

## Fragmentación del nicho ecológico de flebotominos (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae) en Centro y Sudamérica

Carlos A. Galvis-Martínez<sup>1</sup>, Mariano Altamiranda-Saavedra<sup>2</sup>, David A. Moo-Llanes<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Grupo de investigación en Ecología y Biogeografía (GIEB), Pamplona, Norte de Santander, Colombia; <sup>2</sup>Tecnológico de Antioquia Institución Universitaria, Medellín, Antioquia, Colombia; <sup>3</sup>Centro Regional de Investigación en Salud Pública, Instituto Nacional de Salud Pública, Tapachula, Chiapas, México.

### ABSTRACT

#### Fragmentation of the ecological niche of sandflies (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae) in Central and South America

**Introduction.** Sandflies are vectors of leishmaniasis. Ecological niche models are currently used to infer the distribution of species in a given geographic area. So far, there is no evidence on the inference of ecological niche fragmentation in sandflies.

**Objective.** Our objective is to implement landscape indices for the interpretation of the fragmentation of the ecological niche in three species of sandflies in Central and South America.

**Material and methods.** Ecological niche models were built for three species of sandflies in Central and South America in three time periods: past (Pleistocene), present and future (RCP 8.5). Finally, we used FragStat analysis to calculate two indices: COHESION and CPLAND.

**Results.** Our results show a COHESION index higher than 99.8%; while the values of CPLAND were increasing from 3.4-72.1% depending on the species and the period.

**Conclusion.** Ecological connectivity between the patches of the projected geographic distribution of the ecological niche model was verified among the three species of sandflies in Central and South America.

### RESUMEN

**Introducción.** Los flebotominos son vectores de la leishmaniasis. Actualmente se usan los modelos de nicho ecológico para inferir la distribución de las especies en un área geográfica determinada. Hasta el momento, no existe evidencia sobre la inferencia de la fragmentación del nicho ecológico en flebotominos.

**Objetivo.** Implementar índices paisajísticos para la interpretación de la fragmentación del nicho ecológico en tres especies de flebotominos en Centro y Sudamérica.

#### Historial del artículo

Recibido: 18 feb 2022

Aceptado: 16 ago 2022

Disponible en línea: 1 ene 2023

#### Palabras clave

Flebotominos, leishmaniasis, fragmentación, América, modelos de nicho ecológico.

#### Keywords

Sandflies, leishmaniasis, fragmentation, America, ecological niche models.

Copyright © 2023 por autores y Revista Biomédica.

Este trabajo está licenciado bajo las atribuciones de la *Creative Commons* (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

\*Autor para correspondencia:

David A. Moo-Llanes, Centro Regional de Investigación en Salud Pública, Instituto Nacional de Salud Pública. 19 Poniente entre 4a esquina norte. Tapachula, Chiapas, México.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5864-4990>

E.mail: [davidmooll@gmail.com](mailto:davidmooll@gmail.com)

<https://revistabiomedica.mx>.

**Material y métodos.** Se construyeron modelos de nicho ecológico para tres especies de flebotominos en tres periodos: pasado (Pleistoceno), presente y futuro (RCP 8.5). Finalmente, usamos FragStat para calcular dos índices: COHESIÓN y CPLAND.

**Resultados.** El índice de COHESION fue superior al 99.8%; mientras que el índice de CPLAND fueron aumentando desde 3.4-72.1% dependiendo de la especie y el periodo.

**Conclusión.** Se comprobó la conectividad ecológica entre los parches de la distribución geográfica proyectada de los modelos de nicho ecológico entre las tres especies de flebotominos en Centro y Sudamérica.

## INTRODUCCIÓN

Los flebotominos (Diptera: Psychodidae) son los responsables de la transmisión de un grupo de parásitos del género *Leishmania*, el cual causa una enfermedad conocida como leishmaniosis (1). Esta enfermedad presenta una amplia gama de manifestaciones clínicas (cutánea, mucocutánea, difusa y visceral) a lo largo de las Américas (1). A nivel mundial, se han evaluado diferentes modelos de nichos ecológicos (MNE) de diversas especies desde distintas perspectivas como son ecológicas, genéticas, morfológicas, divergencia, conservadurismo de nicho ecológico y escenarios de cambio climático como se demostró para algunas especies del género *Lutzomyia* (2, 3).

Los modelos de nicho ecológico (MNE) son herramientas que utilizan condiciones ambientales que se asocian probabilísticamente con la presencia de especies para predecir su distribución geográfica (4). Este enfoque nos permite cuantificar, analizar y comprender los requerimientos ecológicos, basados principalmente en temperatura y humedad de los nichos de las especies, debidos a las variaciones climáticas en diferentes tiempo (5). Aunque se han usado MNE en una gran variedad de especies, la primera implementación para flebotominos corresponde al año 2003 (4), pasando por modelos de nicho ecológico para complejos de especies (3, 6), modelos en escenarios de cambio climático pasado y futuro (7), hasta finalmente, como herramientas para la interpretación sobre la divergencia de una especie (3). Hasta el momento, no existe información

sobre los parches o las áreas de fragmentación de la distribución geográfica de la proyección de los MNE en su área de distribución real o potencial. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es utilizar los MNE en tres especies de flebotominos: *Psathyromyia shannoni* Dyar 1929, *Lutzomyia gomezi* Nitzulescu 1931 y *Pintomyia ovallesi* Ortiz 1952, para poder establecer su distribución potencial y comprender la conectividad o no entre los parches de fragmentación en su área de distribución geográfica. Los resultados de este estudio ofrecen importantes evidencias para la toma de decisiones en su implementación de la logística para el control vectorial de los transmisores de leishmaniosis en Centro y Sudamérica

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se usó la base de datos de la tesis de maestría de Galvis-Martínez (8) para tres especies de flebotominos para la región de Centro y Sudamérica. Las especies fueron: *Pa. shannoni* (N=186), *Lu. gomezi* (N=168) y *Pi. ovallesi* (N=75). Se definió como *área* accesible (región M) aquellas áreas que han sido accesibles para una especie en su distribución natural y, por lo tanto, tienen las condiciones ambientales que pueden usarse para definir su nicho ecológico (9).

Se construyeron los MNE basados en los parámetros obtenidos en Galvis-Martínez (8). Para cada especie se usaron diferentes variables bioclimáticas descargadas en *WorldClim* (10) a una resolución de 2.5 minutos (5 km<sup>2</sup> por pixel) para el periodo actual. En los escenarios de cambio climáticos se usaron dos periodos: a) En el pasado, se usó el “Pleistoceno” (≈21000 años antes del presente) con el modelo de circulación global llamado *Model for Interdisciplinary Research on Climate* (MIROC) (11) y b) En el futuro, se usó el escenario “*Representative Concentration Pathways*” (RCP 8.5)” llamado escenario pesimista con una concentración de CO<sub>2</sub> de 936 ppm con el modelo de circulación general *Hadley Centre Global Environment Model Versión 2* (hadGEM2) para el año 2050 (12).

Para la construcción final del MNE, se usó el algoritmo MaxEnt basado en el paquete de R

llamado kuenm (13). Este paquete construye modelos candidatos basado en los puntos de ocurrencias y en las variables bioclimáticas de *WorldClim*, los que fueron evaluados mediante tres características: significancia, rendimiento y criterio de Akaike (13). Finalmente, se construyó el MNE final con los parámetros establecidos en la tesis de Galvis-Martínez (8).

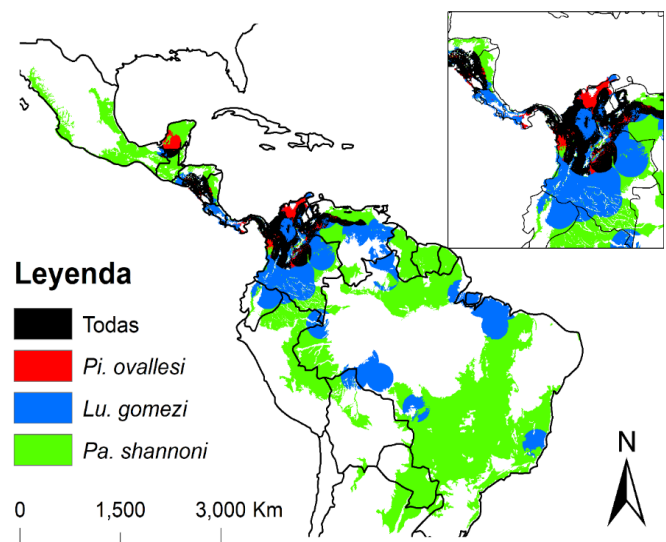
Para evaluar la fragmentación del MNE de las tres especies, se usaron las proyecciones del modelo binario para el Pleistoceno, periodo presente y RCP 8.5 y se estimaron dos índices de paisaje (COHESIÓN y CPLAND) del paquete R basado en FragStat ver4 que se usa para calcular métricas de paisaje relevantes para la fragmentación y subdivisión de poblaciones (14, 15). COHESION es el índice de cohesión de ruta, que mide la conexión física de los parches en una clase particular, que va desde cero (parches más subdivididos) a 100 (parches completamente conectados y de forma completa). CPLAND es el porcentaje de área central de los paisajes, que mide la cobertura relativa de estos por área central de parches, que va de cero cuando el núcleo del tipo de parche correspondiente se vuelve cada vez más raro en el paisaje) a 100 (cuando todo el paisaje consiste en un solo polígono) (3, 15).

## RESULTADOS

Las variables bioclimáticas usadas para *Pa. shannoni* corresponden a temperatura media anual, rango medio diario, estacionalidad, temperatura mínima del mes más frío, temperatura media del trimestre más frío, precipitación anual, precipitación del trimestre más húmedo y precipitación del trimestre más frío. En el caso de *Lu. gomezi* corresponden a temperatura media anual, rango medio diario, isothermalidad, temperatura máxima del mes más cálido, rango anual de temperatura, precipitación anual, estacionalidad de la precipitación y precipitación del trimestre más húmedo. Finalmente, las variables para *Pi. ovallesi* corresponden a temperatura media anual, temperatura máxima del mes más cálido, rango anual de temperatura, precipitación anual, precipitación del mes más seco, estacionalidad de la precipitación, precipitación del

trimestre más húmedo y precipitación del trimestre más cálido.

El mapa binario de *Pa. shannoni* corresponde al centro y sureste de México, Centroamérica, y norte y centro de Sudamérica, principalmente en los países de Colombia, Ecuador, Perú, Venezuela, Brasil, Uruguay y Argentina; en el caso de *Lu. gomezi* corresponde a Centroamérica y Sudamérica en los países de Colombia, Ecuador, Perú, Venezuela y norte de Brasil. Finalmente, el mapa binario de *Pi. ovallesi* corresponde a sureste de México, Centroamérica, Colombia y Venezuela (Figura 1). El área de los países de El Salvador, Honduras, Nicaragua, Panamá, Venezuela y Colombia corresponde a una zona donde se encuentran traslapadas las tres especies de flebotominos.



**Figura 1.** Proyección geográfica del nicho ecológico de tres especies de flebotominos en América. El área “Todas” corresponde al traslape de las tres especies en la misma zona geográfica.

Los resultados de la evaluación de la fragmentación del MNE de las tres especies fueron en COHESION superiores al 99.8% en los diferentes periodos estudiados y sugieren una alta agregación de especies, mientras que los valores de CPLAND fueron altos para todas las especies (valores  $\geq 50\%$ ), con excepción de *Lu. gomezi* en el periodo pasado (12.3%), lo que podría indicar una actual fragmentación de la población de esta especie.

Además, un valor de cobertura de parche para *Pa. shannoni* para todos los periodos de estudio (valores  $\geq 50\%$ ) (Tabla 1) indica que la variación en la cobertura del paisaje para esta especie fue mínima, y por lo tanto presentó la mayor conectividad poblacional en los periodos evaluados.

**Tabla 1.** Métricas del paisaje para analizar la fragmentación del MNE de tres especies de flebotominos en Centro y Sudamérica.

| Especies            | Tiempo   | Periodo     | Índice de COHESION | Índice de CPLAND |
|---------------------|----------|-------------|--------------------|------------------|
| <i>Lu. gomezi</i>   | Pasado   | Pleistoceno | 99.9               | 12.3             |
|                     | Presente | Presente    | 99.9               | 31.0             |
|                     | Futuro   | *RCP 8.5    | 99.9               | 84.4             |
| <i>Pa. shannoni</i> | Pasado   | Pleistoceno | 99.8               | 66.2             |
|                     | Presente | Presente    | 99.8               | 51.4             |
|                     | Futuro   | *RCP 8.5    | 99.8               | 70.6             |
| <i>Pi. ovallesi</i> | Pasado   | Pleistoceno | 99.8               | 66.1             |
|                     | Presente | Presente    | 99.9               | 68.7             |
|                     | Futuro   | *RCP 8.5    | 99.9               | 69.5             |

\**Representative Concentration Pathways* (RCP 8.5)

## DISCUSIÓN

El MNE de especies como *Pa. shannoni*, *Lu. gomezi* y *Pi. ovallesi*, ha sido explorado desde diferentes perspectivas. Se han construidos MNE en el periodo presente y en escenarios de cambio climático (2). Sin embargo, un punto de vista novedoso es la mayor cantidad de puntos de ocurrencia para la región de Centro y Sudamérica. Actualmente, con ayuda de los MNE se han interpretado la sensibilidad a los cambios en las condiciones ambientales en los flebotomos (16), ya que las condiciones ambientales como la precipitación y la humedad relativa pueden afectar su reproducción, comportamiento y duración de actividad anual, además de afectar los patrones espaciales y temporales de las enfermedades transmitidas por estos flebotominos (4, 17).

En la tesis de Galvis-Martínez (8), se puede observar la distribución del nicho ecológico en el periodo Pleistoceno de estas tres especies, enfocado principalmente en gran parte de Centro y Sudamérica, por la amplia gama de características ambientales

en toda el área de estudio, probablemente debido a cambios climáticos extremos en ese momento que influyeron en la migración, patrones de distribución, diversidad y adaptación de los flebotomos (3, 18). En el periodo actual, la distribución está restringida para *Lu. gomezi*, en comparación con *Pi. ovallesi* y *Pa. shannoni* para la región de América (2, 8). Finalmente, para el periodo futuro (RCP 8.5), las proyecciones de cambio climático muestran un aumento en las condiciones ambientales apropiadas para la distribución geográfica de las especies, lo que podría afectar sus roles en la transmisión de parásitos y, por lo tanto, tener impactos significativos en la salud pública en el futuro (2, 4).

Finalmente, los índices paisajísticos para evaluar la fragmentación de los MNE sugieren que el índice CPLAND nos permitió mostrar un alto porcentaje de conectividad del paisaje de cada especie en los periodos estudiados y, por lo tanto, distribuciones relativamente no fragmentadas de *Pa. shannoni*, *Lu. gomezi* y *Pi. ovallesi*. CPLAND no informa sobre la conectividad climática (3), sino sobre la proporción de la distribución del área climática en el espacio geográfico, según los modelos de distribución potencial y las observaciones sobre el medio natural del área de dispersión de la especie. Sin embargo, un valor de índice CPLAND bajo ( $<20\%$ ) como el que se muestra para el periodo pasado (Pleistoceno) para *Lu. gomezi* está relacionado con una mayor fragmentación de la población (15) por lo que podría estar relacionado con refugios en el Pleistoceno. Además, el índice de COHESION para todas las especies sugirió que éstas persisten en áreas totalmente conectadas a lo largo de América Latina; sin embargo, este índice debe interpretarse con cautela, como recomiendan estudios previos (3, 15). Esto debido a que las interpretaciones están basadas en la actualización de los modelos de nicho ecológico, sin embargo, aún no tenemos la base definitiva, además que recientemente se actualizan las capas ambientales, por ejemplo, anteriormente estaba los escenarios *Representative Concentration Pathways*, mientras que la evidencia más reciente son los escenarios *Shared Socioeconomic Pathways*.



Por lo que concluimos que la estimación de los índices paisajísticos COHESION Y CPLAND en los MNE de estas especies, funcionan como una herramienta novedosa para proporcionar más evidencia en los vectores transmisores de enfermedades en Centro y Sudamérica. Además, al conocer la conexión entre parches geográficos basados en los MNE se puede emplear para la toma de decisiones. Nuestros resultados demuestran la conectividad paisajística en toda el área de distribución del nicho ecológico de las tres especies de flebotominos en la región, lo cual puede contribuir para la creación de las estrategias de control preventivo en futuros escenarios epidemiológicos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Diego Carrero-Sarmiento y al Grupo de Investigación en Ecología y Biogeografía (GIEB), por sus aportes al inicio de esta investigación. También agradecemos a los revisores del presente manuscrito.

## REFERENCIAS

1. Rebollar-Téllez EA, Moo-Llanes DA. Diversidad alfa, beta y co-ocurrencia de especies de flebotomíneos (Diptera: Psychodidae) en Calakmul, Campeche, México. *Rev Chil Entomol.* 2020; 46(2): 221–235. <https://doi.org/10.35249/rche.46.2.20.13>
2. Moo-Llanes DA, Pech-May A, Ibarra-Cerdeña CN, Rebollar-Téllez EA, Ramsey JM. Inferring distributional shifts of epidemiologically important North and Central American sandflies from Pleistocene to future scenarios. *Med Vet Entomol.* 2018; 33: 31–43. <https://doi.org/10.1111/mve.12326>
3. Moo-Llanes DA, Pech-May A, Montes de Oca-Aguilar AC, Salomón OD, Ramsey JM. Niche divergence and paleo-distributions of *Lutzomyia longipalpis* mitochondrial haplogroups (Diptera: Psychodidae). *Acta Trop.* 2020; 211: 105607.
4. Peterson AT, Shaw JJ. *Lutzomyia* vectors for cutaneous leishmaniasis in Southern Brazil: Ecological niche models, predicted geographic distributions, and climate change effects. *Int J Parasitol.* 2003; 33: 919–931. [https://doi.org/10.1016/S0020-7519\(03\)00094-8](https://doi.org/10.1016/S0020-7519(03)00094-8).
5. Altamiranda-Saavedra M, Arboleda S, Parra JL, Peterson AT, Correa MM. Potential distribution of mosquito vector species in a primary malaria endemic region of Colombia. *PLoS ONE.* 2017; 12(6), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179093>
6. Peterson AT, Campbell LP, Moo-Llanes DA, Travi B, González C, Ferro MC, Melim-Ferreira GE, et al. Influences of climate change on the potential distribution of *Lutzomyia longipalpis* sensu lato (Psychodidae: Phlebotominae). *Int J Parasitol.* 2017; 47(10–11): 667–674. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2017.04.007>
7. Moo-Llanes DA, Ibarra-Cerdeña CN, Rebollar-Téllez EA, Ibáñez-Bernal S, González C, Ramsey JM. Current and Future Niche of North and Central American Sand Flies (Diptera: Psychodidae) in Climate Change Scenarios. *PLoS Negl Trop Dis.* 2013; 7. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0002421>
8. Galvis-Martínez C. Evaluación de conservadurismo de nicho de *Lutzomyia gomezi*, *L. shannoni* y *L. ovallesi* del Pleistoceno a escenarios futuros en Centro y Sudamérica. Tesis de pregrado. Universidad de Pamplona, Colombia. 2020.
9. Owens HL, Campbell LP, Dornak LL, Saupe EE, Barve N, Soberón J, Ingenloff K, et al. Constraints on interpretation of ecological niche models by limited environmental ranges on calibration areas. *Ecol Model.* 2013; 263, 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.04.011>
10. Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A. Very high-resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int J Climatol.* 2005; 25: 1965–1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
11. Varela S, Lima-Ribeiro MS, Terribile LC. A short guide to the climatic variables of the last glacial maximum for biogeographers. *PLoS ONE.* 2015; 10: 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129037>
12. Yin L, Fu R, Shevliakova E, Dickinson RE. How well can CMIP5 simulate precipitation and its controlling processes over tropical South America? *Climate Dynamics.* 2013; 41(11–12): 3127–3143. <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1582-y>
13. Cobos ME, Peterson AT, Barve N, Osorio L. Kuenm: An R package for detailed development of ecological niche models using Maxent. *Peer J.* 2019; (2): 1–15. <https://doi.org/10.7717/peerj.6281>
14. Mcgarigal K, Cushman SA, Ene E. Fragstats ver4. Spatial Pattern Analysis Program for categorical and continuous maps. Computer software program by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. 2012.
15. Peterson AT, Ammann CM. Global patterns of connectivity and isolation of populations of forest bird species in the late Pleistocene. *Glob Ecol Biogeogr.* 2013; 22: 596–606. <https://doi.org/10.1111/geb.12010>
16. Martins-Rodgers MS, Bavia ME, Lins-Fonseca EO, Cova BO, Nascimento-Silva MM, Trabuco-Carneiro DD, et al. Ecological niche models for sand fly species and predicted distribution of *Lutzomyia longipalpis* (Diptera: Psychodidae) and visceral leishmaniasis in

- Bahia state, Brazil. *Environ Monit Assess.* 2019; 191(2): 331 <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7431-2>
17. Falcão de Oliveira E, dos Santos Fernandes CE, Araújo e Silva E, Brazil, RP, de Oliveira AG. Climatic factors and population density of *Lutzomyia longipalpis* (Lutz & Neiva, 1912) in an urban endemic area of visceral leishmaniasis in midwest Brazil. *J Vector Ecol.* 2013; 38: 224–228. <https://doi.org/10.1111/j.1948-7134.2013.12034.x>
18. Scarpassa VM, Alencar RB. *Lutzomyia umbratilis*, the main vector of *Leishmania guyanensis*, represents a novel species complex? *PLoS ONE.* 2012; 7: 1–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037341>