
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LAS TORTUGAS CONTINENTALES DE COLOMBIA Y SU REPRESENTACIÓN EN ÁREAS PROTEGIDAS

Geographic Distribution of the Tortoises and Freshwater Turtles of Colombia and their Representation in the Protected Area Network

GERMAN FORERO-MEDINA¹, Ph. D.; ANA PAOLA YUSTI-MUÑOZ¹, Bióloga; OLGA V. CASTAÑO-MORA², Bióloga.

¹ Wildlife Conservation Society, Turtle Survival Alliance. Calle 2 n.º 42 - 23, Cali, Colombia. forecroc@yahoo.com; yusti.ap@gmail.com

² Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. olvicasm@gmail.com

Autor de correspondencia: Germán Forero-Medina, forecroc@yahoo.com

Recibido 20 de febrero de 2014, aceptado con modificaciones 21 de abril de 2014, fecha de reenvío 13 de junio de 2014.

Citation / Citar este artículo como: FORERO-MEDINA G, YUSTI-MUÑOZ AP, CASTAÑO-MORA OV. Distribución geográfica de las tortugas continentales de Colombia y su representación en áreas protegidas. Acta biol. Colomb. 2014;19(3):415-426.

RESUMEN

Colombia cuenta con una alta diversidad de quelonios continentales, sin embargo, un número considerable de especies se encuentran amenazadas y para otras no existe información suficiente para evaluar su estado de amenaza. Este trabajo es una aproximación cuantitativa al estudio de la distribución geográfica de las tortugas continentales de Colombia. Con base en registros de localidades con presencia de cada especie, evaluamos la distribución geográfica a partir de modelos estadísticos (Maxent), cuencas hidrográficas, extensión de presencia y área de ocupación. Estimamos la representación de cada especie en el sistema de Parques Nacionales Naturales (PNN) y en otras áreas del sistema nacional de áreas protegidas, incluyendo Reservas Naturales de la Sociedad Civil (RNSC). Se construyeron modelos de distribución geográfica y se estimó el área de distribución (km²) para 25 de las 27 especies presentes en el país. Las áreas con mayor riqueza de especies son los ecosistemas ribereños de la Amazonia, Orinoquia y el Caribe, en particular el Caribe occidental. Este último es un bioma prioritario debido a su alto número de endemismos y por la amenaza que enfrentan sus especies. Solo el 56 % de las especies estudiadas presentan registros confirmados en los PNN. Un mayor número de especies podría estar presente en los PNN de acuerdo con los resultados de los modelos, pero solo diez especies tendrían más del 10 % de su distribución representada en dichas áreas. Los modelos generados podrán ser un punto de partida para investigar la presencia de quelonios en los PNN. Las especies endémicas están pobremente representadas en las áreas protegidas, tanto en los PNN como en otras categorías, por lo que es urgente constituir nuevas áreas protegidas para asegurar la supervivencia de sus poblaciones.

Palabras clave: áreas protegidas, Colombia, distribución, Testudines, tortugas.

ABSTRACT

Colombia has a remarkable diversity of tortoises and freshwater turtles. However, a considerable portion of these species is threatened, and for others there is not enough information to make an adequate evaluation of their conservation status. This study is a first approximation to the quantitative evaluation of the geographic distribution of Colombia's non-marine chelonians. Based on records of occurrence for each species, we evaluated the geographic distribution using statistical models (Maxent), hydrological basins, and the extent of occurrence and area of occupancy. Based on the presence data and the models, we studied the representation of each species in National Natural Parks (NNP), which correspond to the most

rigorous conservation category of IUCN classification in Colombia, and other types of protected areas such as Private Reserves. We generated distribution models and estimated the area (km²) for 25 out of 27 species in the country. This information will be valuable for updating and evaluating the threat categories at the national level. The areas with the highest species richness correspond to the riverine ecosystems of the Amazon and Orinoco river basins and the Caribbean region, particularly the western Caribbean. This region is a top priority not only because of its richness but also because of the presence of endemics and its high level of threat. Only 56 % of the species have confirmed records within National Parks. A greater portion could be present in these areas according to the statistical models, but only ten of those species would have more than 10 % of their ranges within a park's boundary. Although the resulting models have certain limitations due to the nature of the data and analyses, they can be a starting point for research on the occurrence of turtles in NNP. Endemic species are poorly represented in protected areas, both in NNP and in other categories. Thus, protected areas that can assure the persistence of their populations are urgently needed.

Keywords: Colombia, geographic range, protected areas, Testudines, turtles.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la distribución geográfica de un taxón es indispensable para evaluar su estado de amenaza y tomar decisiones de manejo. La información sobre la distribución de múltiples taxones permite además la descripción de patrones de riqueza y endemismo, los cuales son muy útiles en ejercicios de planificación para la conservación (Myers *et al.*, 2000; Grenyer *et al.*, 2006; Forero–Medina y Joppa, 2010). La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) utiliza la distribución geográfica, o medidas indirectas de esta, como un criterio clave para la determinación del grado de amenaza de una especie (UICN, 2012). No obstante, este parámetro tan fundamental es aún desconocido o poco comprendido para un gran número de especies, problema que ha sido denominado como el “déficit Wallaciano” (*Wallacean shortfall*) (Lomolino y Heaney 2004; Whittaker *et al.*, 2005).

Las tortugas continentales, uno de los grupos de vertebrados más amenazados del planeta (Rhodin *et al.*, 2011), son un taxón poco estudiado en cuanto a su distribución espacial y ecología, probablemente debido al carácter críptico de muchas especies (exceptuando las grandes tortugas de río). Si bien existen aproximaciones generales al conocimiento de los patrones globales de distribución de quelonios continentales (Buhlmann *et al.*, 2009), estos modelos son de baja resolución y no cuentan con información detallada y actualizada para cada especie. Tampoco existen bases de datos con mapas de distribución disponibles para especies

de este grupo, como ocurre para otros vertebrados como las aves, los anfibios o los mamíferos (UICN, 2009; BirdLife International y NatureServe, 2011).

Colombia cuenta con una alta diversidad de tortugas continentales, es el séptimo país en el mundo y el segundo en Suramérica en número de especies y subespecies de este grupo (27 especies y una subespecie) (TTWG, 2012). Además, es el país con el mayor número de familias (nueve) (Páez, 2012), lo que indica también una alta diversidad filogenética. Desafortunadamente, 12 de las 27 (44 %) especies registradas en Colombia se encuentran amenazadas y listadas por la UICN en alguna categoría de riesgo (Páez, 2012), debido principalmente a la pérdida y degradación de su hábitat y a su extracción masiva para consumo y comercialización.

Aunque el grado de amenaza ha sido evaluado previamente para algunas especies de quelonios continentales de Colombia (Castaño–Mora, 2002), varias de las especies evaluadas fueron incluidas en la categoría de datos deficientes (DD). Asimismo, no se contaba con una aproximación cuantitativa al estudio de sus distribuciones geográficas, lo que limita el uso de los criterios de la UICN en el proceso de categorización regional o global.

Considerando esto, en el reciente plan estratégico de conservación para las tortugas continentales de Colombia (ACH, 2011), se propuso como una actividad de la línea de investigación para la conservación, la compilación de todos los registros de presencia de especies de quelonios continentales en el país y la generación de modelos de distribución geográfica. Adicionalmente, se propuso realizar análisis de representatividad de todas las especies en áreas protegidas. El primer paso de este ejercicio, la compilación de registros de presencias, fue realizado exitosamente y publicado gracias al trabajo de numerosos investigadores de Colombia y otros países (Páez *et al.*, 2012).

El segundo paso, y objetivo del presente trabajo, fue realizar una primera aproximación al estudio de la distribución geográfica de las tortugas continentales de Colombia de forma cuantitativa, utilizando la información más actualizada y completa hasta el momento. Con base en los datos de presencia y los modelos obtenidos, se realizaron análisis de representatividad de las especies en áreas protegidas de carácter nacional y regional, con el fin de identificar vacíos de conservación. Consideramos que esta información será de gran utilidad para actualizar el estado de amenaza de muchas especies y evaluar el de otras, así como identificar áreas prioritarias para la conservación de quelonios continentales de Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Registros de presencia

Los registros de presencia de las especies en el país se obtuvieron a partir de la información compilada por diferentes investigadores (Páez *et al.*, 2012). Estos registros fueron

revisados y complementados con datos de los autores. Para generar los modelos de distribución, solo se tuvieron en cuenta las especies con un mínimo de seis registros, por tanto, para *Mesoclemmys heliostemma* y *M. raniceps* no se generaron modelos. Los registros de presencia (datos) estarán disponibles en el SiB (<http://www.sibcolombia.net/web/sib/>).

Modelos estadísticos de distribución, cuencas hidrográficas, área de ocupación y extensión de presencia

Los modelos estadísticos de distribución de las tortugas continentales de Colombia fueron desarrollados a partir del modelo de máxima entropía (Maxent), haciendo uso del *software* Maxent 3.3.3k (Phillips y Dudík, 2008). Utilizamos 18 variables, de las cuales 13 fueron variables bioclimáticas obtenidas de WorldClim versión 1.4 (Hijmans *et al.*, 2005). Estas variables fueron: 1) temperatura media anual (°C); 2) rango de temperaturas medio diurno (°C); 3) isothermalidad; 4) estacionalidad de la temperatura (desviación estándar *100); 5) máxima temperatura del mes más caliente (°C); 6) temperatura mínima del mes más frío (°C); 7) rango anual de temperatura (°C); 8) precipitación anual (mm); 9) precipitación del mes más húmedo (mm); 10) precipitación del mes más seco (mm); 11) estacionalidad de precipitación (coeficiente de variación); 12) precipitación del cuarto de año más húmedo (mm); 13) precipitación del cuarto de año más seco (mm). Las variables restantes fueron elevación (m), ecosistemas y biomas (Ideam *et al.*, 2007) y distancia (euclidiana) a cuerpos lénticos y lóticos.

En todos los casos se utilizó el 25 % de los datos para el test del modelo de Maxent y se trabajó con un máximo de 10000 iteraciones. Para la conversión del resultado logístico a clasificación binaria, se usó el umbral de *maximum test sensitivity plus specificity*. Cada modelo fue revisado por los autores y comparado con mapas previos de distribución de cada especie, con el fin de refinar los modelos producidos y eliminar áreas predichas donde se sabe que la especie está ausente (ej. en vertientes equivocadas de una cordillera). Todos los análisis espaciales fueron desarrollados en el programa ArcGIS®.

Además de utilizar modelos estadísticos, estimamos la distribución geográfica de cada especie con otros métodos comúnmente utilizados, estos fueron: 1) cuencas hidrográficas (Buhlmann *et al.*, 2009; Forero-Medina, 2012), 2) extensión de presencia y 3) área de ocupación. Los dos últimos son métodos utilizados por la UICN (2012) como parte de los criterios para determinar la categoría de amenaza de una especie.

Para el método de cuencas hidrográficas (Buhlmann *et al.*, 2009; Forero-Medina, 2012), seleccionamos aquellas cuencas en las que existían registros de una especie. En los casos en que las cuencas seleccionadas no eran adyacentes, se adicionaron también a la distribución las cuencas que las conectaban entre sí. Se utilizaron cuencas de nivel seis,

extraídas de HYDRO1K para Suramérica (USGS, 2012). Las cuencas de menor nivel (ej. 1,2) corresponden a grandes cuencas como el Amazonas, mientras que los niveles mayores corresponden a cuencas de ríos más pequeños, a una escala más fina. El nivel seis se consideró apropiado para el análisis a escala nacional. Una vez seleccionadas las cuencas, refinamos el polígono de distribución resultante, eliminando las áreas por encima de la elevación máxima a la que se puede encontrar cada especie de acuerdo con la literatura. Para determinar la extensión de presencia, se construyeron los mínimos polígonos convexos (MCP) para cada especie con base en los registros. Para estimar el área de ocupación, se definió una cuadrícula de 4 x 4 km y se seleccionaron las celdas en las que había al menos un registro de la especie (UICN, 2012). Finalmente, calculamos el área de distribución (km²) para cada especie de acuerdo con cada uno de los métodos descritos previamente.

Representación en áreas protegidas

Con base en los registros de presencia y los modelos estadísticos de distribución geográfica, evaluamos la presencia confirmada (registros) y potencial (modelo estadístico) de cada una de las especies en los Parques Nacionales Naturales (PNN), Reservas Naturales de la Sociedad Civil (RNSC) y áreas protegidas de otras categorías. Para esto utilizamos la información más reciente disponible en el RNUAP (RNUAP, 2014). Así, para cada especie calculamos el número de áreas protegidas (PNN, RNSC, otras) en las que hay registros reportados, el número de áreas protegidas (PNN, RNSC, otras) en las que podría ocurrir la especie de acuerdo con el modelo estadístico, el área absoluta de la distribución potencial (modelo) que se encuentra en los PNN y el porcentaje de la distribución potencial en los PNN.

Limitaciones de los datos

La inferencia realizada con base en datos de solo presencia a través del modelo estadístico Maxent debe ser evaluada con cautela, ya que el uso de estos modelos implica supuestos que no siempre son fáciles de cumplir cuando los datos provienen de museos o de múltiples fuentes (Yackulic *et al.*, 2013). Los datos utilizados para generar nuestros modelos claramente no provienen de muestreos sistemáticos o aleatorios, por lo que puede existir un sesgo de muestreo en estos. Por otro lado, no conocemos la variación natural en la probabilidad de detección de cada especie a lo largo de gradientes ambientales. Estos dos factores pueden hacer que sea difícil separar la influencia de estas probabilidades (muestreo y detección) de la probabilidad relativa de ocurrencia, que es la que nos interesa al final (Yackulic *et al.*, 2013). Si bien existen algunos métodos para reducir este efecto (Phillips *et al.*, 2009), la falta de información acerca de ausencias y probabilidades de detección para las especies de quelonios estudiadas dificulta su aplicación.

Con el objetivo de reducir el sesgo de muestreo en las especies amazónicas, que claramente presentan localidades asociadas a los ríos (medio de transporte), eliminamos variables que pudieran presentar el mismo sesgo. Para estas especies no utilizamos la variable ecosistemas, ya que muchas de ellas aparecían inicialmente asociadas a estos ecosistemas ribereños debido a la mayor probabilidad de muestreo, y no necesariamente a la de ocurrencia. Por otro lado, creemos que la detectabilidad de los quelonios depende de las características del microhábitat y la estación de muestreo más que de factores ambientales de baja resolución (1 km²), como los utilizados en los modelos.

Debido a que los modelos estadísticos pueden tener algunos sesgos debido a estas consideraciones metodológicas, se presentan y comparan también otras formas de caracterizar la distribución geográfica cuyas ventajas y desventajas se discuten más adelante.

RESULTADOS

Modelamiento de la distribución geográfica

La información sobre registros de presencia de las especies recopilada por los múltiples autores (Fig. 1) permitió generar modelos estadísticos para 25 de las 27 especies de quelonios continentales de Colombia. En promedio, se contó con 52

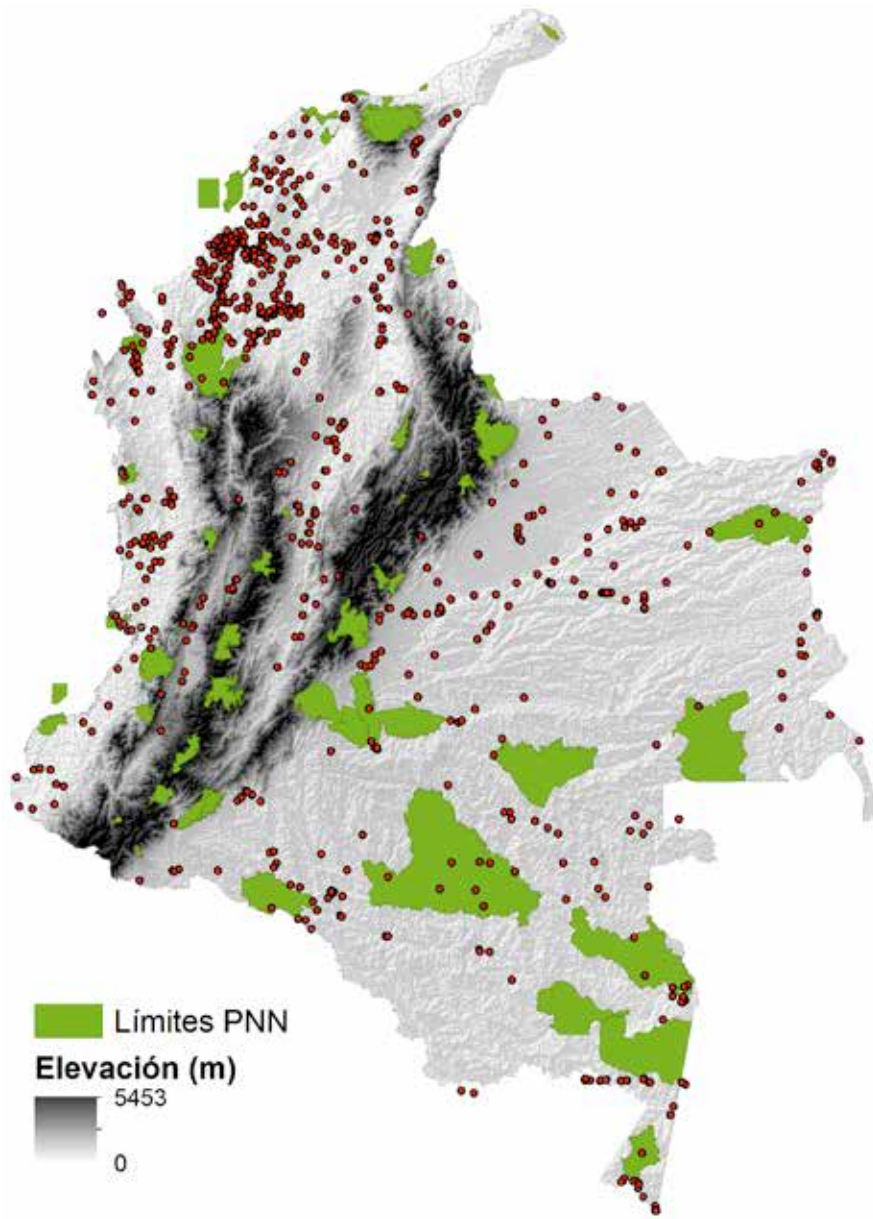


Figura 1. Localidades con registros (todas las especies) de tortugas continentales en Colombia (puntos rojos) y áreas de PNN.

registros por especie (rango 9-159). En general, los modelos produjeron mapas de distribución coincidentes con el conocimiento biogeográfico de las especies, aunque algunos de ellos presentaron posibles vacíos (no predicen áreas de ocurrencia probable de acuerdo con el conocimiento de la especie). Como resultado de la revisión minuciosa de los modelos, se presentan algunos comentarios sobre estos posibles vacíos o áreas que sugerimos necesitan confirmación en campo (Tabla 1).

Los mapas de distribución generados por modelos estadísticos y cuencas hidrográficas están disponibles en Internet (<http://www.wcscolumbia.org/es-es/>

sobrenosotros/publicaciones.aspx). Se recomienda su consulta como material suplementario y para interpretar la Tabla 1. El objetivo es que puedan ser utilizados por otros investigadores y profesionales de la conservación para realizar análisis y guiar decisiones de manejo, teniendo en cuenta sus limitaciones (ver metadatos). Consideramos que esta información será útil en la evaluación y actualización de la categoría de amenaza nacional para las especies de tortugas continentales de Colombia. De la misma forma, se espera que puedan ser complementados, corregidos y refinados con información de campo y aportes de múltiples investigadores.

Tabla 1. Comentarios a los mapas de distribución geográfica generados a partir de modelos estadísticos.

Especie	Comentario
<i>Chelydra acutirostris</i>	Los registros al norte de Paramillo posiblemente están incorrectos, se recomienda su confirmación. Sin embargo, es posible que ocurra al costado sur de Paramillo.
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	Parece que el modelo presenta un vacío en las sabanas del Vichada y Guainía, donde posiblemente esté la especie.
<i>Chelonoidis denticulata</i>	El polígono incluye áreas al oriente de Arauca, Casanare y Vichada que no son piedemonte, sugerimos que esta información (localidades) debería corroborarse. El límite natural al norte puede ser el río Guaviare (Castaño obs. pers.) o el río Meta (Rueda <i>et al.</i> , 2007).
<i>Cryptochelys dunni</i>	El polígono posiblemente debería extenderse más hacia el sur. Se ha sugerido su presencia en el Valle del Cauca (Corredor <i>et al.</i> , 2007), pero no hay reportes oficiales. Es necesario confirmar presencia de poblaciones en cuencas del Caribe (Rentería-Moreno <i>et al.</i> , 2012).
<i>Kinosternon scorpioides</i>	Posiblemente en la Amazonia su distribución es continua, pero los registros son limitados, por eso existe un gran vacío en esta región en el modelo.
<i>Mesoclemmys dahl</i>	Es necesario confirmar si todavía está en algunos sitios en los que ocurría antes, como el área cercana a Paramillo. Es necesario confirmar su presencia en la Guajira.
<i>Mesoclemmys gibba</i>	Probablemente la distribución se extiende al sur del Vaupés. No hay reportes en esta área, pero se requieren muestreos para verificar su presencia.
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	Consideramos que el polígono debería extenderse para incluir el Vaupés y Guaviare, sin embargo, debido a las pocas localidades con registros, el modelo no incluye esta región.
<i>Podocnemis erythrocephala</i>	El Punto de El Tigre adjudicado al Libro Rojo no es del libro, recomendamos su verificación.
<i>Podocnemis expansa</i>	Se encontraba en el alto Meta, pero posiblemente ya no, o persisten poblaciones muy reducidas. Se debe confirmar presencia actual en las partes altas de ríos como el Caquetá, donde originalmente no ocurría debido a los raudales (Von Hildebrand, 1999), pero pueden haber sido trasladadas.
<i>Phrynops geoffroanus</i>	Posiblemente la distribución sea continua en la Amazonia, pero hay pocos registros.
<i>Platemys platycephala</i>	Hay un gran vacío de información sobre su distribución.
<i>Podocnemis unifilis</i>	Este polígono claramente está incompleto debido a los pocos registros disponibles. La distribución es más continua en Orinoquia y Amazonia.
<i>Podocnemis vogli</i>	La parte del polígono en Guainía y Guaviare debe ser confirmada, pues no hay registros y corresponde a ecosistemas selváticos, siendo que es una especie de sabana.
<i>Rhinoclemmys annulata</i>	Consideramos que los puntos al noroeste de Paramillo posiblemente están incorrectos y se necesita confirmación de estos puntos.
<i>Rhinemys rufipes</i>	Aunque hay un registro que amplía el polígono, no estamos seguros de que esté en el Caquetá. Se requiere confirmar su presencia allí, pues es una especie de aguas negras.
<i>Rhinoclemmys melanosterna</i>	Consideramos que se distribuye de forma continua por las tierras bajas del Pacífico. Los vacíos se deben a falta de registros en algunas zonas.
<i>Trachemys venusta</i>	Se desconoce el límite Sur de su distribución.

El método de extensión de presencia por MCP produjo la mayor área de distribución para el 59 % de las especies, seguido por el método de cuencas hidrográficas (30 %) y el modelo estadístico (11 %) (Tabla 2). El método de área de ocupación siempre produjo la menor área. La superposición de los mapas de distribución generados con métodos estadísticos permitió observar patrones de riqueza en el país (Fig. 2). Las áreas con mayor concentración de especies de quelonios continentales, de acuerdo con la información existente, corresponden a los ríos y ecosistemas ribereños de la Amazonia y Orinoquia (zonobioma húmedo tropical, helobiosmas y litobiosmas de

la Amazonia y Orinoquia) y la región occidental del Caribe (zonobioma seco tropical del Caribe y zonobioma húmedo tropical del Magdalena y el Caribe).

Representatividad en PNN, RNSC y otras categorías

Tan solo 15 especies (56 %) presentan registros confirmados en áreas de PNN (Fig. 1; Tabla 3). De las especies endémicas de Colombia, ni *Mesoclemmys dahli* ni *Cryptochelys dunni* presentan registros confirmados en PNN y solamente *Podocnemis lewyana* tiene registros en el PNN Paramillo. Considerando los mapas de distribución producidos

Tabla 2. Área (km²) de la distribución generada a partir de distintos métodos.

Especie	Cuencas hidrográficas (km ²)	Maxent (km ²)	Área de ocupación (km ²)	Área MPC (km ²)
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	494018,88	251671,72	1984	609126,39
<i>Chelonoidis denticulata</i>	459753,42	517025,48	688	706689,85
<i>Chelus fimbriatus</i>	464821,39	594261,94	656	656952,73
<i>Chelydra acutirostris</i>	81472,30	57818,67	656	181750,72
<i>Cyrptochelys dunni</i>	37769,57	6385,88	256	20496,18
<i>Cryptochelys leucostoma</i>	141230,82	248272,36	608	293980,02
<i>Kinosternon scorpioides</i>	523039,92	190854,13	768	864959,50
<i>Mesoclemmys dahli</i>	50669,73	43037,82	1360	40137,97
<i>Mesoclemmys gibba</i>	437489,74	440630,49	288	394200,64
<i>Mesoclemmys heliostemma</i>	368189,32	***	***	***
<i>Mesoclemmys raniceps</i>	352970,05	***	64	71927,75
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	409723,12	65225,32	416	610945,94
<i>Phrynops geoffroanus</i>	371609,72	207604,68	368	285759,75
<i>Platemys platycephala</i>	421401,21	448532,22	416	719550,04
<i>Podocnemis erythrocephala</i>	102852,69	26823,46	128	1976,02
<i>Podocnemis expansa</i>	448954,06	104693,92	688	748478,35
<i>Podocnemis lewyana</i>	124678,94	110391,80	2032	161798,98
<i>Podocnemis sextuberculata</i>	257032,20	279977,06	192	190095,48
<i>Podocnemis unifilis</i>	351801,91	84020,71	592	457279,77
<i>Podocnemis vogli</i>	99991,25	169017,35	304	191599,50
<i>Rhinemys rufipes</i>	353430,97	196352,28	80	22786,53
<i>Rhinoclemmys annulata</i>	80098,68	54796,71	448	109995,23
<i>Rhinoclemmys diademata</i>	3618,25	3931,02	128	1465,77
<i>Rhinoclemmys melanosterna</i>	97933,21	115652,02	1168	268057,33
<i>Rhinoclemmys nasuta</i>	53966,53	41391,63	560	67123,84
<i>Trachemys callirostris</i>	95766,41	97122,91	576	105018,56
<i>Trachemys venusta</i>	16606,08	16562,78	192	9199,98

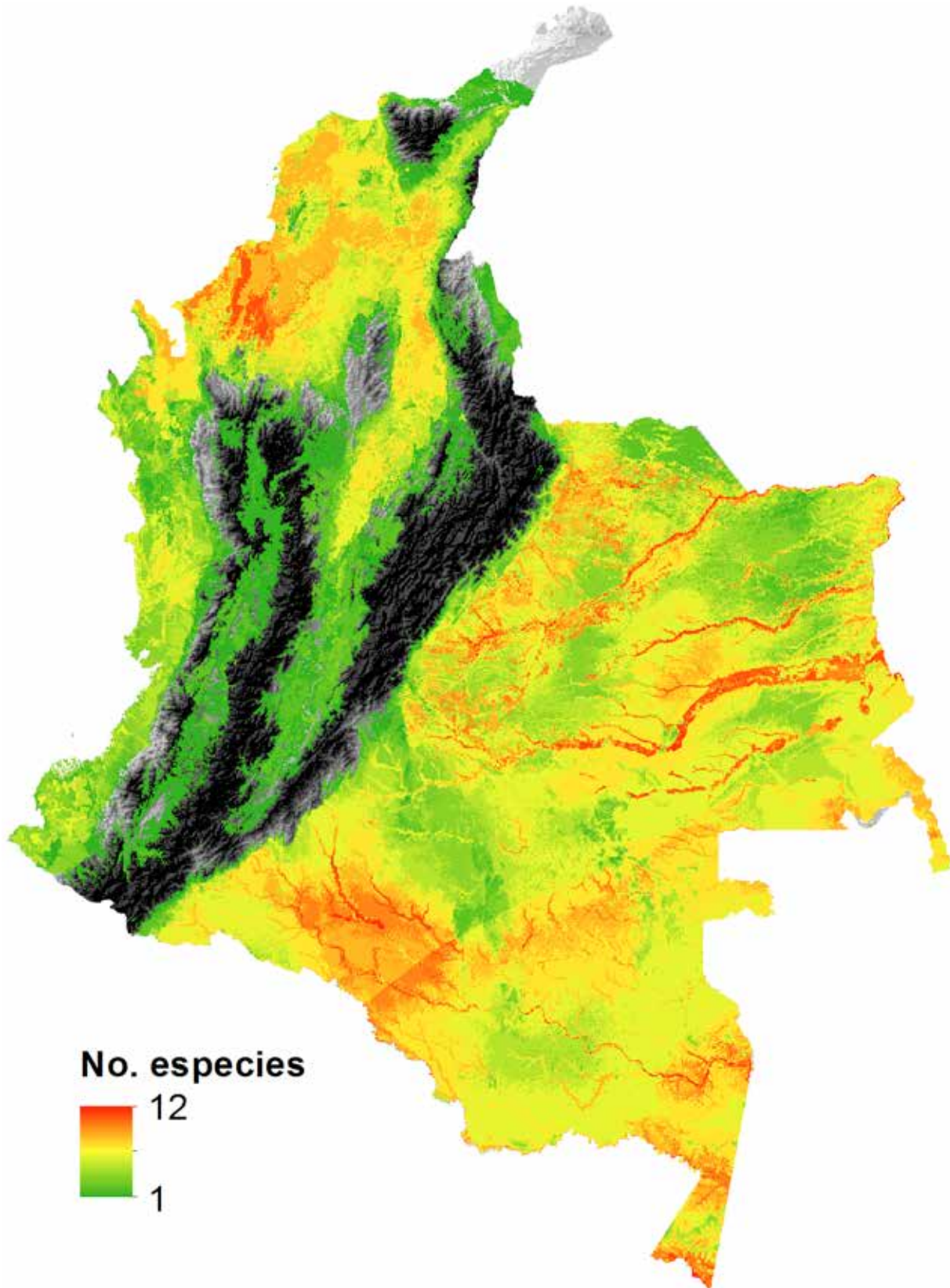


Figura 2. Distribución espacial potencial de la riqueza de tortugas continentales en Colombia de acuerdo con resultados de los modelos estadísticos.

con métodos estadísticos, 24 especies tendrían al menos una porción de su rango geográfico en áreas de PNN; sin embargo, tan solo diez especies presentarían más del 10% de su distribución en estas áreas (Tabla 3). Para las endémicas, la distribución de *C. dumni* y *M. dahli* no se superpondría con ningún PNN, y tan solo 1,4 % de la de *P. lewyana* estaría en áreas de PNN (Tabla 3).

Una única especie (no endémica) presenta registros confirmados en RNSC y 13 especies en áreas de otras categorías (incluyendo las endémicas *M. dahli* y *P. lewyana*) (Tabla 4). Considerando los mapas de distribución, 17 especies podrían ocurrir en RNSC y 19 en áreas protegidas de otras categorías (Tabla 4).

DISCUSIÓN

Los modelos estadísticos generados deben considerarse como una primera aproximación a la estimación cuantitativa de la distribución de las tortugas continentales de Colombia. Han sido refinados, retirando de ellos áreas donde sabemos que no está la especie, pero no han sido adicionadas al mapa áreas en las que se cree posible su presencia si no hay registros que así lo confirmen. Así, estos mapas deben considerarse en desarrollo y se espera que nuevos datos de campo permitan mejorar los detalles y la resolución de cada modelo. Para facilitar este proceso, tanto los datos originales de presencia como los modelos son de libre acceso y están disponibles en Internet. Probablemente

Tabla 3. Representación de las especies de quelonios continentales de Colombia en áreas de Parques Nacionales Naturales.

Especie	Número de PNN con registros	Número potencial de PNN ocupados	Área (km ²) del rango en PNN	Porcentaje de distribución en PNN
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	3	19	5581,69	2,22
<i>Chelonoidis denticulata</i>	4	19	77044,51	14,90
<i>Chelus fimbriatus</i>	4	16	91923,75	15,47
<i>Chelydra acutirostris</i>	3	11	1016,61	1,76
<i>Cryptochelys dumni</i>	0	0	0,00	0,00
<i>Cryptochelys leucostoma</i>	2	17	4346,13	1,75
<i>Kinosternon scorpioides</i>	0	24	6596,51	3,46
<i>Mesoclemmys dahli</i>	0	4	20,29	0,05
<i>Mesoclemmys gibba</i>	0	8	55374,07	12,57
<i>Mesoclemmys heliostemma</i>	0	***	***	***
<i>Mesoclemmys raniceps</i>	0	***	***	***
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	1	9	4214,74	6,46
<i>Phrynops geoffroanus</i>	2	9	38266,02	18,43
<i>Platemys platycephala</i>	2	11	63717,92	14,21
<i>Podocnemis erythrocephala</i>	0	2	1051,60	3,92
<i>Podocnemis expansa</i>	4	16	10665,63	10,19
<i>Podocnemis lewyana</i>	1	8	1529,72	1,39
<i>Podocnemis sextuberculata</i>	0	15	57229,56	20,44
<i>Podocnemis unifilis</i>	2	6	12048,04	14,34
<i>Podocnemis vogli</i>	0	6	6527,29	3,86
<i>Rhinemys rufipes</i>	0	6	47147,85	24,01
<i>Rhinoclemmys annulata</i>	2	7	750,14	1,37
<i>Rhinoclemmys diademata</i>	0	1	0,45	0,01
<i>Rhinoclemmys melanosterna</i>	3	7	1672,07	1,45
<i>Rhinoclemmys nasuta</i>	3	4	1083,69	2,62
<i>Trachemys callirostris</i>	0	7	961,87	0,99
<i>Trachemys venusta</i>	1		672,51	4,06

Tabla 4. Representación de las especies de quelonios continentales de Colombia en Reservas Naturales de la Sociedad Civil (RNSC) y otras categorías (AP).

Especie	Número de registros en AP	Número de registros en RNSC	Número de AP con posible ocurrencia	Número de RNSC con posible ocurrencia
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	4	2	52	35
<i>Chelonoidis denticulata</i>	1	0	8	23
<i>Chelus fimbriatus</i>	0	0	12	24
<i>Chelydra acutirostris</i>	1	0	58	48
<i>Cryptochelys dunni</i>	0	0	0	0
<i>Cryptochelys leucostoma</i>	5	0	94	32
<i>Kinosternon scorpioides</i>	1	0	40	27
<i>Mesoclemmys dahli</i>	2	0	12	4
<i>Mesoclemmys gibba</i>	0	0	18	23
<i>Mesoclemmys heliostemma</i>	0	0	***	***
<i>Mesoclemmys raniceps</i>	0	0	***	***
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	0	0	1	0
<i>Phrynops geoffroanus</i>	0	0	2	14
<i>Platemys platycephala</i>	0	0	15	20
<i>Podocnemis erythrocephala</i>	0	0	0	0
<i>Podocnemis expansa</i>	0	0	4	7
<i>Podocnemis lewyana</i>	5	0	34	0
<i>Podocnemis sextuberculata</i>	0	0	0	0
<i>Podocnemis unifilis</i>	0	0	0	12
<i>Podocnemis vogli</i>	1	0	16	20
<i>Rhinemys rufipes</i>	0	0	0	0
<i>Rhinoclemmys annulata</i>	2	0	13	2
<i>Rhinoclemmys diademata</i>	0	0	0	0
<i>Rhinoclemmys melanosterna</i>	4	0	28	6
<i>Rhinoclemmys nasuta</i>	3	0	4	0
<i>Trachemys callirostris</i>	2	0	24	9
<i>Trachemys venusta</i>	2	0	5	1

algunos contienen vacíos, es decir, áreas donde la especie ocurre que no están representadas por el modelo. Esto se debe principalmente a la falta de presencias reportadas en ciertas regiones y no necesariamente a la ausencia de la especie allí. Por ejemplo, creemos que la distribución de *Kinosternon scorpioides* es continua en la cuenca amazónica y del Orinoco, sin embargo, por falta de registros, el modelo indica áreas no ocupadas en estas regiones. Otros modelos, por el contrario, requieren confirmación en áreas donde se predice hábitat adecuado para la especie, pero que, de acuerdo con las características de la especie y su hábitat, creemos que probablemente no esté. Por ejemplo, el límite sur de la distribución de *Podocnemis vogli* aparece en el modelo entrando a los departamentos de Guainía y Guaviare, en áreas selváticas, aunque es una especie típica de sabana

(Tabla 1). En este sentido, las observaciones hechas a los modelos representan preguntas de investigación acerca de la distribución de estas especies y los factores ecológicos que la determinan, que esperamos puedan ser abordadas en futuras investigaciones de campo. Consideramos que aún hay un gran desconocimiento acerca de la distribución geográfica de muchas especies de quelonios en Colombia, principalmente en las cuencas del Amazonas y del Orinoco. Esto puede deberse a falta de muestreos completos en estas regiones y a la baja abundancia, y, por ende, baja detectabilidad, de muchas de estas especies, como aquellas de la familia *Chelidae*. Para superar este déficit, es necesario realizar investigaciones y muestreos dirigidos a determinadas especies, utilizando técnicas específicas y visitando lugares particulares. Por ejemplo, especies de los géneros

Mesoclemmys y *Phrynops* no habitan los grandes ríos de esta región y deben ser capturadas en áreas internas del bosque, en pequeñas quebradas. Por otro lado, es recomendable que dichos muestreos sean sistemáticos, para reducir sesgos de muestreo, que se considere la probabilidad de detección de la especie y, de ser posible, las ausencias para tener más confianza en los resultados de los modelos estadísticos.

La representación de la distribución geográfica por medio de la extensión de presencia o el área de ocupación implica ciertas limitaciones y es altamente susceptible a la intensidad de muestreo, al número de localidades registradas y al tamaño de cuadrícula utilizada (Forero-Medina, 2012). Como se puede observar en los resultados, el método de extensión de presencia siempre produjo las mayores áreas, confirmando que generalmente incurre en una sobreestimación del área ocupada por la especie. El área de ocupación, por el contrario, siempre produjo los menores valores, siendo muy dependiente del número de localidades con registros. Sin embargo, estas dos medidas son relativamente simples de calcular y constituyen uno de los criterios utilizados para determinar la categoría de amenaza de una especie (UICN, 2012). De esta forma, la información sobre extensión de presencia y área de ocupación aquí presentada será un instrumento útil en la evaluación de las categorías nacionales de amenaza de las tortugas de Colombia. La última evaluación de este tipo realizada para quelonios continentales del país fue en 2002 (Castaño-Mora, 2002) y, por tanto, requiere una actualización.

Los patrones de riqueza observados con el método estadístico demuestran la importancia de los ecosistemas fluviales de la Amazonia y Orinoquia para los quelonios, al igual que la región Caribe, principalmente el Caribe occidental. Esta última alberga, además, dos de las tres especies endémicas del país (*M. dahl* y *P. lewyana*). De esta forma, la región Caribe es prioritaria debido a su riqueza, endemismo y grado de amenaza, ya que el bosque seco tropical predominante en la región es uno de los ecosistemas más transformados y menos protegidos por el sistema nacional de áreas protegidas (Forero-Medina y Joppa, 2010). Por otro lado, la región amazónica es importante por su riqueza no solo a nivel nacional, sino internacional, siendo una de las regiones más diversas en quelonios del planeta (Buhlmann *et al.*, 2009).

Representatividad en áreas protegidas

El hecho de que solo cerca del 50 % de las especies presenten registros en PNN puede deberse a falta de exploración e investigación enfocada a tortugas continentales en algunas de esas áreas. Por ejemplo, en varias de las áreas protegidas del Amazonas se conoce la presencia de tortugas de río (género *Podocnemis*), pero no se han hecho muestreos que permitan determinar la presencia de otros grupos bien representados en la región (como *Chelidae*). Los hábitos

crípticos de algunas de estas especies y la dificultad para capturarlas limitan su estudio. De acuerdo con los resultados de los análisis de representatividad basados en los modelos estadísticos, un mayor número (24) de especies podrían estar en algún PNN, considerando la presencia de hábitat adecuado en esas localidades. Esta información será importante para promover la investigación en PNN y confirmar la presencia de dichas especies con ocurrencia potencial.

Desafortunadamente, las especies endémicas están pobremente representadas en los PNN. Para dos de ellas no hay registros en ningún PNN, y los modelos indican que probablemente no se encuentren en ninguna de estas áreas. Para el tercer endemismo (*P. lewyana*), en el mejor de los casos menos del 1,5 % de su distribución estaría en PNN. Por esta razón, consideramos que es importante y urgente incluir estas especies endémicas en análisis de identificación y selección de áreas prioritarias para la conservación. Las áreas protegidas son una de las estrategias más efectivas para la conservación de quelonios (Moll y Moll, 2004). Las tres especies endémicas, incluidas todas en alguna categoría de amenaza, se beneficiarían enormemente con la declaración de algún tipo de área protegida que asegure sus poblaciones.

Las reservas de la Sociedad Civil y otras categorías de protección constituyen una oportunidad importante para complementar el Sistema de Parques Nacionales Naturales. El bajo número de registros de quelonios en dichas áreas se debe casi con seguridad a falta de investigación sobre este grupo en estas áreas, y muestreos sistemáticos indicarían la presencia de algunos quelonios en las RNSC, particularmente en la Orinoquia y Amazonia (tierras bajas). Las RNSC tienden a ser pequeñas en comparación con PNN. Si bien las áreas requeridas para la conservación de algunas especies de quelonios son extensas, debido a que partes de su ciclo de vida se desarrollan en ecosistemas diferentes, las RNSC podrían jugar un papel importante conservando áreas clave, aunque sean pequeñas o puntuales. Sería posible así conformar una red de reservas que en su conjunto protegiera la totalidad de hábitats necesarios para distintas especies. Por otro lado, para especies de distribución muy localizada, como *M. dahl*, no se requieren grandes extensiones para proteger sus poblaciones, y áreas protegidas pequeñas, de diversas categorías, podrían cumplir esta función.

CONCLUSIONES

El conocimiento de la distribución geográfica de algunas tortugas continentales en Colombia es aún limitado, principalmente en las cuencas del Orinoco y Amazonas. La representación confirmada para el grupo en áreas de PNN es baja. Sin embargo, los resultados de este trabajo sugieren que un mayor número de especies podrían estar presentes en PNN y áreas protegidas de otras categorías. Las especies endémicas carecen casi por completo de representación

en estas áreas y se requiere de manera urgente buscar figuras de protección para asegurar la supervivencia de sus poblaciones.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todos los autores y coautores de las fichas de especies del libro *Biología y conservación de las tortugas continentales de Colombia* por poner a disposición los datos de las localidades con registros de cada especie. A Wildlife Conservation Society y Turtle Survival Alliance por el soporte económico durante la realización de este manuscrito.

REFERENCIAS

- Asociación Colombiana de Herpetología (ACH). Plan Estratégico de Conservación para las tortugas continentales Colombianas. Asociación Colombiana de Herpetología, Medellín, Colombia; 2011. p. 3-26.
- Birdlife International, NatureServe. Bird species distribution maps of the world. BirdLife International, Cambridge, UK y NatureServe, Arlington, USA; 2011.
- Buhlmann KA, Akre TSB, Iverson JB, Karapatakis D, Mittermeier RA, Georges A, *et al.* A global analysis of tortoise and freshwater turtle distributions with identification of priority conservation areas. *Chelonian Conserv Biol.* 2009;8(2):116-149. DOI: <http://dx.doi.org/10.2744/CCB-0774.1>
- Castaño-Mora OV. Editor. Libro Rojo de Reptiles de Colombia. Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Bogotá. Instituto de Ciencias Naturales-Universidad Nacional de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente, Conservación Internacional-Colombia; 2002. p. 77-79.
- Corredor G, Kattan G, Galvis Rizo CA, Amorocho D. Tortugas del Valle del Cauca. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC. Dirección Técnica Ambiental. Cali. 2007. p. 1-74.
- Forero-Medina G, Joppa L. Representation of global and national conservation priorities by Colombia's protected area network. *PLoS ONE.* 2010;5(10):e13210. DOI: 10.1371/journal.pone.0013210
- Forero-Medina G. Modelamiento de la distribución geográfica de tortugas continentales: una herramienta para la conservación. In: Paez VP, Morales-Betancourt MA, Lasso CA, Castano-Mora OV, Bock BC, editors. *Biología y conservación de las tortugas continentales de Colombia. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia.* Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá DC, Colombia; 2012. p. 213-225.
- Grenyer R, Orme DL, Jackson SF, Thomas GH, Davies RG, Davies TJ, *et al.* Global distribution and conservation of rare and threatened vertebrates. *Nature.* 2006; 444(7115):93-96. DOI: 10.1038/nature05237.
- Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Inter J Climatol.* 2005;25(15):1965-1978. DOI: 10.1002/joc.1276.
- Ideam *et al.* Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. Bogotá DC; 2007. p.1-276.
- Lomolino MV, Heaney LR, editors. *Frontiers of biogeography: new directions in the geography of nature.* Sinauer Associates, Inc. Sunderland, Massachusetts; 2004. p. 145-211.
- Moll D, Moll EO. *The Ecology, Exploitation, and Conservation of River Turtles.* Oxford University Press. New York; 2004. p. 264-327.
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, Fonseca GAB, Kent J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature.* 2000;403(6772):853-858. DOI:10.1038/35002501.
- Páez VP. Generalidades y estado de conservación del orden Testudines. In: Páez VP, Morales-Betancourt MA, Lasso CA, Castano-Mora OV, Bock BC, editors. *Biología y Conservación de las tortugas continentales de Colombia. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia.* Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogota DC, Colombia; 2012. p. 57-68.
- Phillips SJ, Dudík M. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography.* 2008;31(2):161-175. DOI: 10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x.
- Phillips SJ, Dudík M, Elith J, Graham CH, Lehmann A, Leathwick J, *et al.* Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data. *Ecol Appl.* 2009;19(1):181-197.
- Rentería-Moreno LE, Forero-Medina G, Garcés-Restrepo MF, Carr J, Rueda-Almonacid JV. Range extension of *Kinosternon dunni* Schmidt, 1947 (Reptilia, Testudines, Kinosternidae) in Chocó, Colombia. *Check List.* 2012;8(6):1310-1312.
- Rhodin AGJ, Walde AD, Horne BD, Van Dijk PP, Blanck T, Huson R. *Turtles in Trouble: The World's 25+ Most Endangered Tortoises and Freshwater Turtles-IUCN/SSC Tortoise and Freshwater Turtle Specialist Group, Turtle Conservation Fund, Turtle Survival Alliance, Turtle Conservancy, Chelonian Research Foundation, Conservation International, Wildlife Conservation Society, and San Diego Zoo Global.* Lunenburg, MA; 2011. p. 3-16.
- RNUAP. Registro Nacional Único de Áreas Protegidas. Available at: (http://mapas.parquesnacionales.gov.co:9090/visor_parques/). Consulted January 2014.
- Rueda-Almonacid JV, Carr JL, Mittermeier RA, Rodríguez-Mahecha JV, Mast RB, *et al.* *Las tortugas y los cocodrilianos de los países andinos del trópico.* Conservación Internacional, Bogotá, D.C. 2007; 537 p.

- IUCN. Categorías y Criterios de la Lista Roja de la IUCN: Versión 3.1. Segunda edición. Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido; 2012. Available at: http://www.iucnredlist.org/documents/redlist_cats_crit_sp.pdf
- IUCN. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2009.1. 2009. Available at: <http://www.iucnredlist.org>. Consulted december 2013.
- USGS (United States Geological Survey). HYDRO1K. Drainage Basin Boundaries. Available at: http://eros.usgs.gov/#/Find_Data/Products_and_Data_Available/gtopo30/hydro/samerica. Consulted december 2013.
- Turtle taxonomy working group (TTWG). Van Dijk PP, Iverson JB, Shaffer HB, Bour R, Rhodin AGJ. Turtles of the world, 2012 update: annotated checklist of taxonomy, synonymy, distribution, and conservation status. In: Rhodin AGJ, Pritchard PCH., van Dijk PP, Saumure RA, Buhlmann KA, Iverson JB, *et al.*, editors. Conservation Biology of Fresh-water Turtles and Tortoises: A Compilation Project of the IUCN/SSC Tortoise and Freshwater Turtle Specialist Group. Chel Research Mono. 2012;5:243-328. DOI:10.3854/crm.5.000.checklist.v5.2012, www.iucn-tftsg.org/cbftt/
- Von Hildebrand P. Charapas. Fundación Puerto Rastrojo. Bogotá; 1999. p. 24
- Whittaker RJ, Araujo MB, Jepson P, Ladle RJ, WATSON JEM, Willis KJ. Conservation Biogeography: assessment and prospect. Divers Distrib. 2005;11(1):3-23.
- Yackulic CB, Chandler R, Zipkin EF, Royle JA, Nichols JD, Campbell Grant EH, *et al.* Presence-only modelling using MAXENT: when can we trust the inferences?. Methods Ecol Evol. 2013;4(3):236-243. DOI: 10.1111/2041-210x.12004