

EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE LOS FLEBOTOMINOS TRANSMISORES DE LEISHMANIASIS EN MÉRIDA VENEZUELA

EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON THE POTENTIAL DISTRIBUTION OF SANDFLIES TRANSMITTERS OF LEISHMANIASIS IN MERIDA VENEZUELA

Elsa Nieves, Maria Rujano, Héctor Ospino, Luzmary Oraá, Yorfer Rondón, Mireya Sánchez, Maritza Rondón, Yetsenia Sánchez, Masyelly Rojas, Nestor González y Dalmiro Cazorla

RESUMEN

La leishmaniasis constituye un grave problema de salud pública en diferentes partes del mundo. Es conocido que los efectos del calentamiento global han aumentado en los últimos años, con la consecuente modificación, a corto y largo plazo, de los hábitats de los flebotominos, lo que potencialmente puede impactar en la transmisión de la leishmaniasis. En el presente trabajo se evaluó el efecto del cambio climático en la distribución geográfica de los flebotominos transmisores de la leishmaniasis cutánea, en Mérida, Venezuela. Para el análisis se tuvieron en cuenta cuatro especies vectoras *Lutzomyia youngi*, *L. gomezi*, *L. ovallesi* y *L. walkeri* y se usó un modelo atmósfera-océano Hadcm3, bajo la premisa de cambio climático en un escenario pesimista A2, con proyecciones para los años 2020, 2050 y 2080. Los resultados del modelo mostraron para *L. youngi* un incremento en su distribución, para *L. gomezi* cambios y desplazamiento en su distribución potencial futura, para *L. ovallesi* se mostró como la especie que puede ser más afectada por el aumento de la temperatura, con predicciones de cambios en su distribución futura, y para la distribución de *L. walkeri* no se mostró afectación por el cambio climático. Por otro lado, el modelo recreó escenarios de cambio climático, con predicciones de solapamiento de las principales especies transmisora, en los municipios de mayor densidad poblacional, lo que sugiere un mayor riesgo de transmisión de la leishmaniasis en el estado Mérida en los próximos años. Los mapas generados proporcionan información relevante para alertar sobre cambios en los patrones de transmisión de la leishmaniasis, además serán una herramienta útil para los entes de control y prevención.

PALABRAS CLAVE: Cambio Climático, *Lutzomyia*; leishmaniasis, MaxEnt; distribución potencial

ABSTRACT

Leishmaniasis is a serious public health problem in different parts of the world. It is known that the effects of climate change has been increasing in recent years by habitat changing of sandflies the short and long term what can impact the transmission of leishmaniasis. In the current work evaluates the effect of climate change on the geographical distribution of sandflies transmitters of cutaneous leishmaniasis in Merida Venezuela. The analysis includes 4 species, *Lutzomyia youngi*, *L. gomezi*, *L. ovallesi* and *L. walkeri* using an atmosphere-ocean model HadCM3 under the premise of climate change in a pessimistic scenario A2 with projections for 2020, 2050 and 2080. Results predicted an increased in distribution of *L. youngi*, while for *L. gomezi* changes in its future potential distribution. *L. ovallesi* was the species most affected presented changes at future distribution and distribution of *L. walkeri* not affected by climate change. In addition, the model in a climate change scenario predicts an overlap of the main transmitter species in the municipalities of greater population density, suggesting an increased risk of transmission of leishmaniasis in Merida state in the coming years, the maps generated provide information relevant to understanding of the transmission of leishmaniasis and to authorities in control and prevention.

KEY WORDS: Distribution; Climate change; *Lutzomyia*; Leishmaniasis; MaxEnt; Sandflies



Dirección de los autores:

Laboratorio de Parasitología Experimental (LAPEX), Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, 5101 Mérida, Venezuela. Autor de correspondencia: nievesbelsa@gmail.com (E.N.), (M.R.), (L.O.), (Y.R.), (M.S.), (M.R.), (Y.S.), (M.R.), (N.G.). Laboratorio de Sostenibilidad y Ecodiseño, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Facultad de Arquitectura y Diseño Universidad de Los Andes, 5101 Mérida, Venezuela (M.R.), (H.O.). Laboratorio de Entomología, Parasitología y Medicina Tropical (LEPAMET), Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, 4101 Falcón, Venezuela (D.C.).

INTRODUCCIÓN

El parásito *Leishmania* Ross, 1903, causante de la leishmaniasis es transmitido mediante la picada de varias especies de insectos hematófagos pertenecientes al género *Phlebotomus* Rondani y Berte, 1840, en el viejo mundo y del género *Lutzomyia* França, 1924, en el nuevo mundo (Alexander y Maroli, 2003; Neuber, 2008). El cambio climático global contribuye a ampliar la distribución de patógenos transmitidos por vectores en el tiempo y el espacio, exponiendo así a las poblaciones a estaciones de transmisión más larga (Reiter, 2001; Kilpatrick et al., 2010; Moo et al., 2013). En la actualidad, es un hecho científico que el clima global se ha alterado significativamente, los estudios muestran que la temperatura anual del planeta se va incrementando (Shaw, 2007), la modificación de la temperatura promedio podría tener efectos a corto y largo plazo sobre los hábitats de los vectores, incrementando el número de criaderos, distribución y densidad de vectores (Reiter, 2001; Kigadye et al., 2010; Fischer, 2011). Durante las últimas décadas, la incidencia de la leishmaniasis cutánea a escala mundial, ha aumentado a un ritmo alarmante, como consecuencia del cambio climático, el uso de la tierra, la migración y los patrones de urbanización, así como a otros factores (Campbell et al., 2001; Desjeux, 2001; Loiola et al., 2007; Salomón et al., 2008; OMS, 2010; Parra, 2010; Alvar et al., 2012; Vásquez et al., 2013).

La leishmaniasis presenta una amplia distribución geográfica en Venezuela; se han registrado casos en 23 de las 24 entidades federales, la región Andina venezolana es un área de alta endemicidad para la leishmaniasis cutánea (Moreno y Scorza, 1998; Rodríguez et al., 2007; Nieves et al., 2014a), en el estado Mérida la zona del Valle del Mocotíes, es la que presentan mayor número de casos (Valera et al., 1978; Scorza et al., 1983; 1985; Maingon et al., 1994; Lugo et al., 1999, 2003; Rodríguez et al., 2007, 2010; Nieves et al., 2015). Oraá (2013), registró en el estado Mérida a *L. youngi*, *L. gomezi*, *L. ovallesi* y *L. walkeri*, como las especies más abundantes y que presentaron infección natural por *Leishmania*, perteneciente a los sub-géneros *Leishmania* y *Viannia*.

Los modelos predictivos son una herramienta importante en una variedad de aplicaciones en ecología y conservación (Graham et al., 2006; Blanco, 2013) y de cambio climático (Bässler et al., 2009). Los Sistemas de Información Geográfica, permiten integrar variables ecológicas asociadas a las especies y así entender

las variables que permiten predecir su distribución (Peterson, 2006). Con estos métodos se desarrollan mapas predictivos para conocer nuevas áreas de distribución de enfermedades bajo diferentes presiones (Peterson y Robins, 2003).

Varios investigadores han documentado, mediante modelado matemático, que un aumento en la temperatura puede resultar en una expansión de la distribución geográfica y aumento de las abundancias de las especies de flebotominos, con el subsiguiente aumento de casos de leishmaniasis (Cross y Hyams, 1996; Thomson et al., 1999; Magnuson, 2001; González et al., 2010; Fischer et al., 2011; Hartemink et al., 2011). En el presente trabajo se evaluó la distribución geográfica de los vectores de leishmaniasis cutánea, en Mérida Venezuela, con la utilización de un modelo matemático bajo escenarios de cambio climático, para los años 2020, 2050 y 2080, con el fin de predecir los lugares de distribución potencial de las especies y los posible riesgo de transmisión.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Los flebotominos se capturaron en 21 de los 23 municipios del Estado Mérida, en un gradiente altitudinal entre 61 y 2099 m. El Estado Mérida se localiza en el occidente de Venezuela entre los 07°34'60.0", 09°21'0.0" de latitud Norte y los 70°30'0.0", 72°0'0.0" de longitud Oeste, Figura 1. Debido a las variaciones altitudinales que presenta, tiene una variación climática que va desde los climas semiáridos en las partes más bajas; hasta los climas de páramo. Las múltiples combinaciones de estos factores, altitud, temperatura y precipitación, a su vez condicionan la existencia de una gran variedad de tipos de vegetación, que abarcan diferentes zonas (Ataroff y Sarmiento, 2004).

Datos Entomológicos

Los flebotominos se capturaron utilizando cuatro métodos, con trampas de Shannon, trampas adhesivas, trampas CDC y aspiración directa como lo describe Nieves et al. (2014b). Se realizaron dos capturas semanales entre mayo de 2012 y mayo de 2014. La identificación de los flebotominos se realizó mediante morfología externa e interna según los criterios de Young y Duncan (1994). Los puntos de captura fueron georreferenciados mediante un equipo GPS-Garmin-

Oregón 550. Los datos del análisis incluyeron 190 puntos de ocurrencia georreferenciados entre las cuatro especies más abundantes capturadas e incriminadas en la transmisión de la leishmaniasis, *Lutzomyia youngi* Feliciangeli y Murillo, 1985 (67 puntos de ocurrencia), *Lutzomyia gomezi* Nitzulescu, 1931 (51

puntos de ocurrencia), *Lutzomyia ovallesi* Ortiz, 1952 (40 puntos de ocurrencia) y *Lutzomyia walkeri* Newstead, 1914 (32 puntos de ocurrencia). Todos por encima del valor mínimo de más de 30 registros por especie, para obtener modelos estadísticamente válidos (Wisiz et al., 2008).

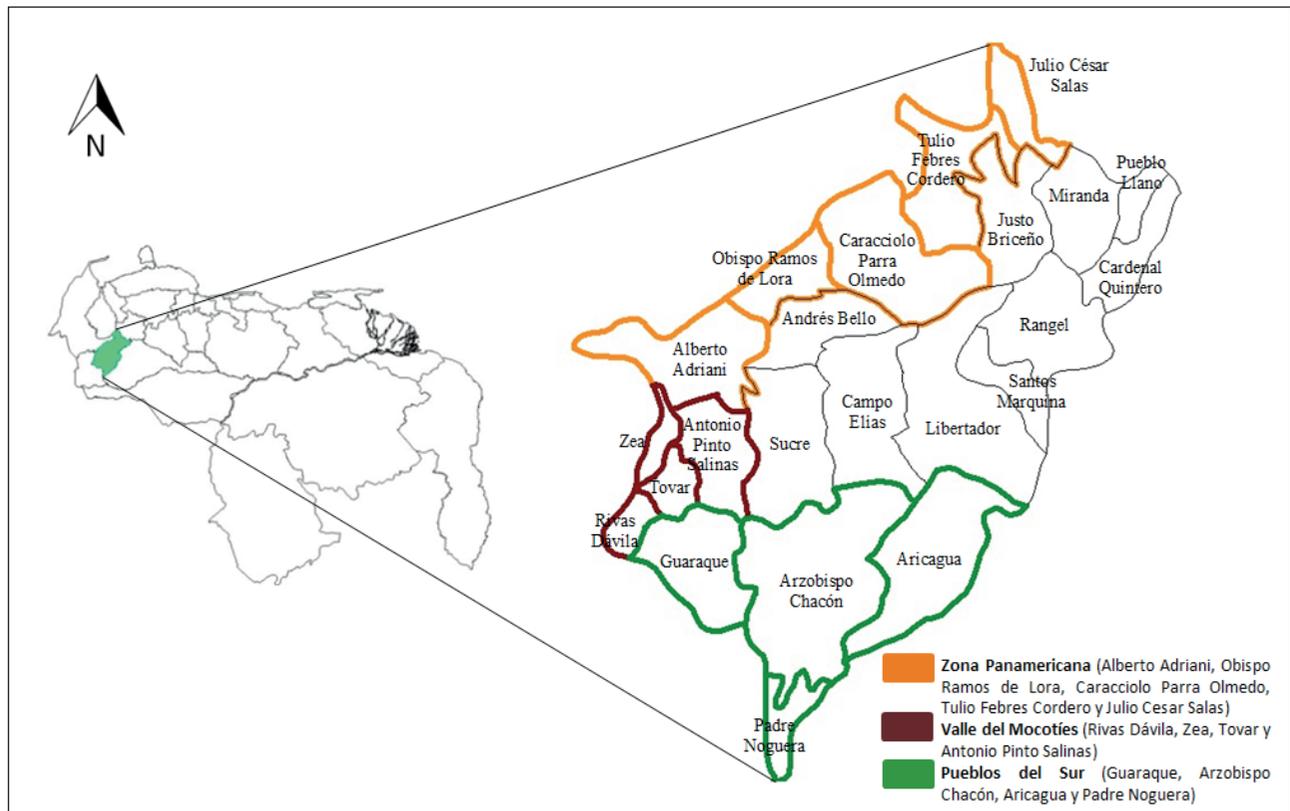


Figura 1. Ubicación geográfica del Estado Mérida-Venezuela, con sus municipios y principales zonas.

Datos climáticos

Se usaron 19 variables bioclimáticas que corresponden a capas ambientales en formato raster para el estado Mérida, derivadas de la interpolación de datos medios mensuales de precipitación y temperatura registrados en estaciones meteorológicas desde 1950 al 2000, disponibles en la base de datos Worldclim (<http://www.worldclim.org>), para la zona 23 con una resolución de 30 arco segundos (1 km) (Hijmans et al., 2005a). Estas variables fueron: 1) temperatura promedio anual (°C); 2) rango diario de temperatura (°C); 3) isothermalidad (°C); 4) estacionalidad de temperatura (%); 5) temperatura máxima del período

más caliente (°C); 6) temperatura mínima del período más frío (°C); 7) rango anual de temperatura (°C); 8) temperatura media en el trimestre más lluvioso (°C); 9) temperatura promedio en el trimestre más seco (°C); 10) temperatura promedio en el trimestre más caluroso (°C); 11) temperatura promedio en el trimestre más frío (°C); 12) precipitación anual (mm); 13) precipitación en el período más lluvioso (mm); 14) precipitación en el período más seco (mm); 15) estacionalidad de la precipitación (%); 16) precipitación en el trimestre más lluvioso (mm); 17) precipitación en el trimestre más seco (mm); 18) precipitación en el trimestre más caluroso (mm) y 19) precipitación en el trimestre más frío (mm).

Distribución potencial de flebotominos bajo escenarios de cambio climático

Para determinar el efecto del cambio climático sobre la distribución potencial de las especies transmisoras de leishmaniasis en Mérida, se empleó el modelo matemático de circulación global Hadcm3 (Hadley Centre Coupled Model, por sus siglas en Inglés), disponible en <http://www.ccafs-climate.org/>. El Hadcm3 es un modelo atmósfera-océano que se encuentra ampliamente descrito por Gordon et al. (2000) y Pope et al. (2000). Se trata de un modelo reciente, con características aceptables (Stott et al., 2001), que puede utilizarse para escenarios pesimista A2 y optimista B2, en conjunción con variables bioclimáticas (Delgado y Suarez, 2009; Gaertner et al., 2012). Para este estudio se seleccionó el escenario pesimista A2, que se describe para los años 2020, 2050 y 2080, el cual corresponde a un mundo muy heterogéneo, que proyecta un aumento continuo de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, lo que resulta en un incremento de la temperatura y una disminución sustancial de la lluvia en la mayor parte de Suramérica. Sus características más distintivas son la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales. Este escenario A2, supone un aumento de la población, de 15.000 millones de habitantes para el año 2100. El desarrollo económico está basado principalmente en las regiones y un crecimiento económico por habitante, así como el cambio más fragmentados y menos impactantes que en otras líneas de desarrollo (Honty, 2011; Moo et al., 2013).

Para el modelado matemático actual y futuro se utilizó MaxEnt versión 3.3 (Phillips et al., 2006), basado en el análisis de máxima entropía (Phillips y Dudik, 2008), con los valores predeterminados del programa y el umbral de corte (10 Percentile Training Presence), para maximizar la sensibilidad y minimizar la especificidad (Phillips et al., 2006). El umbral se interpreta como el 90 % de los puntos de presencia se encuentran dentro del área potencial, donde las condiciones climáticas son apropiadas para la ocurrencia de la especie, mientras que el 10 % restante de los puntos que caen fuera del área potencial con un ambiente atípico. Entre más alto es el umbral, existe mayor restricción del área de distribución de las especies (Scheldeman y van Zonneveld, 2011; Valera et al., 2014). MaxEnt modela el nicho fundamental de las especies mediante la relación entre un conjunto de localidades (puntos de presencia), donde se conoce que la especie está presente y un grupo de variables bioclimáticas que limitan la capacidad de

supervivencia de la especie. Así mismo, los modelos predictivos actuales y futuros fueron representados, a través del programa de Sistema de Información Geográfica, Diva GIS versión 7.5 (Hijmans et al., 2005b), para obtener un mapa final idóneo al hábitat por cada especie (Anderson et al., 2003; Wang et al., 2010).

El modelo matemático de distribución actual representa un rango de 0-umbral (color blanco) indicando las áreas donde el modelo coincide que la especie está ausente; de umbral-0.3 (color verde) las áreas con baja probabilidad de presencia; de 0.3-0.5 (color amarillo), las áreas con probabilidad media de presencia; de 0.5-0.7 (color naranja) las áreas con alta probabilidad de presencia y de 0.7-1 (color rojo) las áreas en donde los modelos predicen que las condiciones climáticas son excelentes para la presencia de las especies (Anderson et al., 2003).

Los modelos matemáticos predictivos futuros, están representados en cuatro áreas: de color blanco, áreas por fuera del nicho realizado que no son adecuadas ni con las condiciones actuales ni con las condiciones futuras; de color rojo, áreas de alto impacto en que la especie probablemente ocurra en las condiciones climáticas actuales pero que dejarán de ser adecuadas en el futuro; de color azul, áreas de bajo impacto en que la especie probablemente ocurra tanto en las condiciones climáticas actuales como en las condiciones climáticas futuras; de color verde, nuevas áreas adecuadas en que una especie tendría probabilidades de ocurrir en el futuro, pero que no son idóneas para la ocurrencia natural en las condiciones actuales (Scheldeman y van Zonneveld, 2011).

RESULTADOS

El umbral que limita el área de distribución actual de *L. youngi* fue de 0,395 y bajo el escenario de cambio climático de 0,257, este resultado muestra el efecto del cambio climático sobre el área de distribución de la especie, por el cual se favorecerá su distribución potencial en el futuro, en zonas que no son idóneas para la ocurrencia natural en las condiciones actuales (Figura 2). La expansión de su distribución se dará hacia áreas de la zona Panamericana, del Valle del Mocotíes y zonas de los municipios Campo Elías y Libertador. Para la proyección en el año 2080, ganaría nuevos espacios favorables en la zona Panamericana, en el municipio Campo Elías, Libertador y en gran parte de los municipios de los Pueblos del Sur.

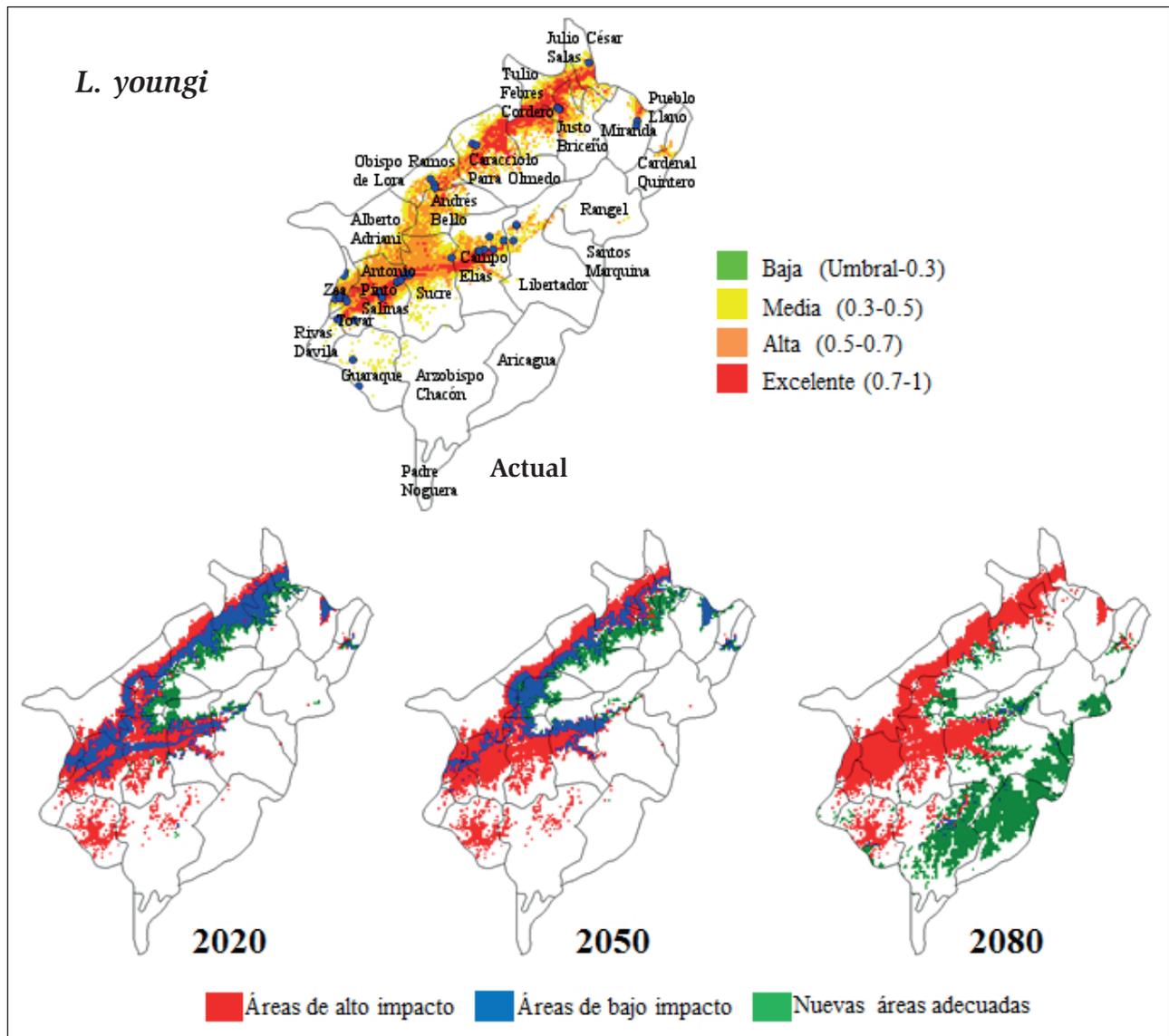


Figura 2. Mapa de distribución actual y bajo escenarios de cambio climático de *L. youngi* para los años 2020, 2050 y 2080 en el estado Mérida Venezuela. La predicción futura se realizó con el modelo matemático Hadcm3 en el escenario pesimista A2, utilizando las capas de 19 variables bioclimáticas derivadas de temperatura y precipitación.

El umbral para *L. gomezi*, mostró una restricción del área de distribución en el futuro, el umbral de distribución actual fue menor de 0,097, con relación al escenario de cambio climático que fue de 0,145, se muestra una pequeña disminución en su distribución en la zona Panamericana y áreas del Valle del Mocotíes, para la proyección para el año 2020, para el año 2050 esa distribución se mantiene y gana espacio en pequeñas zonas de la zona Panamericana y de los municipios más poblados, mientras que en el año 2080 se consolidaría

su distribución a áreas bajas y calientes de la zona Panamericana y del Valle del Mocotíes (Figura 3).

El umbral que limita el área de distribución actual de *L. ovallesi* fue de 0,515 y bajo el escenario de cambio climático de 0,493. Estos valores similares indican que el área de distribución potencial de la especie, en escenario de cambio climático, tendría poca expansión en su área de distribución futura (Figura 4). Esta especie es la más susceptible en el futuro a cambios

climáticos, con una disminución de su distribución para el año 2020, las proyecciones para el año 2050 la distribución en las áreas actuales se va a modificar extendiéndose a nuevas áreas en la zona Panamericana

e incluso en zonas de los municipios de Sucre, Campo Elías y Libertador y para el año 2080 la distribución estará restringida a nuevas áreas de expansión de los Pueblos del Sur.

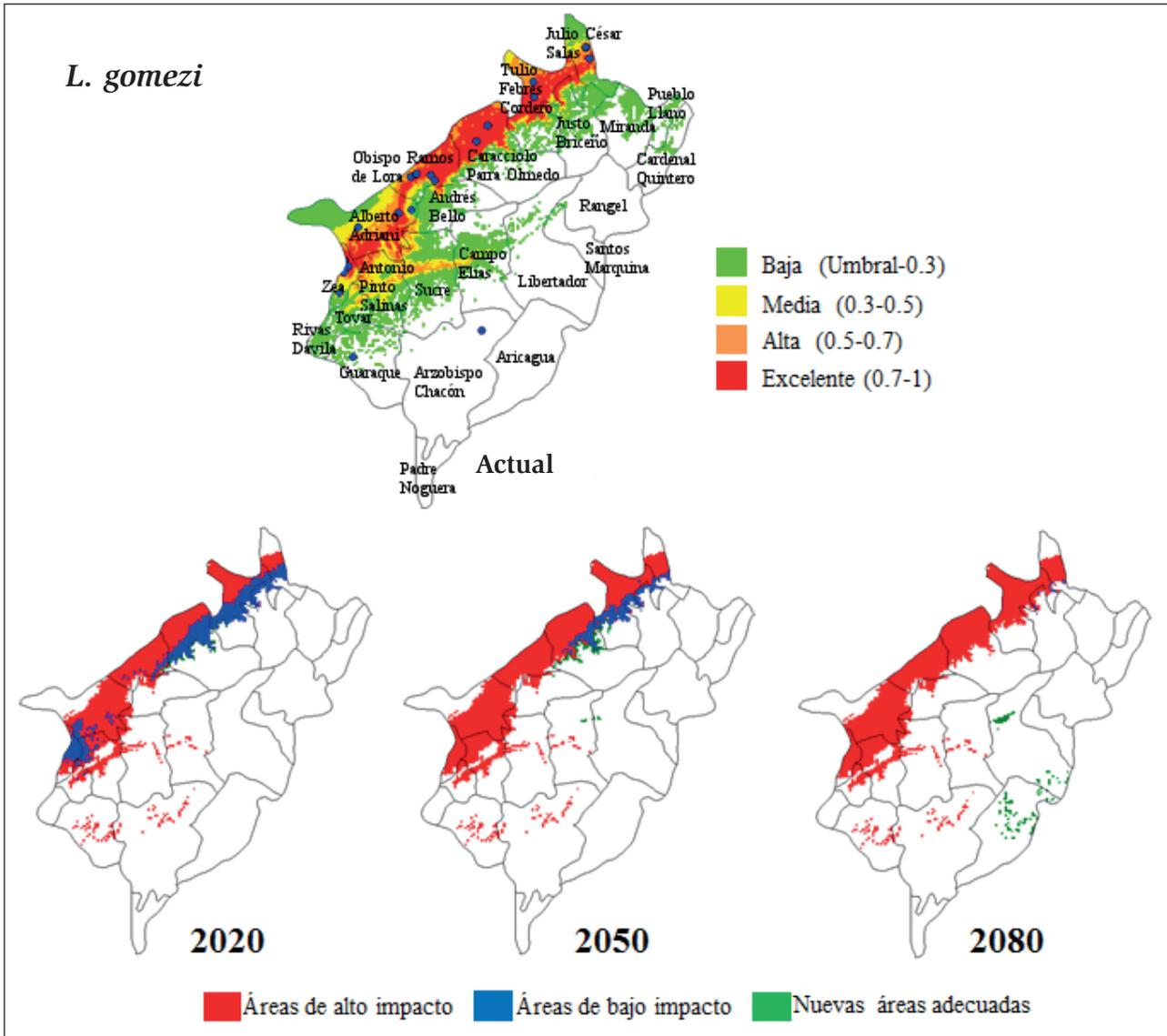


Figura 3. Mapa de distribución actual y bajo escenarios de cambio climático de *L. gomezi* para los años 2020, 2050 y 2080 en el estado Mérida Venezuela. La predicción futura se realizó con el modelo matemático Hadcm3 en el escenario pesimista A2, utilizando las capas de 19 variables bioclimáticas derivadas de temperatura y precipitación.

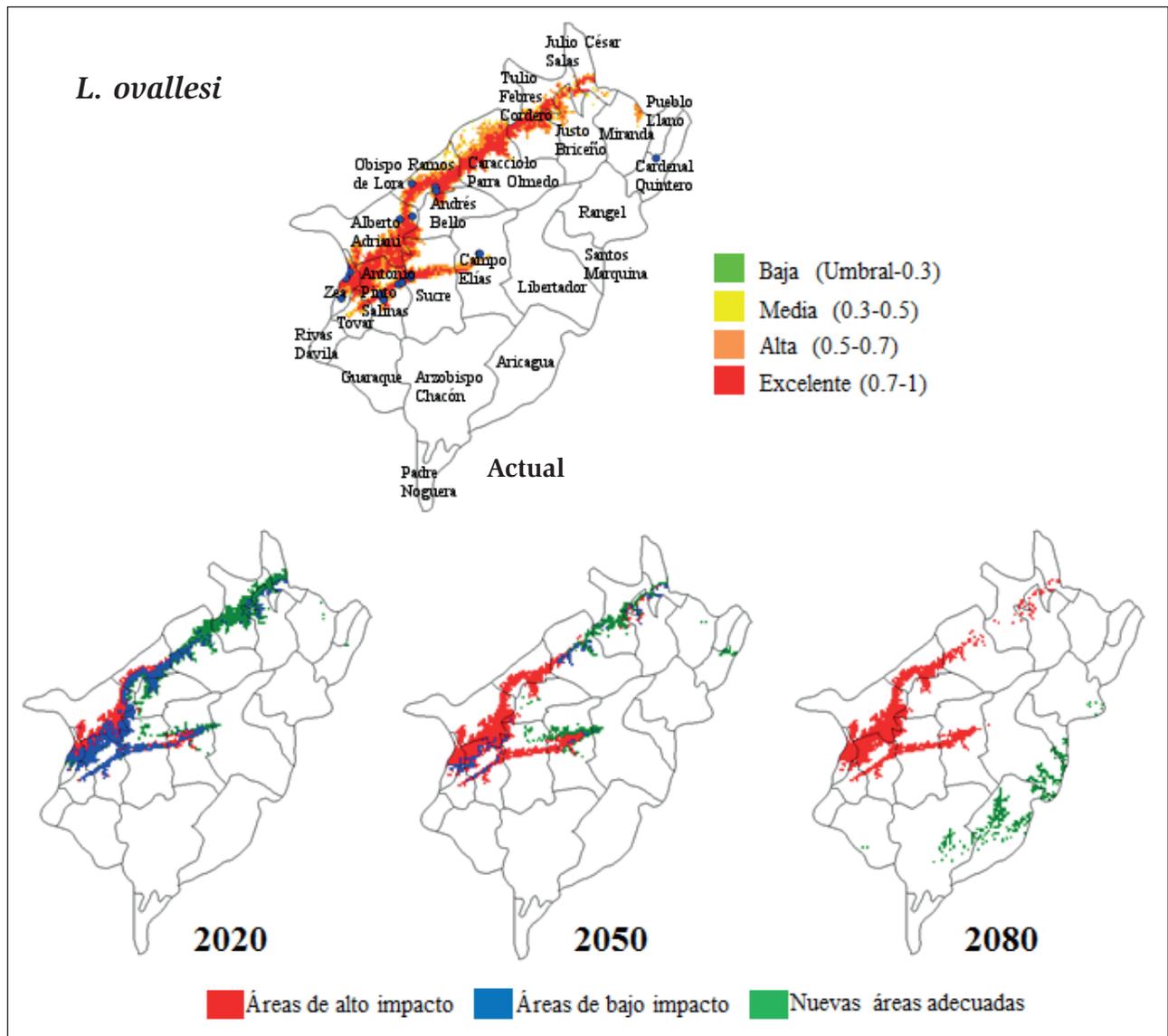


Figura 4. Mapa de distribución actual y bajo escenarios de cambio climático de *L. ovallesi* para los años 2020, 2050 y 2080 en el estado Mérida Venezuela. La predicción futura se realizó con el modelo matemático Hadcm3 en el escenario pesimista A2, utilizando las capas de 19 variables bioclimáticas derivadas de temperatura y precipitación.

El umbral que limita el área de distribución actual y bajo el escenario de cambio climático para *L. walkeri* mostró valores similares de 0,409, por lo cual se entiende que la distribución potencial de la especie

bajo escenario de cambio climático se mantendrá igual a la actual para los años 2020 y 2050 y con la ocupación de nuevas áreas en el municipio Libertador para el año 2080 (Figura 5).

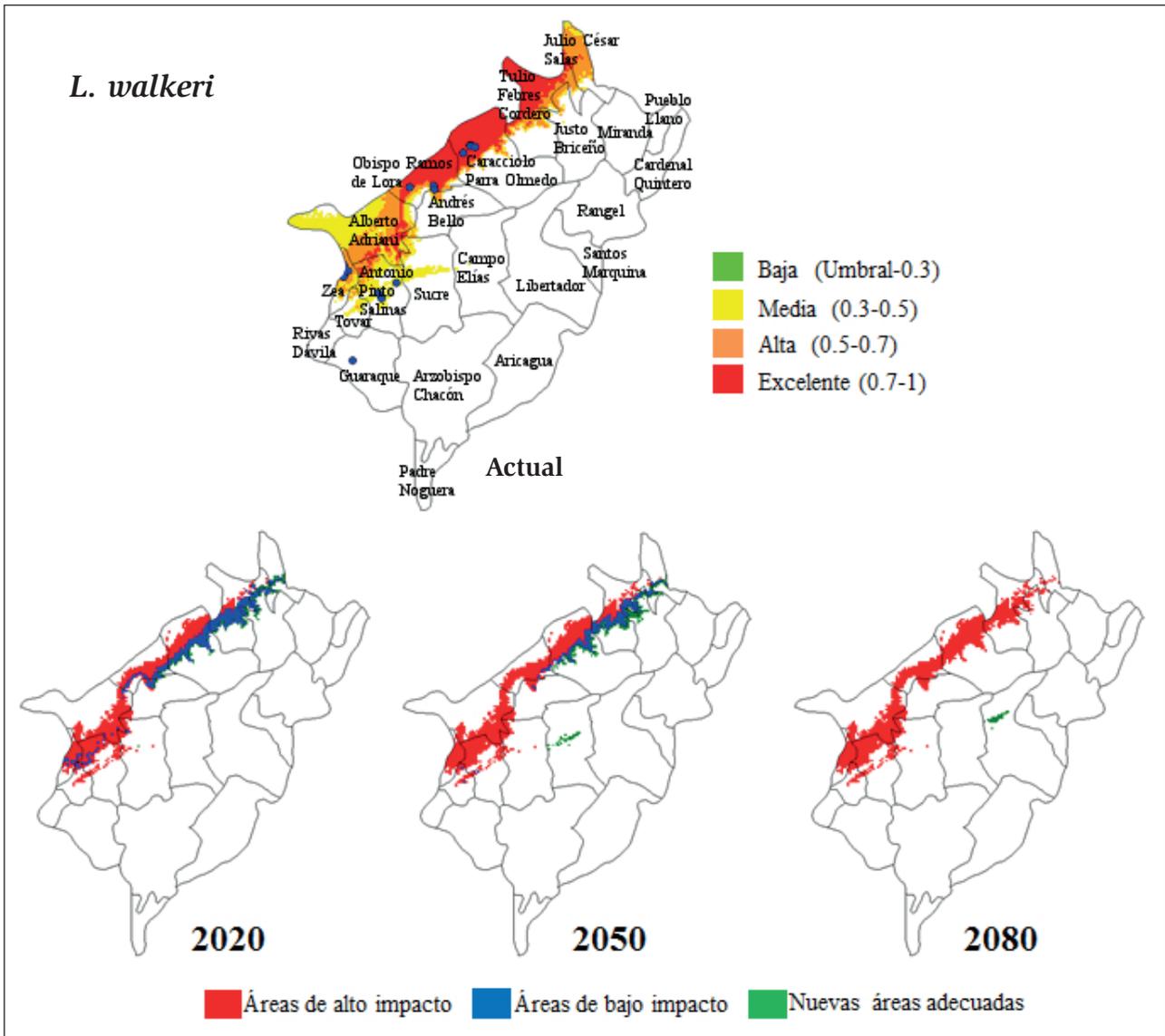


Figura 5. Mapa de distribución actual y bajo escenarios de cambio climático de *L. walkeri* para los años 2020, 2050 y 2080 en el estado Mérida Venezuela. La predicción futura se realizó con el modelo matemático Hadcm3 en el escenario pesimista A2, utilizando las capas de 19 variables bioclimáticas derivadas de temperatura y precipitación.

DISCUSIÓN

Profundos cambios ocasionados por la destrucción de los ecosistemas por fenómenos naturales o producidos por los humanos, tales como, inundaciones, deforestaciones, cambios en los patrones de la vegetación, ha causado que los ciclos de transmisión de las leishmaniasis tengan igual impacto; mientras unas especies de flebotominos desaparecen otras se tornan más abundantes o se adaptan a los ambientes sinantrópicos, modificando su conducta (Días et al., 2003; Peterson y Shaw, 2003; Nieves et al., 2014b). Recientemente, la velocidad con

la que ocurre el incremento de la temperatura, ha generado riesgos biológicos nunca antes vistos (Kuhn, 1999; Fischer et al., 2011). Los resultados del presente trabajo son realmente alarmantes ya que el cambio climático influiría en la distribución de los flebotominos en el estado Mérida, con un posible incremento en el riesgo de transmisión de la leishmaniasis. Aunque, Rodríguez et al. (2007), sugieren que los cambios en las condiciones ecológicas y climáticas, ocurridos en los últimos años en Mérida, debido a fenómenos como la vaguada y el consecuente deslave, ocurrido en las zonas adyacentes a la cuenca del río Mocotíes, pueden

haber afectado la ocurrencia de casos de leishmaniasis, ya que se presentó una disminución de casos en los últimos años, este hecho pudo deberse a la disminución de transmisores, diezmados por la alteración de las condiciones ambientales, tal como ocurre, después del fenómeno de La Niña, donde se ha observado una disminución de enfermedades transmitidas por vectores (Cabaniel et al., 2005; Pabón y Nicholls, 2005; Cárdenas et al., 2006).

Por el contrario, las proyecciones a futuro bajo escenarios de cambio climático, con un incremento de la temperatura, muestran que para los años 2020, 2050 y 2080, que tendrían un efecto individual por cada especie transmisora. Así, como cada especie tiene un particular impacto en la transmisión de la leishmaniasis (Donalisio et al., 2012), por ejemplo *L. youngi* presentaría, en el futuro inmediato, un aumento en su distribución. Previa evaluación sobre la flebotomofauna en el estado Mérida, se registraron 35 especies de *Lutzomyia*, de las cuales 10 son consideradas antropofílicas y *L. youngi* considerada la principal especie transmisora y con mayor abundancia en localidades altas del estado, ubicadas entre los 800 y 1000 m (Rondón, 2015).

Los resultados predicen que *L. youngi* ganaría nuevos espacios de mayor altitud en el estado Mérida, producto al cambio climático, lo cual podría aumentar el riesgo de transmisión. Este hecho concuerda con modelos matemáticos que predicen que un aumento en la temperatura produciría un incremento en la abundancia de *Phlebotomus perfiliewi*, en toda Italia y la posibilidad de extender su distribución hacia el sur y el norte de Europa (Fischer et al., 2011). Igualmente se predice que *Phlebotomus perniciosus* Newstead, 1911 se extendería hacia Suiza en un ambiente más cálido (López y Molina, 2005). También, se ha previsto que en un aumento de la temperatura entre 1-5 °C, pudiesen provocar la expansión de la distribución geográfica de *Phlebotomus papatasi* Scopoli, 1786, al suroeste de Asia (Cross et al., 1996), incluso una expansión en la distribución para las especies de *Lutzomyia anthophora* Addis, 1945, *Lutzomyia diabólica* Hall, 1936, *Lutzomyia shannoni* Dyar, 1929 y *Lutzomyia cruciata* Coquillett, 1907 en México y Estados Unidos (González et al., 2010; Moo et al., 2013; Peterson y Shaw, 2003).

Por otro lado, Rondón (2015) registró a *L. gomezi*, como la principal especie transmisora y predominante en los municipios de la zona Panamericana, que corresponde a los municipios con menor altura y mayor temperatura.

Los resultados sobre cambio climático predicen en un futuro inmediato que el aumento de temperatura provocaría la pérdida de espacios para *L. gomezi* en la zona Panamericana y se desplazaría hacia zonas más adecuadas del Valle del Mocotíes, con la ocupación de nuevos espacios en los municipios de los Pueblos del Sur y Libertador. El cambio en la distribución implica que ésta especie podría tener la capacidad de adaptarse o de migrar. La adaptación dependerá de la conservación de la vegetación y plasticidad genética de esta especie (Peterson y Shaw, 2003; Moo et al., 2013). Recientemente, Valderrama et al. (2011), registró que *L. gomezi* es la principal especie transmisora en Panamá y presenta una gran variabilidad genómica, con gran potencial de colonización, que le confiere la capacidad de migrar o adaptarse a cambios del medio ambiente. Además, *L. gomezi* presenta una amplia distribución en Venezuela, con el modelo de nicho ecológico, se muestra una distribución ideal hacia la zona noroccidental del país con varias coberturas vegetales y amplio rango de altura (Sánchez et al., 2015).

Por su parte, *L. ovallesi* se mostró como la especie más vulnerable al cambio climático. Aunque Sánchez et al. (2015), clasifica a la especie como propia de la región de los Andes Venezolanos, con una distribución potencial hacia la zona noroccidental y oriental de Venezuela. En un futuro inmediato esta especie, restringiría su distribución hacia el Valle del Mocotíes y para 2050 retomarían espacios de los municipios de la zona Panamericana, Campo Elías, Libertador y municipios de tradición turística, como Santo Domingo y para 2080 ocuparía nuevas zonas de los Pueblos del Sur. González et al. (2014) registraron una reducción de la distribución espacial, en las proyecciones de cambio climático de transmisores de leishmaniasis visceral, de *Lutzomyia longipalpis* y *Lutzomyia evansi* en Colombia. Esto podría deberse a diferencias genéticas presentes en las especies, a su adaptación y la capacidad de adecuación a los aumentos de temperatura.

Aunque, Feliciangeli (1987) registró que *L. gomezi* es afectada por la temperatura y *L. ovallesi* por la precipitación, lo que podría explicar, que cada entorno geográfico tiene sus propias características y que la distribución de una especie en un entorno depende de una serie de factores. A esto se le suma registros contradictorios con relación al efecto de la altitud en la distribución potencial de los flebotominos (Moo et al., 2013). A su vez, el cambio climático genera además, del incremento en la temperatura, cambios en los patrones

de precipitaciones, alteraciones en el uso del suelo, cobertura vegetal y eventos bioclimáticos que pueden originar adaptaciones particulares entre las especies (Fischer et al., 2011; González et al., 2014).

Por otro lado, para la especie *L. walkeri*, el efecto del cambio climático producirá leves cambios en su distribución para el año 2080, que podría originar nuevos espacios de distribución en el municipio más poblado del Libertador. Si bien *L. walkeri* es la cuarta especie en orden de abundancia para las zonas bajas del estado Mérida, Añez et al. (1988) y Feliciangeli et al. (1988), la refieren como una especie con gran capacidad de adaptación. La presencia de dicha especie en Venezuela no está bien documentada y aún no se tiene certeza que sea un vector de *Leishmania* (Feliciangeli et al., 2006). Sin embargo, Oraá (2013) la reportó con infección natural en el estado Mérida.

Para la enfermedad, los modelos matemáticos de calentamiento global predicen un aumento dramático en la incidencia de leishmaniasis visceral y un ligero aumento en la incidencia de leishmaniasis cutánea (Fischer et al., 2011). Esto podría ser debido a diferencias en cómo *Leishmania infantum* Leishman y Donovan, 1903, reaccionaria a los aumentos de temperatura. Aunque *P. perniciosus*, vector de leishmaniasis visceral, disminuirá su abundancia, debido a efectos adversos de las altas temperaturas, en contraste se predice que la leishmaniasis visceral se incrementaría (Kuhn, 1999).

De los modelos bajo escenarios de cambio climático de las principales especies transmisoras de leishmaniasis cutánea en el estado Mérida, es importante resaltar el grado de solapamiento del espacio geográfico entre las principales especies vectoras en determinadas áreas, donde las condiciones serían las más favorables para su presencia, incluyendo nuevos espacios en áreas más pobladas y turísticas del estado Mérida, que implicarían un mayor riesgo de transmisión.

Es de esperar que si la temperatura ambiental, alcanza valores máximos, la transmisión podría cesar por completo, reduciendo los casos de leishmaniasis, ya que la capacidad vectorial podría aumentar significativamente debido al acortamiento del período de incubación y se daría una disminución en la supervivencia del vector (Benkova y Volf, 2007). Esto sugiere que los cambios de temperatura podrían afectar a la dinámica de desarrollo del insecto, de tal manera que se pudiera suprimir la transmisión si las

condiciones ambientales se extienden más allá de la capacidad de supervivencia y adaptación (Bounoua et al., 2013). Sin embargo, los modelos de predicción a futuro bajo el efecto del cambio climático en el estado Mérida exacerban los riesgos de infección para leishmaniasis con expansión de las áreas de transmisión por la principal especie transmisora *L. youngi* y el solapamiento entre las principales especies en zonas más pobladas, como también es reportado para otras especies de flebotominos en otras latitudes (González et al., 2010).

Los modelos predictivos reflejan el efecto del cambio climático como una expansión en la transmisión y distribución de la leishmaniasis (Sutherst, 2001). Según Ready (2008), los modelos matemáticos no son concluyentes, sobre el efecto del cambio climático en la expansión de la leishmaniasis y se hacen necesarios más estudios, como investigar la adaptabilidad de los vectores a ese cambio climático. Un incremento en la temperatura y una disminución en la precipitación, pueden variar o crear las condiciones para la endemicidad de la leishmaniasis, si se encuentran dentro del rango óptimo para los vectores, hospedadores vertebrados y el parásito. La generación de los mapas de proyección sobre cambio climático de *L. youngi*, *L. gomezi*, *L. ovallesi* y *L. walkeri*, en el estado Mérida, permitió evidenciar cambios en la distribución futura de las principales especies de flebotominos en las zonas más pobladas del estado Mérida, lo que sugiere un mayor riesgo de transmisión de la leishmaniasis, principalmente en las áreas de solapamiento, información relevante para los entes de salud pública.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de todas las familias que apoyaron la realización de las capturas peridomesticarias de los flebotominos, a la Universidad de Los Andes y al apoyo financiero del Proyecto Estratégico del FONACIT-Fondo Nacional de Ciencias, Tecnología e Innovación N° 2011000371, bajo la coordinación de la Dra. Elsa Nieves.

BIBLIOGRAFÍA

- Alexander, B. y Maroli, M. 2003. Control of phlebotomine sandflies. *Medical and Veterinary Entomology* 17: 1-18.
- Alvar, J., Vélez, I., Bern, C., Herrero, M., Desjeux, P. y Cano, J. 2012. Leishmaniasis world wide and global estimates of its incidence. *PLoS One* 7(2):1-12.

- Anderson, R., Lew, D. y Peterson, A. 2003. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling* 162:211-232.
- Ataroff, M. y Sarmiento, L. 2004. Las unidades ecológicas de los Andes de Venezuela. En: La Marca, E., Soriano, P. (eds). *Reptiles de Los Andes de Venezuela*. Fundación Polar, Codepre-ULA, Fundacite-Mérida. Biogeos.
- Bässler, C., Müller, J., Hothorn, T. y Kneib, T. 2009. Estimation of the extinction risk for high-montane species as a consequence of global warming and assessment of their suitability as cross-taxon indicators. *Ecological Indicators*. 10:341-352.
- Benkova, I. y Volf, P. 2007. Effect of Temperature on Metabolism of *Phlebotomus papatasi* (Diptera: Psychodidae). *Entomological Society of America* 44:150-154.
- Blanco, J. 2013. Modelos ecológicos: descripción, explicación y predicción. *Ecosistemas* 22(3):1-5.
- Bounoua, L., Kahime, K., Houti, L., Blakey, T., Ebi, K., Zhang, P., Imhoff, M., Thome, K., Dudek, C., Sahabi, S., Messouli, M., Makhoulouf, B., Laamrani, A. y Boumezzough, A. 2013. Linking climate to incidence of zoonotic cutaneous Leishmaniasis (*L. major*) in Pre-Saharan North Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 10:3172-91.
- Cabaniel, G., Rada, L., Blanco, J., Rodríguez, A. y Escalera, J. 2005. Impacto de los eventos de El Niño Southern oscillation (ENSO) sobre la leishmaniosis cutánea en Sucre, Venezuela, a través del uso de información satelital, 1994 - 2003. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública* 22:32-38.
- Campbell, D., Dujardin, J., Martínez, E., Feliciangeli, M., Pérez, J., Passerat de Silans, L. y Desjeux, P. 2001. Domestic and peridomestic transmission of American cutaneous leishmaniasis: changing epidemiological patterns present new control opportunities. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 96: 159-162.
- Cárdenas, R., Sandoval, C., Rodríguez, A. y Franco, C. 2006. Impact of climate variability in the occurrence of leishmaniasis in northeastern Colombia. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 75:273-277.
- Cross, E., Newcomb, W. y Tucker, C. 1996. Use of weather data and remote sensing to predict the geographic and seasonal distribution of *Phlebotomus papatasi* in southwest Asia. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 54:451-6.
- Cross, E. y Hyams, K. 1996. The potential effect of global warming on the geographic and seasonal distribution of *Phlebotomus papatasi* in southwest Asia. *Environmental Health Perspectives* 104:724-727.
- Delgado, T. y Suarez, D. 2009. Efectos del cambio climático en la diversidad vegetal del corredor de conservación comunitaria Reserva Ecológica El Ángel- Bosque Protector Golondrinas en el norte del Ecuador. *Ecología Aplicada* 8(2):27-36.
- Desjeux, P. 2001. The Increase in Risk Factors for the Leishmaniasis Worldwide. *Transactions Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 95(3):239-243.
- Donalisio, M., Peterson, A., Costa, P., da Silva, F., Valencia, H., Shaw, J. y Filho, S. 2012. Microspatial Distributional Patterns of Vectors of Cutaneous Leishmaniasis in Pernambuco, Northeastern Brazil. *Journal of Tropical Medicine* 2012: 1-8.
- Feliciangeli, M. 1987. Ecology of sandflies (Diptera:Psychodidae) in a restricted focus of cutaneous leishmaniasis in northern Venezuela. III. Seasonal fluctuation. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 82:167-176.
- Fischer, D., Thomas, S. y Beierkuhnlein, C. 2011. Modelling climatic suitability and dispersal for disease vectors: the example of a phlebotomine sandfly in Europe. *Procedia Environmental Sciences* 7:164-169.
- Gaertner, M., Gutiérrez, J. y Castro, M. 2012. Escenarios regionales de cambio climático. *Revista Española de Física* 26(2):1-8.
- González, C., Wang, O., Strutz, S., González, C., Sánchez, V. y Sarkar, S. 2010. Climate Change and Risk of Leishmaniasis in North America: Predictions from Ecological Niche Models of Vector and Reservoir Species. *PLoS Neglected Tropical Diseases* 4:1-15.
- González, C., Paz, A. y Ferro, C. 2014. Predicted altitudinal shifts and reduced spatial distribution of *Leishmania infantum* vector species under climate change scenarios. *Colombia. Acta Tropica* 129(2014): 83-90.
- Gordon, C., Cooper, C., Senior, C., Banks, H., Gregory, J., Johns, T., Mitchell, J. y Wood, R. 2000. The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Climate Dynamics* 16: 147-168.
- Graham, C., Moritz, C. y Williams, S. 2006 Habitat history improves prediction of biodiversity in rainforest fauna. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103: 632-636.

- Hartemink, N., Vanwambeke, S., Heesterbeek, H., Rogers, D., Morley, D., Pesson, B., Davies, C., Mahamdallie, S. y Ready, P. 2011. Integrated mapping of establishment risk for merging vector-borne infections: a case study of canine leishmaniasis in southwest France. *PLoS One* 6(8):1-12.
- Hijmans, R., Cameron, S., Parra, J., Jones, P. y Jarvis, A. 2005a. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25:1965-1978.
- Hijmans, R., Guarino, L., Jarvis, A., O'Brien, R. y Mathur, P. 2005b. DIVA-GIS, versión 7.5. URL: <http://www.diva-gis.org/>. Consultado: 25 julio 2014.
- Honty, G. 2011. *Cambio climático: Negociaciones y consecuencias para América Latina*. CLAES - Centro Latinoamericano de Ecología Social, Uruguay.
- Kigadye, E., Nkwengulila, G., Magesa, S., Abdulla, S. 2010. Diversity, spatial and temporal abundance of Anopheles gambiae complex in the Rufiji River basin, south-eastern Tanzania. *Tanzania Journal of Health Research* 12:68-72.
- Kilpatrick, A., Fonseca, D., Ebel, G., Reddy, M. y Kramer, L. 2010. Spatial and temporal variation in vector competence of *Culex pipiens* and *Cx. restuans* mosquitoes for West Nile virus. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 77:667-671.
- Kuhn, K. 1999. Global warming and leishmaniasis in Italy. *Bull. Tropical Medicine International Health* 7:1-2.
- Loiola, C., da Silva, D. y Galati, E. 2007. Phlebotomine fauna (Diptera: Psychodidae) and species abundance in an endemic area of American cutaneous leishmaniasis in southeastern Minas Gerais, Brazil. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 102(5):581-585.
- López, R. y Molina, R. 2005. Cambio climático en España y riesgo de enfermedades infecciosas y parasitarias transmitidas por artrópodos y roedores. *Revista Española de Salud Pública* 79(2): 177-190.
- Lugo, Y., Premoli, G. y Moreno, E. 1999. Detection of localized cutaneous leishmaniasis using conventional assay and Polymerase Chain Reaction: a report on three Venezuelan family groups. *Boletín Dirección Malariología Saneamiento Ambiental* 39:20-26.
- Lugo, Y., Valera, M., Alarcón, M., Moreno, E., Premoli, G. y Colasante, C. 2003. Detección de *Leishmania (Viannia) braziliensis* en el endotelio vascular de lesiones de pacientes con leishmaniasis cutánea localizada. *Investigación Clínica* 44:61-76.
- Magnuson, J. 2001. 150-year global ice record reveals major warming trend. *International American Institute Global Change Research* 24:22-25.
- Maingon, R., Feliciangeli, D., Guzmán, B., Rodríguez, N., Convit, J., Adamson, R., Chance, M., Petralanda, I., Dougherty, M. y Ward, R. 1994. Cutaneous leishmaniasis in Táchira state, Venezuela. *Annals Tropical Medical Parasitology* 88:29-36.
- Moo, D., Ibarra, C., Rebollar, E., Ibáñez, S., González, C. y Ramsey, J. 2013. Current and future niche of North and Central American sand flies (Diptera: Psychodidae) in climate change scenarios. *PLoS Neglected Tropical Diseases* 7(9): 1-13.
- Moreno, E. y Scorza, J. 1998. Productos de excreción de *Leishmania* spp. de la región Andino - Venezolana. *Revista de Ecología Latinoamericana Ambiental* 5: 53-60.
- Neuber, H. 2008. Leishmaniasis. *Journal der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft Impact Factor y Information* 6: 754-765.
- Nieves, E., Oraá, L., Rondón, Y., Sánchez, M., Sánchez, Y., Rujano, M., Rondón, M., Rojas, M., González, N. y Cazorla, D. 2014a. Riesgo de transmisión de *Leishmania (Kinetoplastida: Trypanosomatidae)* en Mérida Venezuela. *Avances en Biomedicina* 3: 57-64.
- Nieves, E., Oraá, L., Rondón, Y., Sánchez, M., Sánchez, Y., Rojas, M., Rondón, M., Rujano, M., González, N. y Cazorla, D. 2014b. Effect of Environmental Disturbance on the Population of Sandflies and *Leishmania* Transmission in an Endemic Area of Venezuela. *Journal of Tropical Medicine* 2014:1-7.
- Nieves, E., Oraá, L., Rondón, Y., Sánchez, M., Sánchez, Y., Rujano, M., Rondón, M., Rojas, M., Gonzalez, N. y Cazorla, D. 2015. Distribution of Vector Sandflies Leishmaniasis from an Endemic Area of Venezuela. *Journal Tropical Diseases* 3:1-7.
- OMS. 2010. *Control de la Leishmaniasis*. Serie de Informes Técnicos 949. Ginebra, Suiza.
- Oraá, L. 2013. *Distribución, diversidad e influencia de variables ambientales y antropogénicas en las principales especies de flebotominos en Mérida - Venezuela*. Tesis de Grado. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
- Pabón, J. y Nicholls, R. 2005. El cambio climático y la salud humana. *Biomédica* 25(1):1-4.

- Parra, G. 2010. Sistemas de información geográfica y sensores remotos. Aplicaciones en enfermedades transmitidas por vectores. *CES Medicina* 24(2): 75-89.
- Peterson, A. y Robins, C. 2003. Using ecological-niche modeling to predict barred owl invasions with implications for spotted owl conservation. *Conservation Biology* 17:1161-1165.
- Peterson, A. y Shaw, J. 2003. *Lutzomyia* vectors for cutaneous leishmaniasis in Southern Brazil: ecological niche models, predicted geographic distributions, and climate change effects. *International Journal Parasitology* 33:919-931.
- Peterson, A. 2006. Ecologic niche modeling and spatial patterns of disease transmission. *Emerging Infectious Diseases* 12:1822-1826.
- Phillips, J., Anderson, P. y Schapire, E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling* 190:231-259.
- Phillips, J. y Dudik, M. 2008. Modeling of species distributions with MaxEnt: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31:161-175.
- Pope, V., Gallani, M., Rowntree, P. y Stratton, R. 2000. The impact of new physical parametrizations in the Hadley Centre climate model: HadAM3. *Climate Dynamics* 16: 123-146.
- Ready, P. 2008. Leishmaniasis emergence and climate change. *Revue scientifique et technique* 27(2):399-412.
- Reiter, P. 2001. Climate change and mosquito borne disease. *Environmental Health Perspectives* 109(1): 141-161.
- Rodríguez, N., Carrero, R., De Lima, H., Sandoval, I., Fernández, A. y Barrios, M. 2007. Impacto de Fenómenos Naturales (Deslaves y vaguadas) sobre la epidemiología de la Leishmaniasis cutánea en zonas del estado Mérida. *Salus* 11:43-47.
- Rodríguez, A., González, Y., Benítez, J., López, M., Harter, R., Vilca, L. y Cárdenas, R. 2010. Asociación entre la incidencia de leishmaniosis cutánea y el índice de desarrollo humano y sus componentes en cuatro estados endémicos de Venezuela. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública* 27:22-30.
- Rondón, Y. 2015. *Detección Parasitológica y Molecular de Leishmania en el Intestino de Flebotominos Vectores*. Tesis de Grado. Universidad de Los Andes. Mérida Venezuela. 82p
- Salomón, O., Rosa, J., Stein, M., Quintana, M., Fernández, M., Visintin, A., Spinelli, G., Bogado de Pascual, M., Molinari, M., Morán, M., Valdez, D. y Romero, M. 2008. Phlebotominae (Diptera: Psychodidae) fauna in the Chaco región and Cutaneous Leishmaniasis transmission patterns in Argentina. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 103(6): 578-584.
- Sánchez, I., Liria, J. y Feliciangeli, M. 2015. Ecological Niche Modeling of Seventeen Sandflies Species (Diptera, Psychodidae, Phlebotominae) from Venezuela. *International Journal of Zoology* 2015:1-9.
- Scheldeman, X., y Van Zonneveld, M. 2011. *Manual de capacitación en análisis espacial de diversidad y distribución de plantas*. Bioersivity International.
- Scorza, J., Valera, M., Moreno, E. y Jaimes, R. 1983. Epidemiologic survey of cutaneous leishmaniasis: an experience in Merida, Venezuela. *Bulletin Panamerican Health Organ* 7:361- 373.
- Scorza, J., Castillo, L., Rezzano, S., Márquez, M. y Márquez, J. 1985. El papel del café en la endemidad de la leishmaniasis cutánea en Venezuela. *Boletín Malariología Saneamiento Ambiental* 25:82-88.
- Shaw, J. 2007. The leishmaniasis: survival and expansion in a changing world. A mini-review. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 102: 541-547.
- Stott, P., Tett, S., Jones, G., Allen, M., Ingram, W. y Mitchell, J. 2001. Attribution of Twentieth Century Temperature Change to Natural and Anthropogenic Causes. *Climate Dynamics* 17:1-22.
- Sutherst, R. 2001. Global change and human vulnerability to Vector-Born diseases. *Clinical Microbiology Reviews* 5:136-73.
- Thomson, M., Elnaiem, D., Ashford, R. y Connor, S. 1999. Towards a kalaazar risk map for Sudan: mapping the potential distribution of *Phlebotomus orientalis* using digital data of environmental variables. *Tropical Medicine International Health* 4:105-113.
- Valderrama, A., Tavares, M. y Andrade, J. 2011. Anthropogenic influence on the distribution, abundance and diversity of sandfly species (Diptera: Phlebotominae: Psychodidae), vectors of cutaneous Leishmaniasis in Panama. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 106(8):1024-1031.
- Valera, M., Moreno, E. y Scorza, J. 1978. Cincuenta y seis casos de leishmaniasis tegumentaria en la cuenca de los ríos Chama - Mocotíes (Estado Mérida, Venezuela). *Boletín Dirección Malariología Saneamiento Ambiental* 28:238-247.



Varela, S., Mateo, R., García, R. y Fernández, F. 2014. Macroecología y ecoinformática: sesgos, errores y predicciones en el modelado de distribuciones. *Ecosistemas* 23(1):46-53.

Vásquez, A., González, A., Góngora A., Prieto, E., Suárez, E. y Buitrago, L. 2013. Seasonal variation and natural infection of *Lutzomyia antunesi* (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae), an endemic species in the Orinoquia region of Colombia. *Memorias Instituto Oswaldo Cruz* 108(4): 463-469.

Wang, X., Huang, X., Jiang, L. y Qiao, G. 2010. Predicting potential distribution of chestnut phylloxerid (Hemiptera:

Phylloxeridae) based on GARP and Maxent ecological niche models. *Journal of Applied Entomology* 134: 45-54.

Wisz, M., Hijmans, R., Li, J., Peterson, A., Graham, C. y Guisan, A. 2008. Predicting Species Distributions Working Group. Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions* 14:763-773.

Young, D. y Duncan, M. 1994. Guide to the identification and geographic distribution of *Lutzomyia* sandflies in México, the West Indies, Central and South America (Diptera: Psychodidae). *Memories of the American Entomological* 54:779-881.

Fecha de recepción: 03/09/2015

Fecha de aceptación: 23/11/2015

Para citar este artículo: Nieves, E., M. Rujano, H. Ospino, L. Oraá, Y. Rondón, M. Sánchez, M. Rondón, Y. Sánchez, M. Rojas, N. González y D. Cazorla. 2015. Efectos del cambio climático sobre la distribución potencial de los Flebotominos transmisores de leishmaniasis en Mérida Venezuela. *Intropica* Vol. 10: 60 - 73