

DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE *Oxysternon conspicillatum* (WEBER, 1801) EN DIFERENTES ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA*

Bedir Germán Martínez-Quintero¹, Alejandro Echeverri-Rubio², Fabián Guillermo Gaviria-Ortiz³

Resumen

Los escenarios de cambio climático son herramientas útiles para la evaluación de impactos, iniciativas de adaptación y mitigación, y creación de modelos climáticos; estos se proyectan en el tiempo para predecir la unidad de hábitat en que se encuentran las especies. Adicionalmente, los modelos de distribución de especies estiman el área de ocupación de un organismo con potencial bioindicador como los escarabajos coprófagos, entre ellos la especie *Oxysternon conspicillatum* con amplia distribución geográfica en Colombia. El propósito de este trabajo fue determinar la distribución potencial de *O. conspicillatum* en un escenario pesimista (A2) y uno optimista (B1) de cambio climático en Colombia para los años 2050 y 2080. Para el desarrollo del modelo se recolectó información publicada y/o depositada en diferentes colecciones del país, de manera tal que se obtuvieron 427 registros, distribuidos en 11 fuentes de información. La especie se registró en 18 departamentos, donde el Eje Cafetero fue el que presentó mayor disponibilidad de datos geográficos. Se encontró que la probabilidad de ocupación de *O. conspicillatum* en la Cordillera Oriental disminuye drásticamente para estos dos años. Este resultado concuerda con lo observado en otros grupos bioindicadores como las plantas y las mariposas. *O. conspicillatum* es una especie ampliamente distribuida en Colombia, sin embargo, para los años 2050 y 2080 bajo dos escenarios de cambio climático (A2 y B1) presentará una disminución considerable de su presencia a nivel nacional.

Palabras clave: área de ocupación, cambio climático, modelación, MaxEnt, bioindicador.

* FR: 14-IV-2017. FA: .3-IX-2017

¹ Biólogo. Línea de investigación en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Universidad de Manizales. Manizales, Colombia. E-mail: sbedirge@gmail.com (autor de correspondencia). ORCID: 0000-0002-5798-7331

² Doctorando, Universidad Nacional de Colombia. Profesor Instructor, Universidad de Manizales, Centro de Investigación en Medio Ambiente y Desarrollo. Manizales, Colombia. E-mail: aecheverri@umanizales.edu.co

³ Msc en Ciencias Biológicas (Entomología), Universidade Federal do Paraná. E-mail: fabianggo@gmail.com

CÓMO CITAR:

MARTÍNEZ-QUINTERO, B.G., ECHEVERRI-RUBIO, A. & GAVIRIA-ORTIZ, F.G., 2017.- Distribución potencial de *Oxysternon conspicillatum* (Weber, 1801) en diferentes escenarios de cambio climático en Colombia. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas*, 21 (2): 190-206. DOI: 10.17151/bccm.2017.21.2.13

POTENTIAL DISTRIBUTION OF *Oxysternon conspicillatum* (WEBER, 1801) IN DIFFERENT CLIMATE CHANGE SCENARIOS IN COLOMBIA

Abstract

Climate change scenarios are useful tools for impact assessment, adaptation and mitigation initiatives, and climate modeling which are projected over time to predict the unit of habitat in which the species are. In addition, the species distribution models estimate the area of occupation of an organism with bioindicator potential such as dung beetles, including the species *Oxysternon conspicillatum* with a wide geographic distribution in Colombia. The purpose of this work was to determine the potential distribution of *O. conspicillatum* in a pessimist (A2) and an optimist (B1) climate change scenario in Colombia in the years 2050 and 2080. For the development of the model, published and/or deposited in different collections of the country samples was collected so that 427 records were obtained, distributed in 11 sources of information. The species was recorded in 18 departments from which the Coffee Triangle was the area that showed greater availability of geographic data. It was found that the probability of occupation of *O. conspicillatum* in the Eastern Cordillera will decrease drastically for these two years. This result coincides with what was observed in other bioindicator groups such as plants and butterflies. *O. conspicillatum* is a widely distributed species in Colombia. However, for the years 2050 and 2080 under the two climate change scenarios (A2 and B1) it will show a considerable decrease in its presence at the national level

Key words: area of occupation, climate change, modeling, MaxEnt, bioindicator.

INTRODUCCIÓN

Colombia es un país megadiverso, sin embargo, de acuerdo al índice de vulnerabilidad al cambio climático para la región de América Latina y el Caribe, se encuentra en una categoría de riesgo alto (CAF, 2014). El cambio climático, sus efectos sobre el ciclo del agua y la pérdida de hábitat están estrechamente ligados a la reducción de la biodiversidad; es altamente probable que la transformación en los regímenes de precipitación e incremento de la temperatura incidan directamente en el tamaño, fisiología, estructura, abundancia y distribución de una amplia variedad de organismos (BÖHNING *et al.*, 2008). Estos factores suponen un cambio en las interacciones entre las especies y su distribución dentro de los ecosistemas, entre otros (IPCC, 2007). El resultado de la coacción de dichos factores tiene repercusiones en la calidad de los servicios ambientales suministrados por los ecosistemas (IPCC, 2007).

Actualmente, la implementación de modelos para predecir la respuesta de las especies, ecosistemas y paisajes, son una tendencia en estudios de ecología y conservación. Para establecer el efecto del cambio climático se han desarrollado herramientas

predictivas denominadas escenarios de cambio, basadas en las emisiones de gases de efecto invernadero a largo plazo, que son un conjunto de imágenes sobre lo que podría suceder en el futuro, útiles para evaluar la manera como podrían contribuir las fuerzas determinantes tanto sociales como naturales en las emisiones futuras (IPCC, 2000). La información que se produce es apropiada para la proyección de modelos del clima, la valoración de los impactos y para las estrategias de adaptación y mitigación (IPCC, 2000, 2002).

Por otra parte, la respuesta biótica al cambio climático ha sido estudiada en varios niveles de organización, desde fenología de organismos, hasta rangos de distribución de las poblaciones y ensamblajes de comunidades, considerando al cambio climático como aspecto importante en la extinción de especies (PARMESAN & YOHE, 2003; WILSON *et al.*, 2007). Sin embargo, gran parte de estos estudios se restringen a países del hemisferio norte y por lo general son a largo plazo o monitoreos, por lo cual no existe un buen número de datos en el planeta que permitan dar una aproximación sobre las posibles respuestas de los organismos, asimismo son escasas las investigaciones basadas en la distribución actual de los mismos al cambio climático (WILSON *et al.*, 2007). Por consiguiente, conocer la distribución de las especies y sus factores limitantes proporciona argumentos sólidos en la implementación de estrategias de conservación de la biodiversidad (BROWN, 1995) y más cuando se implementa en grupos con potencial bioindicador, es una herramienta fundamental en las propuestas de conservación y biodiversidad dentro de escenarios de cambio climático, apoyando la toma de decisiones sobre estrategias a seguir a largo plazo.

Dentro de estos modelos se encuentra el software gratuito MaxEnt (método de máxima entropía), empleado para realizar predicciones o inferencias a partir de información incompleta (VALDERRAMA, 2013). Este modelo de distribución de especies es una caracterización de las condiciones ambientales adecuadas para una especie, y permite identificar dónde están espacialmente ubicados los sitios aptos para el desarrollo de la especie investigada. Por lo tanto, este método puede ser utilizado en numerosas áreas dentro de diversas problemáticas; entre sus variadas aplicaciones se encuentran la restauración ecológica, la priorización de zonas para iniciativas de conservación biológica, la evaluación de patrones de propagación de especies invasivas y modelaciones de efectos del cambio climático sobre los ecosistemas (MORALES, 2012).

Aunque para muchos de los insectos estas herramientas son poco exploradas, los escarabajos coprófagos (Scarabaeinae) son un grupo de insectos con características ecológicas que los hacen importantes indicadores ecológicos de perturbación antrópica (HALFFTER & MATTHEWS, 1966; HANSKI & CAMBEFORT, 1991, VULINEC, 2000), entre ellas, son sensibles a la perturbación debido a que son afectados directamente por los cambios en las variables microclimáticas, temperatura,

humedad o características del suelo (NICHOLS *et al.*, 2007), por lo tanto, los escarabajos coprófagos son un excelente grupo indicador de salud de los ecosistemas (VULINEC, 2000).

El papel de los coprófagos va más allá de la indicación; aportan en diferentes servicios ecosistémicos tales como ciclaje de nutrientes, aireación del suelo, dispersión secundaria de semillas, entre otros (NICHOLS *et al.*, 2007), pero realmente es poco lo que se conoce acerca de la respuesta de los coprófagos a la heterogeneidad espacial de los paisajes y al cambio climático (SPECTOR, 2006; NICHOLS *et al.*, 2007).

Después de evidenciar que el cambio climático tiene una afectación sobre la diversidad y que grupos bioindicadores como los escarabajos coprófagos son excelentes indicadores de la salud de un ecosistema, el objetivo de este trabajo fue determinar la distribución potencial de una especie de escarabajo coprófago (*Oxysternon conspicillatum*) en diferentes escenarios de cambio climático en Colombia, en dos épocas diferentes en el futuro, en los años 2050 y 2080.

MATERIALES Y MÉTODOS

El modelo de distribución potencial de *O. conspicillatum* se realizó con una buena cantidad de datos de registro de presencia en las diferentes regiones del país, asimismo se garantizó que la toma de datos proviene de fuentes de información confiables depositada en colecciones. Posteriormente, las variables analizadas fueron llevadas a una escala de observación de los datos de forma precisa y con una cobertura considerada pertinente por los autores del presente documento. Finalmente, para establecer la confiabilidad del modelo fue necesario tener conocimientos básicos de la biología, la ecología, la información bibliográfica de la especie y de la fauna asociada a la misma, que permitió comparar la realidad de los datos actuales con los posibles modelos.

Los criterios bajo los cuales se seleccionó *O. conspicillatum* (Figura 1), como especie para modelar su ocupación en el tiempo y evaluar su respuesta de distribución frente al cambio climático en Colombia, se dividen en tres aspectos: i) potencial indicador de perturbación, ii) amplia distribución geográfica y iii) taxonomía bien definida.

Para este análisis, se usaron todos los registros de *O. conspicillatum*, depositados en el portal de datos del Sistema de Información de Biodiversidad de Colombia (SIB) y en registros encontrados en trabajos publicados en el país. Se tabularon en Excel, fueron depurados y se utilizaron los que estaban correctamente georreferenciados, es decir los de alta confiabilidad, dada por aquellos registros donde las coordenadas de latitud y longitud eran veraces y se ubicaban en las zonas indicadas, esto se corroboró en el portal *Google Earth*.



Figura 1. Especie de *O. conspicillatum*, hembra y macho. (Tomado de CULTID *et al.*, 2012).

Determinación de la distribución potencial actual

La distribución potencial de *O. conspicillatum* se realizó empleando MaxEnt (*Maximum Entropy Modelling of Species Geographic Distributions*), el cual aplica el principio de la máxima entropía para calcular la distribución de especies más probable y más uniforme posible para un taxón (VALDERRAMA, 2013). El resultado es un valor de idoneidad de hábitat en función de las características ambientales de los puntos de presencia que se introduzcan en el modelo (PHILLIPS *et al.*, 2006, PHILLIPS & DUDÍK, 2008). MaxEnt realiza la aproximación al nicho ecológico de los taxones estudiados, a partir del modelo climático global WorldClim, el cual se basa en 19 variables climáticas más altitud (Tabla 1), derivadas de la temperatura y la precipitación, para identificar los valores abióticos que limitan su distribución (AUSTIN, 2002) y además se le pueden incorporar variables de diferentes fuentes como cobertura vegetal, altitud, entre otras.

Tabla 1. Variables extraídas de WorldClim

Variables climáticas	
bio1 = Temperatura media anual	bio11 = T° media del trimestre más caliente
bio2 = Rango T° media diurna (Tmax-Tmin)	bio12 = Precipitación total anual
bio3 = Isotermalidad (bio1/bio7) × 100	bio13 = Precipitación del mes más húmedo
bio4 = Estacionalidad de T° (DS × 100)	bio14 = Precipitación del mes más seco
bio5 = T° máxima del mes más caliente	bio15 = Estacionalidad de la precipitación
bio6 = T° mínima del mes más frío	bio16 = Precipitación trimestre más húmedo
bio7 = Rango de T° anual (bio5-bio6)	bio17 = Precipitación del trimestre más seco
bio8 = T° media del trimestre más húmedo	bio18 = Precipitación del trimestre más caliente
bio9 = T° media del trimestre más seco	bio19 = Precipitación del trimestre más caliente
bio10 = T° media del trimestre más frío	Alt = Altitud

Modelación de la distribución futura de *O. conspicillatum* bajo un escenario de cambio climático

Para los modelos predictivos se utilizaron los datos de BioClim con una resolución 2,5 minutos, implementados con el modelo MRI-CGCM3, el cual reproduce el clima medio global, incluyendo la variación estacional en diversos aspectos de la atmósfera y los océanos; considerando el clima simulado evaluando el fenómeno de El Niño y la Oscilación del Sur y el Ártico, y del Antártico (YUKIMOTO *et al.*, 2012). Los escenarios utilizados fueron A2 y B1 (Tabla 2), extremos para el cambio climático global, siendo el A2 el pesimista, donde el planeta está fragmentado y no sustentable, con concentraciones de gases de efecto invernadero mayores. El escenario B1 es un escenario optimista donde el planeta es integrado y sustentable con mayor uso de energías renovables y menor concentración de gases de efecto invernadero (RASKIN *et al.*, 2005).

Se realizaron mapas de distribución potencial actual (2016) y futura (2050 y 2080) en los diferentes escenarios, para conocer los cambios en las áreas potenciales de distribución de *O. conspicillatum* bajo cada modelo. Estos fueron utilizados para análisis descriptivo y en el programa Qgis 2.2. se establecieron diferencias en el tamaño de distribución y las regiones más afectadas. Finalmente, para determinar la pérdida o ganancia de área entre años y escenarios, se tomó como referencia por decisión de los autores el 80% de la probabilidad de ocurrencia de *O. conspicillatum* en el país (mayor idoneidad de hábitat), donde todos los valores iguales o por encima de este límite fueron los utilizados para calcular el área.

Los datos de *O. conspicillatum* se encontraron registrados en 11 fuentes de información, seis artículos científicos (MEDINA & KATTAN, 1996; HUERTAS *et al.*, 2003; EDMONDS & ZÍDEK, 2004; GARCÍA & PARDO, 2004; ESPARZA & AMAT,

2007; CONCHA-LOZADA *et al.*, 2010), cuatro colecciones de proyectos que aún no están publicadas (CR-EC 2004; CR-S 2007; CRCUT 1 2008; ESCOBAR-IAvH-Cham) y en el portal del Sistema de Información Biológica (SIB).

Tabla 2. Descripción de los escenarios de cambio climático. (Tomado de IPCC, 2000).

Escenario	Características distintivas
A2: Describe un mundo heterogéneo	<i>La autosuficiencia y la conservación de las identidades locales. Las pautas de fertilidad en el conjunto de las regiones convergen muy lentamente, con lo que se obtiene una población mundial en continuo crecimiento. El desarrollo económico está orientado básicamente a las regiones, y el crecimiento económico por habitante así como el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas.</i>
B1: Describe un mundo convergente	<i>Tiene una misma población mundial que alcanza un máximo hacia mediados del siglo y desciende posteriormente, como en la línea evolutiva A1, pero con rápidos cambios de las estructuras económicas orientados a una economía de servicios y de información, acompañados de una utilización menos intensiva de los materiales y de la introducción de tecnologías limpias con un aprovechamiento eficaz de los recursos. En ella se da preponderancia a las soluciones de orden mundial encaminadas a la sostenibilidad económica, social y medioambiental, así como a una mayor igualdad, pero en ausencia de iniciativas adicionales en relación con el clima.</i>

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvo un total de 427 registros de *O. conspicillatum* con datos de georreferenciación correctos para Colombia, distribuidos en 18 departamentos del país. Amazonas es el departamento con mayor número de registros con un total de 140, sin embargo, la región del Eje Cafetero es la zona donde se presenta mayor número de registros en distintas localidades, estos valores soportan la amplia distribución geográfica de la especie en el país. En términos generales, esta especie es ubicua en Colombia, tiene alta presencia en las tres cordilleras andinas y en la Amazonía, de tal manera que se encuentra en un rango entre los 0 m a los 3000 m de altitud como lo registra

EDMONDS & ZÍDEK (2004), por lo que puede estar afectada por los factores de cambio climático que se presenten en el territorio nacional. *O. conspicillatum* presenta la particularidad de estar presente en zonas abiertas (fuera de los bosques) en la región andina y restringida a zonas boscosas en la región de la Amazonía, esto hace que sea una especie de distribución geográfica y requerimientos ecológicos amplios (especie generalista).

La distribución potencial actual de *O. conspicillatum* presenta un modelo bien ajustado y confiable, con un AUC de 0,985. Las variables ambientales que influyen directamente sobre el modelo de distribución actual son la isotérmica (bio 3) con un 30,4% y la estacionalidad de la temperatura (bio 4) con un 20,9%, ambas variables derivan de la temperatura de las zonas en que se ha registrado esta especie. Además, los datos ecológicos obtenidos en otros proyectos de algunos individuos en campo sustentan la idea de que la temperatura es la variable que presenta mayor peso en la actividad diaria de las poblaciones de *O. conspicillatum*, lo que posiblemente pueda generar una presión en la distribución de esta especie en el tiempo.

De acuerdo a las distribuciones potenciales obtenidas, *O. conspicillatum* posee zonas climáticamente favorables en gran parte del territorio colombiano, asociada con altitudes entre los 1000 m y 2500 m. El número de celdas de estas distribuciones potenciales con respecto al número de localidades donde existen presencias conocidas, pueden ser superiores a las 100 veces. Asimismo, en otros grupos de insectos, en países donde la tradición taxonómica es menor y donde hay una menor diversidad entomológica (ROCCHINI *et al.*, 2011), es muy probable que los registros de *O. conspicillatum* presenten evidentes sesgos ambientales y espaciales, de modo que la distribución “real” de esta especie sea mucho más amplia que la conocida. Las zonas potenciales detectadas con el modelo deben considerarse como territorios de interés, no obstante, es importante tener en cuenta que posiblemente existan limitantes de dispersión, distribución y otros factores que tienen la capacidad de limitar las localidades que supuestamente son favorables climáticamente (WILLIAMS *et al.*, 2009).

Las mediciones potenciales donde podría registrarse *O. conspicillatum*, tanto en la actualidad como en un futuro, indican que actualmente esta especie ocupa mayor área en las tres cordilleras con respecto al resto del país (Figura 2). Mientras que para un escenario de cambio climático A2 y B1, para los años 2050 y 2080, se encontró que en las cordilleras Oriental y Central disminuye representativamente con respecto a la Cordillera Occidental en la que aumenta (Figuras 3 y 4).

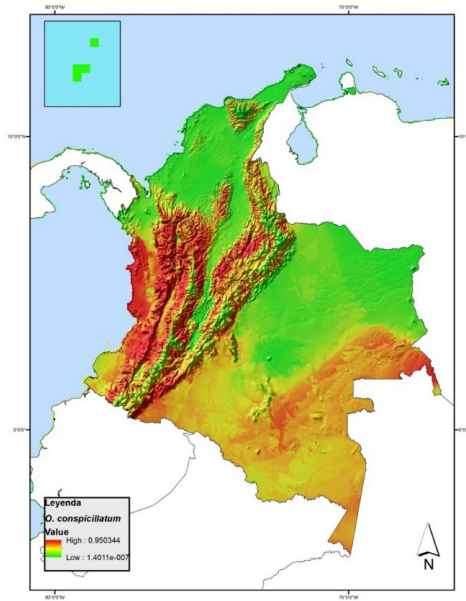


Figura 2. Distribución geográfica potencial de *O. conspicillatum* en la actualidad.

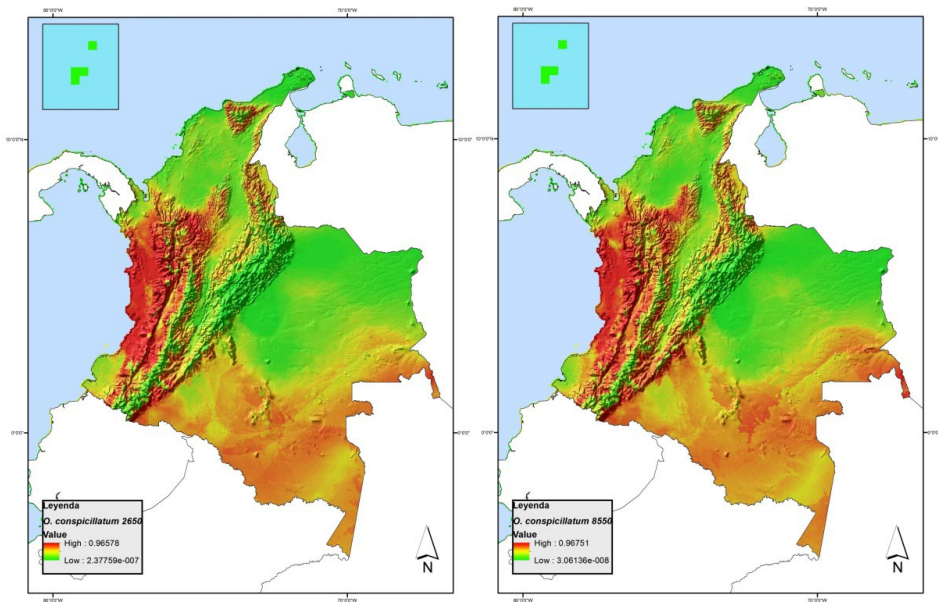


Figura 3. Distribución potencial de *O. conspicillatum* bajo un escenario A2 (izquierda) y B1 (derecha) en el año 2050.

Estos datos concuerdan con lo reportado por otros autores en diferentes grupos bioindicadores; se ha encontrado que varias especies de plantas disminuyen su área de ocupación bajo el mismo escenario de cambio climático, siendo la Cordillera Oriental la más afectada en cuanto a riqueza de especies y reducción del área de ocupación (TRIVIÑO, datos no publicados). Además, TRIVIÑO y colaboradores, en un trabajo no publicado, encontraron que la población de mariposas se ve mayormente afectada en la Cordillera Oriental bajo un escenario A2 en el año 2050, por consiguiente este grupo se va a ver limitado en esta zona del país.

Esta simulación permite establecer que el cambio climático tendrá una alta influencia en la distribución de *O. conspicillatum* en un futuro, debido a que esta especie va a estar ausente en gran parte del territorio nacional, afectando posiblemente el equilibrio ecológico por la pérdida del servicio ecosistémico prestado por la misma. Por otra parte, se proyecta que para el 2080 habrá un pequeño incremento en la probabilidad de ocurrencia de esta especie en el Caribe colombiano. No obstante, la presencia en esa zona puede estar limitada por factores de competencia de la especie *Digitonthophagus gazella*, especie introducida que habita en la región del Caribe (NORIEGA *et al.*, 2012).

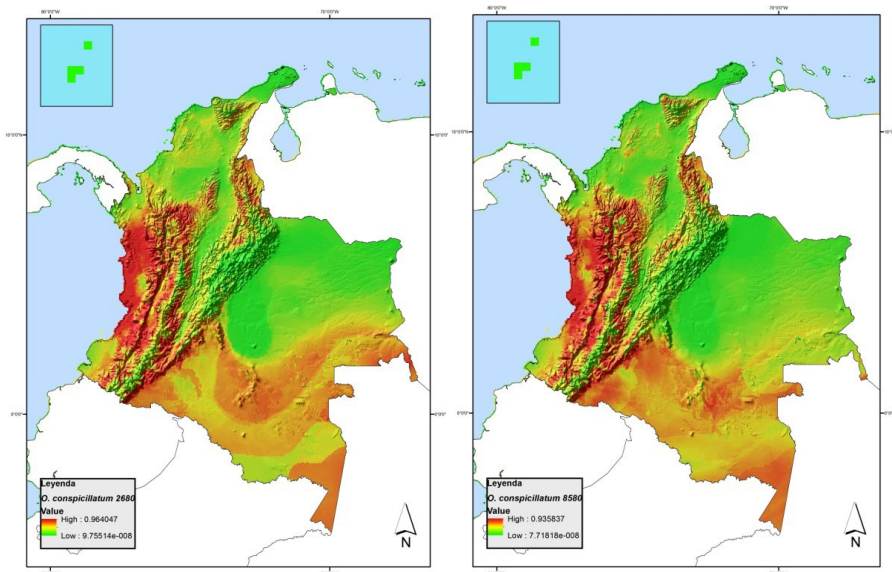


Figura 4. Distribución potencial de *O. conspicillatum* bajo un escenario A2 (izquierda) y B1 (derecha) en el año 2080.

Es alarmante el efecto de la ausencia de *O. conspicillatum* como especie generalista en cuanto a la pérdida de servicios ecosistémicos, debido a sus características ecológicas, puede suponerse resiliente a cualquier perturbación ambiental, lo que hace necesario investigaciones enfocadas a encontrar cuál es la tendencia de diversos organismos en respuesta al cambio climático. Estos resultados conllevan a proponer como estrategias de conservación a corto, mediano y largo plazo, el monitoreo de paisajes inmersos en la Cordillera Oriental y generar planes de manejo que permitan mitigar los efectos del cambio climático en esta cordillera.

Adicionalmente, determinar la distribución potencial de una especie indicadora como *O. conspicillatum* permitirá complementar los datos registrados en términos de variables ambientales a futuro y suministrar herramientas para determinar zonas de protección y manejo especial para afrontar los cambios en el clima por lo menos en un periodo de 60 años. Esta herramienta de predicción ayuda a generar nichos ecológicos fundamentales, los cuales pueden ser complementados con otros aspectos ecológicos y/o antrópicos como: relación con otras especies (mutualismo), modelación de cambios de usos del suelo, lo que podría modificar los arreglos de los elementos del paisaje donde se encuentra *O. conspicillatum* y así alterar posibles rutas de desplazamiento para responder a los cambios futuros.

En cuanto al área afectada en términos de ocurrencia de la especie en estudio con una probabilidad superior al 80% de registro en un lugar, en específico en Colombia, el área que cubriría sería cerca de 93.500 km² que corresponden al 8,2% del territorio nacional (Tabla 3, Figura 5). Pese a que este porcentaje es bajo, para una especie con restricciones fisiológicas de temperatura, humedad, altitud entre otras, la idoneidad del hábitat donde se puede registrar es alta, restringiéndose principalmente a las cordilleras y en pequeñas proporciones del Amazonas. Además, a nivel nacional el porcentaje de desaparición de la especie en el corte del 80% no pasa el 1%, lo que posiblemente explique la alta presencia de esta especie en gran parte del territorio nacional.

Tabla 3. Áreas de probabilidad superior al 80% de ocurrencia de *O. conspicillatum* en Colombia. Porcentajes del área de idoneidad de hábitat vs. área total de Colombia y área total de probabilidad actual. Todos los valores bajo los dos escenarios de cambio climático en los años 2050 y 2080.

Escenarios - año	Área Hábitat Idóneo (km ²)	Presencia vs. Total (%)	Presencia vs. Actual (%)
Actual	93470,35	8,2	
A2 2050	81161,85	7,1	86,8
A2 2080	78836,31	6,9	84,3
B1 2050	88450,01	7,8	94,6

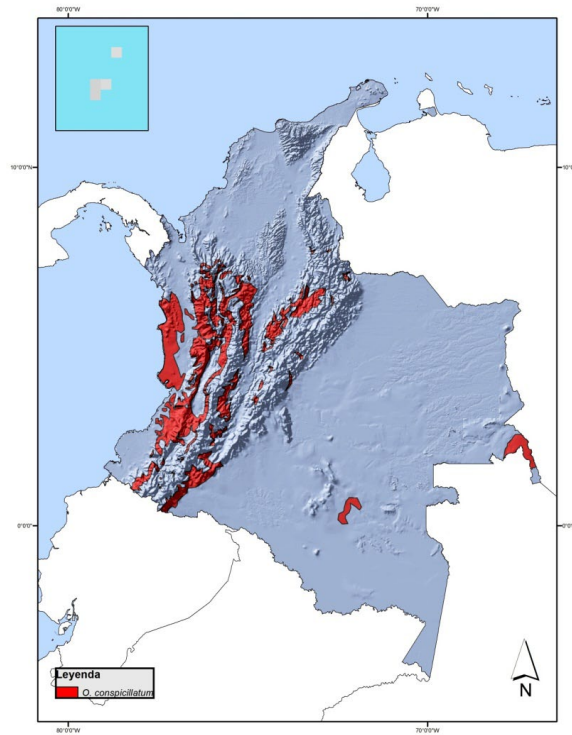


Figura 5. Distribución geográfica potencial de *O. conspicillatum* en la actualidad con una probabilidad de ocurrencia superior al 80%.

Al encontrar que los hábitats idóneos para la ocurrencia de *O. conspicillatum* son las tres cordilleras, se revisó puntualmente el área de pérdida o ganancia en cada cordillera y así se definió si hay o no ganancias en los diferentes escenarios durante el cambio climático en los periodos de 2050 y 2080. Se encontró que la Cordillera Oriental será la que presente mayor afectación sobre los hábitats donde hay mayor probabilidad de ocurrencia de este escarabajo, asimismo en un escenario A2 en 2050 disminuirá el área en 84% aproximadamente y en 2080 para este mismo escenario será una disminución del 52% (Tabla 4). Para el escenario B1 en esta misma cordillera, en 2050 se verá una pérdida de área en aproximadamente 60%, pero para el año 2080 esta será casi igual a la del escenario A2, con cerca del 52% del área perdida para este año (Figuras 6 y 7).

Tabla 4. Áreas de probabilidad superior al 80% de ocurrencia de *O. conspicillatum* en cada cordillera. Porcentajes del área de idoneidad de hábitat en cada cordillera bajo los dos escenarios de cambio climático en los años 2050 y 2080.

Escenarios - año	Cordillera Occidental		Cordillera Central		Cordillera Oriental	
	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Actual	2076,17		1785,37		1116,38	
A2 2050	2297,66	110,67	1051,12	58,87	179,20	16,05
A2 2080	1460,91	70,37	1122,98	62,90	531,26	47,59
B1 2050	2093,45	100,83	1093,90	61,27	438,42	39,27
B1 2080	1928,14	92,87	1036,33	58,05	537,12	48,11

En la Cordillera Occidental se observa que bajo los escenarios A2 y B1 en el año 2050 el área de ocurrencia superior al 80% se mantiene estable para el escenario menos traumático (B1), y para el escenario donde hay mayor afectación por el cambio climático (A2) se observa que hay mayor área de probabilidad de aparición de la especie. Este valor sugiere que el área perdida en la Cordillera Oriental, de alguna manera es compensada y existiría un reemplazamiento de área entre cordilleras. También, es importante aclarar que la zona de la Cordillera Occidental posee mayor área boscosa conservada después de la Amazonía, lo que soportaría unas condiciones ambientales que puedan albergar las poblaciones de esta especie.

La Cordillera Central tendrá una afectación en promedio del 40% de pérdida de área bajo los dos escenarios en los dos años propuestos para la modelación (Figuras 5, 6 y 7). En esta cordillera hay mayor explosión demográfica y desarrollo urbano, a esto se podría atribuir la pérdida de hábitat idóneo para esta especie y por ende para otras especies que dependan exclusivamente de un paisaje heterogéneo donde dominen las áreas de bosque, tal como lo sustenta LIN (2013) quien estimó que el 8% de las especies están en peligro debido al incremento en el desarrollo urbano, lo cual produce cambios en las comunidades naturales y deben enfrentarse a la pérdida de biodiversidad a nivel local.

Al revisar los posibles efectos del cambio climático en el tiempo, es claro que la fragmentación y transformación del hábitat reduce significativamente la dispersión y la conectividad funcional entre las poblaciones, alterando la conducta y composición de especies (SWENSON & FRANKLIN, 2000; VANDERGAST *et al.*, 2007). A escala del paisaje, NICHOLS *et al.* (2013) explican que los fragmentos operan como mecanismos de aislamiento de poblaciones así los parches estén relativamente cercanos dentro de la matriz del paisaje, haciendo que desaparezcan gremios funcionales, en fragmentos grandes y pequeños (KATTAN & NARANJO, 2008). Además, los parches de bosque resultantes presentan bordes abruptos dependiendo de la matriz circundante y la configuración de los elementos que los rodean (KATTAN & NARANJO, 2008), lo que posiblemente hace que las especies como *O. conspicillatum* tengan menor probabilidad de permanencia en el tiempo.

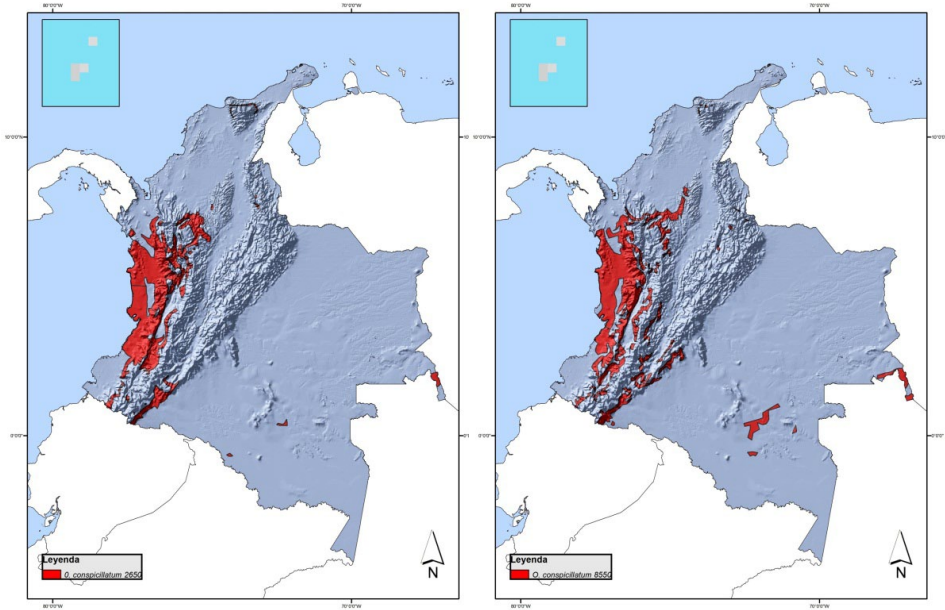


Figura 6. Distribución geográfica potencial de *O. conspicillatum* bajo un escenario de cambio climático A2 y B1 en el año 2050, con una probabilidad de ocurrencia superior al 80%.

Los resultados obtenidos en la distribución de *O. conspicillatum* bajo los diferentes escenarios de cambio climático, reflejan los procesos por los cuales han pasado las áreas de la zona oriental del país; hoy por hoy, un tercio de la superficie terrestre de esta parte del territorio está cubierta por zonas agrícolas (HOUGHTON, 1994; BROVKIN *et al.*, 2006). Es por esto que el cambio en el uso del suelo, especialmente en el incremento de la ganadería, ha contribuido entre el 15-20% a las emisiones de dióxido de carbono a nivel mundial (IPCC, 2000), a la fragmentación de hábitats y a la pérdida de la diversidad biológica (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005; DE CHAZAL & ROUNSEVELL, 2009). Es allí donde predecir la distribución de esta especie toma valor, debido a que su servicio en el ecosistema está fuertemente relacionado con la remoción de la materia orgánica (excremento bovino), y así poder disminuir las emisiones de dióxido de carbono (PENTILÄ *et al.*, 2013).

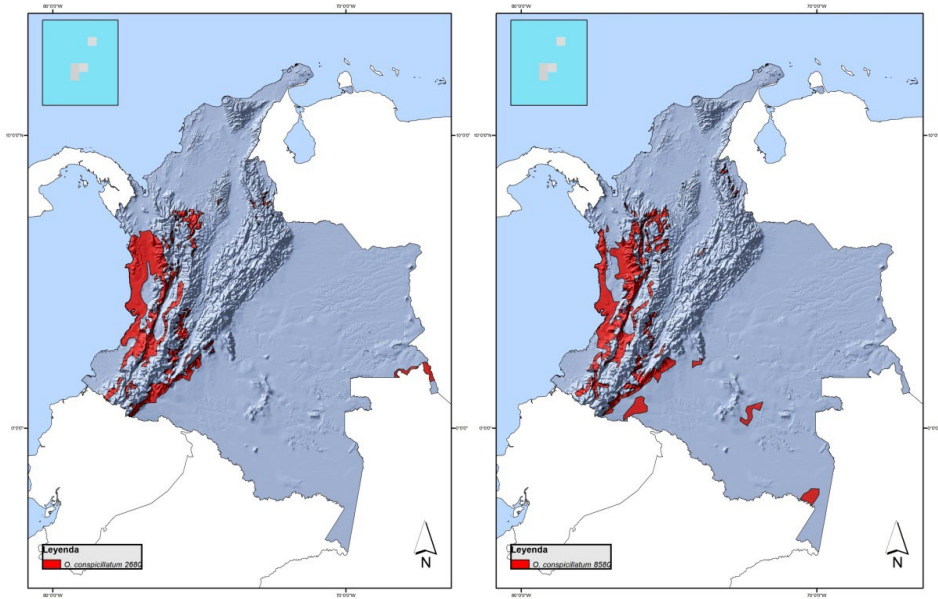


Figura 7. Distribución geográfica potencial de *O. conspicillatum* bajo un escenario de cambio climático A2 y B1 en el año 2080, con una probabilidad de ocurrencia superior al 80%.

A partir de estos resultados se pueden implementar planes de conservación de ecosistemas como el monitoreo de especies (caso *O. conspicillatum*), y demuestra las ventajas e importancia que tienen registros geográficos de las especies e incentiva su uso. Adicionalmente, se pueden lanzar hipótesis espaciales en diferentes escenarios a escala temporal y espacial, no obstante es importante mencionar que estos modelos tienen limitaciones que no permiten incorporar variables de interacciones bióticas, procesos históricos, historia natural, capacidad de dispersión y barreras biogeográficas de las especies.

CONCLUSIONES

Actualmente *O. conspicillatum* es una especie ampliamente distribuida en Colombia, sin embargo, para los años 2050 y 2080 bajo dos escenarios de cambio climático (A2 y B1) presentará una disminución considerable de su presencia a nivel nacional. Bajo cualquiera de los escenarios planteados (A2 y B1) en los dos años modelados (2050 y 2080), a nivel nacional existirán afectaciones en el área de uso de esta especie. No obstante, a escala de las cordilleras, la que más afectación tendrá por el cambio climático será la Cordillera Oriental que disminuirá en más del 80% su idoneidad de hábitat para *O. conspicillatum*.

Es inevitable que ocurra el nuevo cambio climático como consecuencia de diferentes factores, entre ellos las actividades antrópicas y que a su vez están afectando inminentemente la biodiversidad, exponiendo la reducción de las poblaciones de especies importantes y sensibles (*O. conspicillatum*) que proporcionan servicios ambientales a la sociedad. Además, las herramientas predictivas como MaxEnt no incorporan todos los factores que describan el establecimiento y distribución de las especies, sin embargo, son de gran aplicabilidad para los planes de conservación a futuro.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a WCS/Programa Colombia por permitir el acceso a la información de *O. conspicillatum*. Especial agradecimiento al doctor Carlos A. Cultid-Medina por suministrar información de esta especie y a la bióloga Patricia E. Jiménez-Pérez por su ayuda en la edición del documento.

REFERENCIAS

- AUSTIN, M.P., 2002.- Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecol. Model.*, 157: 101-118.
- BÖHNING, G.K., JETZ, W. & SCHAEFER, H.C., 2008.- Impact of climate change on migratory birds: community reassembly versus. *Glob. Ecol. Biogeogr.*, 17 (1): 38-49.
- BROVKIN, V., CLAUSSEN, M., DRIESSCHAERT, E., FICHEFET, T., KICKLIGHTER, D., LOUTRE, M.F & SOKOLOV, A., 2006.- Biogeophysical effects of historical land cover changes simulated by six Earth system models of intermediate complexity. *Climate Dynamics*, 26 (6): 587-600.
- BROWN, J.H., 1995.- *Macroecology*. University of Chicago Press, Chicago.
- CAF. 2014. Índice de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la región de América Latina y el Caribe. Caracas: CAF. Retrieved from <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/517>
- CONCHA-LOZADA, C.M, GALLEGO, M.C. & PARDO-LOCARNO, L.C., 2010.- Fragmentación de ecosistemas montanos e impactos estructurales y poblacionales sobre la comunidad de escarabajos coprófagos (Col. Scarabaeinae) en el alto río Cauca, Popayán, Colombia. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat.*, 14: 43-55.
- CULTID, A.C., MEDINA, C.A., MARTÍNEZ, B.G., ESCOBAR, A.F., CONSTANTINO, L.M. & BETANCUR, N., 2012.- *Escarabajos Coprófagos (Scarabaeinae) del Eje Cafetero: Guía para el estudio Ecológico*. WCS Cali, Colombia.
- DE CHAZAL, J. & ROUNSEVELL, M., 2009.- Land-use and climate change within assessments of biodiversity change: A review. *Glob. Environ. Chang.*, 19: 306-315.
- EDMONDS, W.D. & ZÍDEK, J., 2004.- Revision of the Neotropical dung beetle genus *Oxysternon* (Scarabaeidae: Scarabaeinae: Phanaeini). *Folia Heyrovskyana, Supplementum*, 11: 1-58.
- ESPARZA, A.C. & AMAT G., 2007.- Composición y riqueza de escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) en un gradiente altitudinal de selva húmeda tropical del Parque Nacional Natural Catatumbo – Barí (Norte de Santander), Colombia. *Actual Biol.*, 29: 181-192.
- GARCÍA, J.C. & PARDO, L.C., 2004.- Escarabajos Scarabaeinae saprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae) en un bosque muy húmedo premontano de los Andes Occidentales Colombianos. *Ecol. apl.*, 3 (2): 59-63.
- HALFFTER, G. & MATHEWS, G., 1966.- The Natural History of Dung Beetles of the Subfamily Scarabaeinae (Coleoptera, Scarabaeinae). *Fol. Entomol. Mex.*, 12-14: 1-312.
- HANSKI, I. & CAMBEFORT, Y., 1991.- *Dung beetle ecology*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- HOUGHTON, R.A., 1994.- The worldwide extent of land-use change. *Bioscience*, 44: 305-313.
- HUERTAS, B., ARIAS, J. & PARDO, L.C., 2003.- Estudio preliminar de los escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae) de la Serranía de Los Churumbelos, Cauca (Expedición Colombia 1998). *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat.*, 7: 215-218.
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE), 2007.- Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Geneva, Switzerland.
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE) - WORKING GROUP III, 2000.- *Escenario de emisiones: resumen para responsables de políticas*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Ginebra.
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE) - WORKING GROUP II, 2002.- *Cambio climático y biodiversidad*. IPCC, Geneva, Switzerland.
- KATTAN, G. & NARANJO, L.G., 2008.- *Regiones biodiversas, herramientas para la planificación de sistemas regionales de áreas protegidas*. WCS Colombia, Fundación EcoAndina, WWF Colombia.

- LIN, B., 2013.- Creating Sustainable Cities – What can we learn from each other? Urban land use change and human-environmental well-being. *Research Scientist*, 09 August 2013.
- MEDINA, C.A. & KATTAN, G., 1996.- Diversidad de coleópteros coprófagos (Scarabaeidae) en la Reserva Forestal de Escalere. *Cespedecia*, 21(68): 89-102.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005.- *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC.
- MORALES, N., 2012.- Modelos de distribución de especies: Software Maxent y sus aplicaciones en Conservación. *Rev. Cons. Amb.*, 2 (1): 1-3.
- NICHOLS, E., LARSEN, T., SPECTOR, S., DAVIS, A.L., ESCOBAR, F., DÁVILA, M. & VULINEC, K., 2007.- The Scarabainae Research Network. Global dung beetles response to tropical forest modification and fragmentation: A quantitative literature review and meta-analysis. *Biol. Cons.*, 137: 1-19.
- NICHOLS, E., URIARTE, M., BUNKER, D.E., FAVILA, M.E., SLADE, E.M., VULINEC, K. & SPECTOR, S.H., 2013.- Trait-dependent response of dung beetle populations to tropical forest conversion at local and regional scales. *Ecology*, 94 (1): 180-189.
- NORIEGA, J.A., MORENO, J., OTAVO, S. & CASTAÑO, E., 2012.- New departmental records for *Digitonthophagus gazella* (Coleoptera: Scarabaeidae) in Colombia. *Acta biol. Colomb.*, 17 (1): 201-204.
- PARMESAN, C. & YOHE, G., 2003.- A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421 (6918): 37-42.
- PENTILÄ, A., SLADE, E.M., SIMOJOKI, A., RIUTTA, T., MINKKINEN, K. & ROSLIN, T., 2013.- Quantifying Beetle-Mediated Effects on Gas Fluxes From Dung Pats. *PLoS ONE*, 8: 71454.
- PHILLIPS, S.J., ANDERSON, R.P. & SCHAPIRE, R.E., 2006.- Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Model.*, 190: 231-259.
- PHILLIPS, S. & DUDÍK, M., 2008.- Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31: 161-175.
- RASKIN, P., MONKS, F., RIBEIRO, T., VUUREN, D.V. & ZUREK, M., 2005.- Global Scenarios in Historical Perspective: 35-44. Cap. 2. (en) MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, *Ecosystems and Human Well-being: Scenarios*. Island Press, Washington, DC.
- ROCCHINI, D., LOBO, J.M., JIME, A., BACARO, G. & CHIARUCCI, A., 2011.- Accounting for uncertainty when mapping species distributions: the need for maps of ignorance. *Prog. in Phys. Geogr.*, 35: 211-226.
- SPECTOR S. 2006. Scarabaeinae dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) an invertebrate focal taxon for biodiversity research and conservation. *The Coleopterist Bulletin* 5: 71-83.
- SWENSON, J.J. & FRANKLIN, J., 2000.- The effects of future urban development on habitat fragmentation in the Santa Monica Mountains. *Landscape Ecol.*, 15: 713-730.
- VALDERRAMA, W., 2013.- Modelo de Nicho Ecológico mediante el método de máxima entropía (MaxEnt) para distribución de rabia silvestre en animales, transmitida por el murciélago *Desmodus rotundus* en Perú. *Boletín Epidemiológico SENASA*, Mes 10, semanas 40-44.
- VANDERGAST, A.G., BOHONAK, A.J., WEISSMAN, D.B. & FISHER, R.N., 2007.- Understanding the genetic effects of recent habitat fragmentation in the context of evolutionary history: phylogeography and landscape genetics of a southern California endemic Jerusalem cricket (Orthoptera: Stenopelmatidae: Stenopelmatidae). *Molecular Ecology*, 16(5): 977-992.
- VULINEC, K., 2000.- Dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae e), monkeys, and conservation in Amazonia. *Fla. Entomol.*, 83 (3): 229-241.
- WILSON, R.D., TRUEMAN, J.W.H., WILLIAMS, S.E. & YEATE, D.K., 2007.- Altitudinally restricted communities of Schizophoran flies in Queensland's Wet Tropics: vulnerability to climate change. *Biodivers. Conserv.*, 16 (11): 3163-3177.
- WILLIAMS, J.N., SEO, C., THORNE, J., NELSON, J.K., ERWIN, S., O'BRIEN, J.M. & SCHWARTZ, M.W., 2009.- Using species distribution models to predict new occurrences for rare plants. *Div. Dist.*, 15: 565-576.
- YUKIMOTO, S., ADACHI, Y., HOSAKA, M., SAKAMI, T., YOSHIMURA, H., HIRABARA, M., TANAKA, T.Y., SHINDO, E., TSUJINO, H., DEUSHI, M., MIZUTA, R., YABU, S., OBATA, A., NAKANO, H., KOSHIRO, T., OSE, T. & KITOH, A., 2012.- A new global climate model of Meteorological Research Institute: MRI-CGCM3-model description and basic performance. *J Meteorol Soc Jpn.*, 90A: 23-64.