posibles áreas de distribución, mostrando áreas de presencia o ausencia basadas en un modelo de calibración. Utilizando las capas shapefile a nivel de Municipios se modelaron algunas zonas seleccionadas del mapa nacional, con registros de presencia y de

interés por la endemidad en cuanto a la especie, a pesar de ser poco consideradas en la vigilancia entomológica, a fin de conocer como el modelo revelaría áreas de idoneidad potencial para la presencia de la especie aún en ausencia de registros, pudiendo abrir la posibilidad de presencia real de la misma.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de registros de laboratorio y bibliográficos de presencia de *P. geniculatus* mediante DIVA-GIS 7.3.0, reveló un mapa de distribución real de la especie, en el cual las áreas de los mayores registros (>15) resultaron ser Aragua, Carabobo, Distrito Capital, Lara, Miranda, Portuguesa, Sucre y Yaracuy; las áreas de registro medio a alto (entre 5 y 15) resultaron ser Zulia, Táchira, Mérida, Trujillo, Barinas, Cojedes, Guárico, Anzoátegui, Monagas, Bolívar y Amazonas. Eventualmente el modelo mostró áreas de muy escaso o nulo registro de la especie (< 5) en Apure, Delta Amacuro, Nueva Esparta y región de la Guayana Esequiba (FIG. 1).

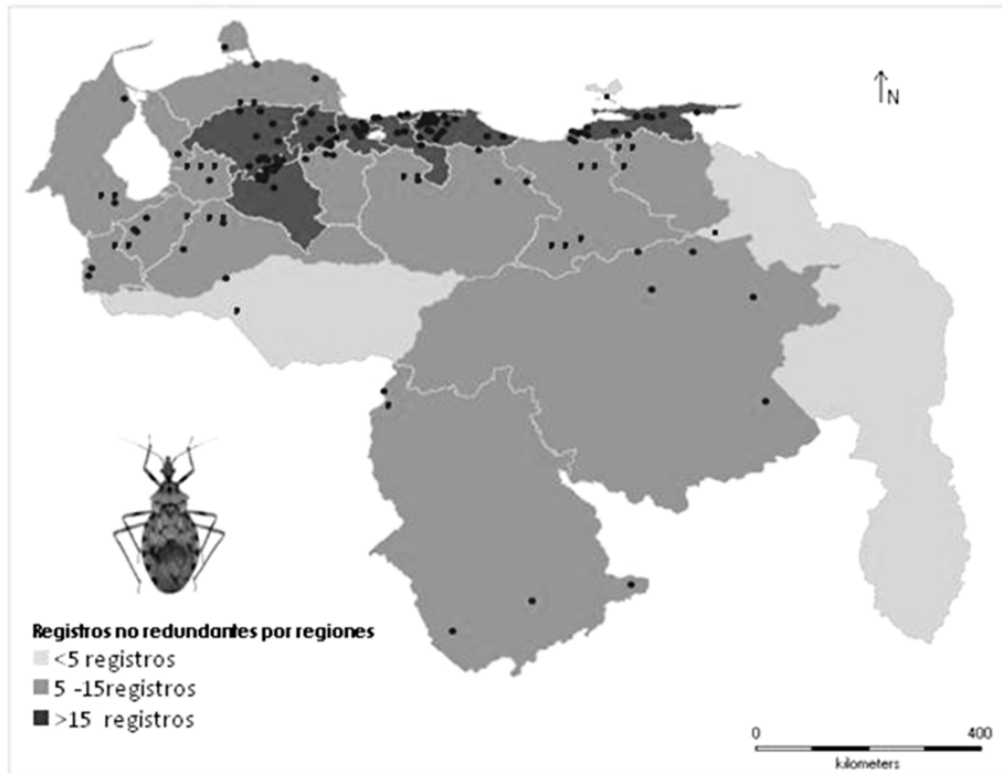


FIGURA 1. Distribución de *Panstrongylus geniculatus* en Venezuela mostrando puntos de presencia registrados (no redundantes) con DIVA GIS 7.3.0

De la evaluación estadística de las covariables ambientales se obtuvo un subconjunto de siete variables que mostraron alta contribución e independientes en cuanto a la correlación entre sí, a saber: Isotermalidad (bio3), temperatura máxima del mes más caliente (bio5), precipitación del trimestre más seco (bio17), precipitación anual (bio12), precipitación del trimestre más frío (bio19), precipitación del trimestre más húmedo (bio16) y precipitación del mes más seco (bio14). En más detalle, la isotermalidad y temperatura máxima del mes más caliente, contribuyeron al modelo en su conjunto, en un 43,4 %, mientras que las cinco variables restantes, relacionadas con la precipitación (anual; del mes más seco; del trimestre más húmedo; del trimestre más seco y del trimestre más frío), contribuyeron con un 56,6 % para el modelo (TABLA II).

El modelo de la distribución geográfica potencial de *P. geniculatus* mostró áreas con condiciones bioclimáticas próximas a su NE (FIG. 2), es decir, áreas óptimas para la presencia de la especie. De esta manera, el modelo predijo que la zona norte costera de Venezuela en los estados Lara, Yaracuy, Carabobo, Aragua, Miranda, Distrito Capital, Vargas, Monagas y Sucre sería la más idónea para la presencia de la especie, con probabilidad > de 0,75 y las áreas con condiciones de idoneidad de media a alta, estarían en el este de los estados Táchira y Mérida, Norte de Zulia, Sur de Falcón y Norte de Anzoátegui con probabilidades entre 0,56 - 0,75.

La evaluación del modelo presentó un valor del área bajo la curva (AUC) de 0,930, superior al parámetro estocástico establecido por

el programa (AUC=0.50) mostrando alta sensibilidad (baja tasa de omisión) y alta especificidad (baja tasa de error) (FIG. 3).

TABLA II
Contribución porcentual de las covariables (WorldClim) utilizadas para modelar la distribución potencial de *Panstrongylus geniculatus* en Venezuela

Covariable bioclimática o ambiental	Contribución al modelo (%)
bio3 (isotermalidad)	23,8
bio5 (temperatura máxima- mes más caliente)	19,6
bio17 (precipitación del trimestre más seco)	17,5
bio12 (precipitación anual)	14,2
bio19 (precipitación - trimestre más frío)	12,6
bio16 (precipitación - trimestre más húmedo)	6,7
bio14 (precipitación - mes más seco)	5,6

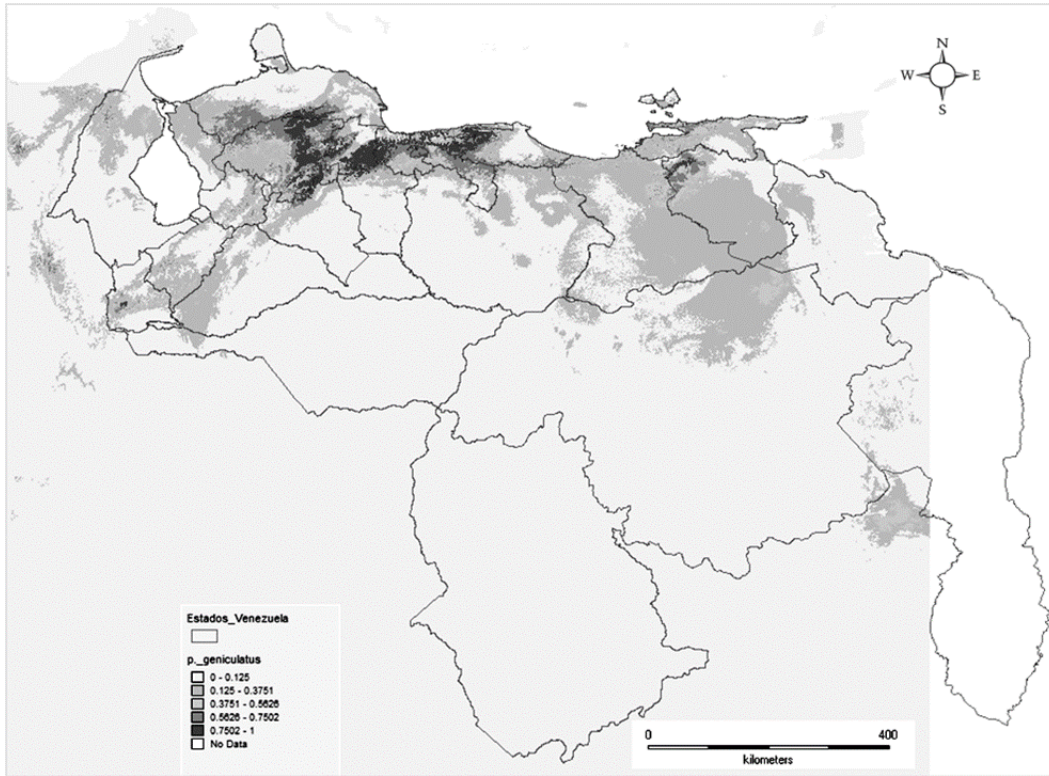
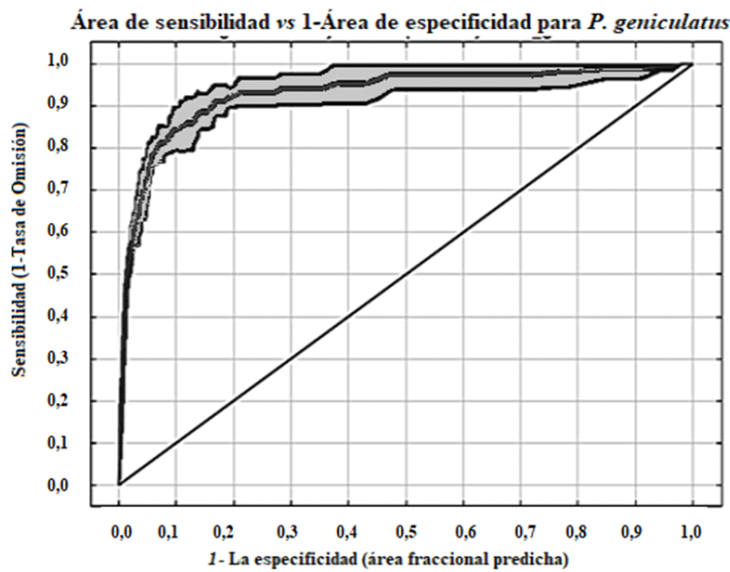


FIGURA 2. Modelo de distribución de áreas de idoneidad para la presencia de *Panstrongylus geniculatus* generadas con las variables Bio3, Bio5, Bio12, Bio14, Bio16, Bio17 Y Bio19 de WorldClim (MAXENT- mbral de corte del percentil 10, la escala de grises indica la probabilidad de presencia de la especie de 0 a 1)



Promedio (AUC)= 0,930 -Línea gris intensa; Media +/- una desviación estandar de 0,034-Área gris

FIGURA 3. Gráfico de evaluación estadística de robustez para el modelo de probabilidad de aparición aleatoria de *Panstrongylus geniculatus* en su mayor abundancia, con alta sensibilidad (baja tasa de omisión) y alta especificidad (baja tasa de ausencia). (AUC = 0,50 es el valor más elevado que el parámetro predicho al azar)

La capacidad predictiva del modelo se analizó particularmente con la superposición de los mapas de Municipios del estado Anzoátegui, Sucre y Monagas (capas *shapefile*) zonas de alta endemicidad de la especie, revelándose áreas en las que no hay registros de presencia, pero si condiciones ecológicas idóneas para su potencial aparición (FIG.4).

P. geniculatus posee la distribución geográfica más amplia en América, dentro de la subfamilia Triatominae, abarcando Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guatemala, Perú y Venezuela [5].

En Venezuela, se consideraba a *R. prolixus*, el triatomino de mayor domiciliación en la mayoría de los estados, sin embargo, esta especie ha ido disminuyendo con el control químico y la sustitución progresiva de los ranchos rurales (piso de tierra, techo de palma y pared de bahareque) por viviendas de concreto pero con calidad deficiente en su construcción, especialmente en paredes y pisos, lo que ha favorecido que esta especie altamente domiciliada, comience con más frecuencia a presentarse en simpatria con *P. geniculatus*, aún en estados de escasos registros de ésta última como Apure, Barinas, Nueva Esparta y Falcón, en este último en zonas xerofitas y bosques desde 60 hasta 1.500 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m) [33].

P. geniculatus es muy común en las madrigueras de *Dasyus novencinctus* (cachicamo), *Didelphis marsupialis* (zarigüeya o rabipelado) y *Rattus rattus* (rata casera), reservorios de importancia para el *T. cruzi* en ecótopos silvestres, corredores periurbanos y ambientes urbanos. En estos ecótopos se mantiene un continuo de humedad y temperatura, especialmente en casas de construcción precaria, en las cuales se favorecería su instalación con fuentes seguras de ingesta sanguínea: gallinas, perros, zarigüeyas, roedores y humanos [7, 17, 20, 33]. A ello se une la importancia de *P. geniculatus* por su rol creciente en asociación con casos de transmisión vía oral de *T. cruzi*, en Venezuela [12].

La introducción de adultos de *P. geniculatus* en regiones urbanas y periurbanas del Distrito Capital y los estados Aragua, Vargas y Miranda, ha sido consecuencia de la dramática reducción de la oferta sanguínea en medios silvestres, lo cual favorece la visita a la vivienda para el repasto sanguíneo sobre humanos, animales domésticos y sinantrópicos [33].

El modelo predictivo generado desde DIVA GIS y MAXENT reveló que la zona norte costera de Venezuela, sería un área con alta idoneidad ambiental para la presencia de *P. geniculatus*, así como algunas áreas de los estados occidentales Táchira, Mérida,

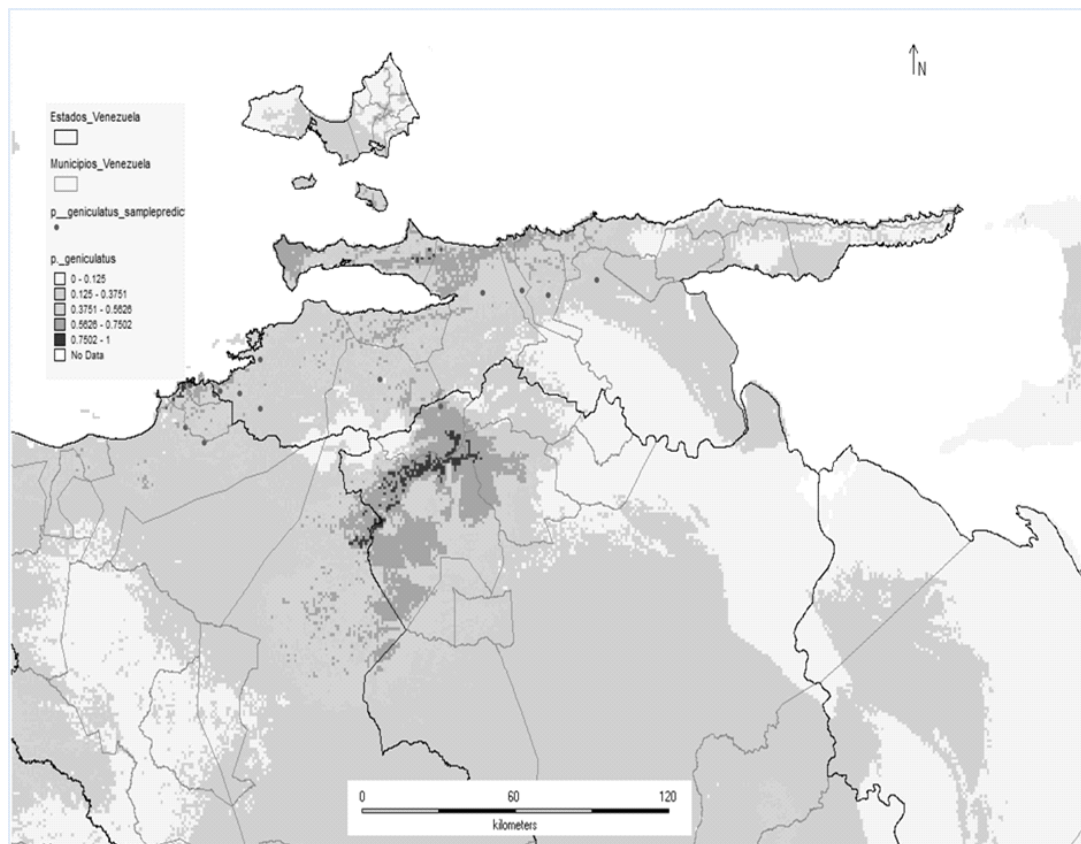


FIGURA 4. Mapa predictivo de áreas idóneas de distribución para *Panstrongylus geniculatus* con los límites por estado y municipio, en los municipios Sucre y Montes (estado Sucre); municipios Aguasay, Bolívar, Caripe y Ezequiel Zamora (estado Monagas) todos con ausencia de registros. (Los puntos indican los registros de presencia; umbral de corte del percentil 10; la escala de grises indica la probabilidad de encontrar a la especie de 0 a 1)

Zulia y el sur del estado Falcón, a pesar de que los registros reales en éstos últimos son más escasos, quizás por sub-registro de la especie, la cual como se ha visto en los puestos comunitarios de notificación, ha aumentado en frecuencia de aparición intra y peridomiciliar con la antropización del ambiente, la deforestación y/o movilización de la mastofauna de la cual se alimenta (datos no mostrados).

Bajo condiciones de laboratorio, esta especie exige alta humedad ($70 \pm 5 \%$) temperatura de $26 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ y fotoperiodo 12:12 cuando se le alimenta semanalmente [23, 35]. Esto coincide con las condiciones de las áreas de presencia real y potencial de mayor abundancia (región centro-norte de Venezuela) modeladas en el presente trabajo, las cuales además tienen altitudes entre 0 a 2.000 m.s.n.m, $24 \text{ }^\circ\text{C}$ en promedio anual de temperatura, humedad media relativa de 70 % y precipitaciones medias anuales de 500 milímetros cúbicos (mm^3). En estas áreas existen bosques secos, húmedos y/o caducifolios, alternantes con sabanas secundarias producto de la urbanización [15].

El modelo de distribución usó como variables predictivas marcadoras de idoneidad ambiental para la presencia de *P. geniculatus*, en orden de importancia, la isotermalidad, temperatura máxima del mes más caliente, precipitación anual, precipitación del trimestre más húmedo y precipitación del trimestre más seco, tal y como ha sido encontrado para la especie en otras regiones de América [9, 30]. Debido a la potencialidad predictiva de estos parámetros, resulta conveniente considerarlos de manera rutinaria dentro de los programas de vigilancia entomo-epidemiológica.

La influencia de estos parámetros, coincide con la característica de los triatominos de ser termo-tolerantes y con una distribución condicionada por la temperatura e indirectamente por la altitud [6]. Más específicamente la temperatura actúa sobre el transporte de moléculas, la actividad enzimática y la expresión proteica en estos insectos, lo que ha sido descrito como condicionantes entre otros aspectos, del desarrollo de *T. cruzi* en su interior [11].

Los triatominos infectados pueden aparecer con mayor probabilidad en los meses más cálidos, siendo $24 - 27 \text{ }^\circ\text{C}$ un rango de temperatura adecuado, asociado a rangos altitudinales de 100 a 1.800 metros (m) y a la vez coincidentes con ambientes de buena disponibilidad de fauna de mamíferos para el repasto sanguíneo en ambientes silvestres como en corredores peri-domiciliares [14].

La temperatura podría ser así un selector importante de subpoblaciones de triatominos infectados y la existencia de los rangos idóneos referidos, en diferentes áreas geográficas, llevaría a considerar a estas zonas de riesgo y de obligada vigilancia entomológica. A lo expuesto se une que la distribución real y potencial de *P. geniculatus* se mostró coincidente con la alta densidad poblacional humana en Venezuela [28], lo cual indicaría la necesidad de estudiar la asociación entre esta especie y los asentamientos humanos, por su importancia creciente como vector del agente de la ECH.

En este sentido Reyes-Lugo [33] señala que, las abundancias de adultos de *P. geniculatus* incursionando durante las noches en el ambiente domiciliar, incrementan cuando las fuentes de ingesta sanguínea animal escasean en el ambiente peridomiciliar, como consecuencia de la reducción, por acción humana, de los hábitats de las especies que son la fuente primaria de ingesta sanguínea para este vector.

Los modelos de distribución potencial de vectores tienen relevancia en la vigilancia epidemiológica [16, 24, 30], como el presente, en el cual se ubican áreas idóneas predichas por el modelo, para la presencia de *P. geniculatus*, sea por dispersión natural de la especie y cohabitación o sucesión de otras poblaciones de triatominos minimizadas por control químico, como es el caso de *R. prolixus*.

Una particularización en el uso del modelo generado lo constituye la región oriental, sobre la que se generó un mapa de las zonas silvestres, periurbanas o urbanas, idóneas, superponiendo capas shapefile, en aquellos Municipios con escasos registros de presencia, pero con condiciones ecológicas idóneas para existencia de *P. geniculatus*.

Así, se revelaron áreas de necesaria vigilancia como los municipios Sucre y Montes (Estado Sucre) y municipios Aguasay, Bolívar, Caripe, y Ezequiel Zamora (Estado Monagas) en las cuales habría que concentrar esfuerzos en la búsqueda de *P. geniculatus* y corroborar si existe en simpatria con otro vector potencial como *T. maculata*, lo cual ha sido reportado por varios autores [27].

En una parte importante del espacio geográfico descrito se sabe de la presencia de *P. geniculatus* mientras que en otras zonas predichas, falta por verificar su presencia, lo cual requeriría un muestreo más continuo, intenso y siempre con miras hacia la actualización del catastro triatomínico, precisamente en estas localidades nuestro modelo sería de elevada utilidad.

CONCLUSIONES

Los parámetros ambientales isotermalidad, temperatura máxima del mes más caliente, y las relacionadas con la precipitación como la precipitación anual, la del mes más seco, la del trimestre más húmedo, la del trimestre más seco y la del trimestre más frío, son los que más aportan al modelo propuesto. Por lo que resulta conveniente considerarlas de manera rutinaria dentro de los programas de vigilancia entomo-epidemiológica para esta especie de triatomo trasmisor de la ECH

Concomitantemente, la capacidad predictiva de estos modelos se potenciará en la medida en que se le incorporen datos de información demográfica y condiciones socioeconómicas de las áreas vulnerables a la aparición de esta zoonosis. Por otra parte, resultan pertinentes estos modelos habidas cuentas del cambio climático global que ha favorecido la dispersión de insectos transmisores de patógenos hacia lugares donde antes no los había. Este fenómeno está bien documentado como es el caso del *Aedes aegypti* transmisor de Dengue, Chikungunya, Zika, Fiebre Amarilla y Mayaro hacia regiones hasta hace poco de clima templado. Por lo expuesto, contar con esta herramienta de abordaje de distribución espacial de insectos vectores, es de elevada importancia por su capacidad predictiva de eventos entomo-epidemiológicos como parte fundamental de las estrategias preventivas dentro de los Programas de Manejo Integral de Vectores, las cuales en un momento determinado podrían marcar la diferencia entre la activación o no de focos de transmisión urbanos o periurbanos de la ECH.

AGRADECIMIENTOS

A la Unidad de Sistemas Información Geográfica (UniSig), Centro de Ecología del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] ALARCÓN DE NOYA, B.; DÍAZ-BELLO, Z.; COLMENARES, C.; RUIZ-GUEVARA, R.; MAURIELLO, L.; MUÑOZ-CALDERÓN, A.; NOYA, O. Update on oral Chagas disease outbreaks in Venezuela: epidemiological, clinical and diagnostic approaches. **Mem. Inst. Oswaldo Cruz.** 110: 377-86. 2015.
- [2] ALDANA, E.; AVENDAÑO-RANGEL, F.; LIZANO, E.; RODRÍGUEZ-BONFANTE, C.; BONFANTE-CABARCAS, R. *Panstrongylus geniculatus* eggs (Heteroptera, Reduviidae, Triatominae) from a Chagas' endemic area in the Center-West of Venezuela. **Acta Micros.** 20:103-11. 2011.
- [3] AYALA, J.; MATTEI, R.; MATTEI, R. Descripción de la hembra de *Panstrongylus martinezorum* Ayala, 2009 (Hemiptera: Reduviidae, Triatominae) con comentarios sobre la distribución geográfica de la especie en el estado Amazonas, Venezuela. **Bol. Soc. Entomol. Aragon.** 54:383-389. 2014
- [4] BAAK-BAAK, CM.; MOO-LLANES, DA.; CIGARROA-TOLEDO, N.; PUERTO, F.; MACHAIN-WILLIAMS, C.; REYES-SOLIS, G.; NAKAZAWA, Y.J.; ULLOA-GARCIA, A.; GARCIA-REJON, JE. Ecological Niche Model for predicting distribution of disease vector mosquitoes in Yucatán State, México. **J. Med. Entomol.** 54: 854-61. 2017.
- [5] CÁCERES, AG.; VEGA, S.; ANCCA, J.; PINTO, J.; VELA, G.; CÁRDENAS, V.; RUIZ, J.; ALVA, P.; RUIZ, J.; ALVARADO, A.; ARÉVALO, H.; CRUZADO, F.; VELA, F.; NÁQUIRA, C. Aspectos entomológicos de la Enfermedad de Chagas en Huallaga y Picota, San Martín, Perú. **An. Fac. Med.** 71: 28-36. 2010.
- [6] CARCAVALLO, R.; CURTO DE CASAS, S.; SHERLOCK, I.; GALÍNDEZ, I.; JURBERG, J.; GALVAO, C.; MENA-SEGURA, C. Geographical distribution and alti-latitudinal dispersion of Triatominae. In: CARCAVALLO, R.; GALINDEZ, I., JURBERG, J.; LENT, H. (Eds.). **Atlas of Chagas' disease vectors in the America.** Vol. III. Río de Janeiro, Edit. Fiocruz. 1217 pp. 1999.
- [7] CARRASCO, H.; TORRELLAS, A.; GARCIA, A.; SEGOVIA, M.; FELICIANGELI, M.D. Risk of *Trypanosoma cruzi* I (Kinetoplastida: Trypanosomatidae) transmission by *Panstrongylus geniculatus* (Hemiptera: Reduviidae) in Caracas (Metropolitan District) and neighboring States, Venezuela. **Int. J. Parasitol.** 5:1379-84. 2005.
- [8] CAZORLA-PERFETTI, D.; NIEVES-BLANCO, E. Triatomines de Venezuela: aspectos taxonómicos, biológicos, distribución geográfica e importancia médica. **Avan. Cardiol.** 30:347-69.2010.
- [9] CECCARELLI, S.; RABINOVICH, JE. Global climate change effects on Venezuela's vulnerability to Chagas Disease is linked to the geographic distribution of five triatomine species. **J. Med. Entomol.** 52:1333-43. 2015.
- [10] CONTRERAS-MEDINA, R. Los métodos de análisis biogeográfico y su aplicación a la distribución de gimnospermas en México. **Intercien.** 31:176-86. 2006.
- [11] DE FUENTES-VICENTE, J. A.; GUTIÉRREZ-CABRERA, A. E.; FLORES-VILLEGAS, A. L.; LOWENBERGER, C.; BENELLI, G.; SALAZAR-SCHETTINO, P. M.; CÓRDOBA-AGUILAR, A. What makes an effective Chagas disease vector? Factors underlying *Trypanosoma cruzi* - triatomine interactions. **Acta Trop.** 83: 23–31. 2018.
- [12] DÍAZ-BELLO, Z.; ZAVALA-JASPE, R.; REYES-LUGO, M.; COLMENARES, C.; NOYA-ALARCÓN, O.; NOYA, O.; HERRERA, L.; ALARCÓN DE N, B. Urban *Trypanosoma cruzi* Oral Transmission: from a Zoonotic Founder Focus to the Largest Microepidemic of Chagas Disease. **SOJ Microbiol. Inf. Dis.** 4: 1-9. 2016.
- [13] ELITH, J.; GRAHAM, C.H.; ANDERSON, R.; DUDÍK, M.; FERRIER, S.; GUISAN, A.; HIJMANS, R.; HUETTMANN, F.; LEATHWICK, J. R.; LEHMANN, A.; LI, J.; LOHMANN, L.G.; LOISELLE, B.A.; MANION, G.; MORITZ, C.; NAKAMURA, M.; NAKAZAWA, Y. McC, J.; OVERTON, M.; TOWNSEND PETERSON, A.; PHILLIPS, S.J.; RICHARDSON, K.; SCACHETTI-PEREIRA, R.; SCHAPIRE, R.E.; SOBERÓN, J.; STEPHEN W.; WISZ, M.S.; ZIMMERMANN, N.E. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. **Ecography.** 29: 129–51. 2006.
- [14] ELLIOT, S.L.; RODRIGUES, J.D.O.; LORENZO, M.G.; MARTINS-FILHO, O.A.; GUARNERI, A.A. *Trypanosoma cruzi*, etiological agent of Chagas Disease, is virulent to its triatomine vector *Rhodnius prolixus* in a temperature-dependent manner. **Plos Neglect. Trop. D.** 9: e0003646. 2015.
- [15] EWEL, J.J.; MADRIZ, A.; TOSI, J.A. Memoria explicativa sobre el mapa ecológico. **Zonas de vida de Venezuela.** Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura y Cría, Caracas-Venezuela. 270 pp. 1976.
- [16] GURGEL-GONÇALVES, R.; GALVÃO, C.; COSTA, J.; PETERSON, T. Geographic distribution of Chagas Disease vectors Brazil. Bases on ecological niche modeling. **J. Trop. Med.** 2012: ID 705326. 2012.
- [17] HERRERA, L. Una revisión sobre reservorios de *Trypanosoma (Schizotrypanum) cruzi* (Chagas, 1909), agente etiológico de la enfermedad de Chagas. **Bol. Mal. Sal. Amb.** 50:3-15. 2010.
- [18] HERRERA, L.; URDANETA-MORALES, S. Synanthropic rodent reservoirs of *Trypanosoma cruzi* in the valley of Caracas, Venezuela. **Rev. Inst. Med.Trop. São Paulo.** 39: 279-282.1997.
- [19] HIJMANS, R.; CAMERON, S.; PARRA, J.; JONES, P.; JARVIS, A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **Intl. J. Climatol.** 5: 1965-78. 2005.
- [20] JURBERG, J.; GALVÃO, C. Biology, ecology and systematics of Triatominae (Heteroptera: Reduviidae) vectors of Chagas disease and implications for human health. **Denisia.** 19: 1096-1116. 2006.
- [21] JURBERG, J.; RODRIGUES, J.M.S., MOREIRA, F.F.F., DALE, C., CORDEIRO, I.R.S., LAMAS, V.D. JR, GALVÃO, C.; ROCHA, D.S. Vetores conhecidos no Brasil. En: **Atlas**

iconográfico dos triatomíneos do Brasil (Vetores da Doença de Chagas no Brasil). Laboratório Nacional e Internacional de Referência em Taxonomia de Triatomíneos IOC-FIOCRUZ. Rio de Janeiro. 58 pp. 2014.

- [22] LEITE, G.R.; DOS SANTOS, C.B.; FALQUETO, A. Insecta, Hemiptera, Reduviidae, *Panstrongylus geniculatus*: geographic distribution map. **Check List**. 3: 147-152. 2007
- [23] LENT, H.; WYGODZINSKY, P. Revision of the triatominae (Hemiptera, Reduviidae) and their significance as vector of Chagas' disease. **Bull. Am. Mus. Nat. His.** 163: 123-520. 1979.
- [24] LIRIA, J.; NAVARRO, J. Modelo de nicho ecológico en *Haemagogus WILLISTON* (Diptera: Culicidae), vectores del virus de la fiebre amarilla. **Rev. Biomed.** 21:149-161. 2010.
- [25] MANEL, S.; CERI, H.; ORMEROD, S.J. Evaluating presence-absence models in ecology: the need to account for prevalence. **J. App. Ecol.** 38: 921-31. 2001.
- [26] MORALES, N. Modelos de distribución de especies: Software Maxent y sus aplicaciones en Conservación. **Rev. Cons. Amb.** 2: 1-5. 2012.
- [27] MOROCOIMA, A.; DE SOUSA, L.; HERRERA, L.; ROJAS, L.; VILLOBOS, M.; CHIQUÉ, J.; BARROYETA, R.; BONOLI, S. Simpatría de triatominos (Reduviidae) y escorpiones (Buthidae) en *Cocos nucifera* y *Acrocomia aculeata* (Aracaceae) de Anzoátegui, Venezuela. **Bol. Malariol. Salud Amb.** 51:187-98.2011.
- [28] MINISTERIO DEL PODER POPULAR DE PLANIFICACIÓN. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (I.N.E.) Censo Poblacional de Vivienda 2011. Venezuela. En Línea [https://bit.ly/2ZI46cb/](https://bit.ly/2ZI46cb) 08-05-2020.
- [29] PLASENCIA-VÁZQUEZ, A.; ESCALONA, G. Y; ESPARZA-OLGUÍN, L. Modelación de la distribución geográfica potencial de dos especies de psitácidos neotropicales utilizando variables climáticas y topográficas. **Act. Zool. Mex.** 30: 471-90. 2014.
- [30] PEREIRA, J.; ALMEIDA, P.; DE SOUSSA, A.; BOMFIM, R.; GURGEL-GONÇALVES, R. Climatic factors influencing triatomine occurrence in Central-West Brazil. **Mem. Inst. Oswaldo Cruz.** 108: 335-341.2013.
- [31] PETERSON, A.; OBERÓN, J.; PEARSON, R.; ANDERSON, R.; MARTÍNEZ-MEYER, E.; NAKAMURA, M.; BASTOS, M. Ecological Niches and Geographic Distributions. In: **Monographs in Population Biology**. Series. 49. Ed. Princeton University Press, New Jersey. 306 pp. 2011.
- [32] PLISCOFF, P.; FUENTES-CASTILLO, F. Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. **Rev. Geo. Norte Grande.** 48:61-79. 2011.
- [33] REYES-LUGO, M. *Panstrongylus geniculatus* Latreille 1811 (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae), vector de la enfermedad de Chagas en el ambiente domiciliario del centro-norte de Venezuela. **Rev. Biomed.** 20: 180-205. 2009.
- [34] SOTO-VIVAS, A. Clave pictórica de triatóminos (Hemiptera: Triatominae) de Venezuela. **Bol. Malariol. Salud Amb.** 49:259-274.2009.
- [35] VIVAS-MEDINA, R.J. Establecimiento de colonias de *Panstrongylus geniculatus* en laboratorio para el estudio del efecto de variables climáticas sobre su ciclo de vida. Universidad de Tolima. Tolima- Colombia. Tesis de Grado 145 pp. 2017.
- [36] WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Chagas Disease (American trypanosomiasis) Fact sheet. 2020. On line:<http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/chagas-disease>. (American-trypanosomiasis) 22-09-2020.
- [37] YÁÑEZ-CAJO, D.; MORENO, M.; CHAGUAMATE, L.; VALENCIA, N.; RUEDA-AYALA, V. Aplicación de Modelos de Nicho Ecológico para estudios Epidemiológicos: *Triatoma dimidiata*, vector de la Enfermedad de Chagas en Ecuador. **Rev. Politec.** 37: 1-5. 2016.