

FICHA METODOLÓGICA

Autores

Jorge Velásquez-Tibatá, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos
Alexander von Humboldt jvelasquez@humboldt.org.co

Descripción metodológica

Selección de especies y registros de ocurrencia

En este estudio consideramos los cambios en la distribución esperados para todas las especies de Anfibios, Aves, Mamíferos y Angiospermas presentes en Colombia con más de 10 registros únicos (definidos como registros separados por una distancia mayor a 1 km). Los datos de ocurrencia de estas especies en Colombia y países vecinos (Figura 1) fueron obtenidos a través del SIB y GBIF mediante el script `dataDownload`¹. Para verificar la validez de las coordenadas geográficas provistas consultamos el país, departamento y municipio en que caía cada una de las coordenadas usando un shapefile de divisiones administrativas de nivel 2 para Colombia y países vecinos (ver fuentes) y las comparamos con el país, departamento y municipio reportado para cada registro. Los registros en los que estos tres campos no coincidían fueron eliminados de análisis posteriores. Esta tarea fue automatizada por medio del script `Geographical Verifications`². Finalmente, se unificó la taxonomía de los registros usando la lista de Catalogue of Life para el 2012. Aquellos registros con nombres científicos no reconocidos por Catalogue of Life fueron también eliminados de análisis posteriores. Después de aplicar estos filtros quedaron 71,693 registros para 1,922 especies (Tabla 1).

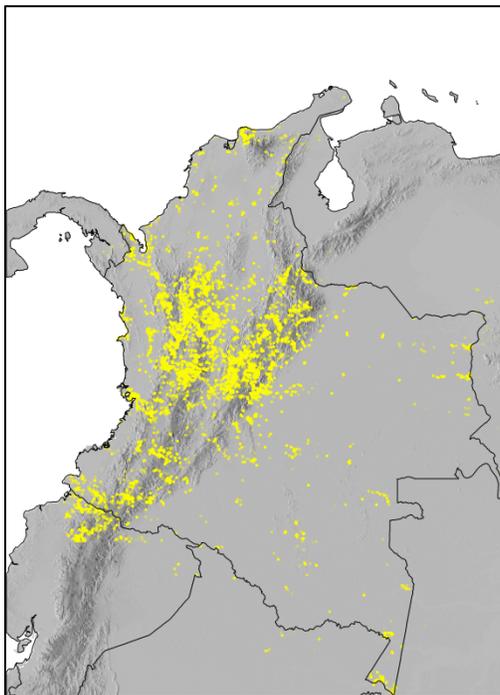


Figura 1. Distribución de los registros de ocurrencia utilizados en el modelamiento.

Tabla 1. Número de especies y registros utilizados en el modelamiento		
Clase	Especies	Registros
Amphibia	118	4039
Aves	678	26105
Mammalia	98	3690
Magnoliopsida	761	27122
Liliopsida	255	10737

Capas climáticas

Para modelar las distribuciones de especies en el presente utilizamos un conjunto de 19 variables bioclimáticas disponibles en Worldclim (Tabla 2) que han sido ampliamente utilizadas para modelar la distribución de organismos alrededor del mundo y representan variables biológicamente significativas para caracterizar las distribuciones de especies. Las capas climáticas disponibles en Worldclim fueron interpoladas a partir de una red meteorológica mundial y corresponden a promedios principalmente para el periodo 1960-1990 [1].

Tabla 2. Variables utilizadas en el modelamiento de distribución de especies.
Temperatura promedio anual
Rango diurno de temperatura
Isotermalidad
Estacionalidad de la temperatura
Máxima temperatura del mes más cálido
Mínima temperatura del mes más frío
Rango de temperatura anual
Temperatura promedio del trimestre más húmedo
Temperatura promedio del trimestre más seco
Temperatura promedio del trimestre más cálido
Temperatura promedio del trimestre más frío
Precipitación anual
Precipitación del mes más húmedo
Precipitación del mes más seco
Estacionalidad de la precipitación
Precipitación del trimestre más húmedo
Precipitación del trimestre más seco
Precipitación del trimestre más cálido
Precipitación del trimestre más frío

Para proyectar las distribuciones de especies a escenarios futuros de clima, utilizamos las predicciones de las mismas 19 variables bioclimáticas desarrolladas por el Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR) basados en los modelos de circulación global y escenarios usados en el cuarto reporte del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), para el periodo 2041-2060 (en adelante 2050). Específicamente utilizamos las siguientes combinaciones de modelo de circulación global – escenario: CSMK-A2, CSMK-B1, HADGEM-A2, MIHR-A1B, NCCCSM-A1B y NCCCSM-A1B. Estas combinaciones fueron escogidas por representar un amplio espectro de las condiciones climáticas posibles en Colombia para el 2050 (Figura 2), y por estar basados en los modelos de circulación global de mayor resolución.

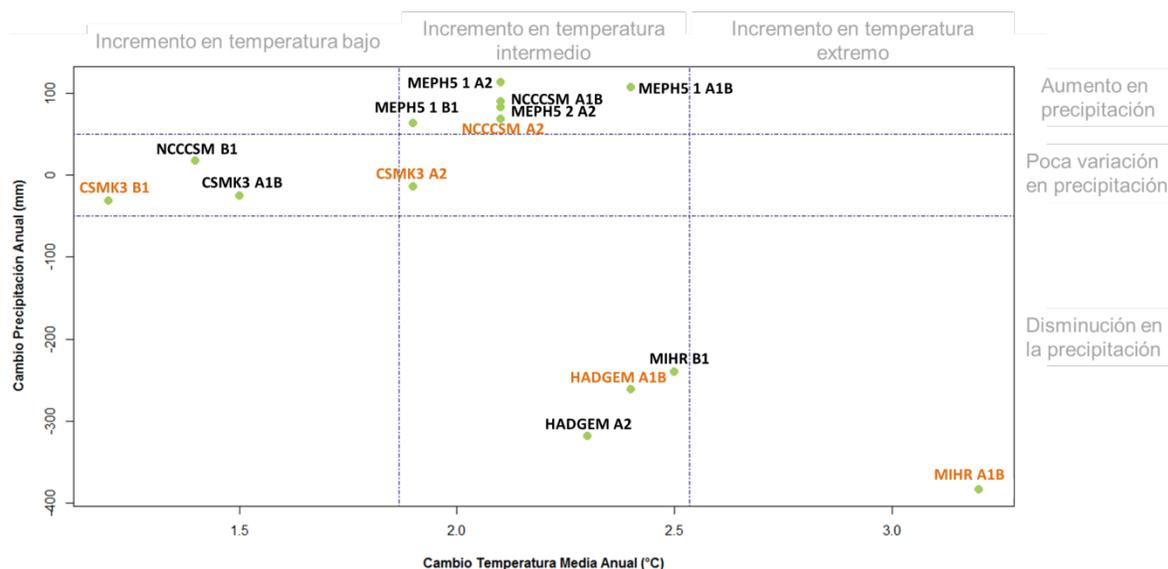


Figura 2. Anomalías de temperatura media anual y precipitación total anual esperadas bajo distintas combinaciones de modelos de circulación global y escenarios de cambio climático para el año 2050. Las combinaciones de modelo de circulación –escenario escogidas están resaltadas en color naranja.

Modelamiento de distribución

Para modelar la relación entre variables bioclimáticas y registros de ocurrencia de las especies utilizamos MAXENT (versión 3.3.3k)[2], el cuál emplea un método estadístico basado en el principio de máxima entropía. MAXENT estima la distribución de probabilidad de máxima entropía (i.e. más cercana a una distribución uniforme) de cada variable ambiental en el área de estudio, sujeta a la condición que el valor esperado de los momentos de la distribución de probabilidad estimada (e.g. promedio, varianza, covarianza) debe ser igual a los momentos empíricos generados a partir de los datos de distribución de especies [2].

MAXENT fue corrido usando los valores de regularización dados por defecto en el programa y se forzó el uso de únicamente funciones lineares,

cuadráticas y *hinge* con el propósito de poder modelar relaciones no lineales entre las variables ambientales y los datos de ocurrencia sin sobreajustar el modelo. Los datos de fondo (N=10,000) fueron obtenidos aleatoriamente de la extensión del área de estudio (Figura 1). Dado el elevado número de especies, MAXENT se corrió mediante el desarrollo de un código de paralelización del modelamiento en R adaptado para una maquina Intel Core i7 de 10 núcleos (<https://github.com/LBAB-Humboldt/parallelMaxent>). Este desarrollo disminuyó 8 veces el tiempo de procesamiento de los modelos.

La relación estadística entre variables bioclimáticas y registros de ocurrencia modelada en MAXENT fue utilizada para proyectar en espacio geográfico las distribuciones potenciales actuales y futuras de las especies. MAXENT genera predicciones de distribución en escala continua. Para convertir estas predicciones a presencia ausencia es necesaria la aplicación de umbrales. Varios métodos para definir umbrales han sido propuestos [3], sin embargo estos han sido desarrollados pensando principalmente en datos de presencia/ausencia. En datos de sólo presencia, es más difícil justificar la aplicación de un umbral u otro y ejercicios anteriores en el país han determinado el mismo basado en criterio de experto, considerando cuatro umbrales posibles (0, 10, 20 y 30) en percentiles de omisión de los datos de presencia por el modelo [4, 5]. Aunque en teoría el mínimo umbral de presencia (percentil 0) debería ser satisfactorio para todas las especies, puntos de presencia en zonas ocasionales o marginales (sumideros) presentes en la base de datos resultan en modelos demasiado amplios para la mayoría de especies cuando se usa este umbral. Por lo tanto utilizamos un umbral de 10 que deberá ser validado a futuro por expertos.

Adicionalmente, los modelos de distribución de especies basados en sólo clima resultan en sobrepredicciones en áreas donde las especies no están presente por factores históricos, barreras geográficas y/o factores bióticos [6]. Como una medida para eliminar automatizadamente dichas áreas de sobrepredicción, eliminamos los parches de distribución actual (áreas de distribución potencial geográficamente continuas) de las especies sin registros verificados de presencia [7]. Este método asume que las especies tienen una capacidad ilimitada de dispersión dentro de los parches y capacidad nula de dispersión a parches cercanos.

Análisis

Para determinar las áreas de Colombia en las que el nicho térmico de las especies se mantiene (llamados refugios climáticos en la ficha), identificamos las áreas en que las distribuciones potenciales (actuales y futuras) de las especies se traslapan. Los resultados a nivel de país se presentan como porcentaje promedio de especies que perderían su nicho térmico en cada uno de los biomas de Colombia bajo los 5 escenarios de cambio climático, según IDEAM et al. [8].

Literatura citada en la ficha metodológica

1. Hijmans, R.J., et al., *Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas*. International Journal of Climatology, 2005. **25**: p. 1965-1978.
2. Phillips, S.J., R.P. Anderson, and R.E. Schapire, *Maximum entropy modeling of species geographic distributions*. Ecological Modelling, 2006. **190**(3-4): p. 231-259.
3. Liu, C., et al., *Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distribution*. Ecography, 2005. **28**: p. 385 - 393.
4. Renjifo, L.M., et al., *Libro Rojo de Aves de Colombia. Volumen I: Bosques Húmedos de los Andes y la costa pacífica*. in press, Bogotá, Colombia: Editorial Pontificia Universidad Javeriana.
5. Velásquez-Tibatá, J., P. Salaman, and C.H. Graham, *Effects of climate change on species distribution, community structure, and conservation of birds in protected areas in Colombia*. Regional Environmental Change, 2013. **13**(2): p. 235-248.
6. Graham, C.H., N. Silva, and J. Velásquez-Tibatá, *Evaluating the potential causes of range limits of birds of the Colombian Andes*. Journal of Biogeography, 2010. **37**(10): p. 1863-1875.
7. Kremen, C., et al., *Aligning Conservation Priorities Across Taxa in Madagascar with High-Resolution Planning Tools*. Science, 2008. **320**(5873): p. 222-226.
8. IDEAM, et al., *Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia*. 2007, Bogotá, Colombia: Imprenta Nacional de Colombia. 276.
9. Elith, J., et al., *Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data*. Ecography, 2006. **29**(2): p. 129-151.

Fuentes de datos

Datos de distribución

Registros biológicos de Colombia: Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SIB). <http://data.sibcolombia.net>. Accedido el 13 de Agosto de 2013.

Registros biológicos globales: Global Biodiversity Information Facility (GBIF). <http://www.gbif.org>. Accedido el 13 de Agosto de 2013.

Datos geográficos auxiliares

Divisiones administrativas de Colombia: IGAC (s.f.). Limite municipal de los años 1964, 1973, 1985, 1993, 2003, 2011. Bogotá. Colombia.

Divisiones administrativas del mundo: GADM database of Global Administrative Areas, versión 2. <http://www.gadm.org/>. Accedido el 13 de Agosto de 2013.

Capas climáticas

Clima actual: Worldclim – Global Climate Data. <http://www.worldclim.org/>.
Accedido el 19 de Febrero de 2013.

Clima futuro: GCM Downscaled GCM Data Portal. <http://www.ccafs-climate.org/data/>. Accedido el 19 de Febrero de 2013.

Bases de datos de taxonomía

Bisby F., Roskov Y., Culham A., Orrell T., Nicolson D., Paglinawan L., Bailly N., Appeltans W., Kirk P., Bourgoin T., Baillargeon G., Ouvrard D., eds (2012). Species 2000 & ITIS Catalogue of Life, 2012 Annual Checklist. DVD; Species 2000: Reading, UK.

Enlaces a recursos en línea

Scripts

Descarga de datos de GBIF y validación taxonómica:
<https://github.com/LBAB-Humboldt/dataDownload>

Validación geográfica:

https://github.com/LBAB-Humboldt/GEOGRAPHICAL_VERIFICATIONS

Desarrollo de modelos de distribución de especies en paralelo:

<https://github.com/LBAB-Humboldt/parallelMaxent/>

Software

Maxent software for species habitat modeling
<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>

Para tener en cuenta

Los análisis presentados aquí utilizan modelos de distribución para identificar áreas de refugios climáticos de las especies modeladas. Este enfoque es correlativo y por lo tanto no puede establecer relaciones causales entre las ocurrencias de las especies y el clima, e igualmente no considera otros factores importantes que moldean las distribuciones de especies como las interacciones bióticas o procesos de las poblaciones. Sin embargo, dada la información disponible en nuestro país, el modelamiento de distribución de especies es una de las pocas herramientas disponibles para evaluar espacialmente el impacto que el cambio climático podría tener sobre nuestra biodiversidad.

La calidad de un modelo de distribución está sujeta a múltiples incertidumbres derivadas tanto de la cantidad y exactitud de los datos de entrada (registros de ocurrencia y capas climáticas) así como del método de modelamiento. Para reducir algunas de esas incertidumbres generamos modelos sólo para especies

con más de 10 registros que estuvieran validados geográficamente como mínimo a nivel de municipio, y utilizamos un método de modelamiento que ha sido consistentemente evaluado como uno de los mejores, particularmente con pocos datos de ocurrencia [9]. Sin embargo, es posible que para algunas especies los datos utilizados no fueran suficientes para caracterizar adecuadamente su nicho climático y/o que otros métodos de modelamiento arrojarán una mejor caracterización. Adicionalmente, las capas climáticas de Worldclim presentan considerables sesgos en regiones como la Amazonía y Orinoquía colombiana, dada la baja densidad de estaciones climáticas en esas regiones. Esto puede haber sesgado considerablemente la caracterización de nichos climáticos de las especies de esas regiones.

Usos y usuarios recomendados

Usos: divulgación.

Usuarios: público general.

Vacios de información

Los registros de ocurrencia estuvieron concentrados en los Andes y Caribe de Colombia. Este patrón corresponde probablemente a un sesgo tanto de las colecciones que están indexadas por el SIB y GBIF, como a la intensidad de colección en estas regiones. Por lo tanto es importante intensificar la indexación de los conjuntos de datos provenientes de las regiones menos representadas del país, así como estimular la investigación de línea base (inventarios biológicos) en esas regiones.

Las variables climáticas usadas en el modelamiento fueron derivadas a partir de la interpolación de la información meteorológica de Colombia provista por el CIAT, el cual si bien tiene una buena red en los Andes, no se aproxima a la cobertura que tiene el IDEAM. Es importante establecer convenios de cooperación con el IDEAM para generar usando la información de sus estaciones climáticas mejores interpolaciones del clima del país.