

Biodiversidad EN LA PRÁCTICA

Documentos de trabajo del Instituto Humboldt



EDICIÓN CAMBIO CLIMÁTICO

VOLUMEN 4 - NÚMERO 1 - 2019 - PP. 86-110

Recibido: 17 de diciembre de 2018 -

Aprobado: 04 de febrero de 2019.

María Cecilia Londoño

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia.

mlondono@humboldt.org.co

Liliana Patricia Saboyá

Departamento de Ecología y Territorio, Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

lilianasaboya@javeriana.edu.co

Nicolás Urbina-Cardona

Departamento de Ecología y Territorio, Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

urbina-j@javeriana.edu.co



REFLEXIÓN

Conocimiento científico de los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad continental: productividad de las instituciones colombianas y propuesta para un análisis integral

Scientific knowledge about the effects of climate change on continental biodiversity: productivity of Colombian institutions and proposal for an integrative analysis

RESUMEN

Conocer los efectos del cambio climático (CC) sobre la biodiversidad es complejo pues diferentes escalas de biodiversidad, interacciones, fenología, asincronías y escalas espaciales están implicadas. Revisar las publicaciones sobre la relación entre CC y biodiversidad permite identificar las áreas de conocimiento e instituciones que aportan al entendimiento del tema. De los 65.169 documentos encontrados en las bases de datos revisadas, más del 70 % fueron publicados en los últimos 8 años. Alrededor de 20 instituciones colombianas (304 publicaciones) han producido nuevo conocimiento en el tema y en los últimos 8 años han incrementado el número de áreas de conocimiento trabajadas, de 23 a 40 áreas. Las instituciones colombianas han colaborado con hasta 500 instituciones en todo el mundo para producir nuevos conoci-

mientos sobre el tema. En la presente reflexión se propone estudiar los efectos del CC sobre la biodiversidad continental en 5 niveles y se plantea un diagrama conceptual para su integración: 1. Desplazamiento geográfico en distribución de especies; 2. Cambios fenológicos: migración, floración y reproducción de individuos; 3. Modificaciones en la morfología, tamaño corporal y comportamiento en poblaciones; 4. Modificación de la estructura de comunidades; 5. Modificación en las interacciones bióticas. Por último, se plantean retos de estudio e interacción científica, se evidencian sinergias entre los temas de investigación y se proponen elementos clave para la construcción de indicadores.

Palabras clave: Bibliometría. Cambio global. Comunidades bióticas. Distribución de especies. Estructura de comunidades. Fenología de especies. Interacciones bióticas. Rasgos de historia de vida.

ABSTRACT

Understanding the effects of climate change (CC) on biodiversity is complex because it involves multiple scales of biodiversity, biotic interactions, phenology, asynchronies, and spatial scales. By reviewing publications on the relationship between CC and biodiversity, the areas of knowledge and institutions that contribute to understanding the subject were identified. We found 65,169 documents in peer-review literature databases, of which more than 70% were published in the last eight years. About 20 Colombian institutions (304 publications) have produced new knowledge on the subject, and in the last eight years have increased the number of knowledge areas worked, from 23 to 40 areas. Colombian institutions have collaborated with up to 500 institutions globally to produce new knowledge on the subject. In this work we propose five levels to understand the effects of CC on continental biodiversity and a conceptual diagram for their integration: (1) Geographic displacement in the distribution of species, (2) Changes in phenology: migration, flowering, and reproduction of individuals, (3) Modifications in morphology, body size and behavior in populations, (4) Modification of the structure of communities, and (5) Modification of biotic interactions. Finally, we identify challenges for the scientific research for understanding the effects of CC on biodiversity, evidence synergies between research topics, and propose key monitoring elements for the construction of indicators.

Keywords: Bibliometrics. Biotic communities. Biotic interactions. Community structure. Global change. Life history traits. Species distribution. Species phenology.

INTRODUCCIÓN

“We are changing Earth more rapidly than we are understanding it”.
Vitousek *et al.*, 1997

Desde la década de los 50 del siglo anterior se han desarrollado investigaciones sobre cambio climático (CC) y biodiversidad, muchos de ellos se han centrado en el efecto

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN
PALABRAS CLAVE
ABSTRACT
KEY WORDS
INTRODUCCIÓN
DESARROLLO
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES
REFERENCIAS
AGRADECIMIENTOS
SOBRE LOS AUTORES
ANEXOS

que el aumento de temperatura tiene sobre las especies, observando una tendencia hacia el cambio en la distribución y desplazamiento de los rangos geográficos de las especies hacia latitudes o altitudes mayores (Forero-Medina *et al.*, 2011; Walther *et al.*, 2002). También se tiene evidencia del cambio fenológico y migratorio pues se ha observado, para el hemisferio norte, un adelanto en los eventos relacionados con el inicio de la primavera (Rosenzweig *et al.*, 2007). Setenta años después de haber iniciado el camino del entendimiento de los efectos del CC sobre la biodiversidad podemos exponer claramente la complejidad del tema y ver que el efecto sobre las especies es solo la punta del iceberg. Las publicaciones científicas en medios arbitrados por pares expertos son una de las principales fuentes de difusión tradicional del nuevo conocimiento a nivel global. Actualmente, existen bases de datos especializadas (por ejemplo, Web of Science (WoS), Scopus y ScienceDirect), que indexan revistas científicas bajo sus propios parámetros, y permiten realizar búsquedas estructuradas y sistemáticas de artículos científicos publicados sobre determinado campo del conocimiento.

El efecto del CC es analizado desde cuatro fenómenos particulares: 1. Aumento en temperatura; 2. Cambio en precipitaciones; 3. Aumento de eventos extremos; 4. Cambio en las concentraciones atmosféricas, especialmente el incremento de CO₂. Cada uno de ellos da respuestas diferenciales entre los elementos que componen los ecosistemas por lo que es necesario discriminar los efectos del cambio climático a los diferentes niveles de la biodiversidad: individuos, poblaciones, especies, comunidades e interacciones entre especies (Figura 1). El desacoplamiento de las interacciones que mantienen a los sistemas naturales, tiene muchas veces un impacto inesperado, en espacio y tiempo, el cual percibimos solo cuando se ve afectado nuestro bienestar humano; por ejemplo, al reducirse los procesos de polinización o al incrementar la tasa de enfermedades emergentes (Figura 1).

En la presente reflexión, exploramos las tendencias de la producción científica frente al tema del efecto del CC sobre la biodiversidad, y proponemos cinco niveles de análisis para una mejor comprensión de este complejo fenómeno (Figura 1):

- 1. DG.** Desplazamiento geográfico en la distribución de las **especies**, delimitado por la estructura y conectividad del hábitat, las barreras biogeográficas y el nicho climático de las especies.
- 2. CF.** Cambios fenológicos a nivel de la migración, floración y reproducción de **individuos**, mediados por la plasticidad fenotípica, la evolución, la adaptación y las dinámicas poblacionales.
- 3. MM.** Modificaciones en la morfología, tamaño corporal y comportamiento, a nivel de **poblaciones**, las cuales modelan la estructuración de las comunidades (MC) incluyendo las interacciones bióticas (MI) y la distribución de las especies (DG).

4. MC. Modificación de la estructura de las **comunidades**, dada por la interacción entre los efectos en (DG), (CF) y (MM).

5. MI. Modificación en las **interacciones bióticas**, que hacen parte del análisis a nivel comunitario (MC) pero se plantea como una categoría adicional al presentar propiedades emergentes que van más allá de las relaciones taxonómicas, filogenéticas, y de los patrones de abundancia y rareza en el ensamblaje.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

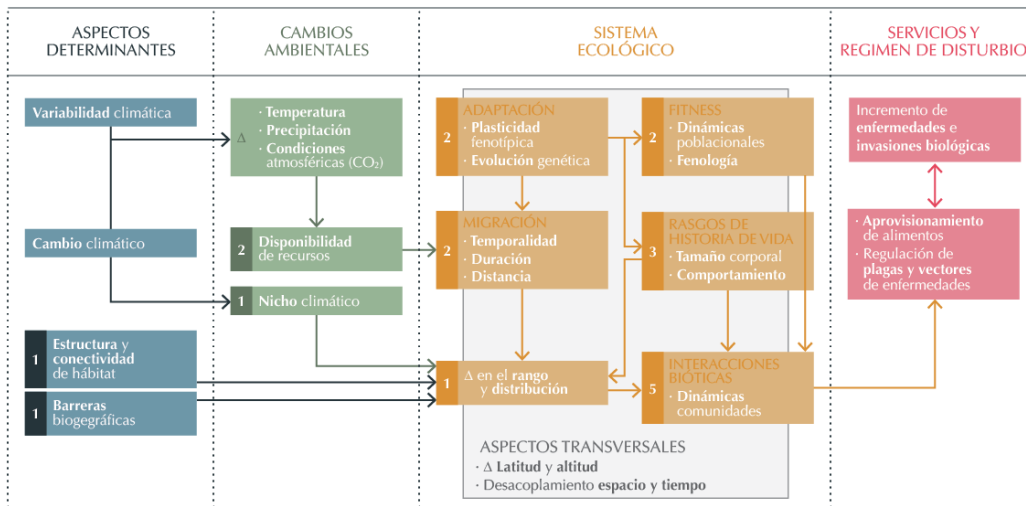


Figura 1. Diagrama conceptual de los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad. Significado del color de las cajas: azul y verde, representan características predictoras de cambio en sistemas biológicos; naranja, representan características de respuesta de los sistemas biológicos; gris, indican aspectos transversales que median y determinan los efectos causales definidos por las flechas; rojo, ejemplifican efectos del cambio en servicios ecosistémicos y regímenes de disturbio. La dirección de la flecha entre cajas indica un efecto causal y los números el nivel de análisis propuesto en este texto: 1= DG, 2= CF, 3= MM y 5=MI. Cabe resaltar que el numeral 4 (MC) está considerado dentro de 5.

DESARROLLO

1. Búsqueda de literatura

Con el fin de determinar los patrones de publicación en la literatura científica sobre el efecto del cambio climático en la biodiversidad, se realizaron búsquedas en tres bases de datos (WoS, Scopus y ScienceDirect) usando la ecuación de búsqueda: («climate change» OR «global warming») AND (biodiversity OR specie* OR endemic* OR ecosystem*). Los términos de búsqueda se limitaron al título, resumen y palabras clave de cada documento. El periodo de años de la búsqueda varió entre las bases de datos, dependiendo de la suscripción vigente de la Pontificia Universidad Javeriana (a febrero de 2018), así: WoS entre 2001 y 2018; Scopus entre 1955 y 2018, y ScienceDirect entre 1973 y 2018. Haciendo uso de las herramientas de clasificación de publi-

RESUMEN
PALABRAS CLAVE
ABSTRACT
KEY WORDS
INTRODUCCIÓN
DESARROLLO
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
AGRADECIMIENTOS
REFERENCIAS
SOBRE LOS AUTORES
ANEXOS

caciones de Scopus, se determinaron las áreas de conocimiento a las que pertenecen los documentos. Adicionalmente, se modificó la búsqueda inicial adicionando AND TS=("Freshwater" OR River* OR Stream* or Watershead) para identificar trabajos relacionados con recursos hidrobiológicos y AND TS=(Marine Or Costal Or Ocean) para identificar trabajos relacionados con ambientes marinos. De los resultados obtenidos se restringió la búsqueda a aquellos estudios que incluyeran al menos un autor con filiación institucional en Colombia. Finalmente, se analizó el estado de conocimiento desde la productividad científica para conocer: a. el número de publicaciones sobre el tema a lo largo del tiempo; b. las áreas de conocimiento en las que se han desarrollado estas investigaciones; y c. las instituciones más productivas en la generación de conocimiento en este campo.

2. Tendencias en la producción científica sobre cambio climático y biodiversidad

2.1 Productividad a nivel global

Relacionadas con el efecto del cambio climático en la biodiversidad, se encontraron en total 57.180 publicaciones en WoS, 65.169 en Scopus y 10.728 en ScienceDirect. A partir de la década de los 90 se evidencia un aumento en el número de publicaciones, de las cuales las bases de datos WoS y Scopus contienen mayor cantidad de literatura (Figura 2). Del total de estudios publicados hasta 2018, el 75,6 % se han realizado en la década de 2010 (Figura 2).

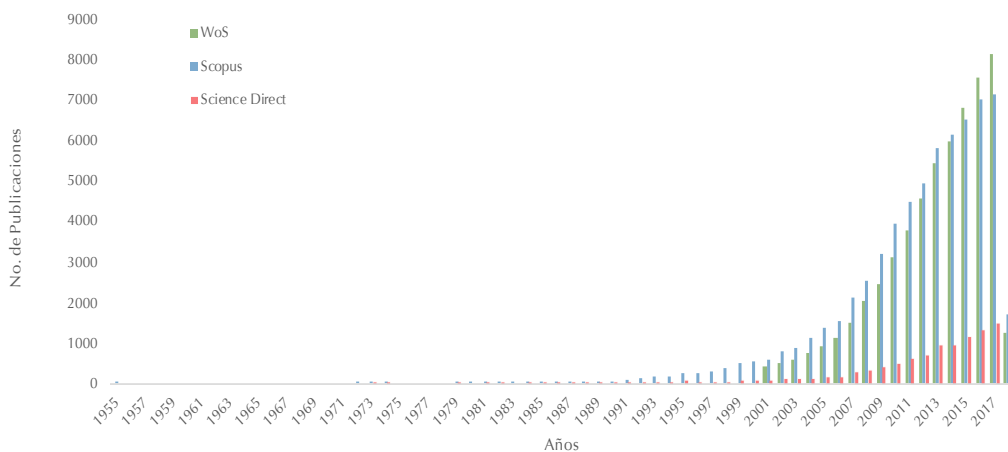


Figura 2. Número de publicaciones por año reportadas por las bases de datos WoS, Scopus y Science Direct.

Los estudios realizados han estado vinculados a las ciencias agrícolas, biológicas y ambientales. Otras áreas de conocimiento de importancia son ciencias de la tierra-planetarias y genética-bioquímica-biología molecular (Figura 3). A nivel global, el 14,8 % de publicaciones incluyeron temas dulceacuícolas y el 19,6 % temas marinos (Anexo 1).

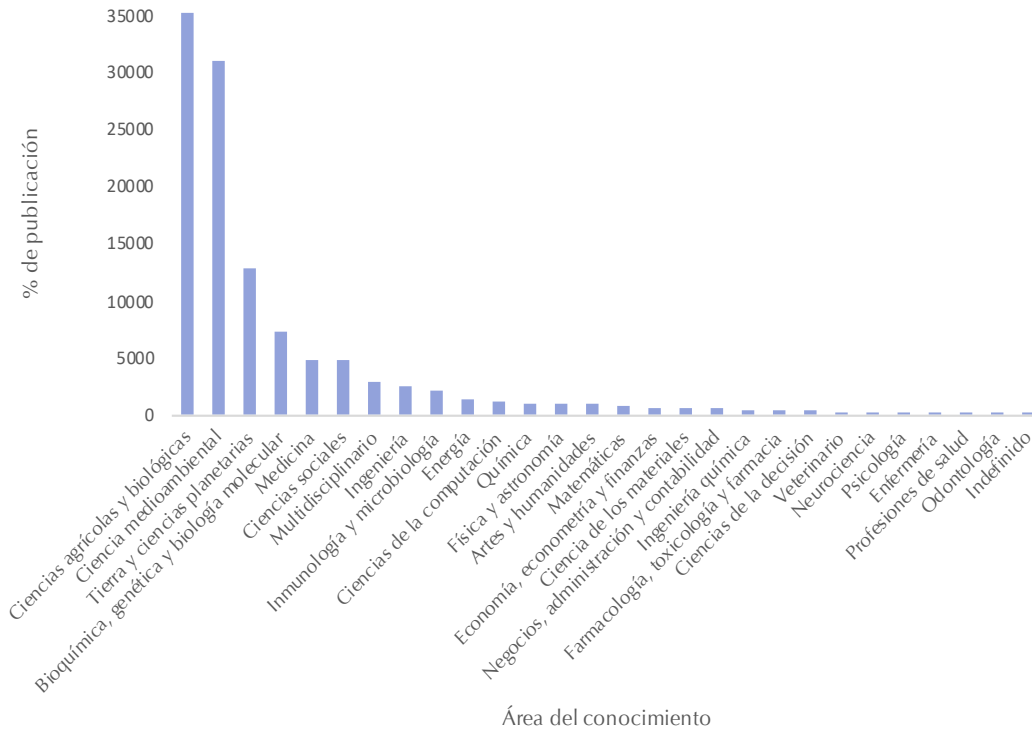


Figura 3. Porcentaje de publicaciones por área de conocimiento, acorde con la base de datos Scopus. Dado que las categorías de áreas del conocimiento entre Scopus y WoS son diferentes, y que ScienceDirect no permite clasificar los documentos bajo este parámetro, se muestran solamente las áreas acorde a Scopus.

El mayor número de publicaciones han sido realizadas por instituciones en los Estados Unidos, seguido por el Reino Unido, China, Australia, Alemania y Canadá (Figura 4). En este listado general Colombia se encuentra ubicado en el puesto 39, y a nivel de América Latina ocupa el quinto lugar, con 303 publicaciones luego de Brasil, México, Argentina y Chile (Anexo 2).

- RESUMEN
- PALABRAS CLAVE
- ABSTRACT
- KEY WORDS
- INTRODUCCIÓN
- DESARROLLO**
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- AGRADECIMIENTOS
- REFERENCIAS
- SOBRE LOS AUTORES
- ANEXOS

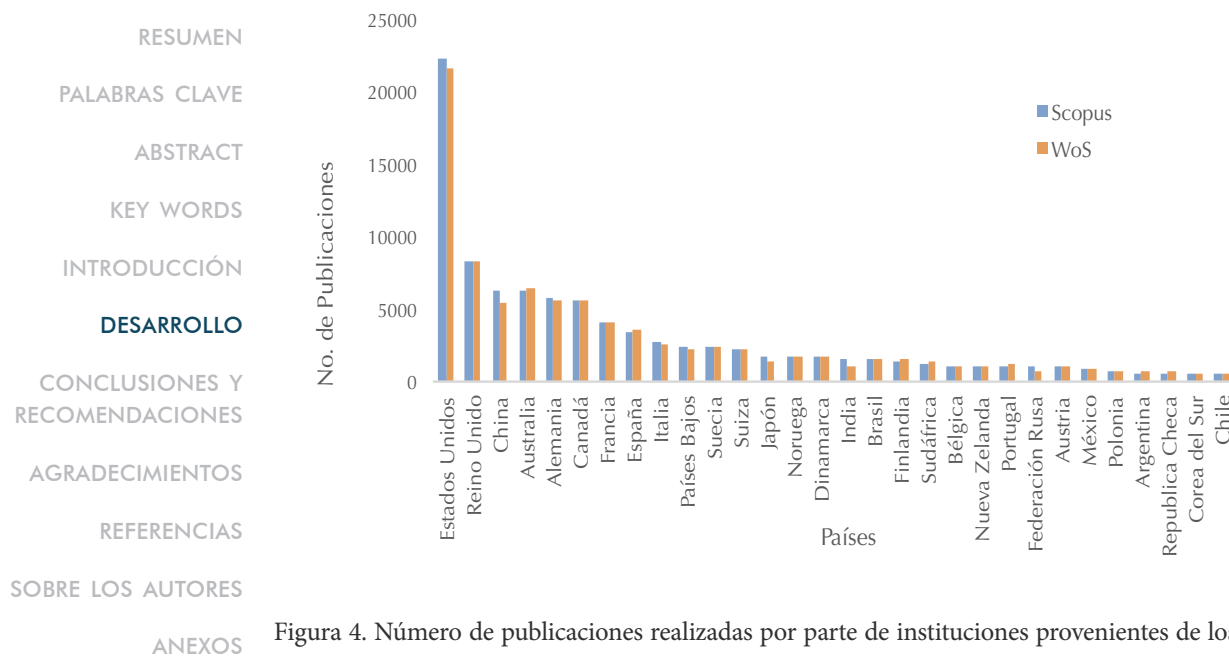


Figura 4. Número de publicaciones realizadas por parte de instituciones provenientes de los 30 países con mayor producción científica sobre el tema. Los resultados se muestran para las bases de datos WoS y Scopus, para la base de datos Sciencedirect no se encuentra disponible esta información.

2.2 Productividad con coautoría de instituciones colombianas

Se encontraron 301 publicaciones en WoS y 296 en Scopus, iniciando desde el año 1996, de las cuales aproximadamente el 90 % son estudios de caso y 10 % son revisiones de literatura. A partir de 2010 se puede observar un incremento de 81 % en el número de publicaciones (Figura 5).

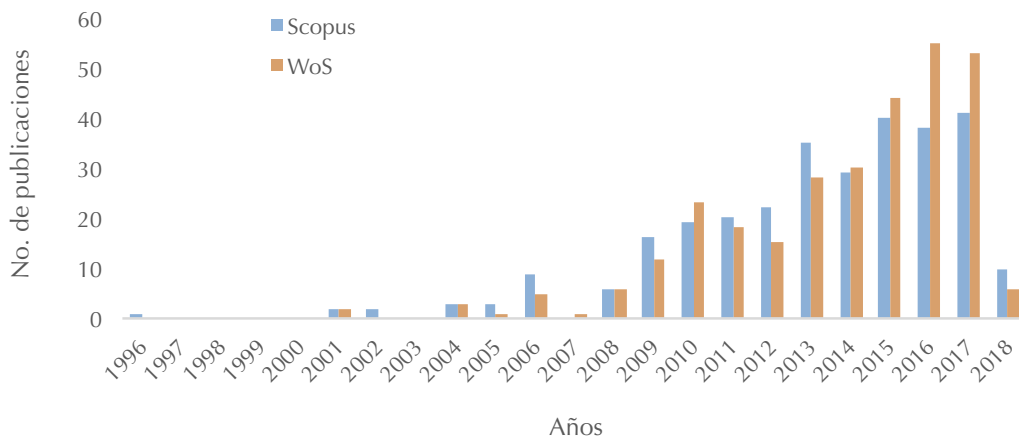


Figura 5. Número de publicaciones por año en las cuales participa al menos un coautor con filiación institucional en Colombia. Los resultados se muestran para las bases de datos WoS y Scopus (la información no se encontraba disponible para la base de datos ScienceDirect).

El número de áreas de conocimiento a las que las publicaciones pertenecen, ha aumentado en 42 % desde la década del 2000, durante la cual los documentos pertenecían a 23 áreas. A partir de la década del 2010, los documentos pertenecen a 40 áreas del conocimiento. Colombia sigue la tendencia global en cuanto a un mayor número de publicaciones en las áreas de conocimiento que abordan el tema de ciencias ambientales, ecología y agricultura; adicionalmente, las instituciones colombianas también están trabajando en biodiversidad y conservación (Figura 6). Sin embargo, para la década de los 2010 se registra, por un lado, una disminución en temas relacionados con geografía, genética, pesca, recursos hídricos y sensores remotos, entre otros; por otro lado, se presenta un incremento en las publicaciones en nuevas áreas emergentes como ciencias atmosféricas, medicina tropical, entomología y parasitología. El 15,6 % de publicaciones incluyeron temas dulceacuícolas y el 14,6 % temas marinos (Anexo 1).

- RESUMEN
- PALABRAS CLAVE
- ABSTRACT
- KEY WORDS
- INTRODUCCIÓN
- DESARROLLO
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- AGRADECIMIENTOS
- REFERENCIAS
- SOBRE LOS AUTORES
- ANEXOS

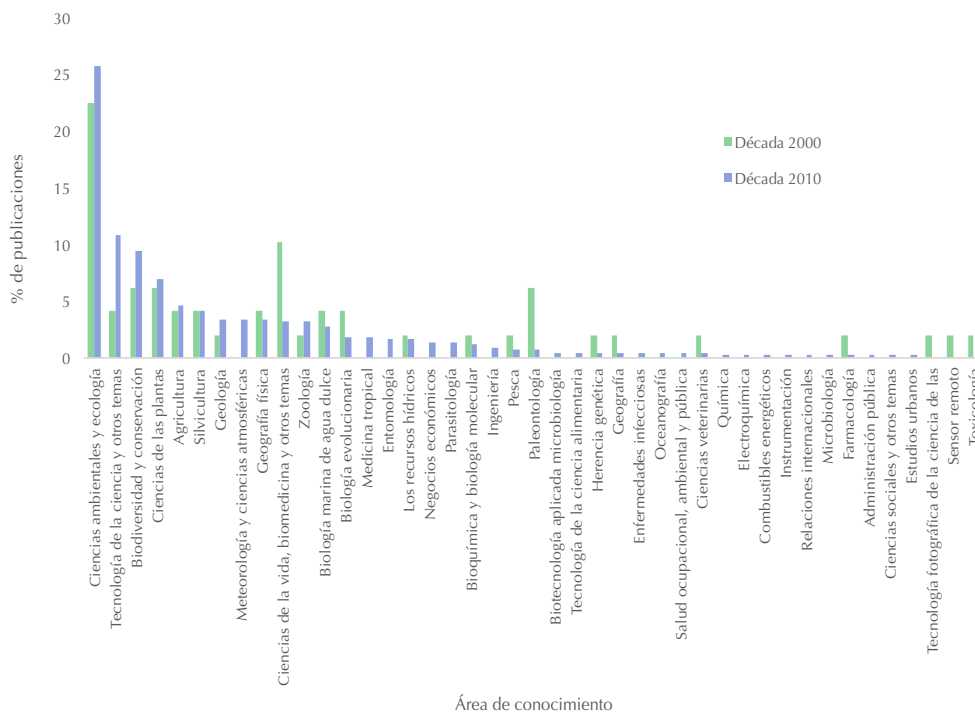


Figura 6. Porcentaje de publicaciones por décadas por área de conocimiento, ya sean realizados en Colombia o por Instituciones Colombianas. Los resultados se muestran para las bases de datos Scopus.

Para el caso colombiano, entre 14 y 20 instituciones (dependiendo de la base de datos) han publicado documentos científicos en colaboración con una gran cantidad de instituciones extranjeras (entre 160 y 500, dependiendo de la base de datos). La Universidad Nacional de Colombia es la institución Colombiana con más publicaciones sobre el tema (78 reportadas en Scopus y 59 en WoS), seguida por el CIAT (entre de 60 a 70 publicaciones) (Figura 7).

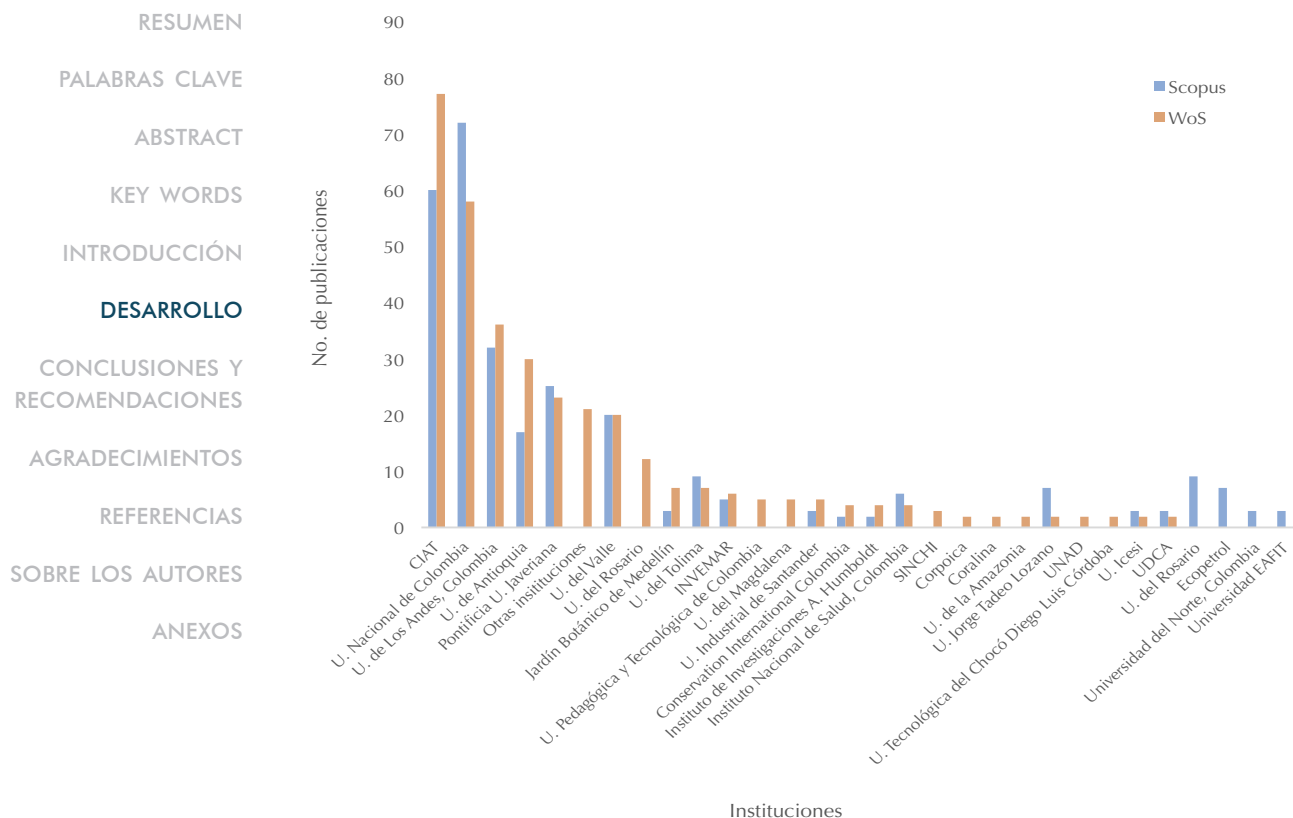


Figura 7. Número de documentos publicados por instituciones colombianas. Los resultados se muestran para las bases de datos WoS y Scopus.

Al compilar los coautores de todas las publicaciones con coautoría de instituciones colombianas se puede evidenciar un conjunto de 500 autores que han realizado publicaciones, de los cuales solamente el 6,4 % ha publicado entre 4 y 14 documentos. Esto demuestra la gran diversidad de autorías y la baja especialización en el tema por parte de los investigadores (Anexo 3).

3. La evidencia científica

Es creciente la evidencia que demuestra que el cambio climático será una de las principales amenazas para la biodiversidad y el bienestar humano (Pecl *et al.*, 2017; Bellard *et al.*, 2012). Como se puede observar en la Figura 1, los resultados de las investigaciones fueron agrupados para una propuesta de niveles de análisis que representan los temas más relevantes y que cuentan con evidencia científica de los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad continental. A continuación describimos estos niveles de análisis y su evidencia científica.

3.1 Desplazamiento geográfico en la distribución de las especies (DG)

La distribución de las especies está restringida por factores históricos, bióticos y abióticos (Soberón y Peterson, 2011). Para el estudio de los abióticos es importante entender el concepto de nicho climático, el cual se delimita por los rangos en los que la especie puede persistir. Si asumimos que el nicho climático se mantiene en el tiempo (conservadurismo de nicho), frente al cambio climático las especies deberán buscar los espacios geográficos que mantienen ese nicho climático. Si en esta búsqueda las especies cuentan con que otros factores como disponibilidad de hábitat, interacciones bióticas y barreras geográficas le son favorables y permiten su movimiento, entonces puede haber desplazamiento geográfico de las especies (Figura 1). Si, por el contrario, las condiciones no son apropiadas, la especie no podrá buscar su nicho climático y se verá enfrentada a unas nuevas condiciones ambientales a las que, dada su plasticidad morfológica, fisiológica y comportamental, deberá adaptarse (Rodríguez-Trelles y Rodríguez, 1998) o colapsar (Pounds y Crump, 1994). Sin embargo, se ha demostrado que las especies no se adaptan con facilidad a cambios ambientales intensos y frecuentes, por lo que el cambio de distribución geográfica parecería una de las respuestas más factibles (Martínez-Meyer *et al.*, 2004).

Se ha demostrado que algunas especies ya se han desplazado latitudinalmente (a una tasa promedio de 16,9 km por década) en dirección hacia los polos, y altitudinalmente (a una tasa promedio de 11 m por década) hacia mayores elevaciones, también que estas tendencias se incrementan con mayores niveles de calentamiento (Chen *et al.*, 2011). Algunos estudios sugieren que la mayor parte de las variaciones en las áreas de distribución de especies ocurrirá en las regiones tropicales de Suramérica, en las que las especies que habitan en las montañas son más vulnerables a los efectos de cambio climático (Sekercioglu *et al.*, 2008; Urbina-Cardona, 2011; Sekercioglu *et al.*, 2012). Bajo estos escenarios, la biodiversidad tiende a incrementar sus rangos altitudinales y a colonizar tierras altas; sin embargo, en algunas ocasiones la ocupación de nuevos rangos altitudinales puede llevar a las poblaciones traslocadas a una trampa dada la presencia de enfermedades emergentes (Seimon *et al.*, 2007).

Estos movimientos hacia tierras altas, se explican como una respuesta de las especies al aumento en la temperatura promedio del siglo pasado (Parmesan y Yohe, 2003). En varios casos, se ha evidenciado que el desplazamiento corresponde a lo predicho si los organismos buscan su temperatura óptima (Moritz *et al.*, 2008, Beckage *et al.*, 2008, Colwell *et al.*, 2008). En este sentido, especies pertenecientes a los grupo de anfibios y reptiles, al ser organismos ectotermos que no producen suficiente calor metabólico para controlar su temperatura corporal, por lo cual lo absorben en su mayoría del medio en el que se encuentren, han sido considerados como uno de los grupo con mayor sensibilidad a las variaciones ambientales, ya que todos sus procesos fisiológicos son termodependientes, y por tanto, afectan su distribución geográfica

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN	(Deutsch <i>et al.</i> , 2008; Araújo <i>et al.</i> , 2009; Huey <i>et al.</i> , 2009; Sinervo <i>et al.</i> , 2010; Forero-Medina <i>et al.</i> , 2011; Vitt y Caldwell, 2013; Bonino <i>et al.</i> , 2015).
PALABRAS CLAVE	
ABSTRACT	La temperatura ha sido identificada como un factor limitante para la biodiversidad en ecosistemas tropicales de alta montaña (Navas 1997, 2008; Graham <i>et al.</i> , 2009; Kessler <i>et al.</i> , 2011). Los gradientes altitudinales han sido utilizados desde el siglo XIX (von Humboldt, 1849) hasta la actualidad (Sundqvist <i>et al.</i> , 2013) para entender la respuesta de las comunidades y los ecosistemas a cambios ambientales. Para el caso del cambio climático, el estudio de gradientes altitudinales resulta importante debido a la relación de que a mayor altitud se encuentra una menor temperatura y una menor área geográfica (Körner, 2007). Recientemente se ha planteado para Colombia que aquellas especies de anfibios y reptiles que pueden ser más afectadas por el cambio climático son las que habitan páramos y bosques andinos, en franjas altitudinales estrechas (Urbina-Cardona, 2011); lo anterior debido a la desaparición paulatina de epífitas en el bosque como consecuencia de la reducción en la neblina y el incremento en eventos extremos de sequía (Pounds <i>et al.</i> , 2005).
KEY WORDS	
INTRODUCCIÓN	
DESARROLLO	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
AGRADECIMIENTOS	
REFERENCIAS	
SOBRE LOS AUTORES	
ANEXOS	

3.2 Cambios fenológicos: migración, floración, reproducción (CF)

Dado que algunas especies han reportado desplazamiento hacia latitudes mayores, la distancia en sus migraciones desde latitudes menores se ha extendido, teniendo que recorrer rutas más largas para poder encontrar los recursos necesarios para su supervivencia (Fiedler, 2003). El cambio en la disponibilidad de recursos que resulta del cambio en el clima ha afectado también el tiempo de las migraciones, observándose para el hemisferio norte, migraciones más tempranas en el año y esto trae como consecuencia épocas reproductivas más largas (Fiedler, 2003). En otros casos, el aumento en la precipitación ha ocasionado un incremento en recursos disponibles, consecuencia de esto es la supresión de las migraciones o migraciones parciales; es decir que algunos de los individuos de la población no migran al encontrar recursos disponibles en los sitios donde se encuentran (Richardson, 1978).

Frente a los cambios fenológicos observados en plantas, se ha encontrado que algunas especies presentan durante la primavera un adelanto en la floración (y producción de hojas) a una tasa de 2,3-5,2 días por década en los últimos 30 años; la evidencia sugiere que estos cambios ocurren por el aumento de temperatura promedio (Rosenzweig *et al.*, 2007). Los anfibios son uno de los grupos de fauna, cuya fenología se ve ampliamente afectada por efecto del cambio climático (Catenazzi, 2015). Esta asincronía en la reproducción genera alteraciones en las tasas de supervivencia de las poblaciones (Reading, 2007), cambios a nivel comportamental (Ruiz-Aravena *et al.*, 2014), reducción en las migraciones altitudinales (Pounds, 1999), bajo éxito reproductivo (Gao *et al.*, 2015) y alteración de la estructura de los ensamblajes (Beebee, 1995; Blaustein *et al.*, 2001; Parmesan, 2006; Green, 2016).

Cambios en los tiempos de floración tienen un efecto cascada frente a aquellos ciclos biológicos que dependen de ellos (Myneni *et al.*, 1997). Por ejemplo, en ecosistemas en Europa se ha evidenciado que la presencia de flores es necesaria para asegurar la reproducción de insectos, que a su vez son el alimento de aves migratorias, que alimentan con ellos a sus crías. Si el adelanto de la migración de las aves no coincide con el de la época de floración, hay un desacoplamiento en el ciclo biológico; además el éxito reproductivo de las aves se ve afectado de manera negativa al bajar la sobrevivencia de las crías (Visser *et al.*, 1998; Both *et al.*, 2006). Este caso puede ser extrapolado a otros en los que las interacciones de polinización están relacionadas (Memmott *et al.*, 2007) y, los desacoplamientos en los tiempos de floración y disponibilidad de polinizadores tienen efectos graves en la producción de alimentos.

3.3 Modificaciones en la morfología, tamaño corporal y comportamiento (MM)

El tamaño corporal tiene implicaciones importantes para la biología térmica y energía de los organismos (Gardner *et al.*, 2011), pues interactúa con la temperatura ambiente y la corporal, afectando el metabolismo y los rasgos de historia de vida (Calder, 1996). Se ha sugerido que la reducción en el tamaño corporal es una respuesta al calentamiento global (Daufresne *et al.*, 2009); sin embargo, esta sugerencia proviene de estudios localizados y de especies particulares en áreas geográficas específicas. Dado que las evidencias frente al cambio de tamaño corporal tanto en magnitud como en dirección son heterogéneas, Gardner *et al.*, (2011) indican que lo sugerido por Daufresne *et al.*, (2009) es aún prematuro.

El cambio climático actúa en sinergia con otros procesos a nivel de paisaje, como los cambios en el uso y cobertura del suelo. Algunas revisiones recientes han demostrado que dependiendo de su tamaño corporal las especies animales responden a la fragmentación del hábitat (Kosydar *et al.*, 2014) y a los efectos de borde generados en el ecotono entre bosques naturales y ambientes antropogénicos (Pfeifer *et al.*, 2017). En este sentido, el riesgo de extinción de las especies puede ser entendido a partir de algunos rasgos de las especies (Purvis *et al.*, 2000). Aún es un reto entender la relación entre el papel funcional de las especies y su respuesta, dados sus rasgos funcionales, ante factores exógenos de cambio global (Carvajal-Cogollo *et al.*, 2019). Uno de los campos emergentes, que se ha convertido en una herramienta clave para relacionar a las especies con su ambiente, es la ecología térmica (Tuff, 2016), la cual puede ayudarnos a entender mecanismos más complejos que operan sobre las poblaciones (Watling y Braga, 2015).

Entender los vínculos mecánicos que relacionan el tamaño corporal con la heterogeneidad ambiental es de vital importancia para entender la potencialidad que una especie tiene para responder al cambio climático (Gardner *et al.*, 2011). Por

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN ejemplo, estudios como el de Chan *et al.*, (2005) han observado una terminación más temprana en los periodos de hibernación que resulta preocupante, pues estas especies salen de hibernación antes de que los recursos que necesitan para su sobrevivencia estén disponibles, afectando su nutrición y tamaño corporal. Generar información de la que se cree necesario para mejorar los modelos predictivos de respuestas de las especies a los cambios. El creciente uso de modelos correlativos que no incluyen esta información puede estar obstaculizando la interpretación y poder predictivo de otras aproximaciones (Gardner *et al.*, 2011).

DESARROLLO

3.4 Modificación de la estructura de las comunidades (MC)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La evidencia fósil en el estudio de mamíferos ha evidenciado que el cambio climático tiene efectos en la diversidad y composición de comunidades (Barnosky *et al.*, 2003; MacDonald *et al.*, 2008). Los cambios en las comunidades de mamíferos se han relacionado con los ciclos de Milankovitch (van Dam *et al.*, 2006), con el máximo térmico entre el Paleoceno y el Eoceno (Gingerich, 2006), y con el calentamiento global durante el Pleistoceno (Shapiro *et al.*, 2004; Debruyne *et al.*, 2008). Dada esta relación algunos investigadores han usado el estudio de fósiles de mamíferos para reconstruir el paleoclima (Legendre *et al.*, 2005; Fernández y Peláez-Campomanes, 2005).

AGRADECIMIENTOS

A manera de ejemplo, la Red Amazónica de Inventarios Forestales (Rainfor) ha proporcionado evidencia del cambio en la comunidad de bosques primarios en ese ecosistema, en el que géneros de árboles de crecimiento lento han reducido su dominancia y géneros de árboles de crecimiento rápido han aumentado (Laurance *et al.*, 2005; Phillips, *et al.*, 2008). También se ha evidenciado un aumento en la densidad de lianas dentro de estos bosques primarios. Estos cambios se han atribuido al incremento de la concentración atmosférica del CO₂ (Phillips *et al.*, 2008).

REFERENCIAS

Lamentablemente son pocos los conjuntos de datos que tienen la continuidad necesaria para evidenciar cambios recientes en la composición y estructura de las comunidades (Buckland *et al.*, 2005). En la actualidad, se han compilado de manera rigurosa algunas bases de datos globales de estudios de campo a nivel de comunidades: el proyecto BioTIME se enfoca en ensamblar series de tiempo de muestreos de biodiversidad en lugares geográficos con buen estado de conocimiento, para entender el recambio de especies y sus patrones de abundancia y rareza en los ensamblajes (<https://synergy.st-andrews.ac.uk/biotime/biotime-database/>). Por su parte, el proyecto GLORIA (Global Observations Research Initiative in Alpine Environments) busca entender la respuesta multitemporal de las comunidades de plantas a gradientes altitudinales para entender los efectos del cambio climático en la vegetación alpina (<http://www.gloria.ac.at>). Por otro lado, los proyectos BioFRAG (Pfeifer *et al.*, 2014) y PREDICTS (Hudson *et al.*, 2017) han compilado millones de datos de especies en miles de biomas para entender y predecir la respuesta de la biodiversidad ante el cambio global.

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

Si se articulan bases de datos de estructura de comunidades, con datos de rasgos funcionales (de campo, colecciones biológicas y literatura), se podrá tener a futuro un mejor entendimiento de las reglas de ensamblaje que operan sobre los conjuntos de especies y moldean sus dinámicas, a partir de la interacción entre filtros ambientales y similitud limitante (Carvajal-Cogollo *et al.*, 2019). Es así, como estudios clásicos sobre recambio de especies a lo largo de filtros ambientales, como gradientes altitudinales (Rahbek, 2005), pueden verse enriquecidos desde miradas complementarias como las facetas: funcional y filogenética (Hernández-Ordóñez *et al.*, 2019).

3.5 Modificación en las interacciones bióticas (MI)

Los desacoplamientos temporales (dados por los cambios en fenología, migración o comportamiento) y el desacoplamiento espacial (dado por los cambios en las distribuciones geográficas de las especies) resultan en la afectación de las interacciones bióticas. Estos cambios se han documentado (Callaway *et al.*, 2002), y son sin duda una de las consecuencias que mayores efectos desconocidos tiene.

Uno de los casos particulares en que los cambios en las interacciones pueden afectar la salud de los ecosistemas está relacionado con el aumento de enfermedades en plantas. El ciclo de las enfermedades depende de la condición del hospedero, el patógeno y el ambiente. El aumento de la temperatura, la humedad relativa y la humedad específica de las hojas aumenta el éxito del establecimiento del patógeno y, por lo tanto, el riesgo que tienen las plantas de obtener la enfermedad (Agrios, 2005).

Los patógenos y plagas se caracterizan, generalmente, por tener dietas amplias, más de un ciclo reproductivo al año, tasas de crecimiento rápidas, ser altamente móviles, alta plasticidad fenotípica y tiempos generacionales rápidos. Estas características favorecen las especies que las poseen a la adaptación al cambio climático. No hay duda de que el cambio climático puede afectar la frecuencia e intensidad de las enfermedades epidemiológicas (Garrett *et al.*, 2009).

Una de las alertas actuales es que la resiliencia de los sistemas naturales es limitada y presenta un umbral luego del cual el sistema colapsa, debido a que depende de la capacidad de mantener sus funciones e identidad ante escenarios de cambio global (Gao *et al.*, 2016). Gao *et al.*, (2016) llaman la atención a que, dada la interdependencia de las especies para su supervivencia, una especie (y en general un sistema) con mayor número de vínculos tiende a ser más resiliente y tener mayor capacidad de adaptación ante cambios en su entorno, la extinción local de especies simplifica la red reduciendo el número de vínculos hasta presentar un colapso, que se acelera exponencialmente bajo escenarios de cambio climático.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

**CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES**

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

En el presente estudio se muestra que las instituciones colombianas, con cerca de 300 publicaciones, configuran una gran red de colaboración entre autores de instituciones colombianas con otros autores del mundo. Sin embargo, el número de publicaciones por autor es bajo (Anexo 3), aunque en los últimos ocho años ha incrementado la diversidad de áreas del conocimiento de los estudios (Figura 6), lo que permite inferir que el efecto de cambio climático sobre la biodiversidad es un tema estudiado de manera tangencial frente a las principales líneas de investigación, y atomizado en diferentes temáticas por las instituciones del país. Este escenario, en el que gran cantidad de investigadores estudian los efectos de este sobre la biodiversidad, desde diferentes enfoques y perspectivas (como las diferentes rutinas y protocolos usados por diferentes áreas del conocimiento), puede ser visto como una oportunidad para profundizar en los estudios de cambio climático desde una mirada transdisciplinar en la investigación. El paso a seguir será entonces la elaboración de un análisis a mayor profundidad del grado de colaboración y redes de coautoría entre autores de instituciones colombianas y extranjeras. Este análisis deberá mostrar, para estudios realizados sobre la biodiversidad colombiana, dinámicas temporales en las redes de colaboración por diferentes ecosistemas, grupos taxonómicos y de diferentes temáticas de investigación; para evidenciar vacíos de conocimiento en el país y oportunidades de interacción entre grupos de investigación. Por lo pronto, resaltamos dos temas generales y prioritarios para trabajar las posibles colaboraciones en cuanto a biodiversidad continental: 1. Efectos sinérgicos; y 2. Requerimientos y desafíos para la construcción de indicadores de monitoreo.

Efectos sinérgicos

Con el paso del tiempo, la humanidad es cada vez más consciente de que el cambio climático amenaza la persistencia de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos (Bhattarai, 2017), como se demuestra por la evidencia científica destacada en este documento. Sin embargo, se debe recordar que, simultáneamente, enfrentamos múltiples fenómenos como consecuencia de la acción humana, entre los cuales están la pérdida, fragmentación y degradación del hábitat; la contaminación y el deterioro de las fuentes de agua dulce; la contaminación y la degradación del medio ambiente marino; la deforestación y el incremento de la desertización; los contaminantes orgánicos persistentes; y la desestabilización de los ciclos de fósforo y nitrógeno, entre otros. Todos estos fenómenos se encuentran interrelacionados en forma compleja y profunda, afectando la biodiversidad a través de complejos mecanismos que incluyen, por ejemplo, las enfermedades emergentes y los cambios en el uso del suelo (Hof *et al.*, 2011) o a la regeneración de los bosques y su relación con regímenes de disturbio de origen natural (Suazo-Ortuño *et al.*, 2018). Brook *et al.*, (2008) afirmaron que las interacciones entre factores que amenazan la biodiversidad generan un efecto sinérgico mayor que el efecto individual.

Uno de los efectos sinérgicos más estudiados es el del cambio climático y la pérdida de hábitat. Travis (2003) afirmó que la combinación de pérdida y fragmentación de hábitat, junto con los efectos del cambio climático puede tener consecuencias desastrosas para la conservación de la biodiversidad, especialmente para especies con requerimientos ecológicos muy específicos. Para las zonas tropicales se predice una mayor variación de las áreas de distribución de las especies, ya que es aquí donde se encuentran las mayores tasas de crecimiento de la población humana y donde las economías se sustentan principalmente de aprovechar los recursos naturales, generando mayores tasas de transformación del paisaje y de pérdida de especies (Beaudrot *et al.*, 2016, Dirzo *et al.*, 2014). Un aspecto alarmante y poco estudiado es el posible incremento en las invasiones biológicas en áreas naturales protegidas bajo escenarios de cambio climático (Nori *et al.*, 2011; Loyola *et al.*, 2012).

La tasa de adaptación del nicho climático de más de 260 especies (artrópodos, plantas, mamíferos y aves) es en promedio 20.000 veces más lenta que las tasas proyectadas de cambio climático futuro (Jezkova y Wiens, 2016). Tal como afirman los científicos, la Tierra ha ingresado en la era del Antropoceno, caracterizada por cambios de una magnitud similar a los de las otras eras geológicas de nuestro planeta. La diferencia es que esas otras eras no estuvieron marcadas por la acción del hombre, sino por eventos ocurridos en el planeta o generados desde el espacio exterior, como el choque de grandes asteroides. Vivimos en una era de cambio del planeta ocasionada por la humanidad e, ineludiblemente, nos enfrentamos a prever y mitigar estos cambios y adaptarnos a ellos.

El entendimiento y modelamiento holístico de los ecosistemas es una necesidad urgente para consolidar herramientas robustas que permitan predecir la respuesta de la biodiversidad al CC y poder plantear escenarios de respuesta en reducción y mitigación de sus efectos.

Requerimientos y desafíos para la construcción de indicadores de monitoreo

El monitoreo es fundamental para poder entender los patrones históricos y actuales de la biodiversidad, detectar señales de efectos de CC y poder adaptar las respuestas de manejo (Hole *et al.*, 2011). Indicadores de vulnerabilidad de las especies al cambio climático se han evaluado a través de métricas que describen cambios en el rango geográfico, cambios poblacionales y probabilidad de extinción (Pacifci *et al.*, 2015; Foden *et al.*, 2016). Pese a que se han documentado numerosos efectos del CC sobre la biodiversidad, el problema de los indicadores de impacto es que son difíciles de definir, esto sucede porque los efectos del cambio climático en la biodiversidad afectan sistemas dinámicos y complejos que adicionalmente están sujetos a otros factores que pueden estar ocasionando los cambios observados (efectos sinérgicos) y que son difíciles de controlar.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN	Para la construcción de indicadores que respondan a entender los efectos del cambio climático en la biodiversidad continental se deben tener en cuenta los siguientes puntos:
PALABRAS CLAVE	
ABSTRACT	
KEY WORDS	
INTRODUCCIÓN	
DESARROLLO	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
AGRADECIMIENTOS	
REFERENCIAS	
SOBRE LOS AUTORES	
ANEXOS	

Para la construcción de indicadores que respondan a entender los efectos del cambio climático en la biodiversidad continental se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

a) Tener datos en escalas de tiempo adecuadas: estudios en escalas temporales cortas van a mostrar los efectos de la variabilidad del tiempo en la biodiversidad, más no del cambio en los patrones del clima; por el contrario, estudios a escalas temporales muy amplias, por ejemplo los estudios paleontológicos, enmascaran los verdaderos efectos del cambio climático antropogénico al evidenciar cambios direccionales y graduales. Recientemente, se ha sugerido que el registro fósil es impreciso, incompleto y sesgado debido a que antes del periodo Cámbrico, la composición del mar de Argonita no permitió la fosilización adecuada de los organismos con exoesqueletos de Calcio (Dunn *et al.*, 2014). Para entender los efectos del cambio climático se deben tener estudios ecológicos con series de tiempo más largas que las que se tienen actualmente y que incorporen periodos de variabilidad climática, es decir que superen los 50 años de temporalidad, o desarrollar estudios paleoecológicos más detallados enfocados en periodos de tiempo donde se haya documentado cambios rápidos en el clima (Humphries, 2009).

(b) Entender mejor las afectaciones que tendría a escala local la variación y los eventos extremos en las precipitaciones, temperaturas y concentración de CO₂ atmosférico. Se espera que estos efectos sean más fuertes que lo que se ha observado hasta el momento en lo relacionado al aumento promedio de temperatura global (Morecroft y Keith, 2009).

(c) Entender y modelar las interacciones en los ecosistemas, tanto entre los componentes bióticos internos como con otros motores de transformación externos. Este entendimiento nos dará mejores herramientas para buscar alternativas para la mitigación y adaptación al cambio climático; de otra manera, muchos efectos del cambio climático serán “sorpresas” al carecer del entendimiento de la complejidad de los sistemas, perdiendo su poder predictivo (Liu *et al.*, 2007).

AGRADECIMIENTOS

César Gutierrez por el diseño de la Figura 1.

REFERENCIAS

- Agrios, G. N. (2005). Introduction to plant pathology. *Elsevier Academic Press Publication*.
- Araújo, M. B., Nogués-Bravo, D., Diniz-Filho, J. A. F., Haywood, A. M., Valdes, P. J. y Rahbek, C. (2008). Quaternary climate changes explain diversity among reptiles and amphibians. *Ecography*, 31(1), 8-15.

- Barnosky, A. D., Hadly, E. A. y Bell, C. J. (2003). Mammalian response to global warming on varied temporal scales. *Journal of Mammalogy*, 84(2), 354-368.
- Beebee, T. J. C. (1995). Amphibian breeding and climate. *Nature* 374, 219-220.
- Beaudrot, L., Ahumada, J., O'Brien, T., Álvarez-Loayza, P., Boekee, K., Campos-Arceiz, A., Eichberg, D., Espinosa, S., Fegraus, E., Fletcher, C., Gajapersad, K., Hallam, C., Hurtado, J., Jansen, P.A., Kumar, A., Larney, E., Lima, G. M. M., Mahony, C., Martin, E. H., McWilliam, A., Mugerwa, B., Ndoundou-Hockemba, M., Razafimahaimodison, J. C., Romero-Saltos, H., Rovero, F., Salvador, J., Santos, F., Sheil, D., Spironello, W. R., Willig, M. R., Winarni, N. L., Zvoleff, A. y Andelman, S. J. (2016). Standardized assessment of biodiversity trends in tropical forest protected areas: the end is not in sight. *PLoS Biology*, 14(1), e1002357.
- Beckage, B., Osborne, B., Gavin, D. G., Pucko, C., Siccama, T. y Perkins, T. (2008). A rapid upward shift of a forest ecotone during 40 years of warming in the Green Mountains of Vermont. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(11), 4197-4202.
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W. y Courchamp, F. (2012). Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology letters*, 15(4), 365-377.
- Bhattarai, U. (2017). Impacts of climate change on biodiversity and ecosystem services: direction for future research. *Hydro Nepal*, 20, 41-48.
- Blaustein, A. R., Belden, L. K., Olson, D. H., Green, D. M., Root, T. L. y Kiesecker, J. M. (2001). Amphibian breeding and climate change. *Conservation Biology*, 15(6), 1804-1809.
- Bonino, M. F., Azócar, D. L. M., Schulte II, J. A., Abdala, C. S. y Cruz, F. B. (2015). Thermal sensitivity of cold climate lizards and the importance of distributional ranges. *Zoology*, 118(4), 281-290.
- Both, C., Bouwhuis, S., Lessells, C. M. y Visser, M. E. (2006). Climate change and population declines in a long-distance migratory bird. *Nature*, 441(7089), 81.
- Brook, B. W., Sodhi, N. S. y Bradshaw, C. J. (2008). Synergies among extinction drivers under global change. *Trends in ecology & evolution*, 23(8), 453-460.
- Buckland, S. T., Magurran, A. E., Green, R. E. y Fewster, R. M. (2005). Monitoring change in biodiversity through composite indices. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1454), 243-254.
- Calder, W. A. (1996). *Size, function, and life history*. Courier Corporation.
- Callaway, R. M., Brooker, R. W., Choler, P., Kikvidze, Z., Lortie, C. J., Michalet, R., Paolini, L., Pugnaire, F. I., Newingham, B., Aschehoug, E. T., Armas, C., Kikodze, D. y Cook, B. J. (2002) Positive interactions among alpine plants increase with stress. *Nature*, 417, 844-848.
- Carvajal-Cogollo, J. E., Bernal-González, V., Paternina-Hernández, A., Muñoz-Ávila, J. A., Urbina-Cardona, J. N. y Vargas-Salinas, F. (2019). Reglas de ensamblaje en anfibios y reptiles en bosque seco tropical de la región Caribe de Colombia: patrones y mecanismos. En: *Anfibios y reptiles en bosques secos del caribe colombiano*. UPTC - UniQuindío-Ecopetrol.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

- RESUMEN Chan, K. S., Mysterud, A., Øritsland, N. A., Severinsen, T. y Stenseth, N. C. (2005). Continuous and discrete extreme climatic events affecting the dynamics of a high-arctic reindeer population. *Oecologia*, 145(4), 556-563.
- PALABRAS CLAVE
- ABSTRACT Chen, I. C., Hill, J. K., Ohlemüller, R., Roy, D. B. y Thomas, C. D. (2011). Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science*, 333(6045), 1024-1026.
- KEY WORDS
- INTRODUCCIÓN Colwell, R. K., Brehm, G., Cardelús, C. L., Gilman, A. C. y Longino, J. T. (2008). Global Warming Elevational Range Shifts, and Lowland Biotic Attrition in the Wet Tropics. *Science*, 322,258-261.
- DESARROLLO
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES Daufresne, M., Lengfellner, K. y Sommer, U. (2009). Global warming benefits the small in aquatic ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(31), 12788-12793.
- AGRADECIMIENTOS
- REFERENCIAS Debruyne, R., Chu, G., King, C. E., Bos, K., Kuch, M., Schwarz, C., Szpak, P., Gröcke, D. R., Matheus, P., Zazula, G., Guthrie, D., Froese, D., Buigues, B., de Marliave, C., Flemming, C., Poinar, D., Fisher, D., Southon, J., Tikhonov, A. N., MacPhee, R. D. y Poinar, H. N. (2008). Out of America: ancient DNA evidence for a new world origin of late quaternary woolly mammoths. *Current Biology*, 18(17), 1320-1326.
- SOBRE LOS AUTORES
- ANEXOS Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Huey, R. B., Sheldon, K. S., Ghalambor, C. K., Haak, D. C. y Martin, P. R. (2008). Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(18), 6668-6672.
- Dirzo, R., Young, H. S., Galetti, M., Ceballos, G., Isaac, N. J. y Collen, B. (2014). Defaunation in the Anthropocene. *Science*, 345(6195), 401-406.
- Dunn, C. W., Giribet, G., Edgecombe, G. D. y Hejnol, A. (2014). Animal phylogeny and its evolutionary implications. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 45, 371-395.
- Fernández, M. H. y Peláez-Campomanes, P. (2005). Quantitative palaeoclimatic inference based on terrestrial mammal faunas. *Global Ecology and Biogeography*, 14(1), 39-56.
- Fiedler, W. (2003). Recent changes in migratory behaviour of birds: a compilation of field observations and ringing data. En *Avian migration* (pp. 21-38). Berlín, Heidelberg: Springer.
- Foden, W. B., Pacifici, M. y Hole, D. (2016). Setting the scene. En Foden, W. B. y Young, B. E. (Eds.) (2016). IUCN SSC Guidelines for Assessing Species' Vulnerability to Climate Change. Version 1.0. Occasional Paper of the IUCN Species Survival Commission No. 59. Cambridge, UK and Gland, Switzerland: IUCN Species Survival Commission.
- Forero-Medina, G., Joppa, L. y Pimm, S. L. (2011). Constraints to species' elevational range shifts as climate changes. *Conservation Biology*, 25(1), 163-171.
- Gao, X., Jin, C., Camargo, A. y Li, Y. (2015). Allocation trade-off under climate warming in experimental amphibian populations. *PeerJ*, 3, e1326.
- Gao, J., Barzel, B. y Barabási, A. L. (2016). Universal resilience patterns in complex networks. *Nature*, 530(7590), 307.
- Gardner, J. L., Peters, A., Kearney, M. R., Joseph, L. y Heinsohn, R. (2011). Declining body size: a third universal response to warming?. *Trends in ecology & evolution*, 26(6), 285-291.

- Garrett, K. A., Nita, M., De Wolf, E. D., Esker, P. D., Gómez-Montano, L. y Sparks, A. H. (2016). Plant pathogens as indicators of climate change. En *Climate Change* (pp. 325-338). Elsevier.
- Gingerich, P. D. (2006). Environment and evolution through the Paleocene-Eocene thermal maximum. *Trends in ecology & evolution*, 21(5), 246-253.
- Graham, C. H., Parra, J. L., Rahbek, C. y McGuire, J. A. (2009). Phylogenetic structure in tropical hummingbird communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(Supplement 2), 19673-19678.
- Green, D. M. (2017). Amphibian breeding phenology trends under climate change: Predicting the past to forecast the future. *Global change biology*, 23(2), 646-656.
- Hernández-Ordóñez, O., Santos, B., Pyron, A., Arroyo-Rodríguez, V., Urbina-Cardona, J. N., Parra, G. y Reynoso, V. (2019). Species sorting and mass effect along forest succession: evidence from taxonomic, functional, and phylogenetic diversity of amphibian communities. *Ecology and Evolution* en prensa.
- Hof, C., Araujo, M. B., Jetz, W. y Rahbek, C. (2011). Additive threats from pathogens, climate and land-use change for global amphibian diversity. *Nature*, 480(7378), 516.
- Hole, D. G., Young, K. R., Seimon, A., Wichtendahl, C. G., Hoffmann, D., Schutze Paez, K., Sanchez, S., Muchoney, D., Grau, H. R. y Ramírez, E. (2011). Adaptive management for biodiversity conservation under climate change -A tropical Andean perspective. En S. K. Herzog, R. Martínez, P. M. Jørgensen y H. Tiessen (Comps.), *Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes*. São José dos Campos y París: Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global y Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente.
- Hudson, L. N., Newbold, T., Contu, S., Hill, S. L., Lysenko, I., De Palma, A. y Booth, H. (2017). The database of the Predicts (Projecting responses of ecological diversity in changing terrestrial systems) project. *Ecology and Evolution*, 7(1), 145-188.
- Huey, R. B., Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Vitt, L. J., Hertz, P. E., Álvarez Pérez, H. J. y Garland Jr, T. (2009). Why tropical forest lizards are vulnerable to climate warming. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276(1664), 1939-1948.
- Humphries, M. M. (2009). Mammal ecology as an indicator of climate change. In *Climate Change* (pp. 197-214).
- Jezkova, T. y Wiens, J. J. (2016). Rates of change in climatic niches in plant and animal populations are much slower than projected climate change. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1843), 20162104.
- Kessler, M., Kluge, J., Hemp, A. y Ohlemüller, R. (2011). A global comparative analysis of elevational species richness patterns of ferns. *Global Ecology and Biogeography*, 20(6), 868-880.
- Körner, C. (2007). The use of 'altitude' in ecological research. *Trends in ecology & evolution*, 22(11), 569-574.
- Kosydar, A. J., Conquest, L. L. y Tewksbury, J. J. (2014). Can life histories predict the effects of habitat fragmentation? A meta-analysis with terrestrial mammals. *Appl. Ecol. Environ. Res*, 12, 505-521.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

- RESUMEN Laurance, W. F., Oliveira, A. A., Laurance, S. G., Condit, R., Dick, C. W., Andrade, A., Nascimento, H. E. M., Lovejoy, T. E. y Ribeiro, J. E. (2005). Altered tree communities in undisturbed Amazonian forests: A consequence of global change? *Biotropica: The Journal of Biology and Conservation*, 37(2), 160-162.
- PALABRAS CLAVE
- ABSTRACT Legendre, S., Montuire, S., Maridet, O. y Escarguel, G. (2005). Rodents and climate: a new model for estimating past temperatures. *Earth and Planetary Science Letters*, 235(1-2), 408-420.
- KEY WORDS
- INTRODUCCIÓN
- DESARROLLO Liu, J., Dietz, T., Carpenter, S. R., Alberti, M., Folke, C., Moran, E., Pell, A. N., Deadman, P., Kratz, T., Lubchenco, J., Ostrom, E., Ouyang, Z., Provencher, W., Redman, C. L., Schneider, S. H. y Taylor, W. W. (2007). Complexity of coupled human and natural systems. *Science*, 317(5844), 1513-1516.
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- AGRADECIMIENTOS Loyola, R. D., Nabout, J. C., Trindade Filho, J., Lemes, P., Cardona, J. N. U., Dobrovolski, R., Sagnori, M.D. y Diniz Filho, J. A. F. (2012). Climate change might drive species into reserves: a case study of the American bullfrog in the Atlantic Forest Biodiversity Hotspot. *Alytes*, 29(1),61-74.
- REFERENCIAS
- SOBRE LOS AUTORES MacDonal, G. M., Bennett, K. D., Jackson, S. T., Parducci, L., Smith, F. A., Smol, J. P. y Willis, K. J. (2008). Impacts of climate change on species, populations and communities: palaeobiogeographical insights and frontiers. *Progress in Physical Geography*, 32(2), 139-172.
- ANEXOS
- Martínez-Meyer, E., Townsend Peterson, A. y Hargrove, W. W. (2004), Ecological niches as stable distributional constraints on mammal species, with implications for Pleistocene extinctions and climate change projections for biodiversity. *Global Ecology and Biogeography*, 13, 305-314.
- Memmott, J., Craze, P. G., Waser, N. M. y Price, M. V. (2007). Global warming and the disruption of plant–pollinator interactions. *Ecology letters*, 10(8), 710-717.
- Morecroft, M. D. y Keith, S. A. (2009). Plant ecology as an indicator of climate and global change. En *Climate Change* (pp. 297-305).
- Moritz, C., Patton, J. L., Conroy, C. J., Parra, J. L., White, G. C. y Beissinger, S. R. (2008). Impact of a century of climate change on small-mammal communities in Yosemite National Park, USA. *Science*, 322(5899), 261-264.
- Myneni, R. B., Keeling, C. D., Tucker, C. J., Asrar, G. y Nemani, R. R. (1997). Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981-1991. *Nature*, 386,698-701.
- Navas, C. A., (1997). Thermal Andes: Extremes at high elevations in the physiological ecology of frogs. *Journal of thermal*, 22(6), 467-477.
- Navas, C. A., Gomes, F. R. y Carvalho, J. E. (2008). Thermal relationships and exercise physiology in anuran amphibians : Integration and evolutionary implications. *Comparative biochemistry and physiology*, Part A 151, 151, 344-362.
- Nori, J., Urbina-Cardona, J. N., Loyola, R. D., Lescano, J. N. y Leynaud, G. C. (2011). Climate change and American bullfrog invasion: what could we expect in South America? *PloS one*, 6(10), e25718.
- Pacifici, M., Foden, W. B., Visconti, P., Watson, J. E., Butchart, S. H., Kovacs, K. M., Scheffers, B. R., Hole, D. G., Martin, T. G., Akcakaya, H. R., Corlett, R. T., Huntley, B., Bickford, D., Carr, J. A., Hoffmann, A. A., Midgley, G. F., Pearce-Kelly, P., Pearson, R.

- G., Williams, S. E., Willis, S. G., Young, B. y Rondinini, C. (2015). Assessing species vulnerability to climate change. *Nature Climate Change*, 5, 215-225.
- Parmesan, C. y Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421, 37-42.
- Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual review of ecology, evolution and systematics*, 37, 637-69.
- Pecl, G. T., Araujo, M. B., Bell, J. D., Blanchard, J., Bonebrake, T. C., Chen, I. C., Clark, T. D., Colwell, R. K., Danielsen, F., Evengard, B., Falconi, L., Ferrier, A., Frusher, A., García, R. A., Griffiths, R. A., Hobday, A. J., Janion-Scheepers, C., Jarzyna, M. A., Jennings, S., Lenoir, J., Linnetved, H. I., Martin, V. Y., McCormack, P. C., McDonald, J., Mitchell, N. J., Mustonen, T., Pandolfi, J. M., Pettoirelli, N., Popova, E., Robinson, S. A., Scheffers, B. R., Shaw, J. D., Sorte, C. J. B., Strugnelli, J. M., Sunday, J. M., Tuanmu, M. N., Vergés, A., Villanueva, C., Wernberg, T., Wapstra, E. y Williams S. E. (2017). Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science*, 355, eaai9214.
- Pfeifer, M. (2014). BIOFRAG – a new database for analyzing BIOdiversity responses to forest FRAGmentation. *Ecology and Evolution*, 4(9), 1524–1537.
- Pfeifer, M., Lefebvre, V., Peres, C. A., Banks-Leite, C., Wearn, O. R., Marsh, C. J., Butchart, S. H. M., Arroyo-Rodríguez, V., Barlow, J., Cerezo, A., Cisneros, L., D’Cruze, N., Faria, D., Hadley, A., Harris, S. M., Klingbeil, B. T., Kormann, U., Lens, L., Medina-Rangel, G. F., Morante-Filho, J. C., Olivier, P., Peters, S. L., Pidgeon, A., Ribeiro, D. B., Scherber, C., Schneider-Maunoury, L., Struebig, M., Urbina-Cardona, N., Watling, J. I., Willig, M. R., Wood, E. M. y Ewers R. M. (2017). Creation of forest edges has a global impact on forest vertebrates. *Nature*, 551(7679), 187.
- Phillips, O. L., Lewis, S. L., Baker, T. R., Chao, K. J. y Higuchi, N. (2008). The changing Amazon forest. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*.
- Pounds, J. y M. Crump. (1994). Amphibian declines and climatic disturbance: the case of the golden toad and the harlequin frog. *Conservation Biology*, 8, 72-85.
- Pounds, A. J., Fogden, M. P. L. y Cambell, J. H. (1999). Biological response to climate change on a tropical mountain. *Nature*, 398, 611-615.
- Pounds, J. A., Fogden, M. P. L. y Masters, K. L. (2005). Responses of natural communities to climate change in a highland tropical forest. En Lovejoy, T. E. y L. Hanna. (Eds.). *Climate Change and Biodiversity*. Yale Univ. Press, New Haven, U.S.A. 70-74.
- Purvis, A., Gittleman, J. L., Cowlshaw, G. y Mace, G. M. (2000). Predicting extinction risk in declining species. *Proceedings of the royal society of London. Series B: Biological Sciences*, 267(1456), 1947-1952,
- Rahbek, C. (2005). The role of spatial scale and the perception of large-scale species-richness patterns. *Ecology letters*, 8(2), 224-239.
- Reading, C. J. (2007). Linking global warming to amphibian declines through its effects on female body condition and survivorship. *Oecologia*, 151(1), 125-131.
- Richardson, W. J. (1978) Timing and amount of bird migration in relation to weather: a review. *Oikos*, 30, 303-310.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

- RESUMEN Rodríguez-Trelles, F. y Rodríguez, M. A. (1998). Rapid micro-evolution and loss of chromosomal diversity in *Drosophila* in response to climate warming. *Evolutionary Ecology*, 12(7), 829-838.
- PALABRAS CLAVE
- ABSTRACT Rosenzweig, C., Casassa, G., Karoly, D. J., Imeson, A., Liu, C., Menzel, A., Rawlins, S., Root, T. L., Seguin, B. y Tryjanowski, P. (2007). Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. En Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., van der Linden, P.J., Hanson, C.E. (Eds.), *Climate Change. (2007). Impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. *Cambridge UP, Cambridge, UK*, 79-131.
- KEY WORDS
- INTRODUCCIÓN
- DESARROLLO
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- AGRADECIMIENTOS
- REFERENCIAS
- SOBRE LOS AUTORES
- ANEXOS
- Ruiz-Aravena, M., González-Méndez, A., Estay, S. A., Gaitán-Espitia, J. D., Barria-Oyarzo, I., Bartheld, J. L. y Bacigalupe, L. D. (2014). Impact of global warming at the range margins: phenotypic plasticity and behavioral thermoregulation will buffer an endemic amphibian. *Ecology and Evolution* doi: 10.1002/ece3.1315
- Shapiro, B., Drummond, A. J., Rambaut, A., Wilson, M. C., Matheus, P. E., Sher, A. V., Pybus, O.G., Thomas, M., Gilbert, P., Barnes, I., Binladen, J., Willerslev, E., Hansen, A. J., Baryshnikov, G.F., Burns, J.A., Davydov, S., Driver, J. C., Froese, D. G., Harington, C. H., Keddie, G., Kosintsev, P., Kunz, M. L., Martin, L. D., Stephenson, R. O., Storer, J., Tedford, R., Zimov, S. y Cooper, A. (2004). Rise and fall of the Beringian steppe bison. *Science*, 306(5701), 1561-1565.
- Sekercioglu, C. H., Schneider, S. H., Fay, J. P. y Loarie, S. R. (2008). Climate change, elevational range shifts, and bird extinctions. *Conservation biology*, 22(1), 140-150.
- Sekercioglu, C. H., Primack, R. B., y Wormworth, J. (2012). The effects of climate change on tropical birds. *Biological Conservation*, 148(1), 1-18.
- Seimon, T. A., Seimon, A., Daszak, P., Halloy, S. R. P., Schloegel, L. M., Aguilar, C. A., Sowell, P., Hyatt, A. D., Konecky, B. y Simmons, J.E. (2007). Upward range extension of Andean anurans and chytridiomycosis to extreme elevations in response to tropical deglaciation. *Global Change Biology*, 13, 288-299.
- Sinervo, B., Mendez-De la Cruz, F., Miles, D. B., Heulin, B., Bastiaans, E., Villagrán-Santa Cruz, M., Lara-Resendiz, R., Martínez-Méndez, N., Calderón-Espinosa, M. L., Meza-Lázaro, R. N., Gadsden, H., Ávila, L. J., Morando, M., De La Riva, I. J., Victoriano, P., Duarte-Rocha, C. F., Ibargüengoytía, N., Aguilar Puntriano, C., Massot, M., Lepetz, V., Oksanen, T. A., Chapple, D. G., Bauer, A. M., Branch, W. R., Clobert, J. y Sites, J. W. Jr. (2010). Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches. *Science*, 328(5980), 894-899.
- Soberón, J. y Peterson, A. T. (2011). Ecological niche shifts and environmental space anisotropy: a cautionary note. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82, 1348-1355.
- Suazo-Ortuño, I., Urbina-Cardona, J. N., Lara-Urbe, N., Marroquín-Páramo, J., Soto-Sandoval, Y., Rangel-Orozco, López-Toledo, L., Benítez-Malvido, J. y Alvarado-Díaz, J. (2018). Impact of a hurricane on the herpetofaunal assemblages of a successional chronosequence in a tropical dry forest. *Biotropica*. <https://doi.org/10.1111/btp.12544>
- Sundqvist, M. K., Sanders, N. J. y Wardle, D. A. (2013). Community and ecosystem responses to elevational gradients: processes, mechanisms, and insights for global change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 44, 261-280.

- Travis, J. M. J. (2003). Climate change and habitat destruction: a deadly anthropogenic cocktail. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 270(1514), 467-473.
- Tuff, K. T., Tuff, T. y Davies, K. F. (2016). A framework for integrating thermal biology into fragmentation research. *Ecology letters*, 19(4), 361-374.
- Urbina-Cardona, J. N. (2011). Gradientes andinos en la diversidad y patrones de endemismo en anfibios y reptiles de Colombia: Posibles respuestas al cambio climático. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas-Universidad Militar Nueva Granada*, 7(1), 74-91.
- Van Dam, J. A., Aziz, H. A., Sierra, M. Á. Á., Hilgen, F. J., van den Hoek Ostende, L. W., Lourens, L. J., Mein, P., van der Meulen, A. J. y Pelaez-Campomanes, P. (2006). Long-period astronomical forcing of mammal turnover. *Nature*, 443(7112), 687.
- Visser, M. E., Noordwijk, A. V., Tinbergen, J. M. y Lessells, C. M. (1998). Warmer springs lead to mistimed reproduction in great tits (*Parus major*). *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 265(1408), 1867-1870.
- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J. y Melillo, J. M. (1997). Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 277(5325), 494-499.
- Vitt, L. y Caldwell, J. (2013). *Herpetology. An introductory biology of amphibians and reptiles*. 3ra Edición. Academic Press is an imprint of Elsevier. 698p.
- von Humboldt, A. (1849) *Aspects of Nature in Different Lands and Different Climates, with Scientific Elucidations*. Traductor Sabine, M. Longman, Brown, Green and Longman, London.
- Walther, G-R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J. C., Fromentin, J-M., Hoegh-Guldberg, O. y Bairlein, F. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416, 389-395.
- Watling, J. I. y Braga, L. (2015). Desiccation resistance explains amphibian distributions in a fragmented tropical forest landscape. *Landscape ecology*, 30(8), 1449-1459.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

SOBRE LOS AUTORES

María Cecilia Londoño

Investigadora del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

<http://orcid.org/0000-0002-2317-5503>

Liliana Patricia Saboyá

Estudiante del Doctorado en Estudios Ambientales y Rurales de la Facultad de Estudios Ambientales y Rurales de la Pontificia Universidad Javeriana.

<https://orcid.org/0000-0002-0499-6664>

RESUMEN **Nicolás Urbina-Cardona**

PALABRAS CLAVE Profesor investigador del Departamento de Ecología y Territorio de la Facultad de Estudios Ambientales y Rurales de la Pontificia Universidad Javeriana.
ABSTRACT <https://orcid.org/0000-0002-4174-8467>

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN Citación sugerida

DESARROLLO

Londoño, M. C., Saboyá L. P. y Urbina-Cardona, N. (2019). Conocimiento científico de los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad continental: productividad de las instituciones colombianas y propuesta para un análisis integral. *Biodiversidad en la Práctica*, 4 (1), 86-110.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

ANEXOS

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

Anexo 1. Cantidad de publicaciones por temas encontrados sobre biodiversidad y cambio climático en ambientes dulceacuícolas, marinos y costeros, buscados en Web of Science y año de publicación, para Colombia y el mundo.

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

Anexo 2. Producción de publicaciones sobre biodiversidad y cambio climático por país.

Anexo 3. Autores por número de publicaciones sobre biodiversidad y cambio climático en Colombia.