

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

BEDIR GERMÁN MARTÍNEZ QUINTERO

UNIVERSIDAD DE MANIZALES

FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES, ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS

MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE

MANIZALES

2017

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

BEDIR GERMÁN MARTÍNEZ QUINTERO

DIRECTOR

MsC. ALEJANDRO ECHEVERRI RUBIO

**Trabajo de grado presentado para optar al título de magister en Desarrollo
Sostenible y Medio Ambiente**

UNIVERSIDAD DE MANIZALES

FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES, ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS

MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE

MANIZALES

2017

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

A WCS/Programa Colombia por permitir el acceso a la información de *O. conspicillatum*.

Especial agradecimiento al Biólogo, Especialista en SIG Fabián G. Gaviria–Ortiz por su valiosa ayuda en la elaboración de los modelos.

Al doctor Carlos A. Cultid–Medina por suministrar información de esta especie.

A la bióloga Patricia E. Jiménez–Pérez por su ayuda en la edición del manuscrito sometido.

A la bióloga Viviana A. Ramírez Castaño por sus constantes aportes al trabajo.

Además a todas las personas que me acompañaron en este proceso y a los profesores de la maestría que permitieron un mayor crecimiento intelectual.

A mi director de tesis, el profesor Alejandro Echeverri Rubio por sus constantes aportes y enseñanzas.

Al evaluador(a) por sus comentarios valiosos que aportaron al documento.

DEDICATORIA

¡A todas aquellas personas que estuvieron en aquel momento difícil!

TABLA DE CONTENIDO

DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE <i>Oxysternon conspicillatum</i> (Weber, 1801) EN DIFERENTES ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA	
DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE <i>Oxysternon conspicillatum</i> (Weber, 1801) EN DIFERENTES ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA	
AGRADECIMIENTOS	
DEDICATORIA	
1. RESUMEN	1
2. ABSTRACT	2
3. INTRODUCCIÓN	3
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
5. JUSTIFICACIÓN	8
6. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	10
7. HIPÓTESIS	10
8. OBJETIVOS	11
8.1 Objetivo general	11
8.2 Objetivos específicos.....	11
9. ANTECEDENTES	12
10. MARCO TEÓRICO	14
10.1 Cambio climático	14
10.2 Escenarios de cambio climático	18
10.3 Modelos como herramientas de predicción	20
10.4 MaxEnt	21
10.5 Escarabajos coprófagos	23
10.6 <i>Oxysternon conspicillatum</i> (Weber, 1901).....	25
11. MATERIALES Y MÉTODOS	26
11.1 Tipo de investigación.....	26
11.2 Criterios para seleccionar la especie.....	26
11.3 Recolección de la información.....	27

11.4	Determinación de la distribución potencial actual.....	30
11.5	Modelación de la distribución futura de <i>O. conspicillatum</i> bajo un escenario de cambio climático	31
12.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
13.	CONCLUSIONES	54
14.	RECOMENDACIONES	57
15.	BIBLIOGRAFÍA	58

1. RESUMEN

Los escenarios de cambio climático son herramientas útiles para la evaluación de impactos, iniciativas de adaptación y mitigación, y creación de modelos climáticos; éstos 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 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 diferentes escenarios (A2 y B1) de cambio climático en Colombia en 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, el eje cafetero tiene 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.

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

2. ABSTRACT

Climate change scenarios are useful tools for impact assessment, adaptation and mitigation initiatives, and climate modeling. These are projected over time to predict the unit of habitat in which the species are. In addition, species distribution models estimate the area of occupation of a bioindicator organism, such as the 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 different scenarios (A2 and B1) of climate change in Colombia in the years 2050 and 2080. For the development of the model, data was collected and / or deposited in different collections of the country. 427 records were obtained, distributed in 11 sources of information. The species was recorded in 18 departments, and the Eje Cafetero has greater availability of geographic data. It was found that the probability of occupation of *O. conspicillatum* in the Cordillera Oriental decreases drastically for these two years. This result agrees with what was observed in other bioindicator groups such as plants and butterflies.

Key words: occupying area, climate change, modelling, MaxEnt, bioindicator, *Oxysternon conspicillatum*.

3. INTRODUCCIÓN

Una de las problemáticas ambientales que ha generado mayor interés en este siglo reside en la pérdida de biodiversidad, producida principalmente por la pérdida y degradación del hábitat a causa de las actividades antrópicas. Estas actividades como la tala de bosques, la ganadería extensiva, el drenaje (secado) y contaminación de fuentes hídricas tanto en ecosistemas acuáticos continentales como en ecosistemas marinos (Primack *et al.*, 2001). La suma de todos estos factores ha potencializado la extinción de poblaciones de fauna y flora, sin que se hayan podido evaluar la magnitud de estos impactos sobre el papel que juegan estos organismos en los sistemas biológicos (Primack *et al.*, 2001).

Colombia es uno de los países más mega-diversos del mundo, 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). La disminución en la biodiversidad y el cambio climático están estrechamente ligados, evidenciados en un territorio afectado principalmente en su oferta de servicios ecosistémicos. Por otra parte la respuesta biótica al cambio climático ha sido estudiada sobre varios niveles de organización, desde fenología de organismos hasta rangos de poblaciones y ensamblajes de comunidades, considerando al cambio climático como factor importante en la extinción de especies (Parmesan y Yohe 2003; Wilson *et al.*, 2007).

Estos estudios se limitan a países del hemisferio norte y por lo general son a largo plazo o monitoreos, por lo cual no existen datos en el planeta que permitan predecir las respuestas de los organismos, igualmente son escasas las investigaciones fundamentadas en la distribución actual de mismos al cambio climático (Wilson *et al.*, 2007). Por ende, conocer la distribución de las especies y

sus causas, proporciona argumentos sólidos en la apuesta por la conservación de la biodiversidad (Brown, 1995).

La correlación entre los patrones de distribución y los factores ambientales utilizando grupos bioindicadores, se ha establecido como una importante herramienta en las propuestas de conservación y biodiversidad dentro de escenarios de cambio climático, apuntalando la toma de decisiones sobre estrategias a largo plazo. Particularmente, los escarabajos coprófagos (Scarabaeinae), son un grupo de insectos con características ecológicas que los hacen importantes como bioindicadores (Halffter y Matthews, 1966; Hanski y Cambefort, 1991, Vulinec, 2000; Cultid *et al.*, 2012), entre ellas, son sensibles a la perturbación debido a que son afectados directamente por los cambios en las variables micro climáticas, 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 rol que juegan los escarabajos coprófagos va más allá de la bioindicación; contribuyen en diferentes servicios ecosistémicos tales como reciclaje de nutrientes, control de plagas, aireación del suelo, dispersión secundaria de semillas, entre otros (Nichols *et al.*, 2007), sin embargo 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). Es así como el efecto del cambio climático sobre los diferentes ecosistemas y organismos apenas está siendo estudiado debido a la falencia en información de línea base.

Para establecer efecto del cambio climático se han desarrollado diferentes herramientas y una de las más usadas en los últimos tiempos son las de carácter predictivo. Esta herramienta predictiva permite sugerir 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. Estos escenarios son útiles para evaluar cómo contribuyen 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).

Hoy por hoy, la implementación de modelos para pronosticar la respuesta de las especies, ecosistemas y paisajes, son una tendencia en estudios de ecología y conservación. Dentro de estos modelos se encuentra el software gratuito MaxEnt (Método de Máxima Entropía), utilizado para realizar predicciones o inferencias a partir de información incompleta (Valderrama, 2013). Este modelo de distribución de especies básicamente es una caracterización de las condiciones ambientales indicadas para estas especies “idoneidad de hábitat”, y permite identificar donde están espacialmente ubicados los sitios aptos para el desarrollo de la especie en cuestión; por lo cual este método puede ser utilizado en numerosas áreas dentro de abundantes problemáticas, entre sus variadas aplicaciones se encuentran la restauración ecológica, 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).

Después de evidenciar que el cambio climático tiene una afectación sobre la diversidad y que grupos bioindicadores como los escarabajos coprófagos son excelente evaluadores de la salud de un ecosistema, este trabajo investigativo tiene por objetivo 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.

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En términos generales, los modelos de distribución de especies constituyen una información que esquematiza relaciones entre las variables ambientales y las especies, que serían dificultosas de interpretar utilizando otros medios. La modelación de distribución de especies es una herramienta que está apenas en desarrollo, que aún tiene varios inconvenientes desde su metodología, especialmente con los factores espaciales, temporales y bióticos. Particularmente, la capacidad de construir modelos que se acerquen más a la realidad está limitada por la falta de información ecológica de las especies y porque los registros espacio temporales son limitados.

A pesar de estas limitaciones, varios estudios han expuesto su utilidad para predecir la presencia de especies aún no descritas o para modelar la distribución de especies tanto en el pasado como en el futuro. Estos modelos deben considerarse, por tanto, como un acercamiento útil y mejorable, y como una herramienta aplicable a otros problemas actuales como, por ejemplo, la previsión de los potenciales impactos del cambio climático en la distribución de las especies (Mateo *et al.*, 2012). Por esta razón, la modelación de idoneidad de hábitat constituye una buena alternativa dado que a partir de parámetros climáticos, geológicos y de vegetación, se extrapolan con la ocurrencia conocida de las especies, con el objetivo de identificar el hábitat donde una especie no ha sido registrada pero es probable que esto ocurra.

El uso de especies que son potenciales indicadoras de biodiversidad es una herramienta fundamental para la toma de decisiones en cuanto a las estrategias que deben implementarse a futuro para garantizar la mínima pérdida de servicios ecosistémicos ofrecidos por estas comunidades biológicas. Es por esto que es necesario empezar a generar información de cómo posiblemente respondan este

tipo de grupos biológicos a largo plazo en diferentes condiciones de cambio climático. En este punto, se puede evidenciar que se carece de información de distribución de especies potencialmente indicadoras como *O. conspicillatum* que son relativamente comunes y de amplia distribución geográfica.

5. JUSTIFICACIÓN

Conocer la distribución de las especies y sus causas (Brown, 1995), apoya con argumentos más coherentes las estrategias de conservación de la biodiversidad. Evaluar los patrones de distribución de grupos biológicos potencialmente indicadores con respecto a factores ambientales, son una herramienta muy útil en trabajos de conservación y biodiversidad dentro de los diferentes escenarios de cambio climático propuestos (IPCC, 2000); todo esto puede aportar a la toma de decisiones sobre el manejo que se le debe dar a la biodiversidad a mediano y largo plazo.

Puntualmente, la medición de la diversidad es necesaria y urgente debido a la rápida pérdida de los hábitats producto del crecimiento desaforado tanto poblacional como económico de la humanidad (Etter y Wyngaarden, 2000, Laurance y Peres, 2006). Los escarabajos coprófagos se destacan entre los insectos tropicales como excelentes evaluadores de la diversidad, incluyendo estudios donde se investiga la dinámica temporal y espacial de las comunidades, y los efectos de perturbación sobre su diversidad (Vulinec 2000, Nichols *et al.*, 2007, Cultid *et al.*, 2012, Nichols *et al.*, 2013).

Poder determinar la distribución de los escarabajos coprófagos es muy importante para su conservación (Cultid *et al.*, 2012), por esta razón, situar en un mapa los recursos biológicos resulta ser una herramienta indispensable para la identificación de áreas de concentración de biodiversidad (García-Barros *et al.*, 2004). Dentro de este grupo de insectos, se encuentra *O. conspicillatum* que es una especie que se caracteriza por ser ecológicamente importante y particularmente interesante para este tipo de trabajos donde se involucra la conservación. Algunas características que generan esta importancia de la especie mencionada radica en la sensibilidad ante la perturbación, donde se afecta

directamente por cambios de humedad, temperatura o características propias del suelo; esta particularidad hace que esta especie sea útil como indicador de la salud de un ecosistema, de tal manera que son tenidos en cuenta en la ejecución de estudios de diversidad a corto, mediano y largo plazo (Estrada y Coates-Estrada 2002)

6. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es la distribución potencial de *O. conspicillatum* en diferentes escenarios de cambio climático en Colombia?

7. HIPÓTESIS

La distribución potencial de *O. conspicillatum* está relacionada directamente con el comportamiento de las variables ambientales en los diferentes escenarios de cambio climático en un área determinada.

8. OBJETIVOS

8.1 Objetivo general

Determinar la distribución potencial de *O. conspicillatum* en dos diferentes escenarios de cambio climático en Colombia

8.2 Objetivos específicos

- Comparar la distribución potencial actual de *O. conspicillatum* en Colombia, con los años 2050 y 2080 en dos escenarios de cambio climático.
- Determinar si los efectos del cambio climático en Colombia pueden afectar la distribución y el área de ocupación de *O. conspicillatum* en los años 2050 y 2080 en dos escenarios de cambio climático
- Generar mapas de distribución potencial actual y para cada escenario climático en los años 2050 y 2080.

9. ANTECEDENTES

A escala global, los escarabajos coprófagos (COLEOPTERA: Scarabaeidae: Scarabaeinae) son uno de los grupos de insectos más ampliamente estudiados como indicadores ecológicos de perturbación antrópica (Spector, 2006, Nichols *et al.*, 2007). En Colombia, junto con las hormigas y mariposas, los escarabajos coprófagos son un grupo focal de invertebrados para el estudio del impacto de la actividad humana sobre la biodiversidad de ecosistemas terrestres (Villarreal *et al.*, 2004). Actualmente, se reconocen a nivel mundial alrededor de 6000 especies y 27 géneros de Scarabaeinae (ScarabaNet, 2016) y se estima que en Colombia pueden existir cerca de 400 especies y 38 géneros (Cultid *et al.*, 2012). En particular, Colombia es uno de los países con una de las historias más largas en el estudio de los escarabajos coprófagos neotropicales (Cultid *et al.*, 2014).

La importancia de estos escarabajos para la biología de la conservación, se debe principalmente a cinco características generales (Spector, 2006, Nichols *et al.*, 2007): 1) son altamente sensibles a la fragmentación y transformación de sus hábitats, lo cual se asocia a la dependencia casi exclusiva (de una gran mayoría de las especies) al excremento de vertebrados, recurso que usan como alimento y sustrato de nidificación; 2) al usar dicho recurso, estos escarabajos participan en varios procesos ecológicos a nivel de suelo, como la remoción y relocalización mecánica de la materia orgánica, aireación del suelo, dispersión de semillas y reciclaje de nutrientes; 3) son altamente sensibles al deterioro de las condiciones del suelos (donde construyen sus nidos), lo cual puede afectar drásticamente su ciclo reproductivo y en definitiva, a la persistencia de las poblaciones; 4) tienen una taxonomía accesible y 5) el muestreo de estos insectos es económico, estándar y de fácil implementación (Villarreal *et al.*, 2004, Cultid *et al.*, 2012). Por lo tanto, el estudio ecológico de los escarabajos coprófagos puede otorgar información útil para investigaciones sobre impacto ambiental, diversidad

funcional, monitoreo de procesos de restauración ecológica (Escobar, 2004, Arellano *et al.*, 2008) y para evaluar el efecto del cambio climático.

En el Neotrópico, gran parte de las especies de escarabajos coprófagos están restringidas a parches grandes de bosque (>100 ha) y con niveles bajo o intermedios de perturbación antrópica (Nichols *et al.*, 2007, Escobar *et al.*, 2007). Por esta razón, el estudio y monitoreo de las especies de escarabajos coprófagos a nivel poblacional permiten evaluar de forma robusta cómo cambia el grado de conectividad funcional en paisajes fragmentados o afectados por el cambio climático.

Por ejemplo, se ha documentado que las especies pueden moverse a través del paisaje usando otros elementos de paisaje como cercas vivas y parches de vegetación secundaria (Arellano *et al.*, 2008) o a través de la matriz productiva cuando los parches de bosque no están separados por más de 500m (Cultid *et al.*, 2015). Por otro lado, algunas especies de escarabajos coprófagos pueden requerir más de 80 ha de hábitat para mantener poblaciones viables (Larsen *et al.*, 2008, Cultid *et al.*, 2015), áreas similares o mayores a las que requieren algunos mamíferos pequeño o medianos (no voladores). De esta forma y en función de sus características ecológicas, algunas especies de escarabajos coprófagos como *O. conspicillatum* podrían ser "sondas ambientales" para la evaluación de los impactos generados por el cambio climático.

Adicionalmente, la capacidad de vislumbrar patrones biogeográficos modernos de esta especie también depende de la comprensión del efecto del cambio climático y el impacto humano, específicamente de cómo estos fenómenos afectan ecosistemas naturales, modificando la distribución espacial de especies, comunidades y estructuras de las poblaciones a través de grandes áreas geográficas (Lomolino y Perault, 2004).

10.MARCO TEÓRICO

10.1 Cambio climático

El calentamiento global es tal vez la amenaza más directa hacia la biodiversidad del planeta, el cual puede afectar potencialmente áreas que están alejadas de la presencia antrópica (Malcom *et al.*, 2006). Históricamente, 10000 años después de la última glaciación se han presentado variaciones climáticas en diferentes niveles, tanto local como regional; a pesar de esto, el clima global continuaba relativamente estable a lo largo del tiempo. Desde la última glaciación el aumento de la temperatura fue importante, sin embargo, en los últimos 100 años el incremento ha sido 10 veces menor de lo que se espera que se evidencie en un futuro (Ning *et al.*, 2003).

Este incremento constante en la temperatura puede asociarse con otros aspectos de mayor complejidad como la frecuencia e intensidad de tormentas y los patrones de precipitación que posiblemente tendrán efectos directos sobre los ecosistemas y las actividades humanas (Quiggin, 2009). La velocidad con la que el cambio climático ha estado transformando los ecosistemas tanto espacial como temporalmente ha sido evidentemente acelerada; estas transformaciones han ocasionado cambios en la organización de los ecosistemas continentales y modificaciones en los ciclos naturales (CEICC, 2008)

Además de la temperatura, el aumento constante en las concentraciones de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO₂) y el metano (CH₄) han evidenciado el cambio abrupto en la composición de la atmósfera y en el clima de la Tierra (precipitaciones, temperatura, nivel del mar, capas de hielo marino, y en algunas zonas se han generado fenómenos extremos de olas de calor, fuertes precipitaciones y sequías) (IPCC 2002). El grupo Intergubernamental de Expertos

sobre el Cambio Climático (IPCC) plantea las posibles afectaciones sobre la biodiversidad así: la concentración de CO₂ en la atmósfera influencia directamente el nivel y eficiencia de la fotosíntesis y al uso de las aguas, lo que posiblemente afecte la productividad de las plantas y a otros procesos de los ecosistemas.

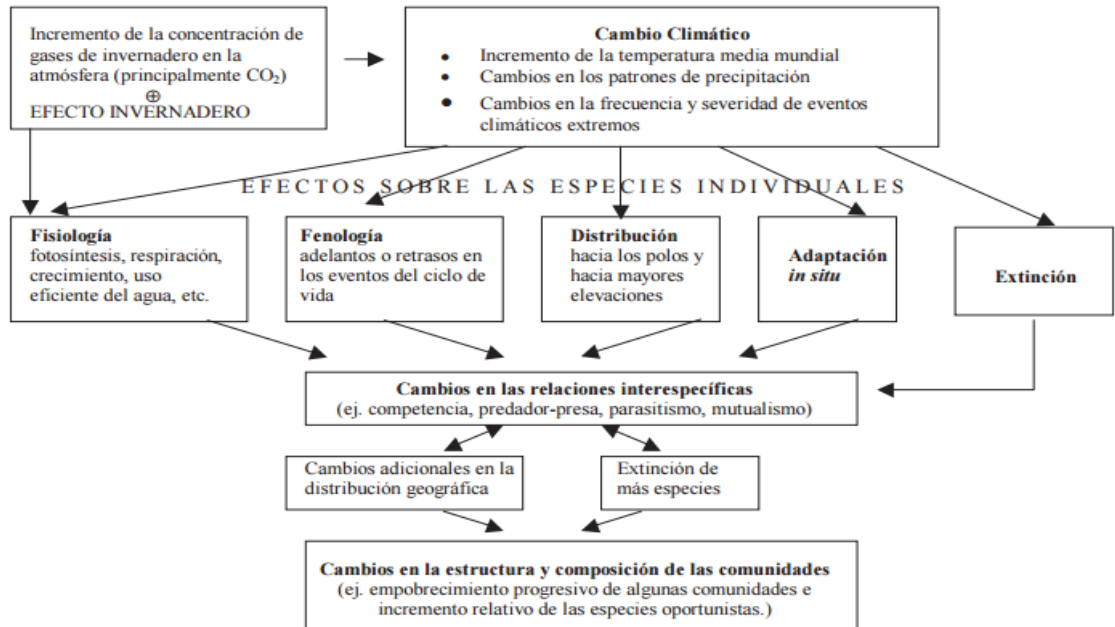
Los factores climáticos también afectan a la productividad vegetal y animal, así como a otras funciones del ecosistema (IPCC 2002). Todos los servicios ofrecidos por los ecosistemas proveen beneficios básicos y esenciales para la supervivencia humana; algunas comunidades tanto indígenas como rurales dependen de muchos de estos servicios para el desarrollo propio de su vida. Entre estos bienes y servicios se encuentran los alimentos, las medicinas, el agua y aire limpio, combustibles y energía, la polinización, la dispersión de semillas, las plagas y el control de enfermedades, la formación y enriquecimiento de suelos, la biodiversidad, y los valores culturales, espirituales y estéticos entre otros; los cuales están siendo afectados claramente por los efectos del cambio climático (IPCC 2002).

Aunque no es clara la magnitud de los probables cambios provocados por el efecto invernadero, en especial a escalas regionales, pero si es claro que existe un potencial de impacto sobre la flora y fauna en todo el mundo (Bennett 1999). Mendoza y colaboradores (2014): sugieren que *“Durante los últimos años se han observado alteraciones importantes con profundas consecuencias para el ambiente, entre las que destacan pérdida de la cubierta de hielo en los polos, incremento en el nivel del mar, cambios en la productividad de los océanos y en la disponibilidad de recursos, alteración en el suministro y la calidad del agua, disrupción de los patrones climáticos estacionales y aumento en la intensidad de las tormentas (Herr y Galland, 2009). Por otra parte, el cambio climático también ha dado origen a la acidificación de los océanos (Orr et al., 2005; Zeebe et al., 2008; Guinotte y Fabry, 2008), la alteración de los patrones de circulación, cambios en la distribución espacial de las especies, cambios en la estructura de las comunidades y cambios fenológicos (Nye, 2010; Hannah, 2010).”*

Algunas revisiones de información científica y meta análisis indican que actualmente existen evidencias claras de los efectos del cambio climático sobre especies animales y vegetales y por ende sobre los ecosistemas (Hughes, 2000; Parmesan y Yohe 2003). Estos efectos se han dividido en cuatro categorías según Hughes (2000), donde se evidencian los aspectos fisiológicos, de distribución geográfica, fenológicos y de adaptación (Figura 1). González y colaboradores (2003) sugieren que *“Vías potenciales del cambio en las comunidades y de la extinción de especies por efecto del incremento de gases de invernadero en la atmósfera. El aumento en la concentración de CO2 en la atmósfera afecta algunos procesos fisiológicos de manera directa, y de manera indirecta a través de los efectos del cambio climático. La extinción de especies también puede presentarse como resultado directo del cambio climático o como consecuencia secundaria por los efectos del cambio climático sobre las relaciones inter- específicas.”*

Actualmente, se han analizado perfiles climáticos de especies de plantas y animales, los cuales al ser comparados con condiciones futuras bajo diversos escenarios, insinúan que las distribuciones geográficas actuales de muchos grupos o especies no serán las adecuadas climáticamente en un tiempo relativamente corto (Hannah *et al.* 2005, Wilson *et al.* 2007). De cumplirse con los pronósticos, la persistencia de las especies dependerá exclusivamente de la capacidad que tengan para adaptarse a las nuevas circunstancias climáticas, o a su capacidad de cambiar su distribución geográfica en busca de climas “adecuados” (Bennet 1999). Los principales grupos que se verían afectados incluyen taxones geográficamente restringidos, poblaciones vecinas o separadas, dispersores restringidos, especies especializadas, especies genéticamente empobrecidas y especies de zona montañosa (Peters y Darling 1985).

Figura 1: Efectos del cambio climático sobre las especies (Fuente: Adaptación de Hughes, 2000)



Se ha propuesto que los corredores vegetales juegan un papel indispensable en la conservación de la biodiversidad en respuesta a cambios climáticos, en tres sentidos (Noss 1993, Bennett 1999): i) en algunas situaciones los enlaces corredores pueden ayudar a que especies de plantas y animales amplíen su ámbito geográfico para encontrar condiciones climáticas favorables; ii) Los corredores tienen un papel potencialmente importante al mantener la continuidad de las poblaciones de especies en toda su área geográfica actual, con lo que sustentan la capacidad de las especies para permanecer dentro de las áreas donde las condiciones climáticas pueden seguir siendo propicias. iii) Los corredores también permiten conectar reservas existentes y áreas protegidas con el objetivo de potencializar la resiliencia dentro de estas redes de conservación.

Cabe destacar que los corredores biológicos a través de gradientes altitudinales favorecen los cambios efectivos de las áreas afectadas por el cambio climático, debido a que el movimiento geográfico para encontrar cambios climáticos en alturas es menor que en elevaciones uniformes (Bennett 1999). No obstante, en estos corredores donde se mantienen hábitats continuos grandes o que mantienen la continuidad a lo largo de gradientes ambientales, es probable que sean los más ricos en biodiversidad y servicios ecosistémicos. Además, es posible que las poblaciones más grandes y que tienen áreas ambientalmente diversas puedan tener mayor capacidad demográfica y genética para responder a condiciones de cambio (Bennett 1999).

10.2 Escenarios de cambio climático

Para evaluar el cambio climático se han desarrollado herramientas señaladas como escenarios de cambio, basados en las emisiones de gases de efecto invernadero a largo plazo. Estos escenarios son imágenes opcionales sobre los acontecimientos futuros que se constituyen como un instrumento apropiado para determinar la influencia de las emisiones futuras. Los escenarios son útiles para la generación de modelos del clima, para la evaluación de los potenciales impactos y para las propuestas de conservación, adaptación y mitigación a futuro (IPCC 2000).

Para describir las relaciones entre las emisiones y su evolución, el IPCC (2000) ha generado cuatro líneas evolutivas, o familias de escenarios A1, A2, B1, B2 (Tabla 1), donde cada una representa un patrón dentro de un contexto social, demográfico, tecnológico, económico y ambiental; los cuales están estrechamente relacionados con la fuerzas determinantes demográficas, económicas y

tecnológicas de las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la actividad antrópica.

Tabla 1. Descripción de las líneas evolutivas familias de los escenarios de cambio climático (Fuente: IPCC 2000).

A1	Presenta un mundo futuro con crecimiento económico muy rápido; la población mundial llega a su punto máximo a mediados del siglo y decrece desde entonces. Se asume una rápida introducción de tecnología nueva y más eficiente.
A2	Supone un mundo muy heterogéneo, con la población global en constante aumento y el crecimiento económico orientado regionalmente; éste es más lento y fragmentado que en las otras líneas evolutivas.
B1	Muestra un mundo convergente con los mismos patrones de población que la familia A1, pero con cambios rápidos en las estructuras económicas hacia una economía de servicios e información. Esto supone una reducción en la intensidad del uso de materiales, y la introducción de tecnologías limpias y eficientes en el uso de recursos.
B2	Plantea un mundo en donde el énfasis se concentra en soluciones locales para la sustentabilidad económica, social y ambiental. Asume una población en continuo crecimiento (menor al de la familia A2) y un nivel de desarrollo económico intermedio.

10.3 Modelos como herramientas de predicción

La herramienta de modelos para predecir el comportamiento de las especies en los ecosistemas y paisajes, son una de las tendencias en estudios ecológicos y de conservación, por medio de representaciones de los ecosistemas, la presencia o ausencia de especies y aquellos parámetros que influyen en la distribución de las mismas. Un modelo es una representación abstracta de un sistema o proceso que se puede determinar de diferentes maneras (Turner *et al.* 2001). Estos modelos se caracterizan por permitir hacer predicciones, no obstante, no se puede perder de vista que son una herramienta y no un fin.

Los modelos de distribución se generan a partir de dos tipos de información: los datos de presencia o ausencia de las especies y/o ecosistemas y las variables que precisarán el espacio ambiental donde se distribuirá en el espacio geográfico. Los modelos establecerán una relación entre la ubicación geográfica de la presencia o ausencia con los valores de las variables donde se ubican estos puntos.

Normalmente, los modelos se usan para predecir la respuesta de una especie en el medio ambiente, donde se plantean dos tipos de predicción que se pueden desprender de ellos. Primero es la definición de los patrones observados tanto en la presencia como en la abundancia de la especie en escala temporal y espacial, basados en el momento en que fueron registrados los datos originalmente (actualidad): segundo, se predice la respuesta de la especie en condiciones espacio temporales no incorporados por los datos usados para crear el modelo (Morrison *et al.* 1992).

Debido a que los sistemas bióticos son dinámicos en el tiempo y espacio, estos modelos deben ser validados por lo que gran parte de los modelos son específicos para áreas determinadas y periodos de tiempo. Sin embargo, a pesar de lo específicos que puedan ser los modelos, estos son una herramienta útil para el establecimiento de programas y áreas de conservación (Retamosa 1999).

10.4 MaxEnt

MaxEnt (método de máxima entropía), es un método que sirve para realizar predicciones o inferencias a partir de información que no está completa. Este método nace desde la mecánica estadística, donde sigue siendo un área activa de investigación, basada en la máxima entropía y modelos bayesianos, donde se exploran las aplicaciones en diversas áreas (Valderrama, 2013).

La idea principal de este método es estimar una probabilidad del objetivo de distribución por medio de la exploración de la distribución de la probabilidad de entropía máxima (que está más cerca o más disperso de lo uniforme), supeditado a un conjunto de limitaciones para representar información incompleta sobre el modelo de distribución. Normalmente los datos con los que se cuentan sobre la distribución se definen como un conjunto de valores reales - variables, llamados "características", y las limitaciones están fundamentadas en la coincidencia entre el valor esperado de cada función con el promedio empírico (valor medio de un conjunto de puntos de muestra tomado de la distribución de destino).

Al implementar este método para modelar la distribución de especies, los píxeles del área de estudio constituyen el espacio donde se precisa la distribución de probabilidad MaxEnt; aquellos píxeles donde se detectan especies conocidas con datos de presencia constituyen los puntos de muestreo. A esto lo denominamos como las características propias de estos píxeles, como las variables climáticas, altitud, tipo de cobertura vegetal u otras variables ambientales (Valderrama, 2013).

A la hora de generar los modelos con MaxEnt es conveniente tener en cuenta las ventajas como: solo se necesitan datos de presencia, sumado a la información ambiental del área, además, puede aplicarse tanto para datos continuos como categóricos y pueden interactuar con diferentes variables. Además, con este método se han desarrollado algoritmos determinísticos eficientes que soportan

una convergencia recomendable en la distribución de la probabilidad (máxima entropía).

Debido a la estrecha relación entre la distribución de probabilidad y la distribución de las localidades de ocurrencia, se puede omitir a la fragilidad de diseños de muestras. También, los valores resultantes son datos continuos, los cuales permiten hacer distinciones finas entre diferentes áreas y su idoneidad. No menos importante, los modelos generados con MaxEnt tienen un enfoque generativo, que son una ventaja inherente cuando se cuenta con limitada información (Phillips *et al.*, 2006).

El valor agregado en este método es que ofrece mejores resultados que los reportados en otros programas, especialmente para conjuntos de datos pequeños (Elith *et al.*, 2006). Esta técnica proporciona predicciones e inferencias a partir de información incompleta y está basada en el principio de la estimación de la distribución de la probabilidad de máxima entropía (la más alejada o el más próximo a la distribución uniforme). Además, con los resultados ofrecidos por MaxEnt se pueden establecer zonas de priorización para la conservación y restauración ecológica y modelaciones de efectos del cambio climático sobre los ecosistemas, entre otros.

Los resultados obtenidos en MaxEnt combinados con herramientas de SIG proporcionan mapas de distribución actual y potencial de especies de interés particular, lo que permite para evaluar el estado de conservación de las especies y posiblemente establecer los potenciales sitios donde se puedan desarrollar las iniciativas de conservación de la diversidad biológica. Así mismo, se pueden predecir los cambios en la distribución de las especies con respecto a los cambios en las variables ambientales de temperatura y humedad. Particularmente, con este método se han realizado estudios para evaluar la potencial distribución de enfermedades tropicales como la Leishmaniosis, todo esto basado en los

potenciales cambios que se puedan presentar en el clima (González *et al.*, 2010; González *et al.*, 2014).

10.5 Escarabajos coprófagos

Estos insectos hacen parte del megadiverso orden de los coleópteros, agrupados en la familia Scarabaeidae y en la subfamilia Scarabaeinae. Están estrechamente relacionados con el excremento, principalmente de vertebrados, aunque también existe relación con carroña, frutas y algunas vegetales en descomposición (Morón 2004, Hanski y Cambefort 1991). Este grupo se puede encontrar en todo tipo de hábitats, generalmente son especies generalistas, que se encuentran en diferentes coberturas vegetales, sin embargo, también existen especies más restringidas a ciertas coberturas, debido a sus características fisiológicas a escalas micro climáticas (baja radiación y temperatura).

Varias características ecológicas hacen importante a este grupo de insectos (Halffter y Matthews 1966, Hanski y Cambefort 1991, Vulinec 2000, Cultid *et al.*, 2012); los cuales son sensibles a la perturbación en sus ambientes debido a que son afectados directamente en cuanto a las alteraciones en las variables micro-climáticas (temperatura, humedad o características del suelo. Estas condiciones hacen a los escarabajos coprófagos un excelente grupo indicador de salud de los ecosistemas (Vulinec, 2000); pero es fundamental tener en cuenta que el papel de los coprófagos va más allá de un indicador. Este grupo contribuye en diferentes servicios ecosistémicos donde se incluyen el reciclaje de nutrientes, aireación del suelo, dispersión secundaria de semillas, entre otros que hacen que estos sean fundamentales en los procesos de reforestación y restauración (Vulinec, 2000).

Particularmente, este grupo de insectos se ha adaptado a condiciones de mayor temperatura, lo cual ha determinado la declinación de la riqueza con respecto al aumento en la altitud (Lobo y Halffter, 2000). No obstante, los patrones tanto altitudinales como latitudinales requieren del factor histórico que permita comprender modelos biogeográficos contemporáneos, los cuales también dependen del impacto antrópico, y especialmente de cómo este impacto incide en los ecosistemas naturales, la distribución de especies, de comunidades y de la estructura de las poblaciones geográficas (Lomolino y Perault, 2004).

Dentro de la región Neotropical, las actividades que afectan directamente las poblaciones de coprófagos son la fragmentación y transformación del paisaje (Etter y Wyngaarden, 2000). Puntualmente, en la zona montañosa una de las actividades es la creación de monocultivos y zonas de pastoreo, lo cual homogeniza el paisaje (Kappelle y Brown, 2001). Durante estos procesos de transformación, las zonas donde hay mayor exposición del sol presentan condiciones ambientales más severas para las poblaciones de escarabajos.

Además en estas zonas, la cantidad de recurso (ej. excremento de ganado) es mayor, lo que ha facilitado la modificación de la estructura de los ensamblajes de coprófagos a diferentes escalas (Halffter, 1991). También, es evidente la preferencia de algunas especies por algunos hábitats tanto naturales como antropogénicos. Asimismo puede variar con la altitud, que depende de la posición geográfica y de la afinidad biogeográfica de la fauna presente (Romero-Alcaraz y Ávila, 2000, Errouissi *et al.*, 2004).

10.6 *Oxysternon conspicillatum* (Weber, 1901)

Esta especie se caracteriza por tener un tamaño entre los 10 y 35 milímetros, su cuerpo es robusto y su coloración es verde esmeralda lustroso (Figura 2 y 3; Cultid *et al.*, 2012). Además, posee modificaciones morfológicas que la hacen parte del gremio cavador, con actividad diurna; ha sido observada removiendo grandes cantidades de excremento de ganado en poco tiempo (Cultid *et al.*, 2012). *O. conspicillatum* cumple un papel muy importante en el ecosistema, debido a que sus características biomecánicas hacen que sea un excelente desintegrador de excremento (Medina *et al.*, 1990). Se ha estimado que una población de *O. conspicillatum* (grande) en un paisaje específico del eje cafetero puede remover hasta dos toneladas de excremento de vertebrados en un mes (Martínez *et al.*, 2014; Cultid *et al.*, 2015).

Generalmente esta especie se encuentra en zonas abiertas de la región andina, sin embargo, también se ha registrado en la región amazónica en zonas de bosque. Esta especie se ha registrado principalmente en cafetales de sol, guaduales y en potreros; es poco común encontrarla al interior de grandes áreas de bosque. En nuestro país, *O. conspicillatum* presenta una amplia distribución, encontrándose en las tres cordilleras y en la región amazónica (Cultid *et al.* 2012).

11.MATERIALES Y MÉTODOS

11.1 Tipo de investigación

Investigación de tipo cuantitativa, descriptiva: este tipo de investigación en este trabajo permite cuantificar la pérdida o ganancia del área de mayor idoneidad de hábitat para la especie *O. conspicillatum*; además, permitirá describir claramente en diferentes escenarios de cambio climático (A2 y B1) cómo se comporta la distribución y/o redistribución de la especie en Colombia.

11.2 Criterios para seleccionar la especie

Para realizar el modelamiento de distribución potencial de *Oxysternon conspicillatum* fue importante tener una buena cantidad de datos de registros de presencia en las diferentes regiones del país, así como garantizar que la toma de estos y la información depositada en colecciones fuesen confiables. Posteriormente, el uso de las variables se realizó a una escala que permitió observar los datos de una manera más precisa y con una cobertura que consideramos pertinente. Por último, para establecer la confiabilidad del modelo de distribución esperado fue importante tener conocimientos básicos de la biología, información bibliográfica y de la fauna asociada con esta especie que nos permitió comparar la realidad de los datos actuales con los posibles modelos.

Los criterios para seleccionar a *Oxysternon conspicillatum* (Figura 2 y 3) como especie para modelar su ocupación en el tiempo y evaluar su respuesta de

distribución frente al cambio climático en Colombia se divide en tres aspectos, i) potencial indicador de perturbación, ii) amplia distribución geográfica y iii) taxonomía bien definida.

11.3 Recolección de la información

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 aquellos registros que se encontraron en las publicaciones de trabajos para el país. Todos los registros fueron depurados y se utilizaron los que tenían su respectiva información de georreferenciación de alta confiabilidad. Esta alta confiabilidad está dada por aquellos registros donde sus coordenadas de latitud y longitud eran veraces y se ubicaban en las zonas indicadas. Todos los registros fueron tabulados en el software Excel para ser depurados y se corroboraron en el portal de Google Earth.

Figura 2. Especie de *O. conspicillatum*, hembra (Fuente: Cultid et al., 2012)



Figura 3. Especie de *O. conspicillatum*, macho (Fuente: Cultid et al., 2012)



11.4 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. El resultado arrojado 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). 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 2), derivadas de la temperatura y la precipitación, para identificar los valores abióticos que limitan su distribución (Austin 2002, May *et al.*, 2011).

11.4.1 Supuestos de MAXENT

- Las localidades de colecta fueron seleccionadas independientes del contexto geográfico bajo una probabilidad de distribución desconocida (π). El objetivo de MaxEnt es estimar π .
- La restricción esencial del modelo es que el valor esperado de cada distribución de probabilidad debe coincidir con los promedios empíricos de las variables ambientales.

Tabla 2. Variables extraídas de WorldClim, además se usó la variable altitud

(Fuente: El Autor 2016)

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

11.5 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, estos fueron implementados con el modelo MRI-CGCM3 el cual reproduce el clima media global, incluyendo la variación estacional en diversos aspectos de la atmósfera y los océanos. El cual tiene consideración el clima simulado evaluando también para ser más realistas, incluyendo 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 3) los cuales son los dos escenarios extremos para el cambio climático global, siendo el A2 el pesimista donde el planeta está fragmentado y no sustentable con concentraciones de gases efecto de invernadero mayor; por su parte el escenario B1 es un futuro optimista donde el planeta es integrado y sustentable con mayor uso de energías renovables y menor concentración de gases efecto invernadero (Raskin *et al.*, 2005).

Posteriormente 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 escenario. Estos fueron utilizados para análisis descriptivo y posteriormente en el programa ArMap 8.2 se establecieron las diferencias en el tamaño de distribución y las regiones más afectadas. Para determinar la pérdida o ganancia de área entre años y escenarios, se tomó como referencia el 80% de la probabilidad de ocurrencia de *O. conspicillatum* en el país (mayor idoneidad de hábitat); donde todos los valores que se encuentren igual o por encima del límite del 80% serán los utilizados para calcular el área.

Tabla 3. Descripción de los escenarios de cambio climático (Fuente: IPCC 2000).

A2

Describe un mundo muy heterogéneo. Sus características más distintivas son 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.

B1

Describe un mundo convergente con 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.

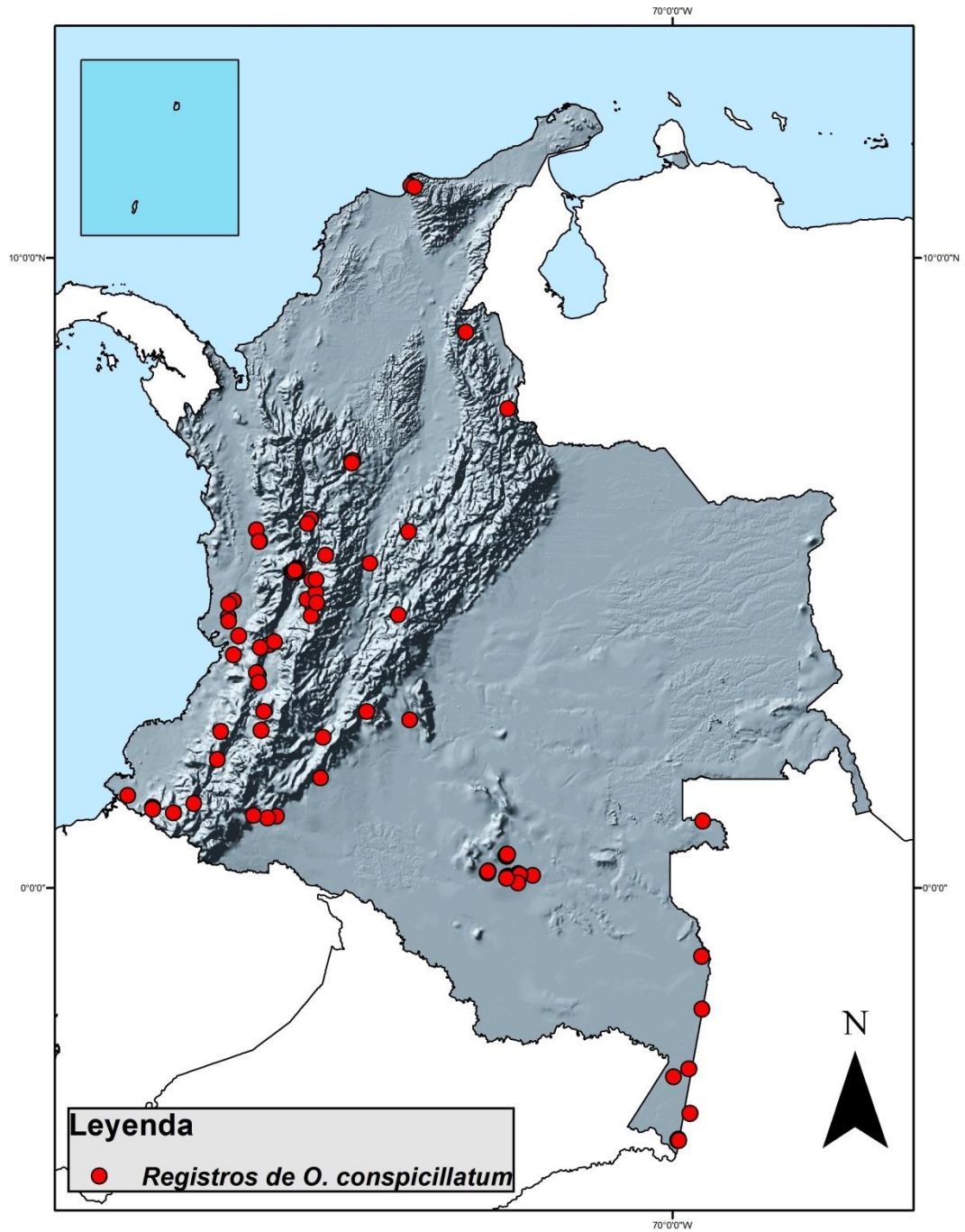
12.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos de *O. conspicillatum* se encontraron registrados en 11 fuentes de información, entre seis artículos científicos (Medina y Kattan, 1996; Huertas *et al.*, 2003; Edmonds y Zidek, 2004; Garcia y Pardo – Locarno, 2004; Esparza - Leon y Amat, 2007; Concha *et al.*, 2010) en cuatro colecciones de proyectos (CR-EC 2004; CR-S 2007; CRCUT 1 2008; Escobar-IAvH-cham) y en el portal del SIB.

Durante la búsqueda de información de registros de *O. conspicillatum*, se obtuvieron un total de 427 registros con datos de georreferenciación correctos para Colombia, los cuales se distribuyen en 18 departamentos del país (Figura 2). Se destaca que el 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 presentan mayor número registros en distintas localidades. Estos valores soportan la alta distribución geográfica de la especie en el país. En términos generales, esta especie es cosmopolita para Colombia, lo que sugiere que puede estar afectada por los factores de cambio climático que se presenten en el total del territorio colombiano.

Esta especie tiene una amplia distribución en el país, con alta presencia en las tres cordilleras andinas y además también se encuentra en la Amazonía colombiana (Figura 4). Está presente desde los 0 hasta los 3000 metros de altitud como lo registra Edmonds y Zidek (2004). *O. conspicillatum* presenta la particularidad que en la región andina está presente en las zonas abiertas fuera de los bosques y en la región de la Amazonía está restringida a las zonas boscosas, lo que la hace una especie con distribución geográfica y requerimientos ecológicos amplios, la cual podría llamarse generalista.

Figura 4. Distribución geográfica de los puntos donde existen registros de *O. conspicillatum* en Colombia (Fuente: El autor, 2016)

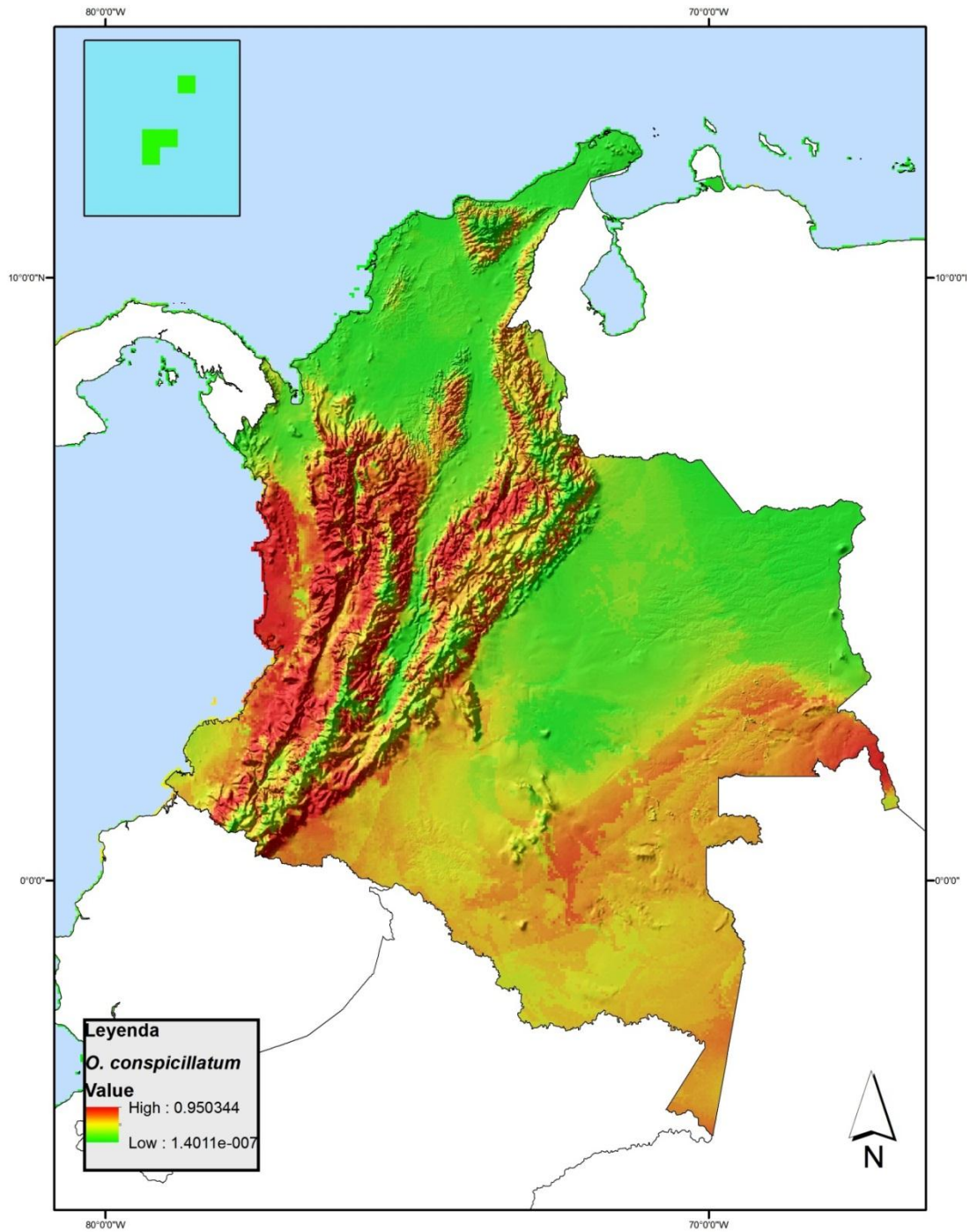


La distribución potencial actual de *O. conspicillatum*, presenta un modelo bien ajustado y confiable, con un AUC de 0.985 (Figura 5). Este modelo fue afectado principalmente por dos variables ambientales (bio 3 y bio 4) derivadas de la temperatura de las zonas en que se ha registrado esta especie. Tanto las variables isotérmica (bio 3) como la estacionalidad de temperatura (bio 4) son las que tienen mayor influencia en el modelo de distribución actual con un 30.4% y un 20.9% respectivamente. Además, con los datos ecológicos conocidos en campo, se puede soportar 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 de Colombia, y la gran mayoría muestran una distribución potencial asociada a zonas medias entre los 1000 m y 2500 m de altitud. 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.*, 2009), 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 (Williams *et al.*, 2009), 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.

Figura 5. Distribución geográfica potencial de *O. conspicillatum* en la actualidad
(Fuente: El autor, 2016).



Al realizar las mediciones de las áreas potenciales donde se podría registrar *O. conspicillatum*, tanto en la actualidad como en un futuro, se observa que para la actualidad, esta especie ocupa mayor área en las tres cordilleras con respecto al resto del país (Figura 5). Mientras que para un escenario de cambio climático A2 y B1, para los años 2050 y 2080, se encontró que, tanto en la cordillera oriental y un poco menos en la central, esa área se ve fuertemente disminuida, a diferencia del área ocupada dentro de la cordillera Occidental, la cual aumenta (Figura 6,7, 8 y 9).

Estos datos concuerdan con lo reportado por diferentes grupos, donde encontraron que varias especies de plantas disminuían en su área de ocupación bajo el mismo escenario de cambio climático global, siendo la cordillera Oriental la más afectada en cuanto a su riqueza de especies y la disminución de las áreas de ocupación de estas (Triviño sin publicar). Además, en un trabajo aún no publicado por Triviño y colaboradores, encontraron que para una población de mariposas la cordillera oriental es la zona más afectada en un escenario A2 en el año 2050; los cuales registran que para una población de mariposas la distribución se va ver limitada en esta zona del país.

Aparentemente, el cambio climático independiente del tipo de escenario que se proyecte, tendrá una alta influencia en la distribución de *O. conspicillatum* en un futuro, debido a que una gran parte de la región colombiana va a presentar ausencia de esta especie lo que posiblemente afecte el equilibrio ecológico debido a la pérdida del servicio ecosistémico prestado por la misma. Además, se observa que para el año 2080 hay un pequeño incremento en la probabilidad de ocurrencia de esta especie en la zona caribeña del país. No obstante, la presencia de esta especie en esta zona puede estar limitada por otros factores de competencia con otra especie (*Digitonthophagus gazella*) que ha sido introducida en el país y se encuentra alojada en la región del Caribe (Noriega *et al.*, 2012).

Figura 6. Distribución potencial de *O. conspicillatum* bajo un escenario A2 en el año 2050 (Fuente: El autor, 2016)

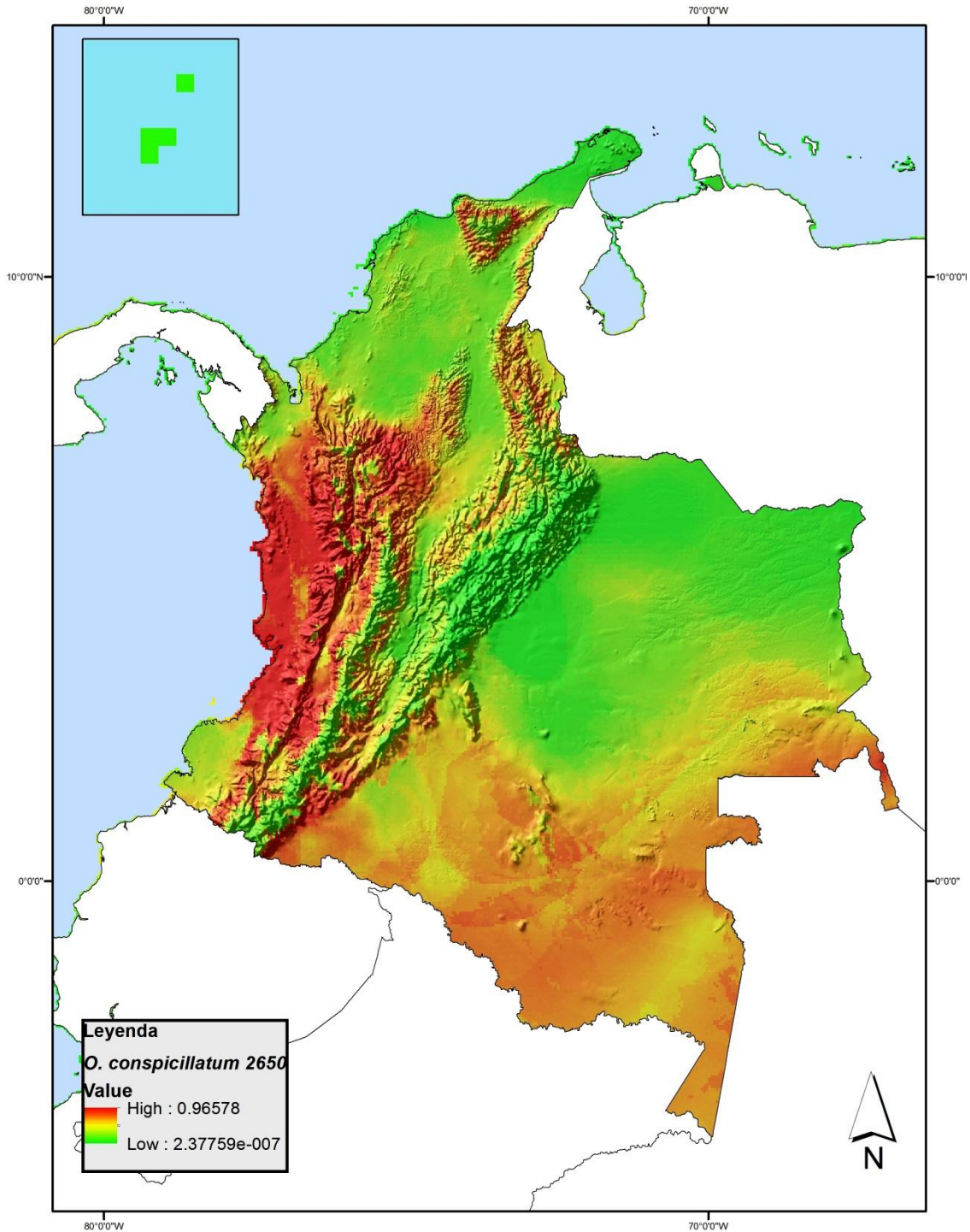


Figura 7. Distribución potencial de *O. conspicillatum* bajo un escenario B1 en el año 2050 (Fuente: El autor, 2016)

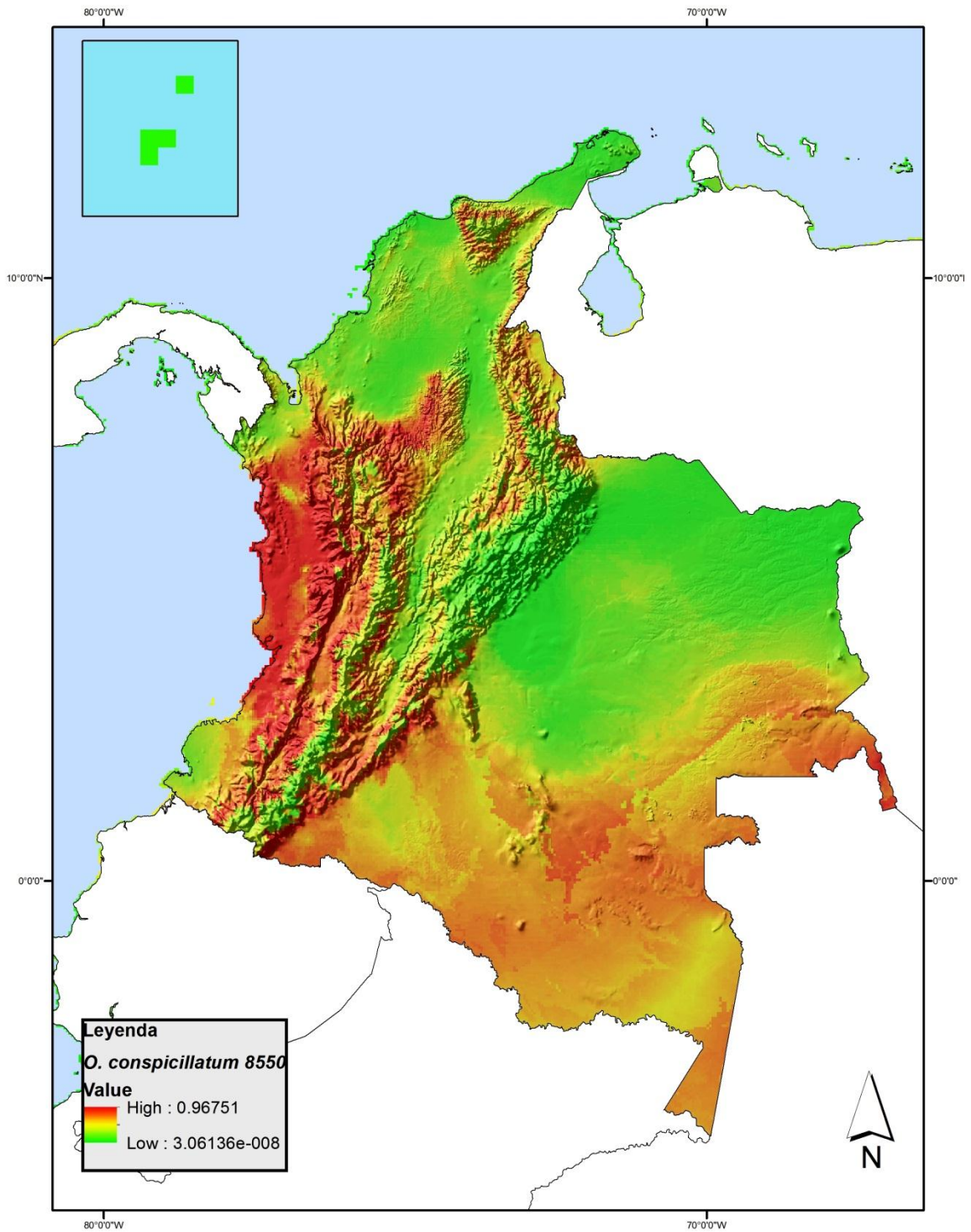


Figura 8. Distribución potencial de *O. conspicillatum* bajo un escenario A2 en el año 2080 (Fuente: El autor, 2016)

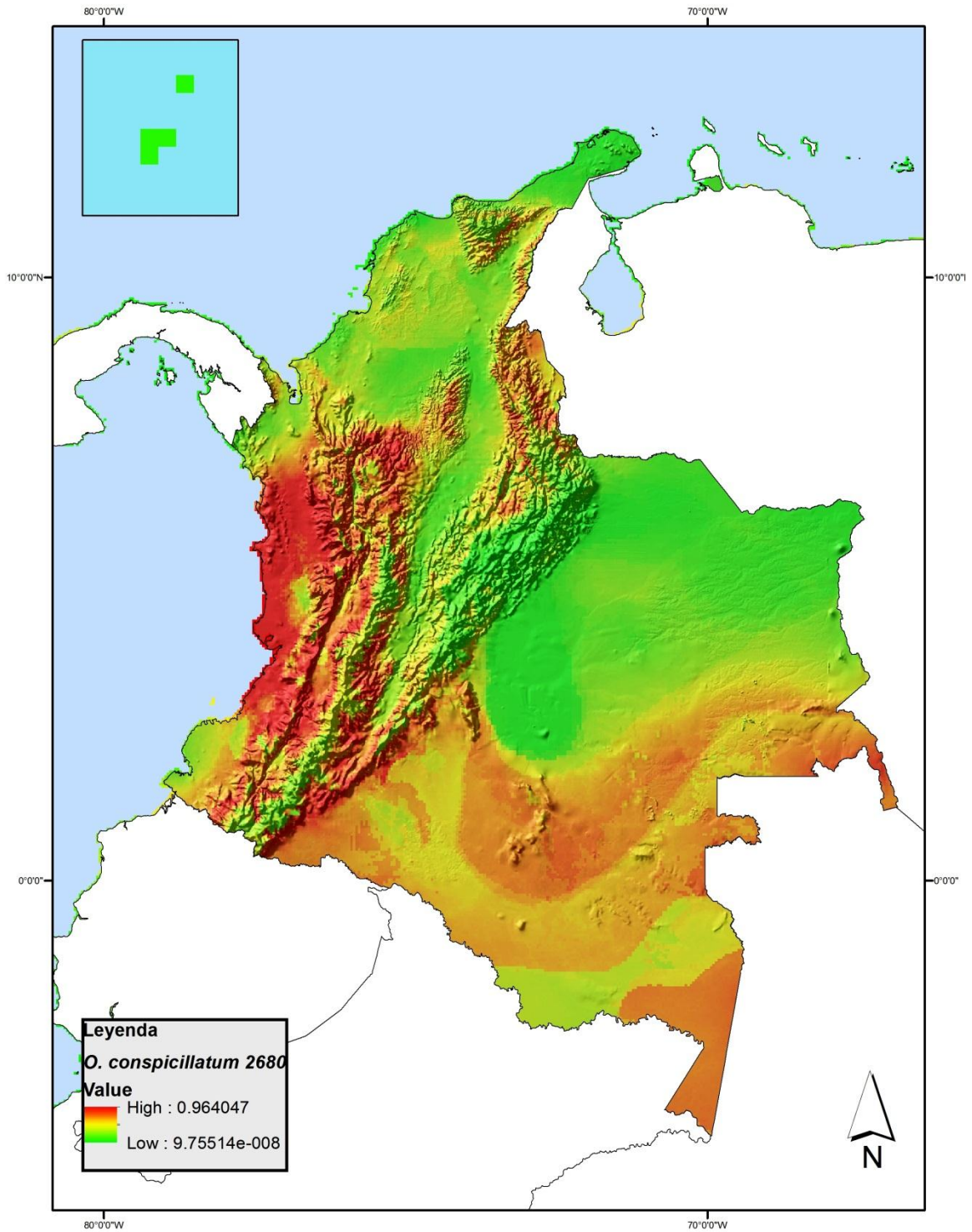
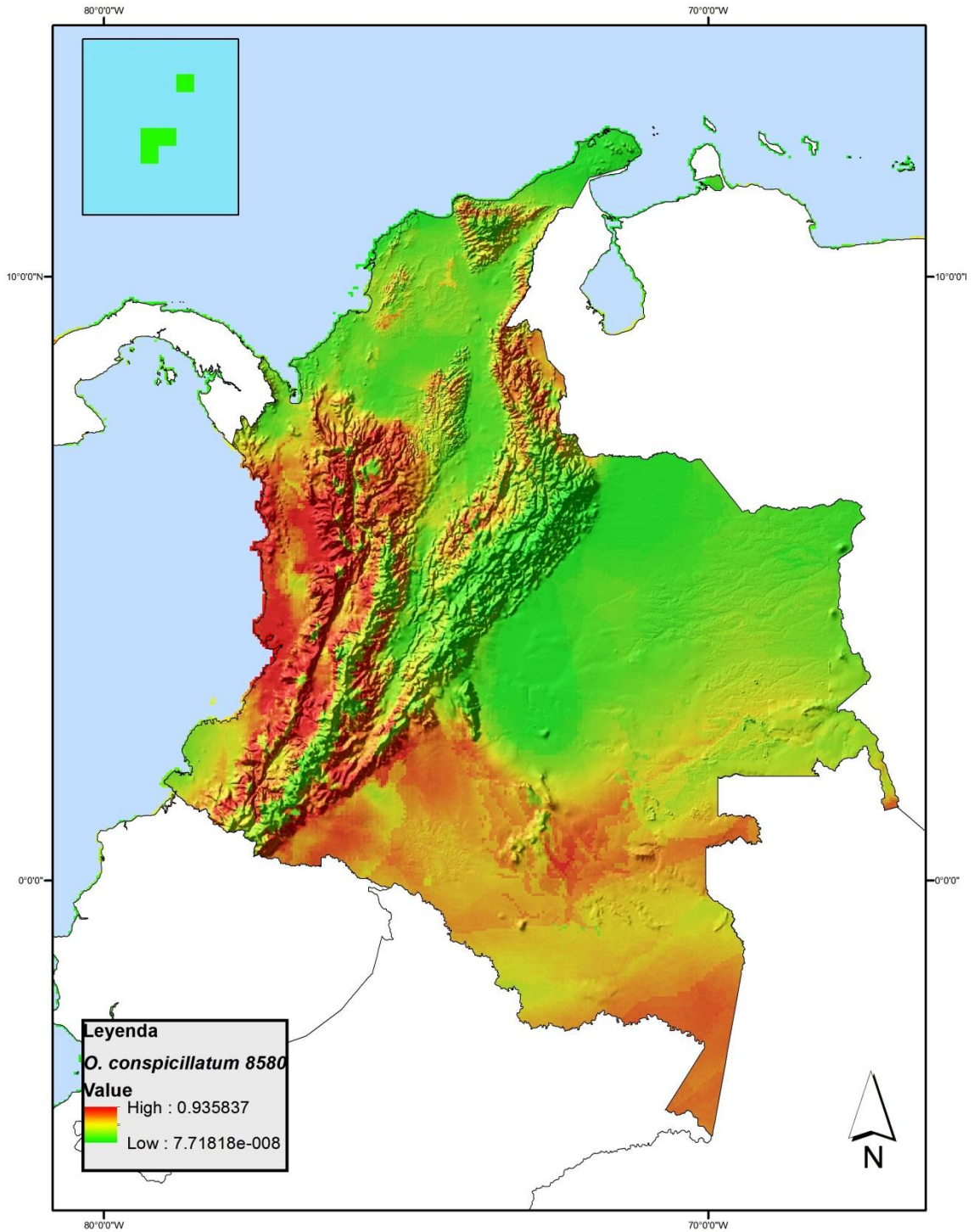


Figura 9. Distribución potencial de *O. conspicillatum* bajo un escenario B1 en el año 2080 (Fuente: El autor, 2016)



Es preocupante la pérdida de servicios ecosistémicos que se puedan observar en tan sólo una especie (*O. conspicillatum*), debido a sus características ecológicas de especie generalista, podría suponerse que tiene mayor resistencia a los cambios medio ambientales. Sería interesante realizar este ejercicio con un grupo de especies de diferentes taxones para poder observar tendencias en las respuestas de los organismos al cambio climático.

Con base en los resultados obtenidos, podemos proponer estrategias de conservación a corto, mediano y largo plazo, donde los paisajes que se encuentren inmersos en la cordillera Oriental estén siendo monitoreados y se generen planes para que permitan mitigar en gran medida los efectos del cambio climático en esta cordillera. Además, el hecho de determinar la distribución potencial de una especie indicadora como es *O. conspicillatum* permitirá complementar los datos registrados en términos de variables ambientales a futuro, suministrando más herramientas para determinar zonas de protección y manejo especial para enfrentar los cambios en el clima en un periodo de 60 años por lo menos.

Se resalta que esta es una de las tantas herramientas de predicción, que genera nichos ecológicos fundamentales, que aún falta ahondar y analizar otros aspectos ecológicos y/o antrópicas como: relación con otras especies (mutualismo), modelación de cambios de usos de 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 que se afecta en términos de ocurrencia de esta especie, podemos deducir que con una probabilidad superior al 80% de registrarse esta especie en un lugar en específico en Colombia, el área que cubriría sería cerca de 93.500 kilómetros cuadrados que corresponden al 8.2% del territorio nacional (Tabla 4, Figura 10). A pesar que en términos porcentuales este valor es bajo, para ser una especie con restricciones fisiológicas a la temperatura, humedad,

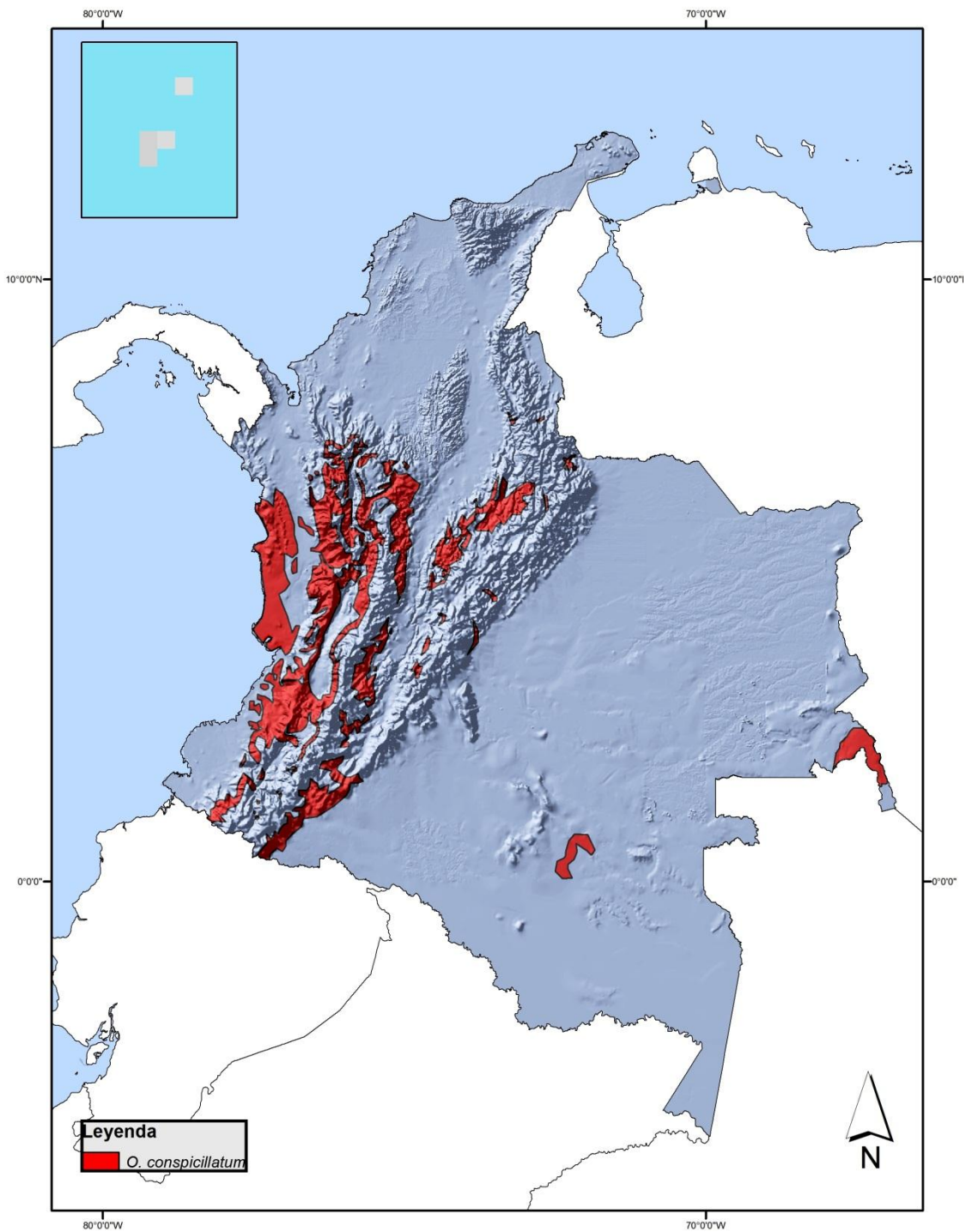
altitud entre otras, la idoneidad del hábitat donde se puede registrar es alta. Restringiéndose principalmente a las zonas montañosas de las cordilleras y en pequeñas proporciones a la zona amazónica.

Entre los modelos de distribución potencial a futuro, para el escenario A2 se observa que entre años no hay muchas diferencias en términos de porcentaje de ocurrencia, sin embargo si observamos el comportamiento entre los escenarios entre los años si se observa que bajo un escenario menos crítico como es el B1, el porcentaje aumentó para el año 2050 en casi 9% y para el año 2080 aproximadamente el 3% (Tabla 4). 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 4. Áreas de probabilidad superior al 80% de ocurrencia de *O. conspicillatum* en Colombia. Porcentajes del área de idoneidad de hábitat en 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 (Fuente: El autor, 2016).

Área (Km 2)	Idoneidad Hábitat	% 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
B1 2080	81855.58	7.2	87.6
Área Colombia	1140579.72		

Figura 10. Distribución geográfica potencial de *O. conspicillatum* en la actualidad con una probabilidad de ocurrencia superior al 80% (Fuente: El autor, 2016)



Al encontrar que la mayor distribución de los hábitats idóneos para la ocurrencia de *O. conspicillatum* son las tres cordilleras, se revisó puntualmente el área de pérdida o ganancia en cada una de las cordilleras y así se pudo definir si hay o no ganancias en los diferentes escenarios a lo largo del cambio climático en los periodos de 2050 y 2080. Encontrándose que como se observa en los mapas, la cordillera que presentará mayor afectación sobre los hábitats donde hay mayor probabilidad de ocurrencia de este escarabajo es la Cordillera Oriental, donde 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 5). Además, 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 11, 12, 13 y 14).

Tabla 5. Áreas de probabilidad superior al 80% de ocurrencia de *O. conspicillatum* en cada cordillera. Porcentajes de idoneidad de hábitat en cada cordillera bajo los dos escenarios de cambio climático en 2050 y 2080. (+) Aumentó y (-) Disminuyó (Fuente: El autor, 2016).

Área (Km 2)	C. Occ.	% C. Occ.	C. Cen.	% C. Cen.	C. Ori.	% C. Ori.
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 (-)

Sin embargo, 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 podría sugerir que el área perdida en la Cordillera Oriental, de alguna manera es compensada en esta cordillera y existiría un reemplazamiento de área entre cordilleras. También, es importante aclarar que la zona de la Cordillera Occidental es la de mayor área de bosque conservado después de la Amazonía, lo que soportaría unas condiciones ambientales que puedan albergar las poblaciones de esta especie.

En términos generales, la Cordillera Central tendrá una afectación en promedio del 40% de pérdida de área para los dos escenarios en los dos años propuestos de la modelación (Figuras 11, 12, 13 y 14). En esta cordillera y en la Oriental es donde se han desarrollado las grandes ciudades y el mayor desarrollo urbano del país, tal vez esta es la explicación de la mayor 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. Se ha estimado 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 (Lin, 2013).

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 y Franklin, 2000; Vandergast *et. al.*, 2007). A escala del paisaje (Nichols *et. al.*, 2013), los fragmentos operan como mecanismos de aislamiento de poblaciones así los parches estén relativamente cercanos dentro de la matriz, haciendo que desaparezcan gremios funcionales, en fragmentos grandes y pequeños (Kattan y 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 y Naranjo,

2008) lo que posiblemente hace que las especies como *O. conspicillatum* tengan menor probabilidad de permanencia en el tiempo.

Todos los resultados obtenidos con *O. conspicillatum* permiten ser comparados con algunos estudios como el de la distribución potencial de Roble (*Quercus humoldtii*) y con un trabajo de 102 plantas vasculares en los Andes Tropicales, donde sugieren que para el año 2050 existirá una pérdida considerable de área idoneidad e hábitat aproximadamente del 50%, mientras que la ganancia de área para los escenarios equivalentes para este mismo año, será de aproximadamente una cuarta parte de su total (Datos sin publicar), estos datos se acercan en términos generales a lo encontrado en este estudio.

Figura 11. Distribución geográfica potencial de *O. conspicillatum* en bajo un escenario de cambio climático A2 en el año 2050, con una probabilidad de ocurrencia superior al 80% (Fuente: El autor, 2016).

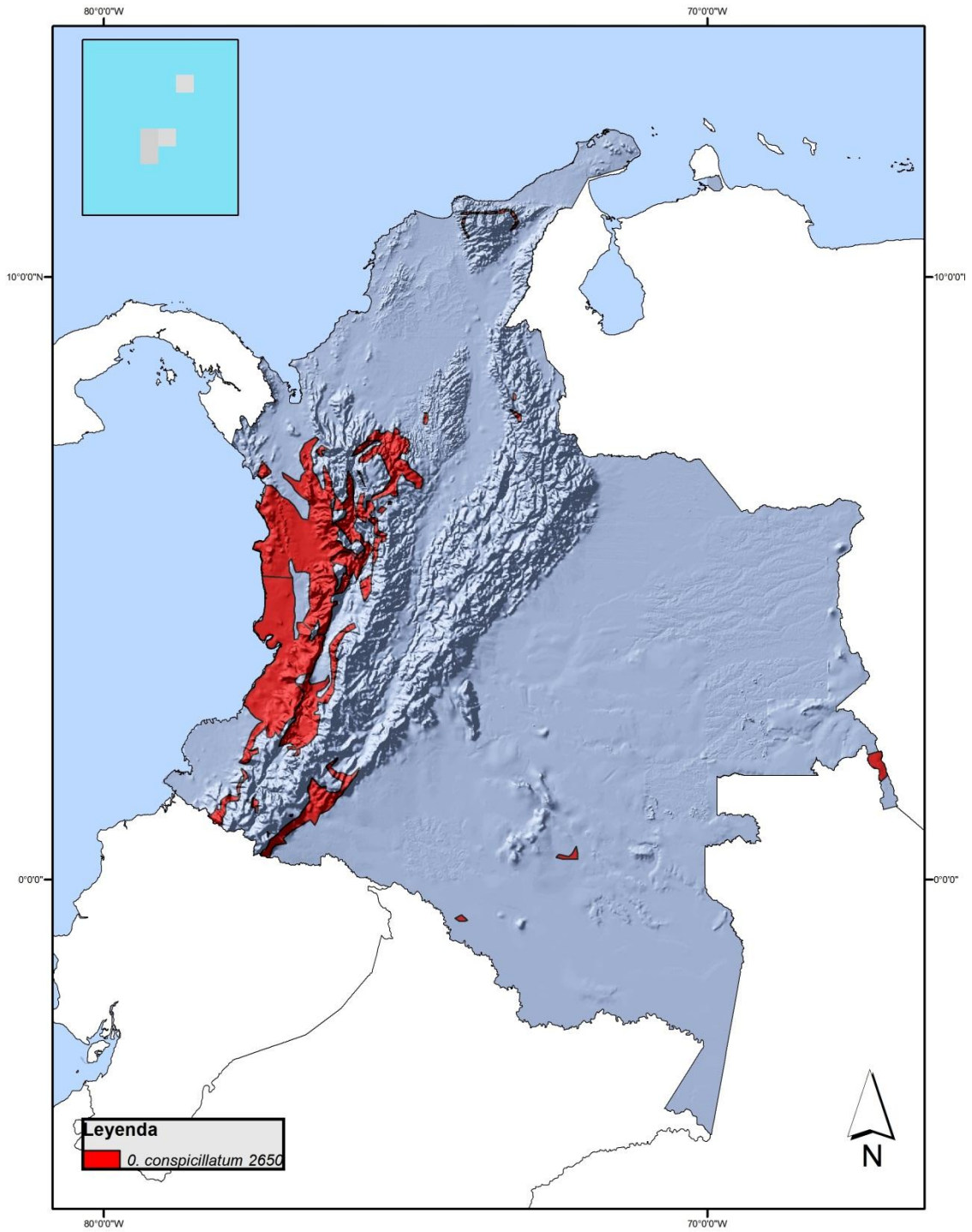


Figura 12. Distribución geográfica potencial de *O. conspicillatum* en bajo un escenario de cambio climático B1 en el año 2050, con una probabilidad de ocurrencia superior al 80% (Fuente: El autor, 2016).

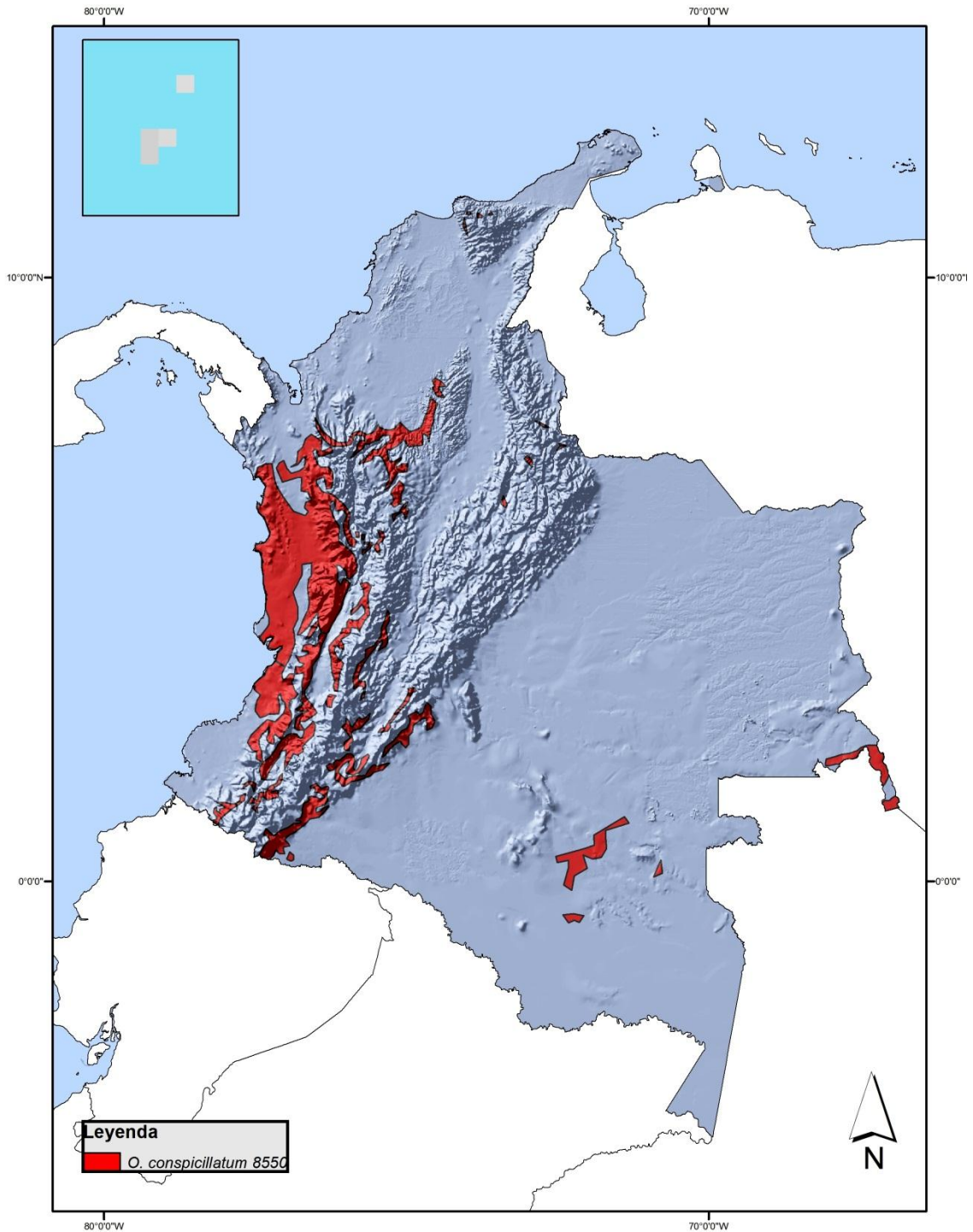


Figura 13. Distribución geográfica potencial de *O. conspicillatum* en bajo un escenario de cambio climático A2 en el año 2080, con una probabilidad de ocurrencia superior al 80% (Fuente: El autor, 2016).

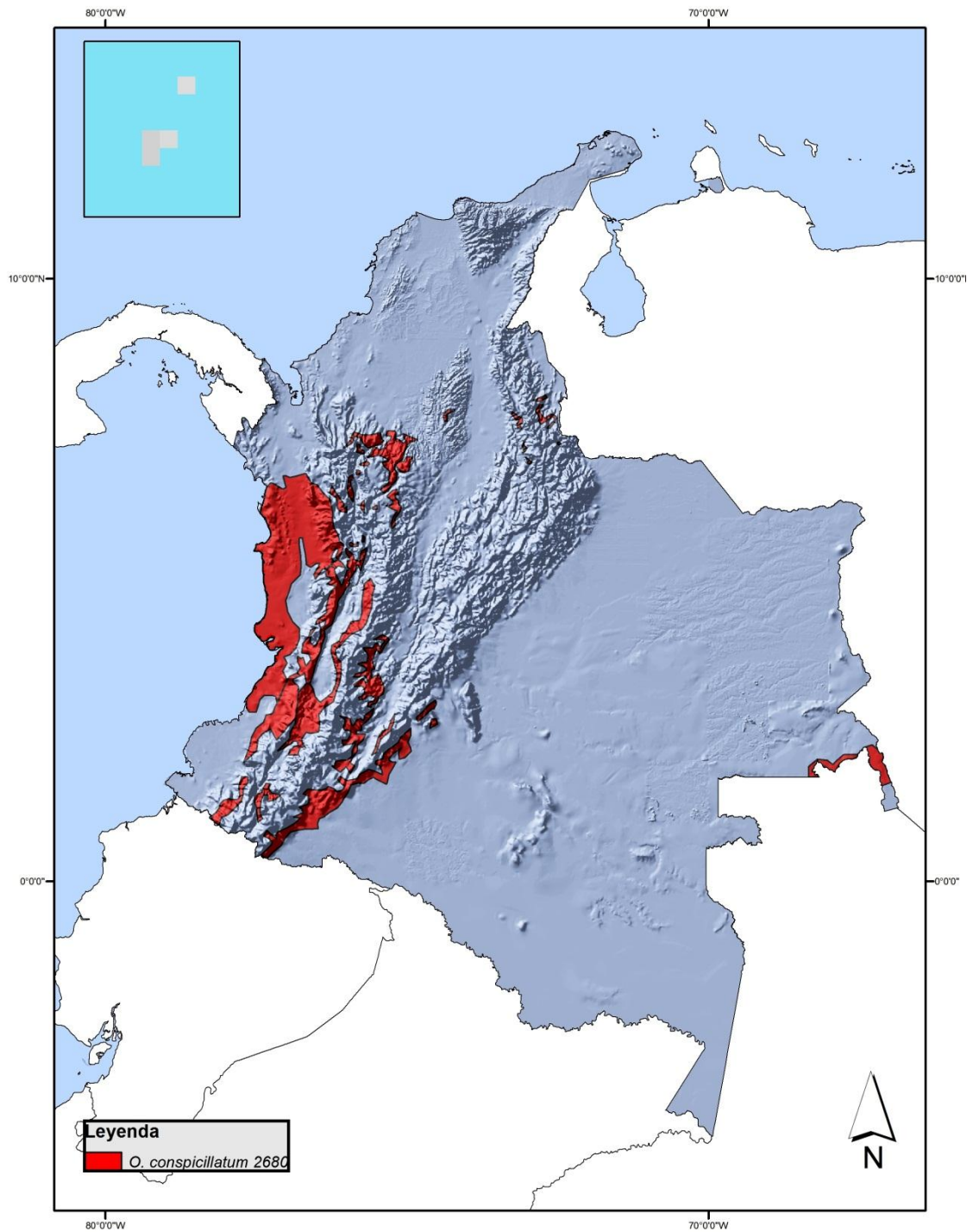
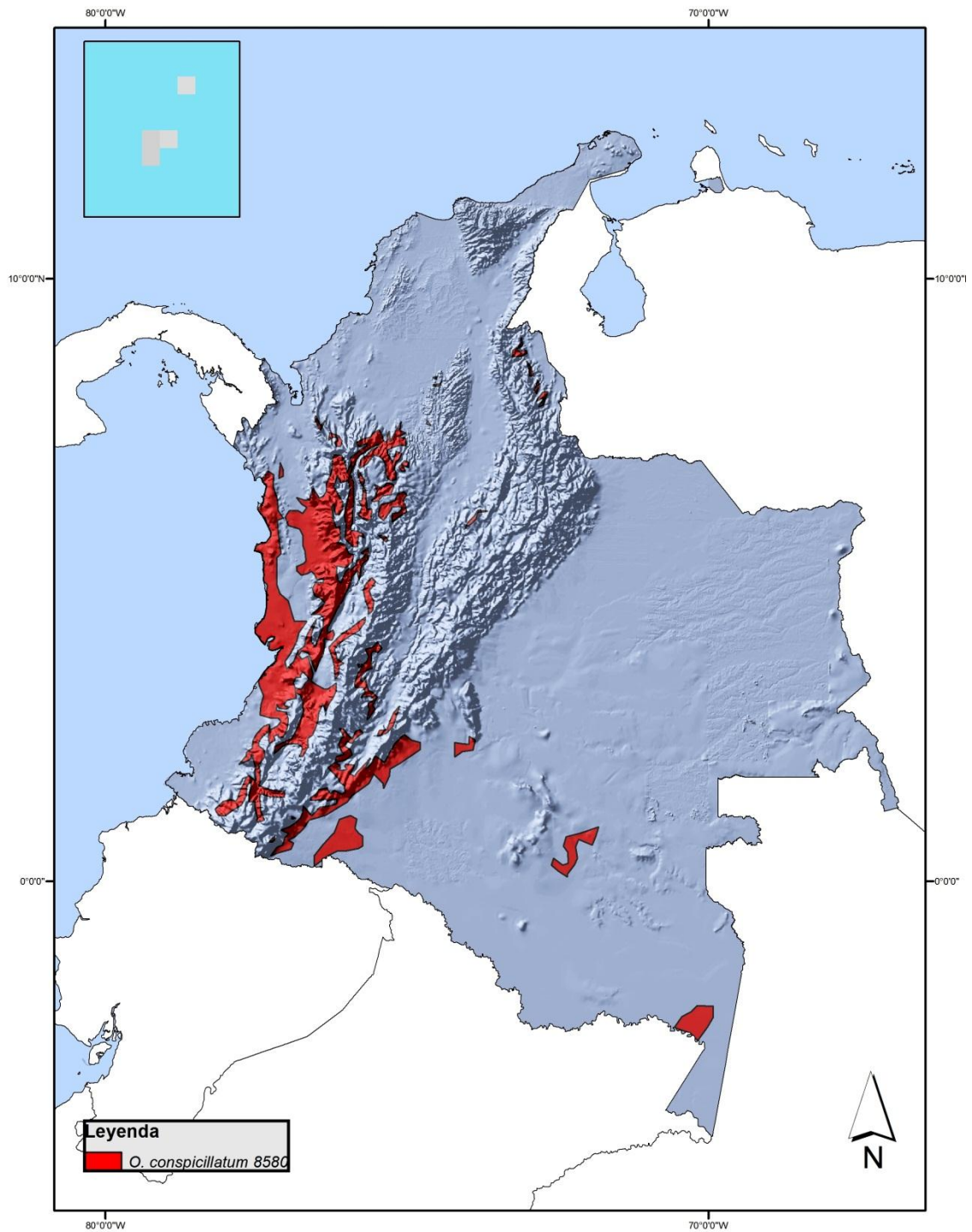


Figura 14. Distribución geográfica potencial de *O. conspicillatum* en bajo un escenario de cambio climático B1 en el año 2080, con una probabilidad de ocurrencia superior al 80% (Fuente: El autor, 2016).



Los resultados obtenidos en la distribución de *O. conspicillatum* bajo los diferentes escenarios de cambio climático, reflejan los procesos por los cuales se han enfrentado 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) y a la pérdida de la diversidad biológica y fragmentación de hábitats (Duraiappah *et. al.*, 2005; De Chazal y 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 disgregación de la materia orgánica, en este caso sería el excremento bovino y así poder disminuir las emisiones de dióxido de carbono.

Además, con estos resultados se pueden implementar planes de conservación de ecosistemas como el monitoreo de especies (caso *O. conspicillatum*), donde es muy valioso tener en cuenta que se potencializa el uso de los registros geográficos de las especies. También se pueden arrojar hipótesis espaciales en diferentes escenarios a escala temporal y espacial, sin embargo, existen limitaciones debido a que estos modelos no permiten incorporar variables como las interacciones bióticas, procesos históricos, historia natural, capacidad de dispersión y barreras biogeográficas de las especies.

13.CONCLUSIONES

- Actualmente *Oxysternon conspicillatum* es una especie ampliamente distribuida en Colombia, sin embargo, en el año 2050 y 2080 bajo dos escenarios de cambio climático diferentes presentará una disminución considerable de su presencia a nivel nacional, lo que disminuirá los servicios ecosistémicos ofrecidos por esta especie como lo son la aireación del suelo, reciclaje de nutrientes, dispersión secundaria de semillas, control de parásitos, entre otros.
- 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*. Esto se ve altamente relacionado por las variables climáticas que afectarán las condiciones micro-ambientales (temperatura y humedad) que permiten la permanencia y persistencia de esta especie en sus hábitats.
- Es inevitable que ocurra el nuevo cambio climático como consecuencia de diferentes factores, entre ellos las actividades antrópicas que a su vez están afectando inminentemente la biodiversidad, exponiendo la reducción de las poblaciones de especies importantes y sensibles (*O. conspicillatum*) al modificar su hábitat y roles ecológicos en los ecosistemas. Es importante destacar que una de las estrategias para mitigar los efectos de este cambio climático sobre la biodiversidad no deben limitarse a la conservación y conexión de esos ecosistemas que están en “buen” estado de conservación, sino que deben encaminarse estrategias donde se pueda

incluir zonas de restauración de ecosistemas que tienen un grado de afectación importante.

- Los modelos de distribución potencial no son proyecciones definitivas, así que deben ser tratados con precaución y considerados como un acercamiento preliminar de la posible magnitud y el vasto patrón de impactos futuros. Éstas proyecciones deben ser una guía que permita diseñar políticas de conservación realistas y sean complementados con otro tipo de variables tanto sociales como económicas.
- Las herramientas predictivas como MaxEnt (que no incorporan todos los factores que prescriban el establecimiento y distribución de las especies biológicas), son de gran aplicabilidad para los planes de conservación a futuro. Esta herramienta está proporcionando información ecológica fundamental y sería importante profundizar en otras escalas ecológicas y/o antrópicas donde intervienen relaciones con otras especies, ya sea por competencia, mutualismo o que provean alimento.
- La elaboración de mapas permitió observar gráficamente la dinámica de la idoneidad del hábitat para *O. conspicillatum* a lo largo de dos periodos de tiempo y bajo dos escenarios de cambio climático diferentes. Esta ilustración permite detectar y ofrecer zonas de mayor impacto del cambio climático en diferentes zonas del país, lo que nos puede orientar de cierta manera a evaluar y plantear estrategias de conservación que sean consecuentes con los intereses gubernamentales del país.

De acuerdo con la hipótesis planteada, para el caso de esta especie se puede inferir que con los resultados obtenidos: todos los procesos ecológicos como la distribución, la reproducción, el crecimiento, el flujo de nutrientes y energía dependen linealmente del mantenimiento del balance hídrico y térmico del planeta

(variables ambientales), si se cambian y/o modifican las circunstancias de este balance, lo más seguro es que se afecten todos los procesos ecológicos; con potenciales pérdidas en biodiversidad, la redistribución de fauna y flora, la pérdida y degradación de hábitats, entre otros.

14. RECOMENDACIONES

- Se recomienda aumentar la búsqueda de registros en colecciones biológicas tanto públicas como privadas para aumentar el número de datos y localidades y así poder hacer más robusto el modelo.
- Replicar este modelo con otras especies de interés particular en la conservación de la biodiversidad.
- Realizar estos modelos a una escala espacial mayor, que trascienda la división político-administrativa de país.

15. BIBLIOGRAFÍA

- Arellano L., J. León-Cortés y O. Ovaskainen. 2008. Patterns of abundance and movement in relation to landscape structure: a study of a common scarab (*Canthon cyanellus cyanellus*) in Southern Mexico. *Landscape Ecology* 23: 69-78.
- Austin, M.P. 2002. Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological Modelling* 157:101-118
- Beaumont, L.J.; Hughes, L.; Poulsen, M. 2005. Predicting species distributions: use of climatic parameters in BIOCLIM and its impact on predictions of species' current and future distributions. *Ecological Modelling*, (186):250–269
- Bennett, A. 1999. Enlazando el paisaje: el papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre. UICN, Gland, CH/ Cambridge, RU. 276 p.
- Brovkin, V., Claussen, M., Driesschaert, E., Fichefet, T., Kicklighter, D., Loutre, M. F., Matthews, H. D., Ramankutty, N., Schaeffer, M. y Sokolov, A. 2006. Biogeophysical effects of historical land cover changes simulated by six Earth system models of intermediate complexity. *Climate Dynamics*
- 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>
- CEICC. 2008. *Ecological impacts of climate change*. Committee on Ecological Impacts of Climate Change. The National Academies Press.

- Concha-Lozada C, Gallego M y Pardo-Locarno L. 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. *Boletín Científico Museo de Historia Natural* 14 (1): 43-55.
- Cultid, A.C., Medina, C.A., Martínez, B.G., Escobar, A.F., Constantino, L.M. y Betancur, N. 2012. *Escarabajos Coprófagos (Scarabaeinae) del Eje Cafetero: Guía para el estudio Ecológico*. WCS Cali. Colombia.
- Cultid-Medina C. A, J. M. Lobo, C. A. Medina, F. A. González, F. Escobar y P Chacón de Ulloa. 2014. Completitud del inventario de escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeinae) en la Ecorregión del Eje Cafetero, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología* 40(1): 111-119.
- Cultid-Medina, C. A., B. G. Martínez-Quintero, F. Escobar, and P. Chacón de Ulloa. 2015. Movement and population size of two dung beetle species in an Andean agricultural landscape dominated by sun-grown coffee. *J. Insect. Conserv.* 19: 617–626.
- De Chazal, J. y Rounsevell, M. 2009. Land-use and climate change within assessments of biodiversity change: A review. *Global Environmental Change* 19 306–315
- Duraiappah, A., Naeem, S., Agardi, T., Ash, N., Cooper, D., Díaz, S. y others (eds.). 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. Island Press, Washington, DC, 100 pp.
- Edmonds, W. D. y J. Zídek. 2004. Revision of the Neotropical dung beetle genus *Oxysternon* (Scarabaeidae: Scarabaeinae: Phanaeini). *Folia Heyrovskyana, Supplementum* 11: 1-58.

- Elith, J.; Graham, C. H.; Anderson, R. P.; Dudík, M.; Ferrier, S. y Guisan. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29:129-151.
- Errouissi, F; Jay-Robert, P; Lumaret, J y Piau, O. 2004. Composition and structure of dung beetle (Coleoptera: Aphodiidae, Geotrupidae, Scarabaeidae) assemblages in mountain grasslands of the southern Alps. *Ann. Entomol. Soc. Am*, 97: 710-209.
- Escobar F. 2004. Diversity and composition of dung beetles (Scarabaeinae) assemblages in a heterogeneous Andean landscape. *Tropical Zoology* 17: 123-136.
- Escobar F., Halffter, G., Arrellano, L. 2007. From forest to pasture: an evaluation of the influence of environment and biogeography on the structure of dung beetle (Scarabaeinae) assemblages along three altitudinal gradients in the Neotropical region. *Ecography* 30: 193 - 208.
- Esparza-León A y Amat-García G. 2007. Composición y riqueza de escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae) en un gradiente altitudinal de selva húmeda tropical del Parque Nacional Natural Catatumbo-Barí (Norte de Santander, Colombia). *Actualidades Biológicas*; 29(87):181-192.
- Estrada, A. y R. Coates-Estrada. 2002. Bats in continuous forest, forest fragments and in a agricultural mosaic habitat-island at Los Tuxtlas, Mexico. *Biological Conservation* 103 (2): 237-245.
- Etter, A. y Wyngaarden, V. 2000. Patterns of Landscape Transformation in Colombia, with Emphasis in the Andean Region. *Ambio* Vol. 29 (7): 432–439.
- García-barros, E., Munguira, M.L., Martín Cano, J., Romo Benito, H., García Pereira, P. y E.S. Maravalhas. 2004. Atlas de las Mariposas diurnas de la

Península Ibérica e Islas Baleares (Lep.: Papilionoidea y Hesperioidea).
Sociedad Entomológica Aragonesa (SEA). Zaragoza. 228 pp.

García J y Pardo-Locarno L. 2004. Escarabajos Scarabaeinae saprófagos (Coleóptera: Scarabaeidae) en un bosque húmedo premontano de los Andes occidentales Colombianos. *Ecología*.

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 Tropical* 129(2014): 83-90.

González M.E., E. Jurado, S. González E., Ó. Aguirre C., J. Jiménez P. y J. Navar. 2003. Cambio climático mundial: origen y consecuencias. *Ciencia UANL* / vol. vi, no. 3, julio-septiembre 2003

Halffter, G. 1991. Historical and ecological factors determining the geographical distribution of beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae). *Folia Entomol. Mex.* 82: 195-238.

Halffter, G; Mathews, G. 1966. The Natural History of Dung Beetles of the Subfamily Scarabaeinae (Coleoptera, Scarabaeinae) *Fol. Entomol. Mex*, 12-14: 1 -312.

Hannah, L; Lovejoy, TE; Schneider, SH. 2005. Biodiversity and climate change in context. In: Lovejoy T E y Hannah L. (Eds) 2005. *Climate Change and Biodiversity*. Yale University Press New Haven y London.

Hanski, I; Cambefort, Y. 1991. *Dung beetle ecology*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 481 p.

- Houghton, R. A. 1994. The worldwide extent of land-use change, *Bio-Science*, 44, 305–313.
- Huertas B, Arias, J, y Pardo-Locarno, L. C. 2003). Estudio preliminar de los escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae) de la Serranía de Los Churumbelos, Cauca (Expedición Colombia 1998). *Boletín Científico Museo Historia Natural Universidad de Caldas*, 7, 215-218.
- Hughes, L. 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent?. *Trends Ecol. Evol.* 15(2):56-61.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2000. Resumen para responsables de políticas Escenarios de emisiones. 27p. (Informe especial del grupo de trabajo III del IPCC).
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2002. Cambio climático y biodiversidad. Gitay, H; Suárez, A; Watson, RT. y Dokken, DJ. eds. 85 p. (Documento técnico V del IPCC).
- Kappelle, K y Brown, AD. 2001. Bosques Nublados del Neotrópico. _ Inst. Nacional de la Biodiversidad-INBio, Santo Domingo de Heredia, Costa Rica
- Kattan, G. y Naranjo, L.G. 2008. Regiones biodiversas, herramientas para la planificación de sistemas regionales de áreas protegidas. WCS Colombia, Fundación EcoAndina, WWF Colombia. ISBN: 978-958-8353-05-0.
- Larsen, T. H., A. Lopera y A. Forsyth. 2008. Understanding trait-dependent community disassembly: dung beetles, density Functions, and forest fragmentation. *Conservation Biology* 22: 1288-1298.
- Laurance, W.F. y C.A. Peres. (eds.) 2006. *Emerging Threats to Tropical Forests*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois.

- 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. Climate Adaptation Flagship. www.csiro.au .
- Lobo, JM y Halffter, G. 2000. Biogeographical and ecological factors affecting the altitudinal variation of mountainous communities of coprophagous beetles (Coleoptera: Scarabaeidae): a comparative study. *Annals of the entomological Society of America*, 93 (1): 115 -126.
- Lomolino, MV y Perault, D. R. 2004. Geographic gradients of deforestation and mammalian communities in a fragmented, temperate rain forest landscape. *Global. Ecol. Biogeogr*, 13: 55-64.
- Malcom, J.R., C. Liu, R.P. Neilson, L. Hansen y L. Hannah. 2006. Global warming and extinctions of endemic species from biodiversity hotspots. *Conserv. Biol.* 20(2):538-548
- Martínez-Quintero, B. G., C. A. Cultid-Medina y J. C. Rudas-Grajales. 2014. Método para marcar escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeinae) y su implementación en los Andes de Colombia. *Acta Zoológica Mexicana* (n. s.) 29 (2): 448-451.
- Mateo R.G., Felicísimo A.M. y J. Muñoz. 2012. Modelos de distribución de especies y su potencialidad como recurso educativo interdisciplinar. *Reduca (Biología). Serie Ecología*. 5 (1): 137-153.
- May, S., K. Medley, S. Johnson y E. Hoffman. 2011. Combining genetic structure and ecological niche modeling to establish units of conservation: A case study of an imperiled salamander. *Biological Conservation*. Article in press.
- Medina, C., F. Escobar y M. A. Rojas de Hernández (1990). Aspectos ecológicos y biomecánicos de *Oxysternon conspicillatum* (Coleoptera: Scarabaeidae) en el Valle del Cauca. *Revista Colombiana de Entomología* 16: 54–61.

- Medina, C. A. y G. Kattan. 1996. Diversidad de coleópteros coprófagos (Scarabaeidae) en la Reserva Forestal de Escalerete. *Cespedecia* 21(68): 89-102.
- Mendoza, R., G. Born-Schmidt, I.J. March y P. Álvarez. 2014. Especies invasoras acuáticas y cambio climático, en R. Mendoza y P. Koleff (coords.), *Especies acuáticas invasoras en México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 469-495.
- Morales, N.A.R.K.I.S., 2012. Modelos de distribución de especies: Software MaxEnt y sus aplicaciones en Conservación. *Rev. Cons. Amb.*, 2(1).
- Morón, MA. 2004. Escarabajos 200 millones de años de evolución. Instituto de Ecología, A.C. y Sociedad Entomológica Aragonesa. Zaragoza, España. 204p.
- Morrison, M; Marcot, G; Mannan, W. 1992. Wild-life habitat relationships. Concepts and applications. The Univ of Wisconsin Press. Wisconsin USA. 343p.
- Nichols, E., T, Larsen, S. Spector, A. L. Davis, F. Escobar, M. Davila, K. Vulinec, The Scarabainae Research Network. 2007. Global dung beetles response to tropical forest modification and fragmentation: A quantitative literature review and meta – analysis. *Biological Conservation* 137: 1 – 19.
- Nichols, E. Uriarte, M. Bunker, D.E. Favila, M.E. Slade, E.M. Vulinec, K. Larsen, T. Vaz-de-Mello, F.Z. Louzada, J. Naeem, S. y Spector, S. H. 2013. Trait-dependent response of dung beetle populations to tropical forest conversion at local and regional scales. *Ecology*, 94(1), pp. 180–189 by the Ecological Society of America.
- Ning, Z.H., R.E. Turner, T. Doyle y K.K. Abdollahi. 2003. Preparing for a changing climate: Potential consequences of climate variability and change – gulf coast region. GCRCC. Baton Rouge.

- Noriega, J. A., Moreno, J., Otavo, S. y Castaño, E. 2012. New departmental records for *Digitonthophagus gazella* (Coleoptera: Scarabaeidae) in Colombia. *Acta Biológica Colombiana* 17 (1): 201-204.
- Noss, RF. 1993. Wildlife corridors. In: *Ecology of Minnesota* Smith, DS; Hellmund, PC. Ed(s). Press: Minneapolis. USA.
- Parmesan, C; Yohe, G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421:37-42.
- Pearson, RG; Dawson, TP; Berry, PM; Harrison, PA. 2002. SPECIES: A Spatial Evaluation of Climate Impact on the Envelope of Species. *Ecological Modeling*, (154): 289–300
- Pearson, RG; Dawson, TP. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful?. *Global Ecology y Biogeography*, (12): 361–371
- Peters, RL y Darling, JDS. 1985. The greenhouse effect and nature reserves. *Bioscience* 35: 707-717.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., y Schapire, R.E. 2006. Maximum Entropy Modeling of Species Geographic Distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231–259.
- Primack, R; Rozzi, R; Feisinger, P; Dirzo, FM. 2001. *Fundamentos de conservación biológica*. México: FCE.
- Quiggin, J. 2009. Complexity, climate change and the precautionary principle. *Climate Change Working Papers WPC07_3*, Risk and Sustainable Management Group, University of Queensland
- Raskin, P, Monks F. Ribeiro, T, Vuuren D. V y Zurek M. 2005. Global Scenarios in Historical Perspective. Cap. 2. In: *Ecosystems and Human Well-being: Scenarios*.

- Retamosa, M. 1999. Selección de hábitat y características de paisaje asociadas con la distribución del pájaro sobrilla (*Cephaloptheris glabricollis*: Cotingidae) en la cordillera de Tilarán y su Vertiente Atlántica, Costa Rica: implicaciones para su conservación. Tesis Mag. Sc. Heredia, Costa Rica. Universidad Nacional. 83p.
- Rocchini, D., J. Hortal, s. Lengyel, J.M. Lobo, A. Jiménez-Valverde, C. Ricotta, G. Bacaro y A. Chiarucci. 2009. Accounting for uncertainty when mapping species distributions: the need for maps of ignorance. *Progress in Physical Geography*. En prensa.
- Romero-Alcaraz, E. y Ávila, JM. 2000. Effect of altitude and type of habitat on the abundance and diversity of Scarabaeoidea dung beetles (*Scarabaeoidea*) assemblages in a Mediterranean area southern Iberian Peninsula. *Zool. Stud*, 39: 351-359.
- ScarabNet taxon database. 2016. [http://www.researchgate.net/publication/258344500_ScarabNet_Global_Taxon_Database_\(version_1.5\)](http://www.researchgate.net/publication/258344500_ScarabNet_Global_Taxon_Database_(version_1.5))
- 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. y Franklin, J. 2000. The effects of future urban development on habitat fragmentation in the Santa Monica Mountains. *Landscape Ecology* 15: 713–730. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.
- Thuiller, W; Lavorel, S; Araujo MB; Sykes, MT; Prentice, IC. 2005. Climate change threats to plant diversity in Europe. *PNAS*, 102(23): 8245-8250.

- Turner, MG; Gardner, H.R; O'Neill, R.V. 2001. Landscape ecology in theory and practice. Pattern and process. Springer Science Business Media, Inc. USA. 400p
- 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. y 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: *Stenopelmatus*). Journal compilation © 2006 Blackwell Publishing Ltd. Molecular Ecology (2007) 16, 977–992. doi: 10.1111/j.1365-294X.2006.03216.x.
- Villareal H., M. Álvarez, S. Córdoba, F. Escobar, G. Fagua, F. Gast, H. Mendoza, M. Ospina, A. M. Umaña. 2004. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Instituto de investigación de recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá. Colombia.
- Vulinec K. 2000. Dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae), monkeys, and conservation in Amazonia. Florida Entomologist, 83(3): 229 – 241.
- White, P; Kerr, JT. 2006. Contrasting spatial and temporal global change impacts on butterfly species richness during the 20th century. Ecography, (29): 908-918.
- Williams, J.N., C. Seo, J. Thorne, J.K. Nelson, S. Erwin, J.M. O'Brien y M.W. Schwartz. 2009. Using species distribution models to predict new occurrences for rare plants. Div. Dist., 15: 565-576.

Wilson RD, Trueman JWH, Williams, SE y Yeate, DK. 2007. Altitudinally restricted communities of Schizophoran flies in Queensland's Wet Tropics: vulnerability to climate change. *Biodiversity and Conservation*, 16 (11): 3163-3177.

Yukimoto, S., Adachi, Y., Hosaka, M., Sakami, T., Yoshimura, H., Hirabara, M., Y. Tanaka, Y., Dhindo, R., Tsujino, H., Deushi, M., Izuta, R., Yabu, S., Obata, A., Nakano, H., Koshiro, T., Ose, T. y A. Kitoh. 2012. A New Global Climate Model of the Meteorological Research Institute: MRI-CGCM3.-Model Description and Basic Performance-. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol. 90A, pp. 23-64.