
MODESTR: UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA EL ESTUDIO DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS DE COLOMBIA

MODESTR: A SOFTWARE TOOL FOR STUDYING OF COLOMBIAN AQUATIC ECOSYSTEMS

Patricia Pelayo-Villamil^{1, 8}, Cástor Guisande², Luis González-Vilas³, Juan D. Carvajal-Quintero¹, Luz F. Jiménez-Segura¹, Emilio García-Roselló⁴, Juergen Heine⁴, Jacinto González-Dacosta⁴, Ana Manjarrés-Hernández⁵, Antonio Vaamonde⁶, Carlos Granada-Lorencio⁷

Resumen

El objetivo de este trabajo es mostrar las utilidades del programa informático **ModestR**, en estudios sobre distribución de especies en ecosistemas marinos y de agua dulce de Colombia. Este programa se encuentra disponible en la *Web* de manera gratuita: <<http://www.ipez.es/ModestR>>. Para enseñar y probar el funcionamiento de ModestR se trabajó con los datos disponibles en el *Global Biodiversity Information Facility* (**GBIF**, 2012) de los órdenes Characiformes y Siluriformes, como ejemplo de especies de peces dulciacuícolas, y del orden Carcharhiniformes de especies marinas. ModestR incluye en su fase inicial, dos aplicaciones: *DataManager* y *MapMaker*. La aplicación *DataManager* está diseñada para realizar manejo integrado de información taxonómica y mapas de distribución de cualquier grupo de especies. La aplicación *MapMaker* permite generar mapas de distribución de especies de cuatro formas diferentes: **1)** importando un archivo **CSV** con el nombre de las especies y las coordenadas geográficas, **2)** importando los datos automáticamente del GBIF, **3)** importando las coordenadas geográficas generadas de modelos de distribución y **4)** realizando mapas expertos, lo cual consiste en seleccionar las áreas de distribución, de acuerdo a los tipos de hábitats en que ocurre la o las especies en estudio. La posibilidad de trabajar con hábitats es una de las contribuciones más importantes de ModestR y, en particular, la de que los hábitats lóticos pequeños (quebradas, arroyos, etc.), los lóticos grandes (ríos) y los lentos (lagunas, lagos, embalses, ciénagas, etc.) están cartografiados con muy alta resolución. Además, también se diferencian los ecosistemas marino y terrestre. A pesar de que este estudio se enfocó en especies de ecosistemas acuáticos, ModestR permite también realizar el mismo tipo de ejercicios con especies terrestres.

Palabras clave: distribución de especies, GBIF, macroecología, ModestR, modelos de distribución, riqueza de especies

Abstract

The aim of this manuscript is to show the usefulness of the software package **ModestR** in studies of distribution of Colombian marine and freshwater species. This software is free available at the Website: <<http://www.ipez.es/ModestR>>. To show and test the potential of ModestR, here an exemplar assessment is presented of a database using all valid species of freshwater fishes of the orders Characiformes and Siluriformes, and their geographical records available in the Global Biodiversity Information Facility (**GBIF**, 2012), and of the order Carcharhiniformes as representatives of marine species. ModestR includes, in its initial phase, two applications: *DataManager* and

Recibido: octubre de 2012; aceptado diciembre de 2012.

¹ Docente. Grupo de Ictiología, Instituto de Biología, Universidad de Antioquia. A. A. 1226. Medellín (Antioquia), Colombia.

² Facultad de Ciencias del Mar, Universidad de Vigo. Vigo, España.

³ Laboratorio de teledetección SIG y Departamento de Física aplicada, Universidad de Vigo. Vigo, España.

⁴ Departamento de Informática, Universidad de Vigo. Vigo, España.

⁵ Instituto Amazónico de Investigaciones (IMANI), Universidad Nacional de Colombia. Leticia (Amazonas), Colombia.

⁶ Departamento de Estadística e Investigación Operativa Facultad de CCEE y Empresariales, Universidad de Vigo. Vigo, España.

⁷ Departamento de Biología Vegetal y Ecología, Facultad de Biología, Universidad de Sevilla. Sevilla, España.

Correo electrónico: ⁸ <patriciapelayo@gmail.com>.

MapMaker. The application DataManager is designed for an integrated taxonomic information and maps of the distribution of any species group. The application MapMaker has been designed to generate species distribution maps in four different ways: **1)** by importing a CSV file with the name of the species and their geographical coordinates, **2)** importing the geographical records automatically from GBIF, **3)** importing geographical coordinates generated by distribution models, and **4)** making expert maps by selecting distribution areas, according to the types of habitats occupied by the species. The possibility of working with habitats is one of the most important contributions of ModestR and, in particular, that are mapped small lotic ecosystems (creeks, streams, etc.), large lotic ecosystems (rivers) and lentic ecosystems (ponds, lakes, reservoirs, swamps, etc.). Moreover, it is also possible to select marine and terrestrial ecosystems. Therefore, although the manuscript has been focused on species of aquatic ecosystems, ModestR also allows the same type of studies with terrestrial species.

Key words: distribution models, GBIF, macroecology, ModestR, species distribution, species richness

INTRODUCCIÓN

La información acerca de la distribución de las especies es cada vez más importante para una gran variedad de aspectos relacionados con la gestión y apoyo de decisiones, como por ejemplo en estudios de biodiversidad, protección de especies, reintroducción de especies, especies exóticas, predicción de potenciales efectos por la pérdida de ecosistemas o del cambio climático global, etc. De hecho, dicha información es crucial para la construcción de los modelos de distribución de especies, ya que deficiencias en la calidad de los datos da lugar a la generación de incertidumbre en los modelos de distribución de especies (Hanspach et al. 2011). Estos modelos son herramientas importantes para la comprensión de la relación entre la distribución de especies y los parámetros ambientales (Guisan y Thuiller 2005).

Colombia ocupa el séptimo puesto en la clasificación mundial de los países con mayor disponibilidad de recursos hídricos renovables después de Brasil, Rusia, Estados Unidos, Canadá, Indonesia y China, a pesar de ser el más pequeño de los siete países. En cuanto a su posición continental, se estima que la oferta hídrica de Suramérica es de aproximadamente 17.000 km³/año, de los cuales, cerca del 13% corresponde a Colombia, y por consiguiente, ocupa la segunda posición detrás de Brasil que cuenta con casi la mitad de toda la oferta hídrica suramericana (Arévalo-Urbe 2012).

Esta abundancia y diversidad de sistemas hídricos da lugar lógicamente a que la riqueza de especies acuáticas sea muy importante en Colombia, con más de 750 especies de anfibios (Frost 2009), más de 220 de aves acuáticas (Moreno y Arzuza 2006), más de 1.400 de peces de agua dulce (Maldonado-Ocampo et al. 2008), etc. Sin embargo, los estudios que tienen algún tipo de relación con los ecosistemas acuáticos en Colombia tienen una limitación importante; no existe en la actualidad ninguna herramienta que permita acceder a la información cartográfica de estos ecosistemas con un nivel de precisión suficientemente alto.

El objetivo de este trabajo es mostrar como el paquete informático **ModestR** permite realizar, de forma sencilla, eficiente y amigable, estudios de distribución de especies de los sistemas acuáticos de Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

ModestR. El paquete informático ModestR se encuentra disponible en la *Web* de manera gratuita: <<http://www.ipez.es/ModestR>>, y al momento, está disponible para usuarios únicamente del sistema operativo Microsoft Windows. El cual incluye en su fase inicial dos aplicaciones: *DataManager* y *MapMaker*. Los mapas elaborados en la aplicación *MapMaker* pueden estar basados en una base de datos asociada con la información taxonómica, la cual se maneja con la aplicación *DataManager*.

La aplicación *DataManager* está diseñada para integrar y manejar la información taxonómica y de mapas de distribución de cualquier grupo de especies. Como la taxonomía de cualquier taxón es dinámica, de igual manera esta aplicación permite actualizar de forma automática cambios o inclusiones de nuevas especies a la base de datos, así como cambios en la distribución de las mismas.

La segunda aplicación *MapMaker*, brinda la posibilidad de que el usuario pueda realizar mapas de distribución de especies fácilmente, sin perder precisión, y basado en una interfaz similar a la usada en el Sistema de Información Geográfica (SIG).

Los datos geográficos sobre los límites políticos entre los países se obtuvieron a partir de la página Web: <<http://www.diva-gis.org>> (Hijmans et al. 2001), mientras que los datos geográficos de los sistemas acuáticos dulciacuícolas se obtuvieron de la página Web: <<http://www.openstreetmap.org>>. Los sistemas que no se encontraron en esta última página fueron adicionados a través de la aplicación *MapMaker*.

Manejo de bases de datos taxonómicas con la aplicación *DataManager*. A través de la aplicación *DataManager* es posible crear una base de datos taxonómica de cualquier grupo de especies. La base de datos se puede importar desde un archivo CSV (ej., hojas de cálculo como *Microsoft Excel*), en donde se especifican cada uno de los niveles taxonómicos por columna, y luego se importa a la aplicación en la que queda organizada de acuerdo a los niveles taxonómicos especificados (*nodos*) y desde la que se pueden hacer modificaciones después de importada. Las modificaciones posibles van desde añadir un nuevo nivel taxonómico a eliminar un nivel o nodo, adicionar por ejemplo: familias, géneros o especies nuevas, cambios de nombres o modificaciones dentro de la base de datos creada, etc. Por lo tanto, *DataManager* permite una actualización continua, la cual es necesaria debido a los cambios constantes en la sistemática de los grupos. En la figura 1, se observa un ejemplo de la base de datos con las especies de peces descritas actualmente (Eschmeyer y Fricke 2012) y en el recuadro derecho las opciones de modificaciones mencionadas anteriormente.

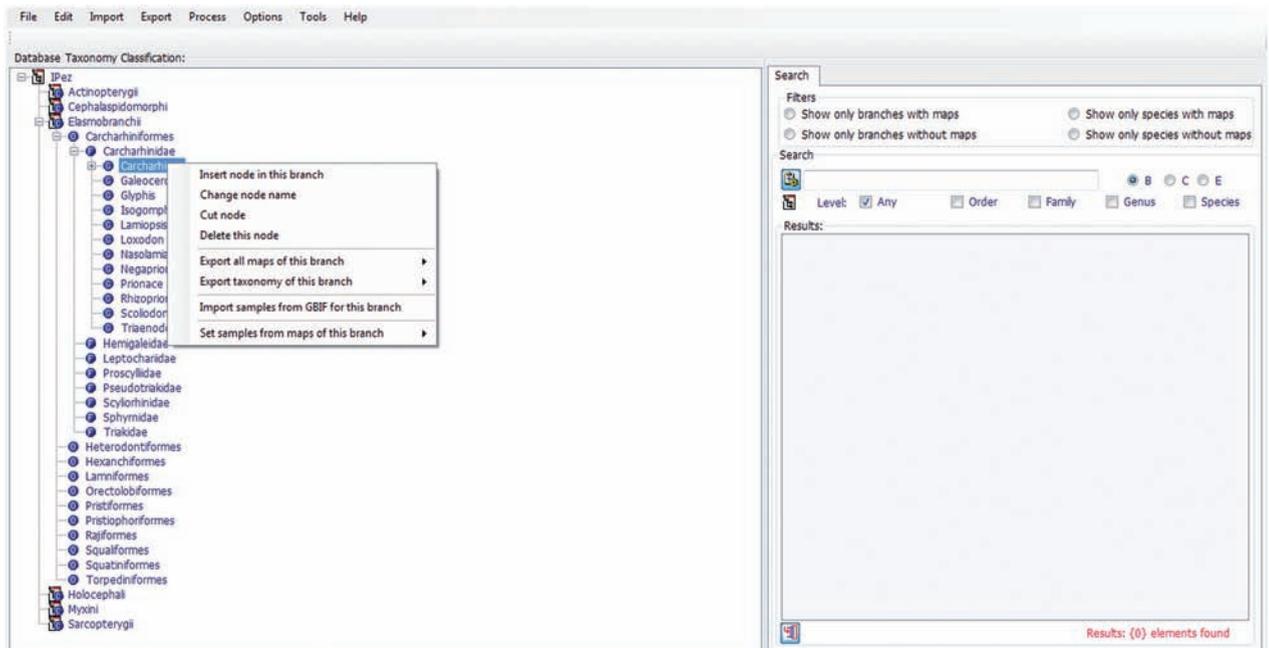


Figura 1. Menú de la aplicación *DataManager* del programa informático ModestR que muestra la taxonomía del IPez (Guisande et al. 2010)

Crear mapas con ModestR. El programa ModestR permite elaborar mapas de distribución de especies de cuatro formas diferentes.

La primera opción, es importando un archivo CSV con tres columnas: **a)** nombre de la especie (opcional), y las coordenadas geográficas de **b)** longitud y **c)** latitud del sitio de ocurrencia del taxón. Con la aplicación *DataManager*, es posible poner en el mismo archivo CSV todas las especies que se quiera y generar los mapas de cada una de estas especies con sus coordenadas geográficas respectivas. En el caso de la aplicación *MapMaker*, solo es posible importar las coordenadas geográficas de una especie a la vez. Este método es muy útil para importar datos de coordenadas geográficas de colecciones y complementar mapas obtenidos del *Global Biodiversity Information Facility (GBIF)* (GBIF 2012).

La segunda opción, es importar los datos del GBIF (GBIF 2012). Esto se puede hacer tanto con la aplicación *DataManager* como con *MapMaker*. En la figura 2 (*ventana superior*), se observa el proceso con *DataManager*, que tiene la ventaja de importar todas las coordenadas geográficas existentes en el GBIF de todas las especies que existan en el nodo taxonómico seleccionado. En esa figura también se observa que se puede seleccionar la inclusión de sinónimos y nombres comunes, de tal forma, que no solamente se buscan las coordenadas geográficas de las especies válidas, sino también registros de sinonimias y nombres comunes. En este mismo menú es posible corregir dos errores frecuentes que aparecen en el GBIF: excluir, **1)** las coordenadas geográficas 0° latitud y 0° longitud y, **2)** las coordenadas con la misma longitud y latitud. Además, es posible eliminar coordenadas repetidas, ya que frecuentemente, diferentes organizaciones envían a GBIF coordenadas geográficas de una misma localidad. En la figura 2 (*ventana inferior*), se observa que después de la descarga de los datos, se muestra

un registro con información sobre aspectos importantes como: colecciones biológicas de donde provienen los datos, derechos de autor de las fuentes que han suministrado esos datos, etc. La desventaja que tiene la aplicación *DataManager* es que, al hacer una importación automática desde cualquier nivel taxonómico, no se pueden corregir errores como: sinonimias o nombres comunes incorrectos, datos mal georeferenciados, identificaciones erróneas, etc., que a veces aparecen en el GBIF.

En la figura 3 se presenta como se realiza el proceso con la aplicación *MapMaker*, con la desventaja que solamente se pueden importar datos de una especie a la vez, sin embargo, con ella es posible corregir los errores mencionados anteriormente de sinonimias o nombres comunes incorrectos. En esta figura, se muestra un ejemplo con la especie *Raja radula* (Rajiformes: Rajidae), en donde aparece una sinonimia (*Raja atra*) que pertenece a otra especie (*Raja undulata*), por lo que se tiene que deseleccionar ese sinónimo para que no importe las coordenadas geográficas de la especie *R. undulata* (figura 3, *ventana superior*). Además, la distribución de esta especie en África es errónea (figura 3, *ventana central*), ya que esos registros probablemente corresponde a *Raja africana* o *Leucoraja naevus*. Estos datos se pueden eliminar fácilmente seleccionándolos con la opción *Free hand* y borrándolos con *Delete samples* (figura 3, *ventana central*), dejando el mapa con la distribución correcta (figura 3, *ventana inferior*).

En la figura 3 se muestra otro aspecto importante de ModestR. Como se seleccionó que el hábitat de la especie era marino, las coordenadas geográficas que están correctas en el hábitat aparecen en color **rojo**, mientras que las incorrectas, por ejemplo, las coordenadas en tierra, se muestran en color **negro**. Las coordenadas geográficas no válidas no se eliminan, pero no se tienen en cuenta cuando

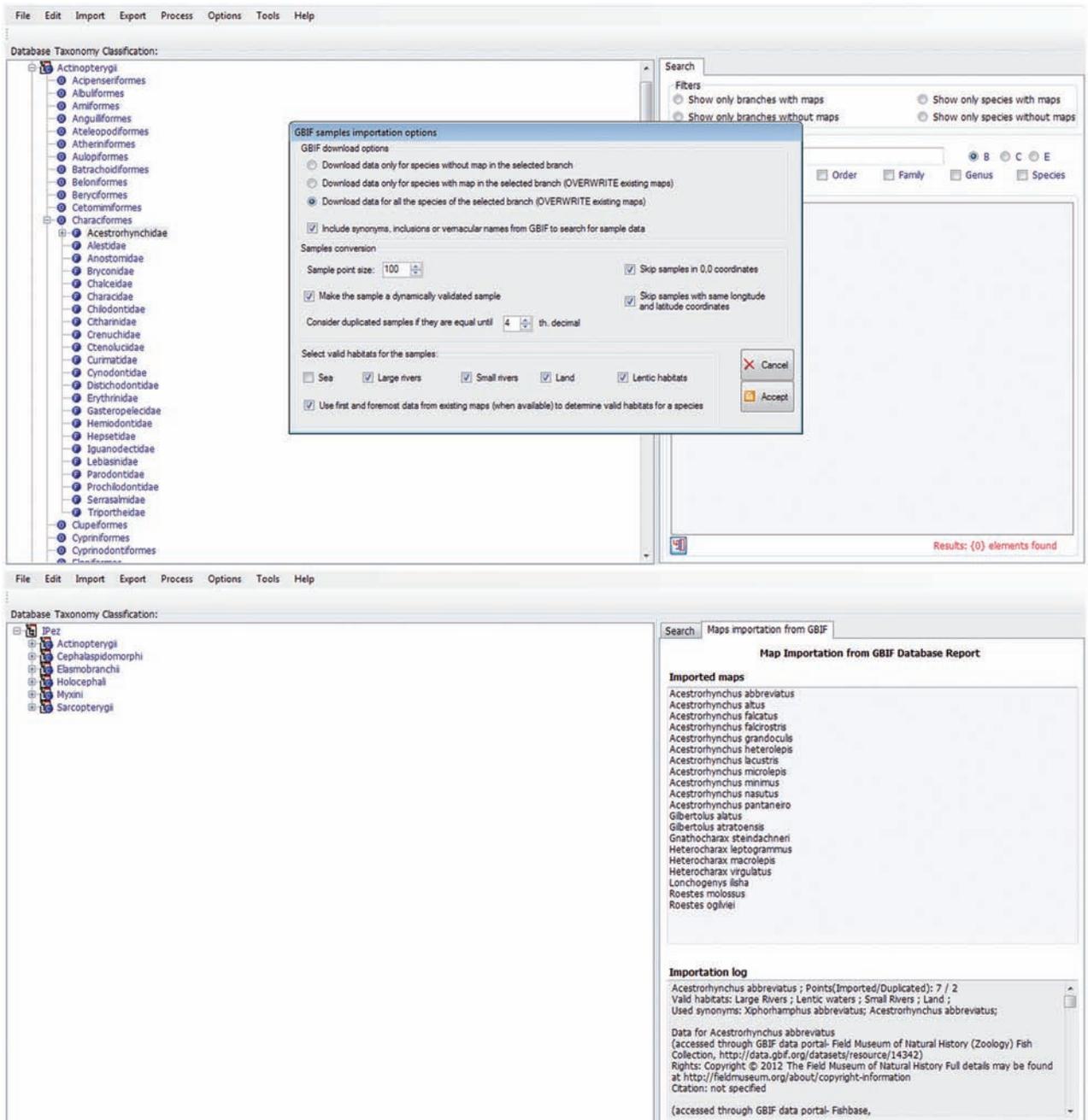


Figura 2. Importación de datos del *Global Biodiversity Information Facility (GBIF)* con la aplicación *DataManager* del programa informático *ModestR* (*ventana superior*) y registro de salida con información sobre la importación de la familia *Acetrorhynchidae* del orden *Characiformes* (*ventana inferior*)

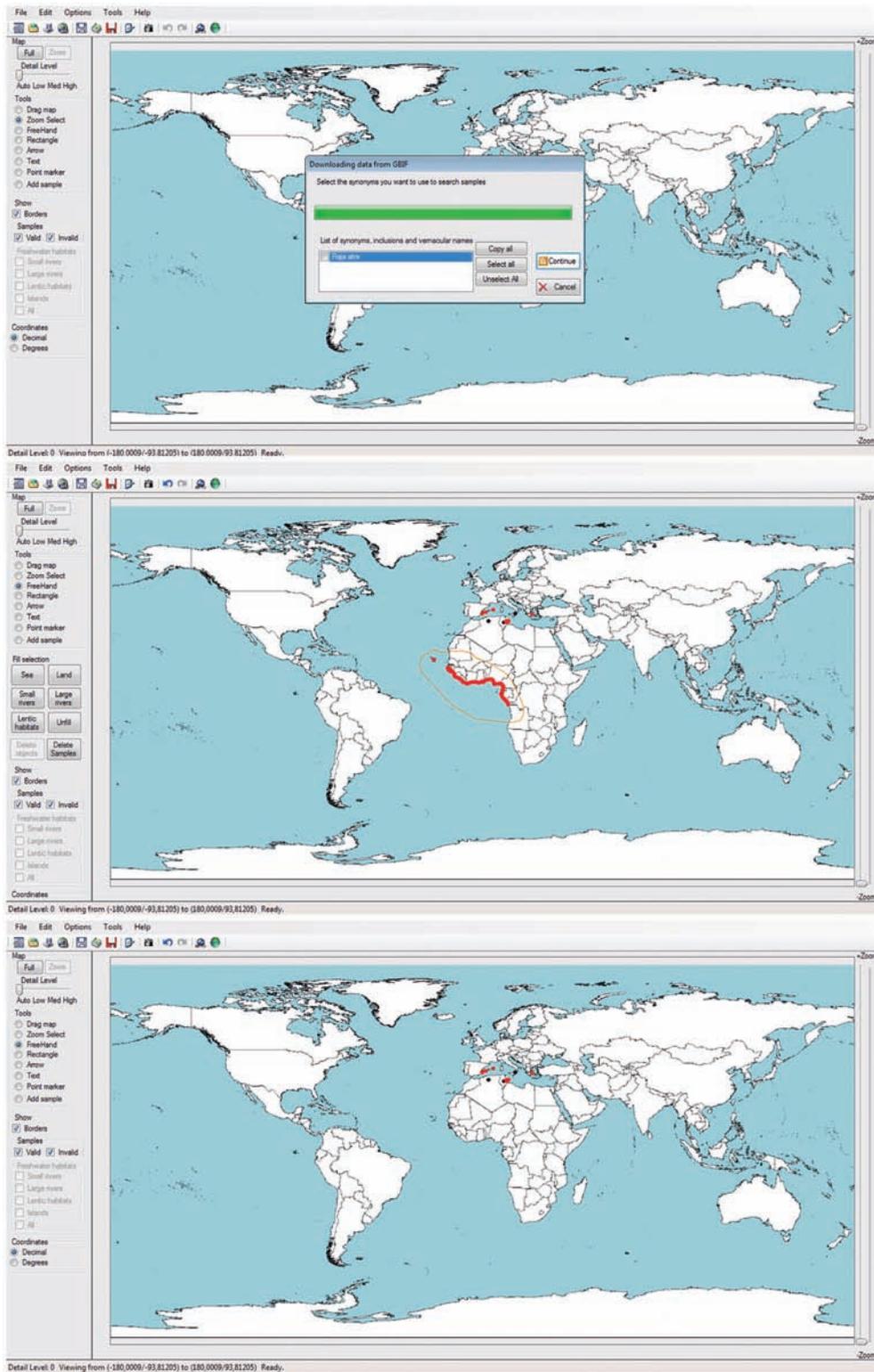


Figura 3. Importación de datos de *Global Biodiversity Information Facility (GBIF)* con la aplicación *MapMaker* del programa informático *ModestR* de la especie *Raja radula* (*ventana superior*), donde se observan datos de distribución incorrectos en África (*ventana central*), los cuales se corrigen de forma fácil (*ventana inferior*) (los puntos **rojos** y **negros** indican que la coordenada geográfica está en el hábitat **correcto** e **incorrecto**)

se exportan los resultados para realizar mapas de riqueza, modelos de distribución, etc. Cinco categorías de hábitats se usan en ModestR: mar, tierra, pequeños y grandes ríos (lóticos), y hábitats lenticos. Pequeños ríos incluye canales, quebradas, arroyos, etc., es decir, sistemas de aguas con corrientes. Los ecosistemas lenticos hacen referencia a sistemas cerrados, semicerrados y aguas estancadas como lagos, lagunas, ciénagas, embalses, pozos, entre otros.

La tercera opción, es realizar un modelo de distribución geográfica —el cual se mostrará más adelante en el proceso—, e importar la distribución teórica de la especie, asumiendo una determinada probabilidad de corte para especificar a partir de cual valor se considera que la especie estaría presente.

La cuarta opción, es la de elaborar mapas con la aplicación *MapMaker*; los llamados **mapas expertos**, es decir, mapas en los cuales se selecciona una determinada área de distribución geográfica y uno o varios hábitats (mar, tierra, pequeños ríos, grandes ríos y hábitats lenticos). En la figura 4, se observa que se puede seleccionar todo un río (río Caquetá y afluentes) (*ventana superior*) o una zona muy pequeña, en este caso una determinada área dentro del lago Tarapoto (Amazonas), Colombia (*ventana inferior*). Con este sistema se hicieron los mapas del orden Carcharhiniformes.

Fuentes utilizadas para realizar los mapas de distribución de especies. Para mostrar el funcionamiento de ModestR con taxones de agua dulce, se usaron datos de especies de peces de los órdenes Characiformes y Siluriformes disponibles en el GBIF. Para taxones marinos, se utilizaron datos de distribución de diversas fuentes bibliográficas de especies de tiburones del orden Carcharhiniformes (Bellemans et al. 1988, Bianchi et al. 1999, Bonfil y Abdallah 2004, Carpenter y Niem 1998-2001, Cervigon et al. 1992, Compagno

1984a, b, 2003, Compagno et al. 2005, Eschmeyer y Fricke 2012, Fischer et al. 1981, 1987, 1995, Froese y Pauly 2011, GBIF 2012, Lloris y Rucabado 1998, Schneider 1990, Serena 2005, IUCN 2010, Whitehead et al. 1984-1986).

Exportar la información de los mapas de distribución. Toda la información generada en ModestR se puede exportar a diferentes tipos de formatos, con el objetivo de poder utilizarlos en otras herramientas informáticas como: *DIVA-GIS* (Hijmans et al. 2001), *Excel*, *Maxent* (Phillips et al. 2006), *R* (R Development Core Team 2009), entre otros (figura 5). Con esta información es posible confeccionar mapas de distribución geográfica y modelos de distribución, mapas de riqueza de especies, estimación de índices biogeográficos, etc.

RESULTADOS

Obtención de mapas de riqueza. 3.532 especies del orden Siluriformes se encontraron registradas en el momento que se realizó la descarga del GBIF para este estudio, y solamente se obtuvo información de coordenadas geográficas de 1.905 especies (53,9%). Del mismo modo, de las 1.999 especies registradas en el GBIF del orden Characiformes, solamente había información de coordenadas geográficas de 1.282 especies (64,1%). La figura 6 muestra el número de especies para cada uno de estos dos órdenes de acuerdo a los datos disponibles en el GBIF. Como se observa en los mapas obtenidos, la información disponible en el GBIF para Colombia es muy escasa, comparada con otros países. Con ModestR es posible integrar fácilmente los registros existentes en otras colecciones biológicas y bases de datos existentes en el y fuera del país, y de esta manera, aumentar la información disponible sobre la biodiversidad de Colombia.

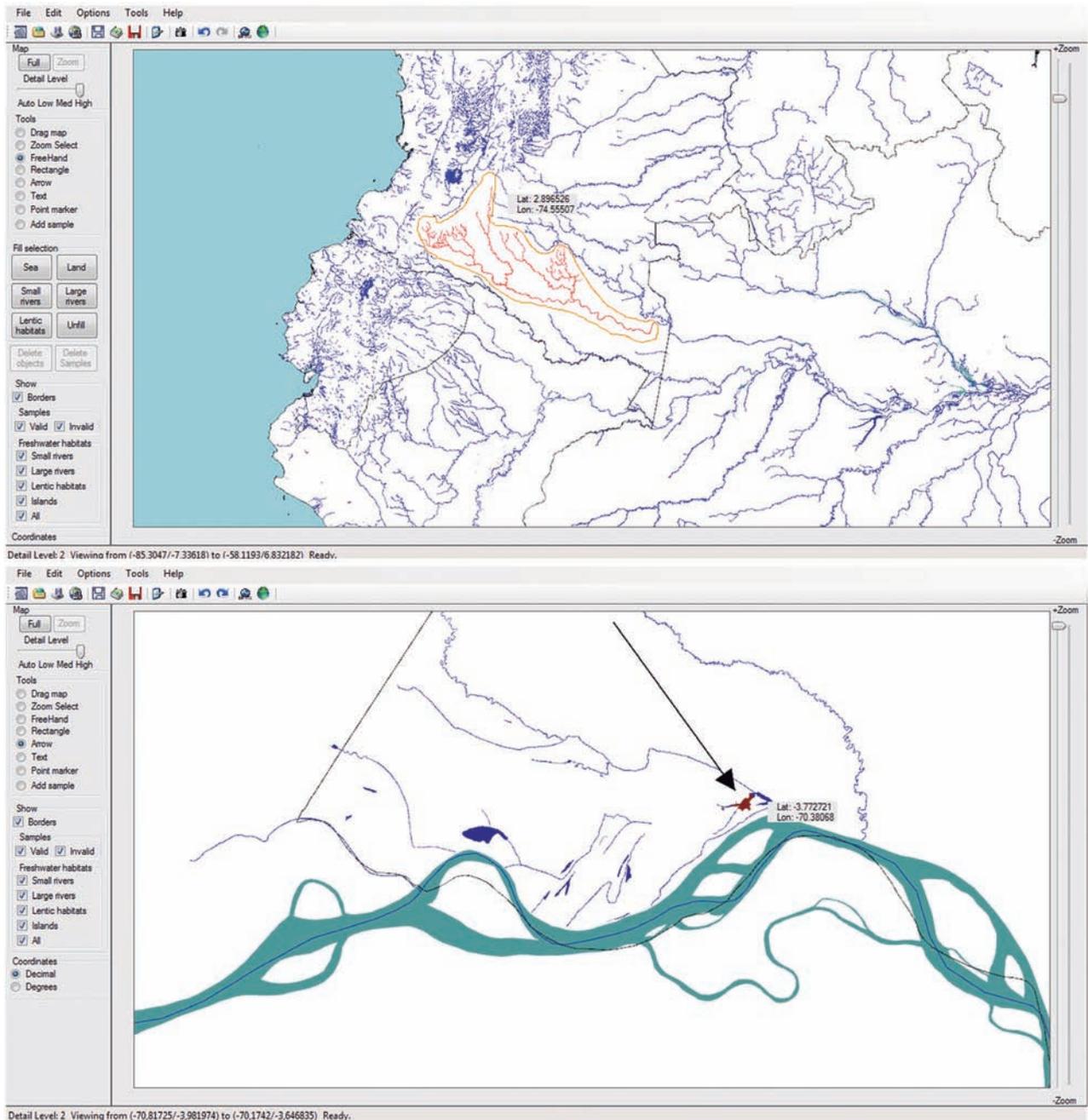


Figura 4. Elaboración de un *mapa experto* con la aplicación *MapMaker* del programa informático ModestR, seleccionando el río Caquetá y sus afluentes (*ventana superior*) y detalle de la frontera entre Colombia y Perú donde se ha seleccionado que la especie solamente ocupa solamente una área del lago Tarapoto (Amazonas), Colombia (*ventana inferior*)

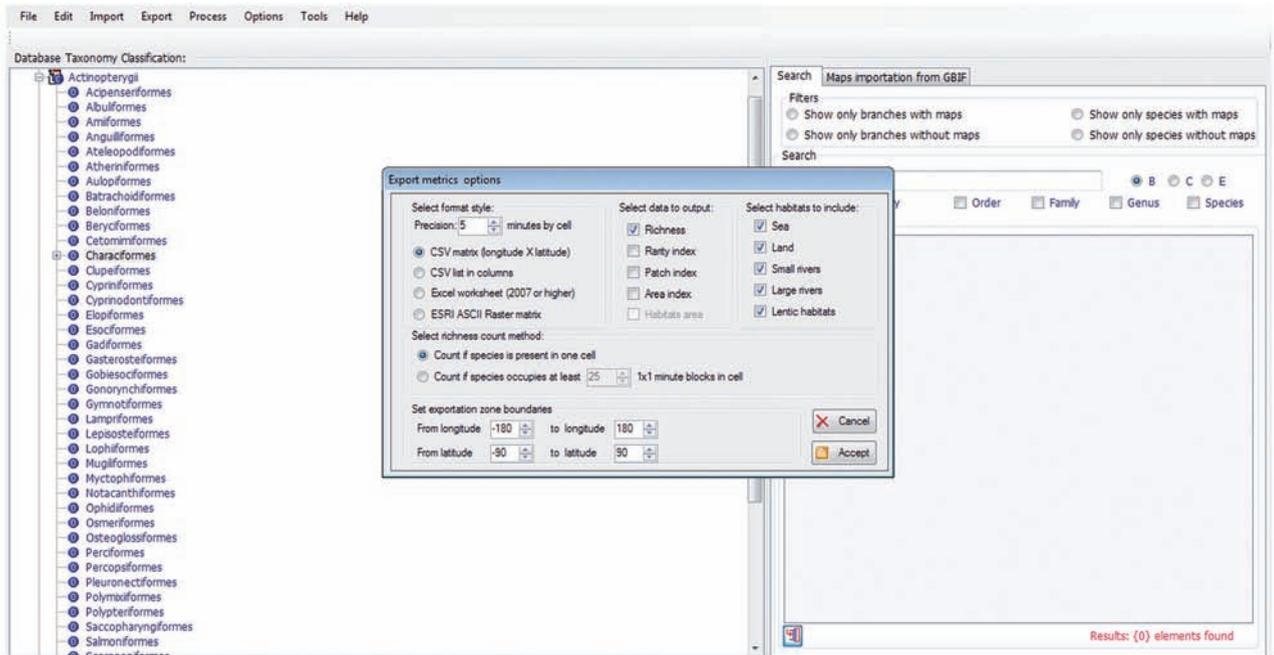


Figura 5. Menú de la aplicación *DataManager* del programa informático ModestR que permite exportar datos de riqueza e índices biogeográficos a diferentes formatos, a partir de la información de los mapas de distribución

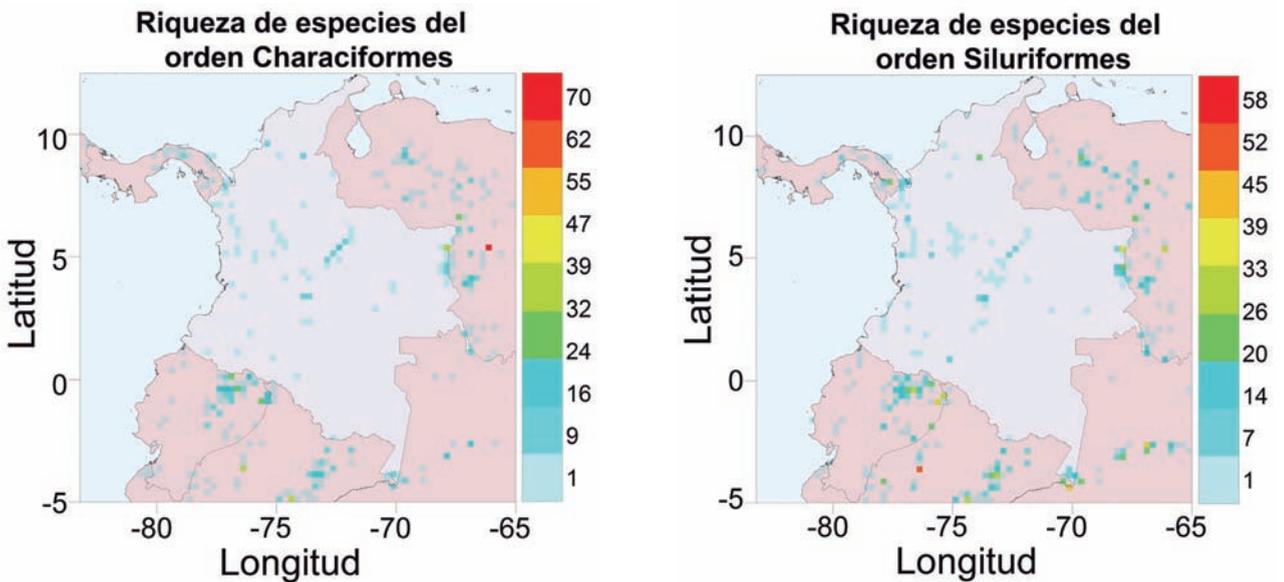


Figura 6. Mapas de riqueza de las especies de los órdenes Characiformes y Siluriformes en Colombia obtenidos a partir de los registros del *Global Biodiversity Information Facility (GBIF)*

La figura 7 muestra el mapa de riqueza de especies de tiburones del orden Carcharhiniformes en las costas continentales colombianas del Caribe y Pacífico, y zonas cercanas. Debido a que se basa en mapas expertos, lógicamente la información es más completa, aunque no necesariamente correcta. Es interesante destacar que hay mayor número de especies en la costa continental del Caribe que del Pacífico.

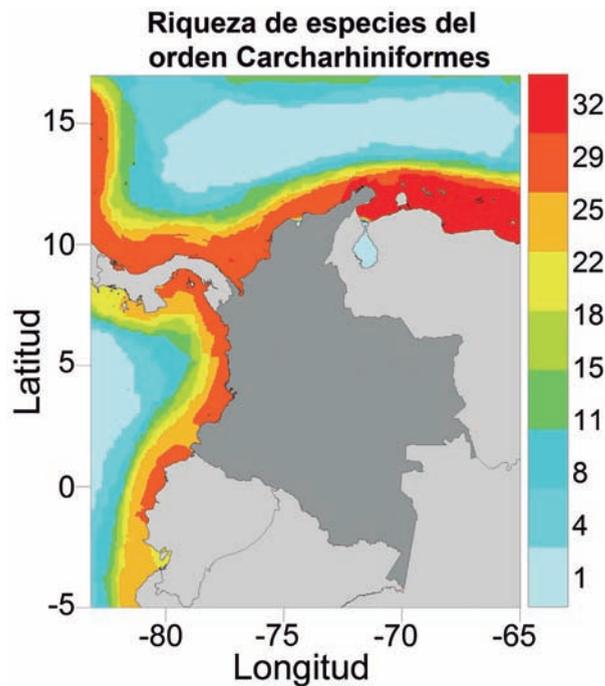


Figura 7. Mapa de riqueza de especies de tiburones del orden Carcharhiniformes en las costas continentales colombianas del Caribe y Pacífico, y zonas cercanas obtenido a partir de los mapas expertos

Modelos de distribución. Una vez elaborado el mapa de distribución de un taxón, éste se puede exportar a un archivo CSV, el cual se puede importar posteriormente con el programa *Maxent* (Phillips et al. 2006), y utilizando parámetros ambientales, como por ejemplo el conjunto de datos *Bio-ORACLE* (Tyberghein et al. 2012), se obtiene de forma fácil el modelo de distribución del taxón seleccionado. En la figura 8 (*ventana inferior*)

se muestra la distribución teórica del tiburón ballena, *Rhincodon typus* (Orectolobiformes: Rhincodontidae), utilizando como base las coordenadas geográficas disponibles en el GBIF. Se observa como para Colombia hay solamente un registro en el Caribe y en el Pacífico, pero el modelo de distribución predice que se encontraría a lo largo de toda la costa del Caribe y Pacífico.

DISCUSIÓN

Actualmente, existen muchas herramientas para estudios biogeográficos, macroecológicos y de conservación de la biodiversidad. El programa *EtimiteS* permite realizar una variedad de evaluaciones por medio de índices de diversidad basados en datos provenientes de muestras biológicas con datos de abundancia, ausencia y presencia (Colwell 2011, Colwell et al. 2012). *Passage2* es otra herramienta informática que permite realizar análisis de patrones, estadística espacial e interpretación geográfica (Rosenberg y Anderson 2011). *BioMapper* es una aplicación que contiene datos de SIG y herramientas estadísticas, diseñado para construir modelos de idoneidad del hábitat y análisis del factor del nicho ecológico (Hirzel et al. 2002).

Existen otro tipo de herramientas orientadas al análisis exclusivo de modelos ecológicos, por ejemplo, *Desktop GARP (Genetic algorithm for rule-set production)* es un algoritmo genético que crea un modelo del nicho ecológico de una especie, el cual representa las condiciones ambientales donde esa especie podría ser capaz de establecer y mantener poblaciones, encuentra correlaciones entre la ausencia y presencia de las especies y los valores de los parámetros ambientales (Scachetti-Pereira 2003). *DIVA-GIS* permite analizar la distribución de especies con el objeto de dilucidar patrones ecológicos, geográficos y genéticos. Pueden crearse mapas de distribución, permite el mapeo de riqueza y diversidad, extraer datos climáticos y mapear

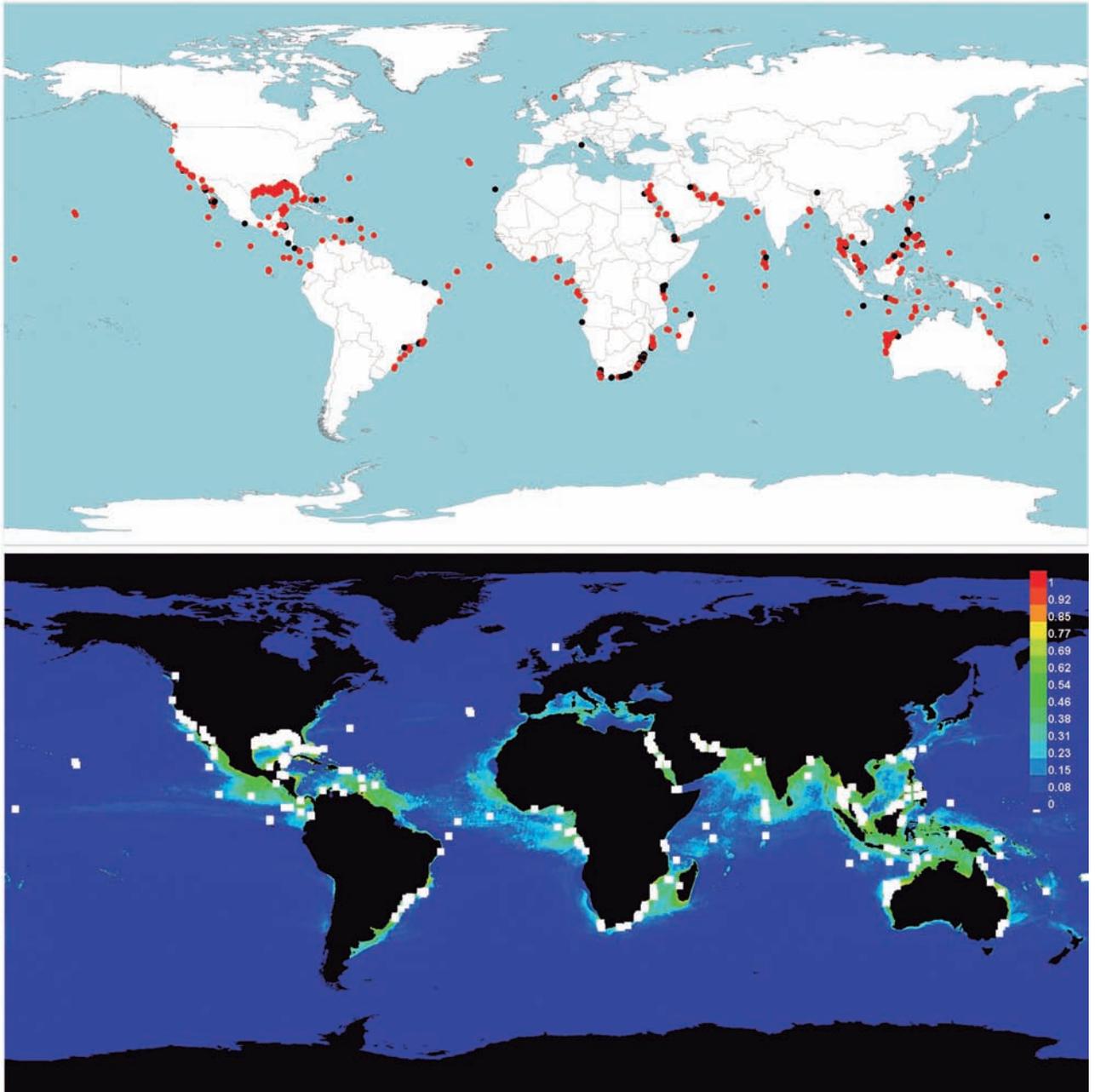


Figura 8. La *ventana superior* muestra el mapa de distribución del tiburón ballena *Rhincodon typus* (Orectolobiformes: Rhincodontidae), que se obtiene con la aplicación *MapMaker* del programa informático ModestR con la información de coordenadas geográficas disponibles en *Global Biodiversity Information Facility (GBIF)*. Los puntos **rojos** y **negros** indican que la coordenada geográfica está en el hábitat **correcto** e **incorrecto**. La *ventana inferior* muestra el modelo de distribución estimado con la versión 3.3.3 *Maxent* (Phillips et al. 2006) utilizando el conjunto de datos *Bio-ORACLE* como factores ambientales (Tyberghein et al. 2012). En el modelo de distribución, la barra de colores indica la probabilidad de presencia de la especie y los cuadrados blancos indican los datos de presencia utilizados para construir el modelo

diversidad basados en datos de marcadores moleculares (ADN). Pueden emplearse para el análisis de autocorrelación espacial y el modelamiento de nichos ecológicos (Hijmans et al. 2005). *RangeModel* es una aplicación gráfica, diseñada para demostrar el mecanismo detrás del efecto de dominio medio, como herramienta para explorar los efectos de las distribuciones de alcance tanto teóricas como empíricas (Colwell 2006). *Maxent* es un programa que estima modelos de distribución de especies con datos de presencia, teniendo en cuenta el método de máxima entropía (Phillips et al. 2006). *SAM* es una aplicación que ofrece una amplia gama de métodos estadísticos espaciales centrado en análisis de patrones espaciales (Rangel et al. 2010). *GeoDa* es un programa diseñado para combinar mapas con gráficos estadísticos para realizar análisis de correlación espacial, análisis de datos, etc. (Anselin et al. 2006).

En Colombia, existen herramientas como *HidroSIG* 4.0 que es una extensión de SIG, la cual permite realizar estimaciones y análisis de variables hidrológicas, climáticas y geomorfológicas para la planificación y cuantificación del recurso hídrico (Poveda et al. 2007).

¿Qué aporta ModestR? La mayoría de las herramientas informáticas disponibles están encaminadas a trabajar con la información, mientras que ModestR está más orientado a generar información. Cuatro son las contribuciones a destacar de ModestR: **1)** diferentes formas de generación mapas de distribución, **2)** capacidad para discriminar entre ambientes o ecosistemas, **3)** posibilidad de utilizar y manejar la taxonomía de la biodiversidad y, **4)** producir alta calidad de resolución en la información geográfica de los ecosistemas acuáticos.

La interfaz de ModestR permite importar la información de cuatro formas diferentes, elaborar mapas a partir de registros obtenidos en el medio, importar y depurar la información

existente en el GBIF, realizar mapas a partir de modelos de distribución y crear mapas expertos.

Cualquiera de las diferentes formas de importación mencionadas anteriormente permite que las coordenadas geográficas sean filtradas por ambientes o ecosistemas. Por ejemplo, es posible discriminar los ambientes acuáticos de los terrestres, o los lóticos de los lentos, y por lo tanto, es posible obtener información importante de cuáles o cómo los ecosistemas están contribuyendo más a la riqueza de especies.

Por otra parte, la taxonomía de un taxón es dinámica y en razón de eso, la taxonomía de muchos grupos cambia frecuentemente por la realización de más inventarios de biodiversidad, por el ordenamiento, curación y sistematización digital de colecciones biológicas, por revisiones filogenéticas de taxones utilizando y complementando diversos caracteres para ello, por la descripción de nuevas especies, entre otros motivos. Por lo tanto, es útil y fundamental disponer de un sistema informático como ModestR que facilite la entrada o incorporación de información de coordenadas geográficas junto a información taxonómica de un o unos taxones, y que a la vez, también sea amigable o de fácil manejo integral y de actualización permanente. Como se mostró en la sección Resultados, este proceso se consigue con la aplicación *DataManager* del ModestR. Por lo tanto, un grupo de investigación o investigador puede trazar, proyectar y publicar la distribución espacial de un grupo de especies o de cualquier taxón, a través del intercambio de la información taxonómica de bases de datos actualizadas y de mapas de distribución geográfica.

Por último, las otras aplicaciones informáticas disponibles carecen de la capacidad de accesibilidad, manejo y generación de mapas con alta definición de los ecosistemas acuáticos. Al momento, se ha realizado un esfuerzo muy importante al incluir las coordenadas

geográficas de un gran número de ecosistemas acuáticos de manera digital, sin embargo, esta labor se deberá seguir complementándose con la información ya existente, y de este modo los usuarios podrán acceder fácilmente a cualquier nueva información que se incorpore en la *Web*, ya que ModestR permite actualizar de forma automática las bases de datos con información de coordenadas geográficas de ecosistemas terrestres y acuáticos.

CONCLUSIÓN

Este estudio demostró que el programa informático ModestR es una herramienta muy amigable, útil y valiosa para usuarios interesados en las diversas áreas de la investigación y conocimiento de la biodiversidad por su fácil manejo y accesibilidad (además, de gratuita), su eficiencia en el manejo y generación de información de alta calidad de resolución y su capacidad de actualización permanente de la información taxonómica para la realización de estudios sobre la distribución de especies presentes en los todos ecosistemas de Colombia y del mundo. Este trabajo se ha enfocado en los ecosistemas acuáticos, pero ModestR permite ejecutar el mismo tipo de estudios con especies de ecosistemas terrestres. Otra importante contribución de ModestR, es que permite generar información que es totalmente compatible para trabajar con otros paquetes informáticos diseñados para realizar diferentes investigaciones sobre macroecología, biogeografía y conservación de la biodiversidad, como los mencionados anteriormente en este trabajo.

REFERENCIAS

Anselin L, Syabri I, Kho Y. 2006. GeoDa: An introduction to spatial data analysis. *Geographical analysis*, 38 (1): 5-22.

Arévalo-Urbe D. 2012. Una mirada a la agricultura de Colombia desde su huella hídrica. Colombia: WWF Reporte. p. 48.

Bellemans M, Sagna A, Fischer W, Scialabba N. 1988. Guide des ressources halieutiques du Sénégal et de la Gambie (espèces marines et d'eaux saumâtres) [Internet]. Fiches FAO d'identification des espèces pour les besoins

de la pêche. Roma: FAO. p. 227. Fecha de acceso: diciembre de 2012. Disponible en: <<http://www.fao.org/docrep/010/t0047f/t0047f00.htm#Contents>>.

Bianchi G, Carpenter KE, Roux JP, Molloy FJ, Boyer D, Boyer HJ. 1999. The living marine resources of Namibia [Internet]. FAO species identification field guide for fishery purposes. Roma: FAO. p. 265. Fecha de acceso: diciembre de 2012. Disponible en: <<http://www.fao.org/docrep/009/x3478e/x3478e00.htm>>.

Bonfil R, Abdallah M. 2004. Field identification guide to the sharks and rays of the Red Sea and Gulf of Aden [Internet]. FAO species identification guide for fishery purposes. Roma: FAO. p. 71. Fecha de acceso: diciembre de 2012. Disponible en: <<http://www.fao.org/docrep/010/a1502e/a1502e00.htm>>.

Carpenter KE, Niem VH (eds.). 1998-2001. The living marine resources of the Western Central Pacific [Internet]. FAO species identification guide for fishery purposes. Roma: FAO. Vols. 1-6, paginación variable. Fecha de acceso: diciembre de 2012. Disponible en: <<http://www.fao.org/docrep/009/y0870e/y0870e00.htm>>.

Cervigón F, Cipriani R, Fischer W, Garibaldi L, Hendrickx M, Lemus AJ, Márquez R, Poutiers JM, Robaina G, Rodríguez B. 1992. Guía de campo de las especies comerciales marinas y de aguas salobres de la costa septentrional de Sur América [Internet]. Fiches FAO de identificación de especies para los fines de la pesca. Roma: FAO. p. 513. Fecha de acceso: diciembre de 2012. Disponible en: <<http://www.fao.org/docrep/010/t0544s/t0544s00.htm>>.

Colwell RK. 2006. RangeModel —Tools for exploring and assessing geometric constraints on species richness (the mid-domain effect) along transects [Internet]. Fecha de acceso: diciembre de 2012. Disponible en: <<http://viceroy.eeb.uconn.edu/RangeModel/>>.

Colwell RK. 2011. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples [Internet]. Fecha de acceso: diciembre de 2012. Disponible en: <<http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates/>>.

Colwell RK, Chao A, Gotelli NJ, Lin SY, Mao CX, Chazdon RL, Longino JT. 2012. Models and estimators linking individual-based and sample-based rarefaction, extrapolation, and comparison of assemblages. *Journal of Plant Ecology*, 5: 3-21.

Compagno LJV. 1984a. Sharks of the World. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Part 1: Hexanchiformes to Lamniformes [Internet]. FAO species catalogue. Roma: FAO. Vol. 4, Part 1. FAO Fish. Synop. 125 (4/1): 1-249. Fecha de acceso: diciembre de 2012. Disponible en: <http://www.fao.org/documents/en/empty.jsp?cx=018170620143701104933%3Aqq82jsfba7w&cof=FORID%3A11&q=Compagno+LJV&x=9&y=9&search_radio=fao>.

Compagno LJV. 1984b. Sharks of the World. An annotated and illustrated catalogue of shark species known

- to date. Part 2: Carcharhiniformes [Internet]. FAO species catalogue. Roma: FAO. Vol. 4, Part 2. FAO Fish. Synop., 125 (4/2): 251-655. Fecha de acceso: diciembre de 2012. Disponible en: <http://www.fao.org/documents/en/empty.jsp?cx=018170620143701104933%3Aqq82jsfba7w&cof=FORID%3A11&q=Compagno+LJV&x=9&y=9&search_radio=fao>.
- Compagno LJV. 2003. Sharks of the order Carcharhiniformes. Massachusetts (EE. UU.): Blackburn Press. p. 572.
- Compagno LJV, Dando M, Fowler S. 2005. A field guide to the sharks of the World. New Jersey (Princeton): Princeton University Press. p. 368.
- Eschmeyer WN, Fricke R (eds.). 2012. Catalog of fishes electronic version [Internet]. Fecha de acceso: diciembre de 2012. California: California Academic of Sciences: Research. Fecha de acceso: diciembre de 2012. Disponible en: <<http://research.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>>.
- Fischer W, Bianchi G, Scott WB (eds.). 1981. Eastern Central Atlantic; fishing area 34, 47 (in part) [Internet]. FAO species identification sheets for fishery purposes. Ottawa (Canada): Department of Fisheries and Oceans of Canada and FAO. Vols. 1-7, paginación variable. Fecha de acceso: diciembre de 2012. Disponible en: <<http://www.fao.org/docrep/009/ag419e/ag419e00.htm>>.
- Fischer W, Bauchot ML, Schneider M. 1987. Méditerranée et mer Noire. Zone de pêche 37. Fiches FAO d'identification des espèces pour les besoins de la pêche. (Révision 1). Roma: FAO. Vol. 2: Vértébrés, p. 761-1530.
- Fischer W, Krupp F, Schneider W, Sommer C, Carpenter KE, Niem VH. 1995. Pacífico Centro Oriental. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Roma: FAO. Vol. 1, p. 1-646; Vol. 2, p. 647-1200; Vol. 3, p. 1201-1813.
- Froese, R, Pauly D. (eds). 2012. FishBase. World Wide Web electronic publication [version (12/2012)] [Internet]. Fecha de acceso: noviembre de 2012. Disponible en: <<http://www.fishbase.org/search.php?lang=Spanish>>.
- Frost DR. 2011. Amphibian species of the World: an online reference. Version 5.5 (31 January, 2011). New York (EE. UU.): American Museum of Natural History. Fecha de acceso: diciembre de 2012. Disponible en: <<http://research.amnh.org/vz/herpetology/amphibia/>>.
- GBIF. 2012. Global Biodiversity Information Facility [Internet]. Fecha de acceso: diciembre de 2012. GBIF disponible en: <<http://data.gbif.org>>. Búsqueda de taxones: *Access data portal*: <<http://data.gbif.org/welcome.htm>>.
- Guisan A, Thuiller W. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. Ecology Letters, 8 (9): 993-1009.
- Guisande C, Manjarrés-Hernández A, Pelayo-Villamil P, Granado-Lorencio C, Riveiro I, Acuña A, Prieto-Piraquive E, Janeiro E, Matías JM, Patti C, Patti B, Mazzola S, Jiménez S, Duque V, Salmerón F. 2010. IPEZ: An expert system for the taxonomic identification of fishes based on machine learning techniques. Fisheries Research, 102 (3): 240-247.
- Hanspach J, Kühn I, Schweiger IO, Pompe S, Klotz S. 2011. Geographical patterns in prediction errors of species distribution models. Global Ecology and Biogeography, 20 (5): 779-788.
- Hijmans RJ, Guarino L, Cruz M, Rojas E. 2001. Computer tools for spatial analysis of plant genetic resources data: 1. DIVA-GIS. Plant Genetic Resources Newsletter, 127: 15-19.
- Hijmans RJ, Guarino L, Jarvis A, O'Brien R, Mathur P, Bussink C, Cruz M, Barrantes I, Rojas E. 2005. DIVA-GIS [Internet]. Fecha de acceso: diciembre de 2012. Disponible en: <<http://www.diva-gis.org/>>.
- Hirzel AH, Hausser J, Chessel D, Perrin N. 2002. Ecological-niche factor analysis: How to compute habitat-suitability maps without absence data? Ecology, 87 (7): 2027-2036.
- IUCN. 2010. IUCN Red List of Threatened Species [Internet]. Fecha de acceso: diciembre de 2012. Disponible en: <<http://www.iucnredlist.org/>>.
- Lloris D, Rucabado J. 1998. Guide d'identification des ressources marines vivantes du Maroc [Internet]. Guide FAO d'identification des espèces pour les besoins de la pêche. Roma: FAO. p. 263. Fecha de acceso: diciembre de 2012. Disponible en: <http://www.fao.org/documents/en/empty.jsp?cx=018170620143701104933%3Aqq82jsfba7w&cof=FORID%3A11&q=Rucabado+J&x=10&y=7&search_radio=fao>.
- Maldonado-Ocampo JA, Vari RP, Usma JS. 2008. Checklist of the freshwater fishes of Colombia. Biota Colombiana, 9 (2): 143-237.
- Moreno MI, Arzuza D. 2006. Reporte final. Aves acuáticas en Colombia [Internet]. Bogotá (Colombia): ProAves and Waterbird Conservation for the Americas. p. 68. Fecha de acceso: diciembre de 2012. Disponible en: <http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CDkQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.birdlife.org%2Faction%2Fscience%2Fspecies%2Fwaterbirds%2Fwaterbirds_pdf%2Fwaterbirds_report_colombia_2006.pdf&ei=m6zkUN6NNpOK9AS6gYGQBw&usg=AFQjCNEq5rezlSkfi7LuR-4Vii7_Vj1AA&bvm=bv.1355534169,d.eWU>.
- Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling, 190 (3-4): 231-259.
- Poveda G, Mesa OJ, Vélez JI, Mantilla R, Ramírez JM, Hernández O, Borja AF, Urzola JA. HidroSIG: An interactive digital atlas of Colombia's hydroclimatology. Journal of Hydroinformatics, 9 (2): 145-156.
- R Development Core Team. 2009. R: a language and environment for statistical computing [Internet]. Vienna,

- Austria: R Foundation for Statistical Computing. Fecha de acceso: diciembre de 2012. Disponible en: <<http://www.r-project.org/>>.
- Rangel TF, Alexandre J, Diniz-Filho F, Bini LM. 2010. SAM: a comprehensive application for spatial analysis in Macroecology. *Ecography*, 33 (1): 46-50.
- Rosenberg MS, Anderson CD. 2011. PASSAGE: Pattern Analysis, Spatial Statistics and Geographic Exegesis. Version 2. *Methods in Ecology and Evolution*, 2 (3): 229-232.
- Scachetti-Pereira R. 2003. DesktopGARP [Internet]. Kansas (EE. UU.): University of Kansas Center for Research, Inc. (KUCR) and the University of Kansas. Fecha de acceso: diciembre de 2012. Disponible en: <<http://www.nhm.ku.edu/desktopgarp/>>.
- Schneider W. 1990. Field guide to the commercial marine resources of the Gulf of Guinea [Internet]. FAO species identification sheets for fishery purposes. Roma: FAO. p. 268. Fecha de acceso: diciembre de 2012. Disponible en: <<http://www.fao.org/docrep/009/t0438e/t0438e00.htm>>.
- Serena F. 2005. Field identification guide to the sharks and rays of the Mediterranean and Black Sea [Internet]. FAO species identification guide for fishery purposes. Roma: FAO. p. 97. Fecha de acceso: diciembre de 2012. Disponible en: <<http://www.fao.org/docrep/009/y5945e/y5945e00.htm>>.
- Tyberghein L, Verbruggen H, Pauly K, Troupin C, Mineur F, de Clerck O. 2012. Bio-ORACLE: a global environmental dataset for marine species distribution modelling. *Global Ecology and Biogeography*, 21 (2): 272-281.
- Whitehead PJP, Bauchot ML, Hureau JC, Nielsen J, Tortonese E (eds.). 1984-1986. Fishes of the North-eastern Atlantic and the Mediterranean. Paris: UNESCO. Vols. 1-3, p. 1-1473.