

Biodiversidad de la cuenca alta y media del río Cali: ¿conozco? ¿transformo? ¿protejo?

Jhon Alexander Vargas-Figueroa
Universidad del Valle

Recibido: 6 de diciembre de 2017

Aceptado: 5 de junio de 2019

Pag. 65-85

Resumen

Colombia se considera uno de los países con la mayor biodiversidad a nivel global. Una parte importante de esta biodiversidad se alberga en los ecosistemas de la región de los Andes, donde además se tiene un alto endemismo de especies. La cuenca alta y media del río Cali hace parte de esta región, por lo que la diversidad de especies, funciones e historia evolutiva de los diferentes ecosistemas ubicados en esta cuenca resultan clave para la conservación de la biodiversidad nacional y mundial. No obstante, en la actualidad se desconoce cuánta diversidad representan dichos ecosistemas y, por ende, ¿cuántas especies que componen esta diversidad se encuentran realmente amenazadas? En la cuenca se registra gran cantidad de actividades antrópicas, desde la agricultura y la ganadería hasta la minería, las cuales generan una presión importante sobre los componentes bióticos y abióticos de la cuenca, pero se desconoce cuáles de estas actividades explican mayormente efectos como la transformación, degradación y pérdida de las coberturas naturales y el riesgo de extinción de las especies. Este trabajo plantea abrir una discusión sobre el estado actual del conocimiento sobre la biodiversidad de la cuenca alta y media del río Cali y su nivel de conservación, la valorización de la influencia que las actividades antrópicas encontradas en la cuenca ejercen sobre la degradación y/o pérdida de la cobertura natural y ciertas acciones de conservación, restauración y manejo sostenible que se podrían tener en cuenta en el contexto de los efectos globales que comprende el cambio climático y los efectos locales de las presiones antrópicas conocidas en la zona de la cuenca, para en un futuro con un trabajo mancomunado y adecuado entender qué tanta de esta biodiversidad podrá permanecer en el tiempo.

Palabras clave: Farallones de Cali, endemismo, degradación, deforestación, riesgo de extinción, restauración, incentivos a la conservación.

Doi: 10.25100/rc.v23i1.8618

Orcid: 0000-0002-2199-7351

Biodiversity from the Upper and Middle Basin of Cali River: Do I know it? Do I transform it? Do I protect it?

Abstract

Colombia is considered one of the most biodiverse countries in the world. One portion of its biodiversity is enclosed on the ecosystems within the Andean Region, where there is also a high species endemism. The upper and middle basin of the Cali River is part of this region. Therefore, the species diversity, the ecological functions and the evolutionary history of the ecosystems located in this basin are paramount elements for conservation purposes, framing them at the national and global scales. However, currently we still do not know how much diversity cover those ecosystems and thus, how many species of this diversity are actually threatened. In the Cali River basin, there are many anthropic activities, from agriculture and cattle raising to land mining. All these activities exercise an important pressure over the biotic and abiotic components of this natural formation, but we are not aware of which of these activities best explain aspects regarding land cover change, degradation and habitat loss and also the matter of extinction risk of the species. The aim of this work is to set a debate about the current status of the biodiversity knowledge on the upper and middle basin of the Cali River and its conservation status, the assessment on the influence that anthropic activities found in the basin have over the degradation and/or habitat loss, and certain conservation, restoration and sustainable management actions that we could take into account in the context of global effects, including climate change and the local effects caused by known anthropic pressures exercised over the basin zone, in order to understand, in the future, after doing a conjoint suitable work, how much of that biodiversity could remain over time.

Keywords: Farallones de Cali, endemism, degradation, deforestation, extinction risk, restoration, conservation incentives.

1 Introducción

¿Qué porcentaje de la biodiversidad contenida en los ecosistemas naturales de un sitio deberíamos proteger y qué porcentaje deberíamos transformar para beneficio del hombre? Esta es una de las decisiones más controversiales en el campo de la biología de la conservación, debido al enfrentamiento que se suele dar entre las iniciativas de conservar los componentes naturales y sus procesos para su permanencia en el tiempo y la de transformarlos y utilizarlos para beneficio del hombre. Conservar la biodiversidad de un sitio puede implicar la implementación de diferentes estrategias ecológicas, políticas, socioeconómicas y culturales donde se pueden ver enfrentadas estas dos aproximaciones de la apreciación de la naturaleza, pero es lógico que para poder realizar la implementación de estas estrategias sea necesario abordar aspectos básicos como el conocimiento sobre los componentes de la biodiversidad que nos rodea. Y ¿qué es biodiversidad? La palabra ‘biodiversidad’ es el resultado de contraer la frase ‘diversidad biológica’ y se le atribuye a W. Rosen en 1986 durante la realización del *National Forum on BioDiversity* en Washington D.C., organizado por la Academia Nacional de Ciencias de los EE.UU. y el Instituto Smithsonian^(1,2). De acuerdo con el Convenio de Diversidad Biológica, biodiversidad se puede definir como “*la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluyendo los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que hace parte, además, la diversidad específica en cada especie, entre especies y en los ecosistemas*”. No obstante, se entiende que para que

toda la biodiversidad de un sitio pueda cuantificarse es necesario tener en cuenta no solo los organismos vivos que se ubican allí sino también las relaciones entre ellos y con el medio abiótico, las funciones dentro del ecosistema, la información genética expresada y no expresada de los individuos de cada especie y la diversidad filogenética (*i.e.* historia evolutiva contenidas en las diferentes especies de una comunidad) ^(3,4).

Se estima que Colombia presenta una de las biodiversidades más grandes del mundo. Para el año 2017, se registraron cerca de 56.000 especies conocidas de animales vertebrados e invertebrados, plantas, algas y hongos liquenizados y no liquenizados, lo que lo convierte en el segundo país más biodiverso del mundo ⁽⁵⁾. Además de esto, dos zonas del territorio colombiano se consideran “*hotspot*” en biodiversidad: Chocó-Darién y Ecuador Occidental-Andes Tropicales ⁽⁶⁾. En estos puntos se albergan los mayores porcentajes de especies endémicas de plantas y vertebrados a nivel global (6,7 % y 5,7 %, respectivamente). Es por esto que zonas como las ubicadas en las cordilleras de los Andes representan una parte fundamental en la conservación y protección de los componentes de la biodiversidad en el territorio nacional. Por lo tanto, Colombia como país megadiverso, posee grandes responsabilidades en la conservación y uso sostenible de esta biodiversidad a nivel mundial, sobre todo debido al rápido avance de la pérdida de la misma y esto, gracias a las actividades antrópicas de gran impacto y a un financiamiento cada vez más escaso por parte de las entidades gubernamentales para su protección, estudio y mantenimiento ⁽⁷⁾.

Ejemplo de sitios ubicados en zonas de alta biodiversidad es la zona de la cuenca alta y media del río Cali, Valle del Cauca, particularmente en los Farallones de Cali, cordillera Occidental de Colombia. Gran parte de esta cuenca se encuentra dentro de dos figuras de conservación a nivel nacional reconocidas por el Sistema Nacional de Áreas Protegidas ⁽⁸⁻¹¹⁾. Sin embargo, una parte importante de la biodiversidad que alberga esta zona al parecer presenta una alta presión debido a la gran cantidad de actividades antrópicas que ocurren en varios puntos de la misma, algunas de las cuales pueden estar ejerciendo un alto impacto ambiental. A la fecha no se sabe cuánta de la diversidad de especies de animales, plantas, hongos, microorganismos y demás formas de vida que alberga esta zona está amenazada por estas actividades y/o cuáles de éstas son las de mayor aporte al impacto sobre los componentes de la biodiversidad (*e.g.* especies, genes, relaciones, funciones, hábitats) y su entorno, como los efectos dados por la transformación, degradación y pérdida de cobertura natural. En el contexto del cambio climático donde Colombia se ubica dentro del rango de alto riesgo en el índice de vulnerabilidad de Verisk Maplecroft para 2017, es sumamente importante entender el estado actual de la biodiversidad de esta zona y los factores antrópicos de mayor presión, con el fin de implementar de manera apropiada nuevos planes de conservación, restauración y mantenimiento de los elementos de la biodiversidad en el área que incluyan los resultados de estas evaluaciones dadas por los diferentes actores involucrados en las mismas (*e.g.* autoridades, instituciones gubernamentales, instituciones educativas, ONGs y comunidad local, entre otros).

En este ensayo, se presentan elementos de discusión en torno al estado actual del conocimiento sobre la biodiversidad de la cuenca alta y media del río Cali y el nivel de conservación que se conoce. La valorización de la influencia que las actividades antrópicas encontradas en la cuenca ejercen sobre la degradación y/o pérdida de la cobertura natural y las acciones de conservación, restauración y manejo sostenible de los recursos naturales y el ambiente se pueden tener en cuenta, con miras a los efectos globales que comprende el cambio climático y los efectos locales de las presiones antrópicas conocidas en la zona.

2 ¿Cuál es el estado del conocimiento sobre la biodiversidad de la cuenca y su nivel de conservación?

En la cuenca alta y media del río Cali se registra una variación interesante de tipos de cobertura, descritas según la zona de vida - desde bosque seco pre-montano hasta bosque per-húmedo montano -, según los ecosistemas - desde bosque seco hasta páramo - o según el uso del suelo - desde bosque natural, actividades agropecuarias, hasta minería (Figura 1a, b y c) ⁽¹²⁾. Con lo anterior, se podría deducir que esta alta variación de tipos de coberturas se traduce en una alta biodiversidad. Pero, ¿cuánta biodiversidad podría realmente albergar esta cuenca en los tipos de cobertura que se registran? y ¿cuál es su estado de conservación? En términos generales, existen tres formas de cuantificar los componentes de la biodiversidad de un sitio (*i.e.* diversidad de especies, diversidad funcional y diversidad filogenética), las cuales se pueden descomponer y/o variar teniendo en cuenta parámetros adicionales como la abundancia de individuos y la similitud entre puntos o zonas de muestreo y dan una información más o menos completa de la biodiversidad total del sitio ⁽¹³⁾. De éstas, la más conocida es la diversidad de especies (*i.e.* entendida como el número de especies por unidad de área), lo que en otros términos se conoce como riqueza ^(14,15). Esta forma de cuantificación de la biodiversidad es ampliamente utilizada en estudios de línea base donde se requiere realizar caracterizaciones biológicas rápidas, en tanto que, tradicionalmente, las aproximaciones funcional y filogenética (*i.e.* relaciones evolutivas) no se han tenido en cuenta hasta los últimos, cuando se han venido incorporando cada vez más a los estudios ecológicos, debido a que en muchos casos logran explicar una porción importante de la variabilidad de un ecosistema ⁽¹⁶⁾. Además, es claro que las especies no son entidades independientes y aisladas ⁽¹⁷⁾ y, por ende, es más habitual realizar mediciones de la biodiversidad que integren varios aspectos de la historia evolutiva y la ecología de comunidades (*e.g.* ⁽¹⁸⁾). En este sentido, se esperaría que una zona que reúne una variabilidad de zonas de vida, ecosistemas y usos de suelo tenga un registro alto de cada una de estas formas de medición de la diversidad.



Figura 1. a. Paisaje de bosques en diferentes estados de conservación en la cuenca alta del río Cali, corregimiento Pichindé, vereda Peñas Blancas; b. Cultivo típico de café mezclado con plátano, en la cuenca media del río Cali, corregimiento La Leonera, vereda Pajú; c. Ganadería extensiva con elementos arbóreos dispersos, corregimiento La Leonera, vereda El Porvenir; d. Taller de Incentivos a la Conservación enmarcado en la metodología de los PSA (Pago por Servicios Ambientales), realizado en el corregimiento Los Andes cabecera en el 2012 por el Fondo Patrimonio Natural y el Reino de los Países Bajos en alianza con la Fundación CIPAV.

No obstante, para la cuenca alta y media del río Cali, a la fecha no existe un documento científico o técnico que recopile y/o cuantifique de manera exhaustiva tanto la riqueza de especies como la diversidad funcional y filogenética de los diferentes ecosistemas, zonas de vida, usos de suelo y demás divisiones espaciales que comprende esta zona. Parques Nacionales tiene el manejo y control sobre el área protegida del Parque Nacional Natural Farallones de Cali, donde una parte se encuentra dentro de la cuenca, mientras que la CVC – Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca tiene a cargo la administración del área protegida correspondiente a la Reserva Forestal Protectora Nacional Cuenca Alta del Río Cali (*i.e.* incluye la zona de la subcuenca del río Aguacatal). Se esperaría que entre las dos entidades tuviesen a la fecha el registro de cuánta diversidad biológica se registra en estas zonas. No obstante, los documentos oficiales que existen donde se caracteriza el componente biológico de estas áreas protegidas son pocos y tienen principalmente tres problemas: (1) Solo registran la diversidad respecto al número de especies totales de plantas y animales (riqueza), dejando por fuera la diversidad funcional y filogenética (2) olvidan al resto de grupos biológicos que existen, como hongos, líquenes, briofitos y microorganismos y (3), el esfuerzo de muestreo que resulta en los datos compilados en estos documentos no se considera suficiente, ya que no abarca la

totalidad de sitios y ecosistemas que comprende la zona. Por otro lado, otras entidades como las municipales (e.g. DAGMA – Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente), instituciones educativas (e.g. Universidad del Valle, Universidad del Tolima), fundaciones (e.g. Fundación EcoVivero, Fundación CIPAV – Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria), asociaciones (e.g. Asociación Río Cali, Asociación Calidris) y ONGs (e.g. WCS Colombia) han realizado muchos trabajos de investigación y desarrollo donde han incluido la evaluación de la biodiversidad de muchas localidades de la cuenca. Sin embargo, en muchos casos la información aún no se ha publicado y/o queda solo como literatura gris (*i.e.* informes técnicos, tesis, folletos), o si se publica, queda en gran parte desarticulada del resto de información existente; además, sólo han tenido en cuenta la diversidad correspondiente a la riqueza de especies, por lo que resulta igualmente insuficiente. En estos casos, incluso, no se tiene un registro de al menos un alto porcentaje de la riqueza, ya que lo que se opta es por realizar inferencias de la contribución relativa de diferentes especies muestreadas a la diversidad total usando especies llamadas sustitutas (*i.e.* especies que puedan funcionar como indicadoras de la biodiversidad de un sitio)⁽¹⁹⁾. En 2017, se publicó el libro “Parque Nacional Natural Farallones de Cali: Un Tesoro Hídrico de Colombia”, en el cual varios investigadores describen, desde los diferentes grupos de organismos, la biodiversidad del área protegida. Sin embargo, el libro es mayormente fotográfico y no registran listados de especies ni dan cuenta en cifras sobre la cantidad de diversidad que alberga. En resumen, a la fecha se desconoce cuánta diversidad biológica se tiene en esta parte de la cuenca, lo que haría aún más difícil evaluar su estado de conservación. Sería muy interesante que se reunieran esfuerzos no solo para seguir recolectando información biológica que aún falta dada la alta diversidad de los Andes tropicales (e.g. contiene la variedad más alta de plantas, anfibios, aves y mamíferos; abarca ~10% del total de especies de plantas vasculares a nivel mundial; 20.000 especies de plantas se consideran endémicas de los ecosistemas que se encuentran en los Andes^(6,20)), sino también para recopilar de manera exhaustiva toda la información ya existente sobre este componente en un solo documento de diversidad total para la cuenca y por qué no a una escala más grande para todo Farallones. De todos modos, esto no quiere decir que la información existente sobre riqueza de especies sea inválida o no sirva para ser utilizada como insumo en alguna estrategia de conservación. De hecho, tradicionalmente, las prioridades de conservación a nivel global se han identificado basándose en información de riqueza de especies, endemismo y áreas bajo una alta amenaza (e.g.^(21,23)), pero a ciencia cierta no se sabe si con estos métodos se ha logrado cumplir con los objetivos planteados de protección y mantenimiento de las especies endémicas o de las características particulares de un ecosistema, más allá del objetivo general de conservación del área como tal⁽²⁴⁾. Así, se debe tener en cuenta que esta forma de estimar la biodiversidad y su amenaza es solo parcial y, por ende, para abarcar mejor los componentes de la misma y obtener resultados más satisfactorios, se debe ampliar el porcentaje de cobertura correspondiente a todo lo que significa biodiversidad.

También, se debe tener claro la representatividad a nivel de biodiversidad que tiene un sitio o ecosistema, transformado en cuanto a su diversidad exótica (*i.e.* especies que no pertenecen a un ecosistema, pero se han introducido y adaptado a éste). Se han realizado varios estudios donde se compara la flora nativa y urbana o los sitios naturales y transformados, en términos de su diversidad biológica, con el fin de establecer similitudes y diferencias (e.g.^(16,25-27)). En estos estudios se ha encontrado que la biodiversidad de los sitios naturales resulta ser significativamente mayor que la encontrada en los sitios

transformados, lo que se traduce en un mayor número de especies (riqueza de especies), una mayor variación en los rasgos funcionales de sus componentes bióticos - animales, plantas y otros organismos (diversidad funcional) y una mayor cantidad de información evolutiva (diversidad filogenética). Además, se ha encontrado que la flora de los sitios transformados, como la flora urbana, representan una especie de diversidad “filtrada” debido a las presiones actuales que ejercen estos sitios (*e.g.* altas temperaturas, contaminación, poca disponibilidad de nutrientes en el suelo, entre otros), dando como resultado la permanencia de especies que son capaces de tolerar o adaptarse a dichas presiones. En este sentido, la información que aporta un componente exótico como la flora introducida y/o un sitio transformado a la biodiversidad de una zona al parecer tiene menos peso a nivel de la conservación que un componente nativo. Por ende, aunque una cobertura transformada puede estar ofreciendo ciertos servicios tanto a la fauna asociada como a las personas, como los que existen en la cuenca (*e.g.* un cafetal o un potrero arbolado), en sitios donde la transformación de las coberturas ha sido tal que el componente exótico prevalece, sería importante que se proyecte en el largo plazo la recuperación de al menos una parte de su cobertura natural, con el fin de recuperar mayor biodiversidad.

Por otro lado, se conoce que el cambio climático está ejerciendo a nivel global grandes presiones y transformaciones a los paisajes de muchos sitios y a sus características bióticas y abióticas. De acuerdo con las proyecciones que se han realizado sobre el aumento de la temperatura del aire superficial dado por los efectos del cambio climático (*i.e.* un aumento de 2 a 3 °C para el año 2100 de acuerdo con el IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change; ^(28,29)), se espera que las consecuencias sobre características de los ecosistemas como la cantidad de agua que almacenan sean negativas en muchos sitios a nivel mundial. Esto se debe a que mientras en unos sitios este cambio de temperatura global generará un aumento en las precipitaciones, en otros causará una disminución más marcada de las mismas, y/o un aumento en los eventos de sequía. Otros efectos que generan una transformación importante de los ecosistemas y están acrecentados por el cambio climático están relacionados con los incendios forestales, ya sean naturales o provocados, debido a que tienen una influencia fuerte en el estado actual de las propiedades físicas, químicas y biológicas de un sitio y sus consecuencias se mantienen por un buen tiempo ⁽³⁰⁾. Estudios dan cuenta de la alta sensibilidad de sitios de alta montaña a eventos climáticos de efectos marcados, como El Niño en 1997/98, cuando se registró un déficit de precipitación y un aumento de la temperatura en los glaciares de montaña (*e.g.* ⁽³¹⁻³³⁾). En estos sitios montañosos se espera que el aumento de la temperatura por el cambio climático sea mayor que en las zonas bajas ⁽³⁴⁾, lo que generará un mayor deshielo de los glaciares y una mayor desecación de nacimientos. Es por esto que ciudades como Cali que dependen en parte de redes hídricas que nacen en diferentes sitios de los ecosistemas andinos (*e.g.* Los Farallones en la cordillera Occidental) para el abastecimiento parcial de agua potable (~20 %, ⁽³⁵⁾), estarán en graves problemas para cuando se alcance este escenario climático. En algunos casos se espera que un ecosistema pueda resistir a estos cambios (*e.g.* las especies toleren y/o se adapten a las nuevas condiciones ambientales; ⁽³⁶⁾), pero esto solo se podría lograr si el ecosistema conserva la totalidad o una buena parte de sus características naturales, dado un correcto control sobre el manejo adecuado de sus recursos por parte tanto de las autoridades y entidades competentes que ejercen el control, como de las comunidades asociadas a estos, es decir, la gobernanza (*i.e.* arreglos formales e informales que determinan cómo los recursos o el ambiente se utiliza; cómo los

problemas y oportunidades se evalúan, qué comportamiento es aceptable o prohibido y cuáles reglas y sanciones se aplican que afectan el patrón de uso de los recursos y el ambiente,⁽³⁷⁾). En este sentido, resulta sumamente importante que se busque recuperar y conservar al menos una parte significativa del componente natural de los ecosistemas de la cuenca, y esto se podría lograr entre otras cosas con una buena gobernanza (para una mirada más profunda sobre los principios de gobernanza para la conservación de la vida silvestre pueden consultar⁽³⁸⁾).

Al nivel de las especies, las presiones y transformaciones que están ejerciendo globalmente el cambio climático y localmente las actividades antrópicas sobre la biodiversidad pueden estar aportando significativamente al riesgo de extinción de ciertas especies sensibles o vulnerables a estos (riesgo de extinción entendido como la probabilidad de que un taxón desaparezca de un área determinada o en últimas de la Tierra). Sin embargo, no es tan claro el aporte que cada aspecto global y local puede tener sobre este riesgo, ya que en muchos casos los efectos pueden depender de la escala y el tiempo de medición. Por ejemplo, cerca del 50 % de la variación del riesgo de extinción de ciertas especies se debe a factores antropogénicos locales; el resto está dado por factores intrínsecos a cada especie⁽³⁹⁾. Pero cuando se tiene en cuenta el cambio climático en los cálculos de este riesgo para ciertos grupos, el valor se aumenta en un 18-20 %⁽⁴⁰⁾. Entonces, los efectos directos de estos factores sobre el medio ambiente y las especies pueden a corto plazo ser mayores que los efectos dados por el cambio climático. Presiones como la deforestación y la degradación del hábitat generadas por estos factores antropogénicos se estima tendrán un efecto significativo sobre el riesgo de extinción de especies de árboles de ecosistemas montañosos⁽⁴⁰⁾. Por lo tanto, el cambio climático puede representar un componente importante en el aumento del riesgo de extinción a largo plazo, pero debido a que sus efectos se pueden observar a escalas espaciales y temporales mayores, son otros factores a escalas menores como la pérdida de hábitat los que tienden a explicar de manera más significativa el aumento en el riesgo de extinción a corto plazo. La probabilidad del riesgo de extinción dada a una especie está basada en criterios que recogen diferentes características biológicas y ecológicas para determinar el estado de amenaza actual y a futuro de las poblaciones⁽⁴¹⁾. El área de la cuenca alta y media del río Cali, alberga especies animales y vegetales que podrían considerarse amenazadas o en riesgo de extinción, debido principalmente a las altas presiones que se ejercen sobre sus ecosistemas, por cuenta de ciertas actividades antrópicas (*e.g.* deforestación por tala rasa para la ampliación de la frontera agrícola y ganadera, degradación de los suelos y los ríos por la minería aurífera ilegal, degradación de los bosques por la tala selectiva, entre otros;^(42,43)). Estas presiones generan una gran reducción y pérdida de hábitat natural, lo que también podría conllevar a que muchas de las poblaciones de estas especies se encuentren actualmente restringidas a sitios naturales o transformados dentro de la cuenca; sitios que aún conservan características funcionales clave para su mantenimiento. Si se conocieran puntualmente cuáles y cuántos de estos sitios hay en la cuenca, considerados reservorios de biodiversidad, se podrían priorizar en los planes y proyectos dirigidos a proteger sitios de importancia biológica para la cuenca.

La UICN - Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, en un intento por determinar el riesgo de extinción de las especies a nivel global, clasifica las especies en categorías discretas de amenaza, dependiendo del resultado de criterios que evalúan el estado actual y futuro de sus poblaciones. Así, las especies se pueden clasificar como En Peligro Crítico (CR – riesgo de extinción extremadamente alto), En Peligro (EN –

muy alto) o Vulnerable (VU – alto), o se pueden clasificar en un estado Casi amenazado (NT)⁽⁴⁴⁾. De acuerdo con esta clasificación, si se revisa el listado de especies conocidas de la cuenca (e.g. colecciones de referencia de la Universidad del Valle disponibles en SIB Colombia), se observa que se registran a nivel global especies amenazadas de anfibios como la Rana cornuda (*Strabomantis ruizi*, EN;⁽⁴⁵⁾), aves como la Pava caucana (*Penelope perspicax*, EN;⁽⁴⁶⁾), la Tángara multicolor (*Chlorochrysa nitidissima*, VU;⁽⁴⁷⁾), la Perdiz colorada (*Odontophorus hyperythrus*, NT;⁽⁴⁸⁾) y el Águila crestada (*Spizaetus isidori*, EN;⁽⁴⁹⁾), mamíferos como el Tigrillo (*Leopardus tigrinus*, VU;⁽⁵⁰⁾) y la Guagua loba (*Dinomys branickii*, VU;⁽⁵¹⁾) y plantas como el Guasco (*Zygia lehmannii*, EN;⁽⁵²⁾), el Cedro negro (*Juglans neotropica*, EN;⁽⁵³⁾) y el Cedro rosado (*Cedrela odorata*, VU;⁽⁵⁴⁾), por decir algunas. A escala nacional, se tienen los “Libros rojos” que utilizan la misma metodología de la UICN (e.g.⁽⁵⁵⁻⁵⁸⁾). En estos documentos también se registran especies en riesgo de extinción con poblaciones que se han detectado en la cuenca. Lo anterior da cuenta de la gravedad de la situación en términos de la conservación de estas poblaciones ya que, si a una escala global y nacional se consideran en riesgo de extinción, a una escala más pequeña, por ejemplo, los ecosistemas de la cuenca hidrográfica del río Cali, consecuentemente también lo están. De todos modos, lo clave de esta situación es que las poblaciones de estas especies amenazadas que se puedan encontrar dentro de la cuenca se podrían convertir en focos de conservación de las mismas a nivel mundial, pudiendo de esta manera atraer entre otras cosas apoyo internacional. Esto, toda vez que se logran conocer en detalle sus densidades, extensión y estado.

Algunos autores han afirmado que la condición de riesgo de extinción dado a una especie con el método de la UICN puede subestimarla o sobreestimarla (e.g.⁽⁵⁹⁾), debido a las diferentes formas en que se puede calcular una de las variables que es usada para la estimación del tamaño poblacional de una especie en dicho método, i.e. el tamaño del rango geográfico. Esta variable resulta clave, ya que determina los sitios donde la especie puede ocurrir, pero no tiene en cuenta sus requerimientos de hábitat y las condiciones biofísicas de los mismos sino solo los puntos de presencia de individuos de la especie para calcular un polígono convexo que los incluya. No obstante, esto no significa que el listado de especies en riesgo de extinción que se obtiene con este método no sea una aproximación importante al estado actual y futuro de las mismas. Stanton *et al.*⁽⁶⁰⁾ dan cuenta de su alta sensibilidad para determinar el riesgo de extinción en un marco de cambio climático. Probablemente el método tiene un sesgo dado por el análisis usado o por la cantidad y calidad de los registros de presencia/ausencia de una especie y en últimas por la subjetividad dada por el investigador consultado, pero es una herramienta que también permite estimar hasta cierto punto el nivel de amenaza de una especie y así exponer la importancia de sitios como la cuenca del río Cali para su conservación, además de la posibilidad de conseguir igualmente recursos para su estudio y manejo. De esta manera, sus poblaciones podrían ser incluidas en los planes de manejo y conservación a nivel local, regional, nacional y global.

3 ¿Cuáles factores antrópicos podrían ejercer mayor presión en la cuenca?

La zona de la cuenca alta y media del río Cali comprende los ríos Felidia y Pichindé que al juntarse forman el río Cali y también el río Aguacatal que desemboca en este mismo a la altura de la zona urbana⁽¹²⁾. Gran parte de esta zona se ubica en áreas protegidas de carácter nacional mencionadas anteriormente, el PNN Farallones de Cali (~7.600 ha en la cuenca) y la RFPN Cuenca Alta del Río Cali (~6.800 ha)^(12,61). Cada una de estas áreas

presenta ciertas restricciones de uso de los diferentes componentes bióticos y abióticos que comprenden los ecosistemas que albergan, características de la forma de manejo de cada tipo de área (Parque Nacional y Reserva Forestal) descrita por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en su Decreto Único Reglamentario No. 1076 de 2015. No obstante, en la zona se registra un número alto de actividades antrópicas que van en contra de la normativa dispuesta por los organismos de control, incluyendo lo dispuesto por la CVC (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca), organismo encargado de la administración de áreas protegidas como las Reservas Forestales. Actividades como la deforestación de los bosques para la construcción de viviendas, la ganadería extensiva y la agricultura en sitios donde el suelo no es apto y las condiciones del terreno no lo permiten (*i.e.* en pendientes pronunciadas) (Figura 1c). La destrucción de la cobertura vegetal para la explotación minera con la consecuente contaminación del suelo y el agua; la toma ilegal y desmesurada del agua de los ríos y quebradas para el riego de cultivos y para uso doméstico y el aumento de los asentamientos humanos inadecuados en la zona del piedemonte son algunos de los problemas ambientales de origen antrópico que se registran en esta zona (Tabla 1)^(43,61). Pero, ¿cuáles de estos factores podrían estar ejerciendo mayor presión sobre los componentes de la biodiversidad?

Una forma intuitiva de analizar inicialmente el impacto que potencialmente cada actividad puede estar causando sobre los componentes bióticos y abióticos de la cuenca, es determinando cuánta área natural podría estar transformando la actividad (*i.e.* desde la degradación donde se pierde calidad de la cobertura debido por ejemplo a entresaca de individuos arbóreos hasta la deforestación o la pérdida total de la cobertura) y cuánta de ésta transformación puede resultar negativa para dichos componentes. Sin embargo, para poder realizar esta valoración cuantitativa, se requeriría información espacial para visualizar los cambios que cada actividad estuviese aportando (*e.g.* aerofotografías, fotografías satelitales, fotos tomadas con drones, entre otras), verificación en campo y procesamiento de dicha información con alguna herramienta de análisis de información georreferenciada. En el caso de la cuenca, se tiene conocimiento al menos del PNN Farallones de Cali con el documento de plan de manejo que se ha divulgado al público a la fecha, donde se compilaron aspectos como el uso actual del suelo, uso potencial del suelo, pero esta información además de estar desactualizada (año 2005), está a una escala muy grande para apreciar dichos efectos a los componentes bióticos y abióticos de la cuenca (1:25.000) y, además, obviamente excluye el área que corresponde solo a la Reserva. Entidades como el IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) y la CVC tienen información espacial de este tipo, pero se requiere un presupuesto considerable para realizar todo el trabajo de verificación, análisis geoespacial, etc. que solo se logra cuando por ejemplo se va a declarar un área como protegida o se va actualizar un plan de manejo de un área ya protegida. De todas maneras, esta valoración podría hacerse a nivel cualitativo de forma preliminar, si se tiene en cuenta la percepción del investigador y de las comunidades que habitan la zona sobre el alcance espacial de la actividad, la cual se puede basar en información secundaria de literatura y el conocimiento local. La valoración se puede realizar teniendo en cuenta su influencia (1 a 10, siendo 10 la máxima influencia) sobre la transformación del área total. Así, para el caso de la cuenca del río Cali, de las 12 actividades registradas en la zona, se podría determinar que las actividades de ganadería extensiva y agricultura en sitios inadecuados son las de mayor aporte potencial a la pérdida de área natural, mientras que en la degradación resultan tener mayor influencia las especies exóticas de tipo invasivo y la tala selectiva.

Tabla 1. Actividades antrópicas observadas en la cuenca alta y media del río Cali que generan un impacto potencial sobre sus componentes naturales y la valorización de su influencia sobre la degradación y/o pérdida de cobertura natural (0 a 10, donde 10 corresponde a la máxima influencia), tomando estos dos aspectos como dos extremos en el continuo de transformación del uso del suelo (Información de ^(12,42,61) e información del autor; para las actividades antrópicas se utilizó como base la definición de fuentes de presión dada por el Manual de Planificación para la Conservación de Áreas – PCA, ⁽⁶²⁾).

Actividad antrópica	Degradación	Deforestación o pérdida	Observaciones del autor
Ganadería extensiva (bovina y ovina)	7	10	Se registra esta actividad en todos los corregimientos que incluye la cuenca; pisoteo y ramoneo del ganado en sitios no cercados generan degradación de la cobertura a nivel del establecimiento de plántulas y reclutamiento de nuevos individuos.
Agricultura en sitios inadecuados (cultivos perennes y transitorios en alta pendiente)	7	8	Se registran principalmente cultivos transitorios de hortalizas en el corregimiento de La Leonera y cultivos permanentes de cafetales en toda la cuenca; la utilización de pesticidas podría tener efectos sobre los polinizadores y otras relaciones ecológicas.
Minería ilegal (Oro)	5	5	Las minas del Socorro en el Alto del Buey, donde el MADS apoyado por la Alcaldía y el Ejército han intentado cerrarlas, pero esta actividad persiste por la falta de continuidad en la vigilancia y oportunidades laborales para las personas de la zona; se genera tala y contaminación del recurso hídrico con el uso de mercurio.
Toma ilegal y/o desmesurada del agua (uso doméstico y riego)	2	0	Se observa principalmente en las cabeceras de los corregimientos de Pichindé, La Leonera y Felidia.
Asentamientos humanos inadecuados	4	4	Principalmente en la zona media de la cuenca, donde se unen los ríos Pichindé y Felidia.
Tala selectiva (infraestructura, leña, encerramiento)	8	5	Se observa de forma localizada en zonas cercanas a los centros poblados una extracción selectiva, aunque aparentemente no exhaustiva de especies vegetales leñosas.
Extracción selectiva de flora y fauna (comercialización ilegal)	2	0	Se observa muy poca extracción de especies con potencial ornamental (e.g. orquídeas, bromelias, anturios, heliconias).
Turismo inadecuado (¿capacidad de carga?)	3	1	Entidades como la CVC y Parques Nacionales Naturales podrían tener estudios de capacidad de carga para las zonas de protección de manejo propio, pero no se encontró en los documentos consultados.
Especies exóticas de tipo invasivo (“Ojo de poeta”, “Matandrea”)	9	5	“Ojo de poeta” (<i>Thunbergia alata</i>) principalmente en los bordes de carretera; “Matandrea” (<i>Hedychium coronarium</i>) principalmente en las riberas de ríos y quebradas.
Incendios naturales y/o provocados	2	4	Mayormente en la parte media de la cuenca, principalmente con el fin de realizar construcciones ilegales.
Vertimiento inadecuado de residuos sólidos y líquidos	1	0	No se tiene planta de tratamiento de aguas residuales y muchas viviendas no tienen pozos sépticos, por lo que en muchos casos las aguas negras se depositan en los cuerpos de agua.
Plantaciones forestales (Eucalipto y Pino)	1	3	Actualmente en la cuenca persisten pocas plantaciones forestales de especies exóticas como el Eucalipto y el Pino y las que están son inactivas. Muchas de éstas se están reemplazando por flora nativa mediante procesos de restauración ecológica.

Esta es una propuesta inicial sencilla que se puede mejorar en términos de la valoración cualitativa de la influencia de los factores antrópicos sobre la transformación de los ecosistemas naturales de la cuenca. Pero considero que sirve para generar un panorama inicial de los efectos que las diferentes actividades antrópicas que ocurren en la cuenca tienen sobre dos características importantes de las coberturas naturales que tienen un efecto significativo tanto en la pérdida de hábitat y en últimas sobre el riesgo de extinción de la biodiversidad: la degradación y la deforestación.

4 ¿Qué acciones de conservación, restauración y manejo sostenible se pueden tener en cuenta?

Un eje fundamental en el marco de las estrategias para la conservación de la biodiversidad a nivel nacional, es la conservación efectiva de las especies en su hábitat natural (conservación *in situ*), especialmente las especies que se encuentran en riesgo de extinción y sus correspondientes hábitats. Para ello, existen diversas acciones a nivel de los ecosistemas que contribuyen a la conservación de la diversidad de animales y plantas en su hábitat, incluyendo la creación y gestión integral de áreas protegidas y el control y prevención de amenazas ⁽⁶³⁾. También está la restauración ecológica la cual es reconocida a nivel global como una herramienta importante en los esfuerzos de conservación de la biodiversidad, para revertir la degradación ambiental y para moderar el cambio climático ⁽⁶⁴⁾. En el país, el MADS publicó en 2015 el documento “Plan Nacional de Restauración” de 2015, el cual se presenta como un instrumento de implementación de la Política Pública Ambiental y especialmente de la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE) y de la Política Forestal (Plan Nacional de Desarrollo Forestal), el cual *“facilitará a los diferentes actores sectoriales elementos conceptuales y técnicos para abordar los procesos de restauración de ecosistemas naturales degradados”*, abordando los enfoques de restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas degradadas. Otros documentos como el del Instituto Humboldt de 2010 “Herramientas de manejo para la conservación de la biodiversidad en paisajes rurales” aportan a este marco de restauración nacional diferentes estrategias de manejo desde la perspectiva de paisaje con el objetivo de conservar y recuperar los remanentes de ecosistemas naturales como el restablecimiento de la conectividad entre ellos y el manejo de sistemas productivos de manera que estos sean más amigables con la biodiversidad.

Por su parte, el manejo sostenible de los recursos naturales y el ambiente representa un punto importante hoy en día en las diferentes agendas gubernamentales, especialmente en aquellos puntos sobre los servicios ecosistémicos, debido a que en la teoría este tipo de manejo asegura el aprovechamiento y uso sostenible de los recursos que proveen estos servicios y su permanencia en el tiempo para las generaciones futuras. Para el país, existen los documentos del MADS “Política Nacional de Producción y Consumo” de 2010 y “Programa Nacional de Biocomercio Sostenible (2014-2024)” de 2014. El primero pretende *“actualizar e integrar la Política Nacional de Producción más Limpia y el Plan Nacional de Mercados Verdes como estrategias del Estado Colombiano que promueven y enlazan el mejoramiento ambiental y la transformación productiva a la competitividad empresarial”*, mientras que el segundo *“se enmarca en el Plan Nacional de Negocios Verdes (2014) y se convierte en una estrategia que busca aprovechar las*

ventajas comparativas del país en cuanto a su biodiversidad, para facilitar la construcción colectiva de negocios sostenibles que sean competitivos y que propendan por la equidad y la justicia social". Estos documentos si bien proveen los conceptos, pautas y direcciones para implementar acciones de manejo sostenible en el país y por ley se deberían tener en cuenta, se desconoce su alcance real en el territorio, es decir, si realmente todo lo descrito en ellos se ha podido implementar. Mucho menos, se desconoce si en la cuenca estas aproximaciones han tenido algún tipo de resonancia.

Una estrategia que permite apoyar las diferentes acciones de conservación, restauración y manejo sostenible en sitios estratégicos, como por ejemplo sitios de protección del recurso hídrico de las cuencas abastecedoras de acueductos que se está implementado en varias cuencas de la zona (e.g. cuenca del río Meléndez,⁽⁶⁵⁾), es la correspondiente a los incentivos para la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (i.e. remuneración, exención o apoyo técnico por la protección y el mantenimiento de un servicio ambiental). Esta estrategia de apoyo a la conservación se ha implementado en diferentes sitios alrededor del mundo con el fin de incentivar aquellas actividades enfocadas en disminuir los impactos que generan las actividades antrópicas sobre los ecosistemas naturales. De éstos, los incentivos que utilizan mecanismos directos como los esquemas de Pago por Servicios Ambientales (PSA) se han presentado como una manera más efectiva para incentivar los esfuerzos dados para contrarrestar estos impactos en términos del costo-beneficio que esto implica⁽⁶⁶⁾. Los PSA se entienden como una transacción voluntaria, por medio de la cual al menos un determinado servicio ambiental es adquirido por al menos un comprador a al menos un proveedor del servicio ambiental, con la condición de que el proveedor continúe ofreciendo el servicio adquirido^(67,68). Este tipo de incentivos se han implementado principalmente en los países desarrollados, en tanto que en los países en desarrollo sigue siendo un mecanismo poco usado y los pocos implementados se llevan a cabo a nivel local en la gran mayoría. En el caso de Colombia, se han realizado aproximaciones respecto a estos esquemas a diferentes escalas del paisaje (Figura 1d) y la principal falencia es la imposibilidad de registrar los posibles impactos en términos de la mejoría generada sobre la biodiversidad⁽⁶⁹⁾, por lo que al parecer resulta difícil medir su efectividad. No obstante, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) en 2017, mediante el Decreto 0870 estableció las directrices para el desarrollo de los PSA y otros incentivos para la conservación en el territorio nacional. Por consiguiente, es posible que con estas nuevas directrices se puedan implementar de manera general en todo el territorio colombiano, pero también se puedan incluir esquemas de monitoreo que permitan medir en el tiempo los efectos que esta estrategia pueda tener sobre los componentes naturales de la zona.

Por otro lado, existen diferentes formas alternativas de producción sostenible e incentivos para la conservación, en algunos casos ofrecidos por el mismo estado, que le permiten al sector productor la posibilidad de incluir estas formas alternativas dentro de sus actividades, con el fin de disminuir el impacto generado sobre las cuencas hidrográficas mediante la conservación del suelo y el agua y el mantenimiento de la capacidad productiva del entorno. Ejemplo de estos son los sistemas agroforestales (e.g. cafetales con sombrío de árboles maderables o frutales), sistemas silvopastoriles (e.g. ganadería bovina con sombra de árboles maderables o forrajes fijadores de nitrógeno) y las cercas vivas⁽³⁵⁾, los cuales permiten un mayor soporte del suelo, una disminución

de la erosión y sedimentación por escorrentía y, en últimas, una menor contaminación de los ríos y quebradas. No obstante, en muchos casos la opinión de las personas que han intentado la reconversión parcial o total de sus sistemas de producción a este tipo de alternativas afirman que resultan más rentable a corto plazo las actividades de los sistemas tradicionales que sistemas productivos sostenibles como los descritos anteriormente, por los que se debe hacer al inicio una inversión considerablemente alta de tiempo y dinero y sus beneficios suelen obtenerse en un tiempo mayor a lo deseado. Lo que significa que las personas, en la mayoría de los casos, buscan una actividad productiva que les genere altos ingresos a bajo costo en el menor tiempo posible y los sistemas productivos tradicionales en los que se explotan los recursos de forma intensiva y extensiva tienen la ventaja. Además, la demanda actual de alimentos debido al crecimiento poblacional desmedido exige sistemas productivos que permitan suplir las necesidades de abastecimiento mundial y, hasta la fecha, las técnicas de producción alternativa sostenible por sí solas al parecer no podrían; de hecho, se sabe que las formas tradicionales apenas logran sostenerla y muy pronto dejarán de hacerlo, entre otras cosas, por el desequilibrio entre la oferta de recursos y la demanda de ellos, en otras palabras, será mucha gente para sostenerla con lo que se produciría. En este sentido, teniendo en cuenta el crecimiento aún exponencial de la población mundial y el continuo agotamiento de los recursos naturales por parte de la producción industrial, ¿hasta cuándo los sistemas tradicionales podrán sostener esta demanda? A largo plazo esto resultará insostenible y repercutirá directamente sobre los servicios ambientales como el agua potable ofrecidos por las cuencas hidrográficas.

5 Conclusiones

Es importante obtener un compendio total de la biodiversidad de la cuenca alta y media del río Cali y por extensión de los Farallones de Cali, donde no solo se mejore el esfuerzo de muestreo en los diferentes ecosistemas que presentan una alta diversidad para la estimación total de la riqueza de especies, sino que también se tengan en cuenta los demás componentes biológicos de la biodiversidad, tanto en organismos como hongos, líquenes, briófitos, etc. como en funciones y relaciones (diversidad funcional) y en historia evolutiva tanto de las comunidades como de las poblaciones de las especies (diversidad filogenética). Si bien es cierto que los organismos exóticos y los ecosistemas transformados tienen ciertas funciones en el área donde se encuentran, funciones que pueden llegar a ser muy relevantes para el bienestar de las personas que la habitan y para el mantenimiento de la fauna que en muchos casos no tiene a dónde más ir, se debe tener en claro que su riqueza de especies, su diversidad funcional y su diversidad filogenética no es equiparable con la que presentaba antes de ser transformada o antes de que fuesen introducidas especies exóticas. Por ende, la recuperación y preservación de al menos una parte de la biodiversidad natural es necesaria para aportar significativamente a la conservación de la biodiversidad global.

Por otro lado, dado un aumento significativo estimado de la temperatura del aire superficial, en el futuro, hacia el año 2100, el cambio climático potencialmente tendrá un gran impacto sobre las características bióticas y abióticas de los diferentes ecosistemas en todo el mundo. Sin embargo, debido a que este aumento será mayor en las zonas de los ecosistemas montañosos, como los de los Farallones de Cali, su intensidad también será mayor en éstos. Muchos de sus ecosistemas y sus componentes podrían resistir y/o adaptarse a estas nuevas condiciones, siempre y cuando conserven al menos una parte

considerable de sus características de variabilidad genética. Por lo tanto, es necesario que ciudades como Cali, dependientes de servicios ecosistémicos como el agua proveniente de ecosistemas montanos como los Farallones, realicen un esfuerzo mancomunado para disminuir los efectos de las actividades antrópicas sobre los mismos.

También, es necesario realizar estudios que permitan (1) evaluar el estado actual de los ecosistemas montanos de los Farallones de Cali y el estado puntual de características claves como el tamaño y composición de las coberturas vegetales, la estructura del suelo y la capacidad hídrica, así como su estado a futuro (*e.g.* 10 años) y (2) determinar cuantitativamente la contribución de cada uno de los factores antrópicos al deterioro de la biodiversidad de los Farallones, con el fin de ofrecer a las entidades encargadas del manejo y protección de este sitio información concreta para las acciones de mitigación y recuperación con miras al cambio climático.

En términos cualitativos, se propone que las actividades de ganadería extensiva y agricultura en sitios inadecuados son las que más contribuyen a la pérdida de cobertura natural en la cuenca alta y media del río Cali, debido a su prevalencia en la cuenca, mientras que las especies exóticas de tipo invasivo y la tala selectiva resultan tener mayor influencia sobre la degradación de estas coberturas naturales. Esta aproximación a una valoración cualitativa de la influencia de los diferentes factores antrópicos sobre la transformación de los ecosistemas naturales sirve como punto de partida para priorizar la valoración cuantitativa de las actividades de mayor impacto en la cuenca y priorizar además los esfuerzos iniciales de conservación y restauración en la misma.

Para ciertas especies sensibles o vulnerables a los efectos del cambio climático y a las presiones ejercidas por las actividades antrópicas, cualquiera que sea el método utilizado para determinar el riesgo de extinción de éstas, en términos generales es evidente que la biodiversidad de la cuenca del río Cali presenta una alta amenaza. Estudios que utilizan otros métodos para determinar el riesgo de extinción dado por otros factores como el cambio climático (*e.g.*⁽⁷⁰⁾), estiman una alta amenaza para las especies ubicadas en Suramérica (*e.g.* 23 %, el mayor porcentaje obtenido para una zona). Conocer las particularidades biológicas y ecológicas de las poblaciones de las especies que presentan un riesgo de extinción a nivel global y/o nacional y el estado actual de sus ecosistemas, permitiría establecer su riesgo de extinción local y así, determinar los factores que mayormente explican su amenaza actual y futura.

Por último, los incentivos a la conservación basados en esquemas de Pagos por Servicios Ambientales (PSA) si bien son una estrategia para apoyar las actividades de conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que se han implementado con éxito en países desarrollados, no se deberían tomar como la única estrategia de protección y uso sostenible de la naturaleza en otros países como Colombia, debido a que las condiciones del entorno son diferentes y su éxito depende en gran medida del contexto político, socio-económico y ambiental en el que se encuentre inmerso. El Decreto 0870 del 2017 del MADS sobre el establecimiento de los PSA y otros incentivos para la conservación son un avance importante para iniciar la implementación de diferentes esquemas de PSA en todo el territorio y no solo a nivel local como se ha realizado hasta ahora, sino que puedan tener un alcance mayor con el fin de mantener servicios ecosistémicos tan importantes como el abastecimiento de agua para las comunidades proveído por las cuencas hidrográficas como la del río Cali.

Agradecimientos. Al curso Tópicos Avanzados en Biología de la Conservación de la Universidad del Valle y su coordinador, Raúl Sedano, por el trabajo y seguimiento dado a los diferentes ensayos que dieron origen al manuscrito final; a mis compañeros del curso y colegas que aceptaron ser revisores del mismo.

Referencias bibliográficas

1. Wilson EO, Peter FM. Biodiversity. Papers from the 1st National Forum on Biodiversity, September 1986, Washington. D.C. National Academy of Science. Washington, D.C. National Academy Press. 1988; 538.
2. Abe T, Levin SA, Higashi M. Biodiversity: An ecological perspective. Springer Verlag, New York. 1997; 294.
3. Erwin TL. An Evolutionary Basis for Conservation Strategies. Science New Series. 1991; 253(5021): 750-752.
4. Faith DP. Conservation evaluation and phylogenetic diversity. Biological Conservation. 1992; 61(1): 1-10. Doi: 10.1016/0006-3207(92)91201-3.
5. SIB Colombia. Biodiversidad en cifras. 2017. Consultado: 02/10/2017. Disponible en www.sibcolombia.net/biodiversidad-en-cifras/.
6. Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, da Fonseca GAB, Kent J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature. 2000; 403: 853-858.
7. Biodiversidad 2015: Estado y tendencia de la biodiversidad continental de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, D.C. 2016; 1-107.
8. MEN – Ministerio de la Economía Nacional. Resolución 9. Departamento de tierras y aguas, Sección de Bosques. 1938.
9. MEN – Ministerio de la Economía Nacional. Resolución 7. Departamento de tierras y aguas, Sección de Bosques. 1941.
10. MEN – Ministerio de la Economía Nacional. Resolución 5. Departamento de tierras y aguas, Sección de Bosques. 1943.
11. INCORA – Instituto Colombiano de la Reforma Agraria. Resolución 92. 1968.
12. CVC – Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca Cuenca hidrográfica del río Cali (Folleto). Grupo Sistema de Información Ambiental. Santiago de Cali, Colombia. 2008.
13. Chao A, Chiu CH, Jost L. Unifying Species Diversity, Phylogenetic Diversity, Functional Diversity, and Related Similarity and Differentiation Measures Through Hill numbers. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics. 2014; 45: 297-324.

14. MacArthur RH, Wilson EO. *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press. Princeton, NJ. 1967; 203.
15. Hubbell SP. *The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography* (MPB-32). Princeton University Press. Princeton, NJ: 2001; 392.
16. Thompson PL, Davies TJ, González A. Ecosystem Functions Across Tropic Levels are Linked to Functional and Phylogenetic Diversity. *PLoS One*. 2015; 10(2): 1-19. Doi: 10.1371/journal.pone.0117595.
17. Felsenstein J. Phylogenies and the Comparative Method. *The American Naturalist*. 1985; 125(1): 1-15.
18. Cadotte MW, Davies TJ, Regetz J, Kembel SW, Cleland E, Oakley TH. Phylogenetic diversity metrics for ecological communities: integrating species richness, abundance and evolutionary history. *Ecology Letters*. 2010;13(1): 96-105. Doi: 10.1111/j.1461-0248.2009.01405.x.
19. Barker GM. Phylogenetic diversity: a quantitative framework for measurement of priority and achievement in biodiversity conservation. *Biological Journal of the Linnean Society* . 2002; 76(2): 165-194. doi:10.1046/j.1095-8312.2002.00055.x.
20. Schuler I, Hodson E, Orozco LA. The Potential of Biodiversity in the Andean Region: Use, Conservation and Regulations. In: Grillo O, Venora G. (Ed.). *Biological Diversity and Sustainable Resources Use*. Intech Open. 2011. Available from: www.intechopen.com/books/biological-diversity-and-sustainable-resources-use/the-potential-of-biodiversity-in-the-andean-region-use-conservation-and-regulations. 77-100.
21. Hoekstra JM, Boucher TM, Ricketts TH, Roberts C. Confronting a biome crisis: global disparities of habitat loss and protection. *Ecology Letters*. 2005; 8: 23-29. Doi: 10.1111/j.1461-0248.2004.00686.x.
22. Brooks TM, Mittermeier RA, da Fonseca GAB, Gerlach J, Hoffmann M, Lamoreux JF, *et al.* Global biodiversity conservation priorities. *Science*. 2006; 313(5783): 58-61. Doi: 10.1126/science.1127609.
23. Kier G, Kreft H, Lee TM, Jetz W, Ibisch PL, Nowicki C, *et al.* A global assessment of endemism and species richness across island and mainland regions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2009; 106(23): 9322-9327. Doi: 10.1073/pnas.0810306106.
24. Fleishman E, Noss RF, Noon BR. Utility and limitations of species richness metrics for conservation planning. *Ecological Indicators*. 2006; 6(3): 543-553. Doi: 10.1016/j.ecolind.2005.07.005.
25. Knapp S, Kühn I, Schweiger O, Klotz S. Challenging urban species diversity: contrasting phylogenetic patterns across plant functional groups in Germany. *Ecology Letters*. 2008; 11(10): 1054-1064. Doi: 10.1111/j.1461-0248.2008.01217.x.

26. Ricotta C, La Sorte FA, Pysek P, Rapson GL, Celesti-Grapow L, Thompson K. Phylogenetic beta diversity of native and alien species in European urban floras. *Global Ecology and Biogeography*. 2012; 21: 751-759. Doi: 10.1111/j.1466-8238.2011.00715.x.
27. Carvallo GO, Teillier S, Castro SA, Figueroa JA. The phylogenetic properties of native- and exotic-dominated plant communities. *Austral Ecology*. 2014; 39(3): 304-312. Doi: 10.1111/aec.12079.
28. Cubasch U, Meehl GA, Boer GJ, Stouffer RJ, Dix M, Noda A, *et al.* Projections of future climate change. In: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Noguer M, Van Der Linden PJ, Dai X, *et al* (editors). Cambridge University Press. Cambridge, UK. 2001. hdl: 10013/epic.15750.d001.
29. Golicher DJ, Cayuela L, Newton AC. Effects of Climate Change on the Potential Species Richness of Mesoamerican Forests. *Biotropica*. 2012; 44(3): 284-293. Doi: 10.1111/j.1744-7429.2011.00815.x.
30. Chen J, Li C, Ristovski Z, Milie A, Gu Y, Islam MS. *et al.* A review of biomass burning: Emissions and impacts on air quality, health and climate in China. *The Science of the Total Environment*. 2017; 579 (1): 1000-1034. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.11.025.
31. Oerlemans J, Fortuin JPF. Sensitivity of Glaciers and Small Ice Caps to Greenhouse Warming. *Science*. 1992; 258(5079): 115-117. Doi: 10.1126/science.258.5079.115.
32. Oerlemans J, Anderson B, Hubbard A, Huybretchts Ph, Jóhannesson T, Knap WH, *et al.* Modelling the response of glaciers to climate warming. *Climate Dynamics*. 1998; 14: 267-274.
33. Wagnon P, Ribstein P, Francou B, Sicart JE. Anomalous heat and mass budget of Glaciar Zongo, Bolivia, during the 1997/98 El Niño year. *Journal of Glaciology*. 2001; 47(156): 21-28. Doi: 10.3189/172756501781832593.
34. Bradley RS, Vuille M, Diaz HF, Vergara W. Threats to water supplies in the tropical Andes. *Science*. 2006; 312 (5781): 1755-1756. Doi: 10.1126/science.1128087.
35. Calle Z, Carvajal MA. *Cómo vivir en las montañas sin agotar el suelo*. Fundación CIPAV. Cali, Colombia. 2012; 56.
36. Dickinson M, Colin I, Mace GM. *Climate change and challenges for conservation*. Imperial College London, Grantham Institute. London, U.K. 2015; Briefing paper No. 13: 1-20
37. Juda L. Considerations in Developing a Functional Approach to the Governance of Large Marine Ecosystems. *Ocean Development & International Law*. 1999; 30(2): 89-125. Doi:10.1080/009083299276203.
38. Decker D, Smith C, Forstchen A, Hare D, Pomeranz E, Doyle-Capitman C, *et al.* Governance Principles for Wildlife Conservation in the 21st Century. *Conservation Letters*. 2016; 9(4): 290-295. Doi: 10.1111/conl.12211.

39. Purvis A, Gittleman JL, Cowlshaw G, Mace GM. Predicting extinction risk in declining species. *Proceedings of Royal Society B: Biological Sciences*. 2000; 267(1456): 1947-1952. Doi: 10.1098/rspb.2000.1234.
40. Tejedor N, Newton AC, Golicher D, Oldfield S. The Relative Impact of Climate Change on the Extinction Risk of Tree Species in the Montane Tropical Andes. *PloS One*. 2014; 10(7): 1-19. Doi: 10.1371/journal.pone.0131388.
41. IUCN – International Union for Conservation of Nature. Guidelines for using the IUCN red list categories and criteria, version 13. Prepared by the Standards and Petitions Subcommittee of the IUCN Species Survival Commission. IUCN. Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 2017.
42. CVC- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Sistema de información geográfica de la Unidad de Manejo de Cuenca Cali – Meléndez – Pance – Aguacatal. CVC, Subdirección de Planeación, Grupo de Cartografía. Santiago de Cali, Colombia. 2000; 1-210
43. Urcuqui AM. Conservación y conflictos socioambientales en la cuenca media-alta del río Cali, Valle del Cauca, Colombia. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. 2011; 1-178.
44. IUCN – International Union for Conservation of Nature. IUCN red list categories and criteria, version 3.1 Second edition. IUCN. Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 2012; 1-32.
45. Mejía D, Gómez D, Castro F, Vargas-Salinas F, González Duran GA, Lynch J. *et al.* *Strabomantis ruizi*. The IUCN Red List of Threatened Species: e.T56936A11557075. 2014. Doi 10.2305/IUCN.UK.2004.RLTS.T56936A11557075.en.
46. BirdLife International. *Penelope perspicax*. The IUCN Red List of Threatened Species: e.T22678379A92770934. 2016; 1-9. (Consultado: 02/10/2017). 10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22678379A92770934.en.
47. BirdLife International. *Chlorochrysa nitidissima*. The IUCN Red List of Threatened Species: e.T22722799A94785358. 2016 (Consultado: 02/10/2017). 2016; 1-10. Doi: 10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22722799A94785358.en.
48. BirdLife International. *Odontophorus hyperythrus*. The IUCN Red List of Threatened Species: e.T22679655A92823116. 2016; 1-9. (Consultado: 02/10/2017). Doi: 10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22679655A92823116.en.
49. BirdLife International. *Spizaetus isidori*, Black-and-chestnut Eagle. The IUCN Red List of Threatened Species: e.T22696207A93549661. 2016; 1-10. (Consultado: 8/09/2017) Doi: 10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22696207A93549661.en.
50. Payan E, de Oliveira T. *Leopardus tigrinus*. The IUCN Red List of Threatened Species: e.T54012637A50653881. 2016; 1-15. (Consultado: 02/10/2017). Doi: 10.2305/IUCN.UK.2016- 2.RLTS.T54012637A50653881.en

51. Tirira D, Vargas J, Dunnum J. *Dinomys branickii*. The IUCN Red List of Threatened Species: e.T6608A12790614. 2008. (Consultado: 02/10/2017).
Doi: 10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T6608A12790614.en.
52. Calderon E. *Zygia lehmannii*. The IUCN Red List of Threatened Species: e.T38854A10153463. 1998. (Consultado: 02/10/2017) 1998; 1-4.
Doi:10.2305/IUCN.UK.1998.RLTS.T38854A10153463.en
53. Americas Regional Workshop (Conservation & Sustainable Management of Trees, Costa Rica, November 1996). *Juglans neotropica*. The IUCN Red List of Threatened Species 1998: e.T32078A9672729. 1998; 1-4. (Consultado: 02,10,2017).
Doi: 10.2305/IUCN.UK.1998.RLTS.T32078A9672729.en
54. Americas Regional Workshop (Conservation & Sustainable Management of Trees, Costa Rica, November 1996) *Cedrela odorata*. The IUCN Red List of Threatened Species 1998: e.T32292A9687734. 1998; 1-5. (Consultado: 02/10/2017).
Doi: 10.2305/IUCN.UK.1998.RLTS.T32292A9687734.en
55. Calderón E, Galeano G, García N, (eds.). Libro Rojo de Plantas Fanerógamas de Colombia. Volumen 1: Chrysobalanaceae, Dichapetalaceae y Lecythidaceae. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Instituto Alexander von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, D.C. 2002.; 31-217.
56. Galeano G, Bernal R. Palmas. En: Calderón E, Galeano G, García N, (eds.). Libro Rojo de Plantas de Colombia. Volumen 2: Palmas, Frailejones y Zamias. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Instituto Alexander von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, D.C. 2005; 59-224.
57. Cogollo Á, Velásquez-Rúa C, García N. Las miristicáceas. En: García, N. (ed.). Libro Rojo de las Plantas de Colombia. Volumen 5. Las magnoliáceas, las miristicáceas y las podocarpaceas. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Instituto Alexander von Humboldt, Corantioquia, Jardín Botánico Joaquín Antonio Uribe de Medellín, Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, D.C. 2007; 157-192.
58. Rengifo LM, Gómez MF, Velásquez-Tibatá JV, Amaya-Villarreal AM, Kattan GH, Amaya-Espinel JD *et al.* Libro rojo de las aves de Colombia. Volumen I, Bosques húmedos de los Andes y la Costa Pacífica. Pontificia Universidad Javeriana – Bogotá, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C. 2013. 34-465.
59. Ramesh V, Gopalakrishna T, Barve S, Melnick DJ. IUCN greatly underestimates threat levels of endemic birds in the Western Ghats. *Biological Conservation*. 2017; 210(A): 205-221. Doi:10.1016/j.biocon.2017.03.019.
60. Stanton JC, Shoemaker KT, Pearson RG, Akcakaya HR. Warning times for species extinctions due to climate change. *Global Change Biology*. 2015; 21(3): 1066-1077.
Doi: 10.1111/gcb.12721.

61. CVC- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de manejo Parque Nacional Natural Farallones de Cali. CVC. Cali, Colombia. 2005. 2005; 6-402.
62. Granizo T, Molina ME, Secaira E, Herrera B, Benítez S, Maldonado O, *et al.* Manual de planificación para la conservación de áreas, PCA. The Nature Conservancy, TNC y United States Agency for International Development, USAID. Quito, Ecuador. 2006; 3-204.
63. López-Gallego C. Monitoreo de poblaciones de plantas para conservación: recomendaciones para implementar planes de monitoreo para especies de plantas de interés en conservación. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C. 2015; 6-56.
64. Murcia C, Guariguata MR. La restauración ecológica en Colombia: tendencias, necesidades y oportunidades. Documentos Ocasionales 107. CIFOR. Bogor, Indonesia. 2014; 1-86.
65. Salazar AM. Diseño de un esquema de compensación por servicios ambientales para la cuenca del río Meléndez en el Municipio de Santiago de Cali, Colombia. Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales. 2015; 2: 25-40. Doi: 10.23850/24220582.167.
66. Ferraro PJ, Simpson RD. The cost-effectiveness of conservation payments. *Land Economics*. 2002; 78(3): 339-353.
67. Wunder S. Payments for environmental services: some nuts and bolts. Occasional Paper No. 42. Bogor, Indonesia: CIFOR. 2005; 1-25.
68. Wunder S. The efficiency of payments for environmental services in tropical conservation. *Conservation Biology*. 2007; 21(1): 48-58.
69. Blanco JT, Wunder S, Navarrete F. La experiencia colombiana en esquemas de pagos por servicios ambientales. Sección 2b Estudios de casos nacionales. En: Ortega SG (Ed). Reconocimiento de los Servicios Ambientales: Una Oportunidad para la Gestión de los Recursos Naturales en Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Unidad Administrativa del Sistema de Parques Nacionales Naturales, WWF, Conservación Internacional y The Nature Conservancy. Bogotá, D.C. 2008; 109-116.
70. Urban MC. Accelerating extinction risk from climate change. *Science*. 2015; 348(6234): 571-573. DOI: 10.1126/science.aaa4984.

Dirección del autor

Jhon Alexander Vargas-Figueroa

Estudiante de Maestría en Ciencias - Biología, Grupo de Investigación Ecología y Diversidad Vegetal, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

vargas.jhon@correounivalle.edu.co