



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS



Identificación de vacíos de investigación aplicada para restaurar ecosistemas terrestres en Colombia

Identifying gaps of applied research to restore terrestrial ecosystems in Colombia

Juan Garibello^{1*}, Laura Riaño², Julián Cuellar², José Ignacio Barrera-Cataño³,
Wilson Ramírez¹

Garibello, J., Riaño, L., Cuellar, J., Barrera-Cataño, J. I. y Ramírez, W. (2021). Identificación de vacíos de investigación aplicada para restaurar ecosistemas terrestres en Colombia. *Colombia Forestal*, 24(1), 88-107

Recepción: 7 de diciembre 2019

Aprobación: 16 de septiembre 2020

Resumen

Importantes desafíos en la restauración de ecosistemas terrestres colombianos pueden superarse de forma parcial a través de la investigación. Por tal razón, en el presente artículo de revisión hicimos un análisis bibliométrico de varios artículos para identificar los temas abordados y los vacíos usando un marco de trabajo publicado en 2017. Este marco se presenta como una agenda de investigación en ecología cuyo desarrollo tiene una aplicación directa en la práctica de la restauración. Encontramos 167 casos provenientes de 143 artículos; la mayoría trataron temas relacionados con planificación (35 %) y monitoreo de intervenciones (25 %). Pocos abordaron temas relacionados con implementación: obtención de propágulos (12 %), establecimiento de plántulas (13 %) y desempeño del material plantado (15 %). También, identificamos un sesgo geográfico, ya que 93 % de los estudios se realizaron en las regiones Andina y Caribe; lo que equivale a menos de la mitad del territorio colombiano. Estos resultados y su análisis se presentan como una agenda preliminar de investigación en restauración que involucra intereses de diferentes actores.

Palabras clave: agenda de investigación para la restauración, costo-efectividad de la restauración, articulación ciencia-práctica.

Abstract

Important challenges faced in terrestrial ecosystems in Colombia might be partially overcome through research. For this reason, we made a bibliometric analysis with articles to identify addressed topics as well as gaps using a framework published in 2017. This framework is presented as a research agenda based in ecology whose development has a direct application on restoration practice. We found 167 cases coming from 143 articles; the majority addressed topics related to planning (35 %) and monitoring of interventions (25 %). Few were related to implementation: sourcing propagules (12 %), seedling establishment (13 %) and performance of planted seedlings (15 %). We also identified a geographic bias since 93 % of studies were made in the Andean and the Caribbean regions which are less than half of the national territory. These results and their analyses are presented as preliminary research agenda in restoration involving interests of different stakeholders.

Key words: cost-effectiveness of restoration, research agenda for restoration, science-practice articulation.

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

2 Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

3 Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

* jcgaribello@gmail.com. Autor para correspondencia.

INTRODUCCIÓN

Son aproximadamente 12 millones de personas en Colombia las que habitan en zonas expuestas a desabastecimiento hídrico como resultado de la pérdida y degradación de ecosistemas naturales (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2010). Así mismo, cerca del 21 % del territorio nacional requiere restauración ecológica de manera prioritaria debido a sus niveles de deterioro y a que se trata de las zonas con mayor densidad poblacional (Ramírez *et al.*, 2016). La tarea de revertir esta situación se ha asumido en parte a través de la restauración ecológica y enfoques afines (rehabilitación, recuperación). Estas estrategias de conservación están ampliamente respaldadas por la normatividad y políticas estatales. Por ejemplo, la restauración está incluida en el artículo 80 de la Constitución Política vigente (Aguilar-Garavito *et al.*, 2017) y algunas entidades territoriales como la Secretaría de Ambiente de Bogotá han ejecutado planes de manera continua desde el año 2000 (Murcia *et al.*, 2017).

Pese al respaldo normativo y a la ejecución continua de programas, el progreso e impacto de la restauración distan de ser óptimos en Colombia. El desarrollo de esta práctica presenta carencias importantes en aspectos como gobernanza participativa, la planificación y el monitoreo (Murcia *et al.*, 2016). Además, la percepción entre agentes del gremio es que las metas gubernamentales nunca se han cumplido y que las plantaciones vinculadas a iniciativas precedentes no persisten en la actualidad (Murcia *et al.*, 2017a). La promoción y desarrollo de investigaciones ha sido identificada como uno de los ámbitos de trabajo para mejorar esta situación tanto en el orden nacional (Murcia *et al.*, 2017b) como en el regional (Holl, 2017). Esta concepción estaría asociada, al menos, con dos circunstancias. Por un lado, la insuficiencia de la información disponible para administrar la incertidumbre inherente de un proceso de largo plazo como la restauración ecológica (Murcia *et al.*,

2017a). De otra parte, un contexto de complejidad creciente que apunta a la implementación de iniciativas a gran escala (Chazdon *et al.*, 2017) en un contexto de emergencia climática (Harris *et al.*, 2006).

La investigación asociada a la restauración contribuye al logro de estándares técnicos que soporten los proyectos (Burbidge *et al.*, 2011; Menz *et al.*, 2013); además, posibilita la elaboración de conceptos claros, modelos y metodologías (Society for Ecological Restoration, 2004); y hace un aporte sustancial a la identificación de estrategias de intervención costo-efectivas (Holl, 2017). No obstante, con alguna frecuencia uno de los campos de conocimiento asociado (la ecología de la restauración) no responde a este desafío al no abordar aspectos prácticos (Cabin *et al.*, 2010) o al no hacer explícita la utilidad práctica de los hallazgos. Esto ocurre debido a la ausencia de un marco que defina el tipo de investigación requerida, cuáles son las preguntas asociadas y cómo estos dos se relacionan con las distintas fases de la práctica de la restauración (Miller *et al.*, 2017). A nivel nacional, a la ausencia de un vínculo claro entre ciencia y práctica, se añade la falta de una agenda que optimice el uso de los recursos limitados para investigación. No existen ejercicios que evalúen el aporte de la ecología de la restauración a la restauración ecológica en el marco de la practicidad; es decir, en el que los resultados de investigación tengan una aplicación inmediata o que incidan en la efectividad de las iniciativas de restauración. Sin embargo, es de señalar que Murcia y Guariguata (2014) analizaron la evolución, retos y oportunidades de la restauración en Colombia; pero, a diferencia del presente estudio, su trabajo no se basó en producción científica publicada sino en proyectos.

Por lo ya dicho, se presenta el siguiente estudio; asumiendo que importantes desafíos de la restauración ecológica pueden afrontarse mediante investigación y que parte de esta debe tener una aplicabilidad explícita. El objetivo es, entonces, identificar vacíos de conocimiento científico cuyo

abordaje contribuya a mejorar la práctica de la restauración de ecosistemas terrestres. Para tal fin se utilizó el marco de trabajo propuesto por Miller *et al.* (2017), el cual tiene como propósito acortar la brecha entre ciencia y práctica mediante el desarrollo de una agenda de investigación. Una de las ventajas de este marco es que las preguntas que conforman la agenda se dividen en fases que son asimilables a las etapas de un proyecto de restauración. El desarrollo de dicho marco apunta a la conformación de ecosistemas autosostenibles, resilientes y biodiversos. Por ello, este estudio es una primera evaluación del estado de la ecología de la restauración en Colombia y de su aporte a aspectos fundamentales de su faceta práctica: la restauración ecológica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron las bases de datos Google Académico y Scopus para buscar artículos científicos publicados en revistas que estuviesen indexadas en Scimago o en Publindex en el momento de la búsqueda. Para tal fin, se utilizaron los binomios “restauración ecológica” AND “Colombia” junto con “ecología de la restauración” AND “Colombia”. También se incluyeron binomios en los cuales se reemplazó “restauración” con los términos afines “rehabilitación” y “recuperación”. La búsqueda se hizo tanto en español como en inglés entre abril y junio de 2019. Inicialmente, aparecieron aproximadamente 17 000 resultados, de los cuales se seleccionaron solamente artículos que incluyeran “restauración” o los términos mencionados, bien fuera en el título, resumen o palabras clave. No se tuvieron en cuenta tesis de grado, guías, protocolos o documentos de trabajo. Los criterios finales de inclusión fueron que el artículo abordara una pregunta o problema de investigación claramente definido y que fuera clasificable dentro del marco de trabajo adoptado. Esto último limitó la búsqueda a investigaciones en ecosistemas terrestres o anfibios.

Las publicaciones fueron clasificadas según la propuesta de Miller *et al.* (2017). Esta propuesta surge como resultado de la poca efectividad de algunos programas de restauración, debida a su vez a la poca correspondencia entre las necesidades de la práctica de la restauración y la ecología de la restauración. Adicional a esto, seleccionamos esta propuesta o marco de trabajo pues incluye aspectos de la mayor importancia pero que probablemente están ausentes de la mayoría de proyectos en Colombia. Por ejemplo: el aprovechamiento de la regeneración natural y de la siembra como estrategias de restauración, la diversidad genética, la consideración del compartimiento suelo, el papel del área intervenida en la conectividad y la evaluación de la resiliencia del área restaurada.

La propuesta presenta 36 preguntas de investigación agrupadas en cinco fases: I) definición de objetivos y planificación para la restauración; II) obtención de propágulos; III) optimización del establecimiento de plántulas; IV) facilitación del crecimiento y sobrevivencia de plántulas en campo; y V) resiliencia y sostenibilidad del ecosistema en restauración y su integración con el resto del paisaje. A diferencia de la propuesta original, en la fase I no se incluyeron solamente ecosistemas de referencia, sino también ecosistemas degradados. Además, se transformaron las preguntas en temas para hacer menos restrictiva la clasificación de las publicaciones que encontramos.

Para identificar vacíos en términos de cobertura geográfica, las publicaciones se clasificaron de acuerdo con su región natural y ecosistema. Debido a que los autores no utilizan un único sistema para denominar el ecosistema en el cual se desarrolló la investigación (o a veces no lo mencionan), fue necesario utilizar la altitud y los datos climáticos reportados, así como referencias de apoyo (por ejemplo: Cleef *et al.*, 1984 y Pizano y García, 2014). Se utilizó un análisis χ^2 de bondad de ajuste para establecer si las fases se han abordado con la misma frecuencia y para establecer si en cuanto a número de estudios las regiones tenían similar representatividad. Con el mismo análisis se estableció si la

proporcionalidad entre fases era similar al clasificar las publicaciones por ecosistemas y por regiones. Dado que el análisis exige una distribución normal de las proporciones, fue necesario agrupar las categorías que tuvieron un menor número de casos. De este modo, se comparó el bosque subhúmedo y húmedo de cordillera contra un grupo conformado por todos los demás ecosistemas; igualmente, se comparó la región Andina con un grupo conformado por todas las demás regiones.

RESULTADOS

Encontramos un total de 143 estudios publicados a partir de 1996; siendo la mayoría (79 %) publicados a partir de 2010 (figura 1; anexo 1). Dado que 21 artículos abordaron dos o más temas, el análisis se hizo sobre 167 casos. Las fases tratadas con mayor frecuencia fueron la “Definición de objetivos y planificación para la restauración”, junto con “Resiliencia, sostenibilidad e integración del ecosistema en restauración”, con 59 y 42 casos, respectivamente. Las otras tres fases: “Obtención de propágulos”, “Establecimiento de plántulas a partir de semillas” y

“Crecimiento y sobrevivencia de plántulas en campo”, se abordaron con menor frecuencia, en 20, 22 y 23 casos, respectivamente (figura 2). “Establecimiento de plántulas a partir de semillas” fue la fase que se trató con mayor frecuencia en aquellos artículos que exploraron más de un tema (10 estudios). “Almacenamiento de semillas” y “Condiciones físicas, químicas e hidrológicas del sustrato y su manipulación” fueron los temas más recurrentes con los que se combinó “Establecimiento” en este tipo de estudios.

Para definir objetivos y planificar la restauración, la mayoría de casos trataron sobre la caracterización de ecosistemas tanto de referencia como degradados. En segundo lugar, se identificaron especies de plantas con potencial para la restauración mientras que unos pocos casos abordaron la dinámica sucesional e identificación de ecosistemas de referencia, respectivamente. Dentro de los casos que registraron el impacto de la restauración en la resiliencia y sostenibilidad del ecosistema, la mayoría midieron procesos ecosistémicos y reportaron la recuperación de fauna y recursos asociados,; mientras que un número considerablemente menor se centró en el potencial de regeneración (tabla 1).

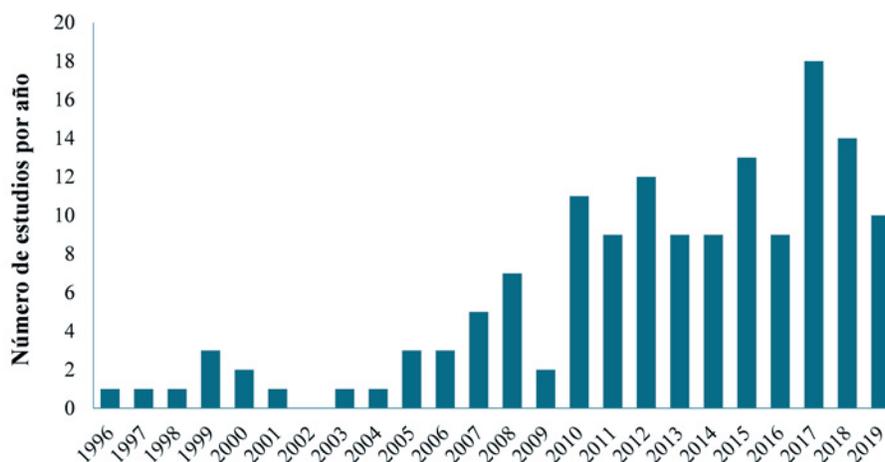


Figura 1. Distribución del número de estudios publicados que abordan aspectos prácticos de ecología de la restauración en Colombia (total estudios n = 143).

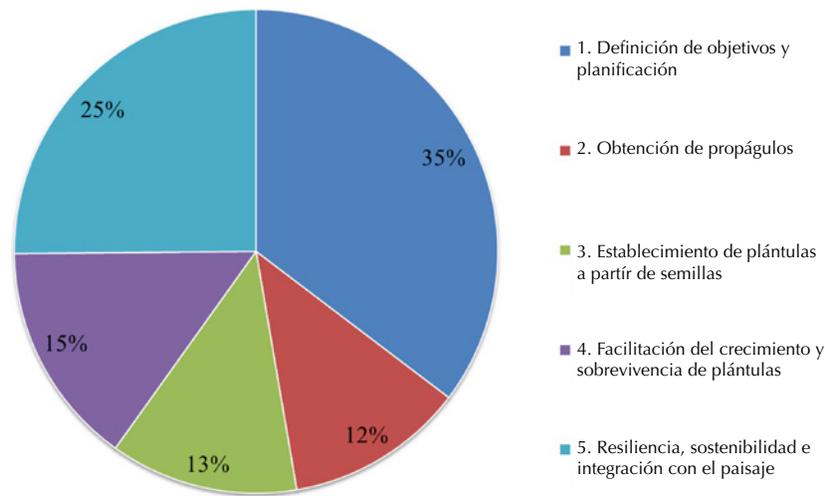


Figura 2. Distribución porcentual del número de estudios en fases de investigación práctica en ecología de la restauración en Colombia publicados entre 1996 y junio de 2019 (n= 143 artículos, 21 de estos abarcan más de una fase o tema para un total de 167 casos).

Tabla 1. Fases y temas de importancia práctica abordados en artículos de ecología de la restauración en Colombia publicados hasta junio de 2019

Fase	Tema abordado	Número de estudios
Definición de objetivos y planificación para la restauración.	Caracterización de ecosistemas de referencia o degradados.	33
	Especies con uso potencial para la restauración.	14
	Dinámica sucesional.	8
	Identificación de ecosistemas de referencia.	4
Obtención de propágulos.	Genética.	5
	Bancos de semillas.	4
	Contribución de la regeneración natural y a la dispersión.	1
	Almacenamiento de semillas.	3
	Oferta espacio-temporal de semillas.	3
Optimización del establecimiento de plántulas.	Mejora del aporte de la regeneración natural y de la dispersión.	4
	Manejo de condiciones ambientales para inducir germinación sin considerar condición interna de la semilla en términos fisiológicos, genéticos o anatómicos.	12
	Tratamiento a plántulas o estacas antes de plantar.	5
	Momento de siembra y manipulación del sitio para optimizar germinación y establecimiento.	4
Facilitación del crecimiento y supervivencia de plántulas en campo.	Condiciones físicas, químicas e hidrológicas del sustrato y su manipulación.	9
	Condiciones biofísicas por encima del suelo y su manipulación	6
	Incidencia y uso de biota edáfica.	5
	Amenazas a la restauración y su manejo o mitigación.	3
	Patrones de plantación o siembra para optimizar desempeño de plántulas.	2
Resiliencia, sostenibilidad e integración del ecosistema en restauración con el resto del paisaje.	Procesos ecosistémicos.	20
	Recuperación de fauna, hábitats y recursos asociados.	17
	Potencial de regeneración.	5

La proporción de publicaciones es similar para genética de poblaciones, bancos de semillas y mejoras al aporte de la regeneración y la dispersión dentro de la fase de obtención de propágulos. El almacenamiento y oferta espacio-temporal de semillas, junto con la evaluación de la regeneración y la dispersión, se abordaron en menor proporción. Germinación controlando factores ambientales es el tema predominante para la fase de optimización del establecimiento de plántulas. Dentro de esta fase también aparecen, pero en menor frecuencia, el tratamiento de las plántulas o estacas antes de plantar y manipulación del sitio de siembra para optimizar la germinación y el establecimiento. La evaluación y manipulación del sustrato es el tema más recurrente dentro de las publicaciones que exploraron la facilitación del desempeño de plántulas en campo. Otras publicaciones relacionadas con este tema se centraron en las condiciones microclimáticas (por ejemplo: competencia por luz y clima), así como incidencia y uso de biota edáfica, amenazas a la restauración y patrones de siembra y plantación (tabla 1).

Casi la mitad de temas propuestos por Miller *et al.* (2017), dentro de su marco para investigar aspectos prácticos de la restauración, no se han abordado en las publicaciones sobre restauración de ecosistemas terrestres colombianos (tabla 2). En cuanto a la obtención de propágulos, no se encontraron estudios sobre el uso de horizontes orgánicos de suelo y sus técnicas de almacenaje y transferencia. Tampoco hay publicaciones acerca de mejoramiento de producción de semillas en poblaciones naturales, producción de semillas *ex situ* ni técnicas de propagación asexual. No hay publicaciones sobre técnicas para superar dormancia orgánica (Baskin y Baskin, 2014) ni publicaciones sobre técnicas de siembra como parte de la optimización en el establecimiento de plántulas. Tampoco se han publicado trabajos que asocien la modificación de la topografía o la modificación de la superficie del suelo con el crecimiento y sobrevivencia de material plantado. Así mismo, aún no se publican estudios que evalúen la resiliencia

en ecosistemas en restauración después de disturbios (o bajo estrés ambiental) ni se han publicado trabajos sobre el papel de polinizadores en la producción y viabilidad de semillas en estos sitios. Otro aspecto sobre el que no encontramos publicaciones es el posible impacto o el impacto real de un sitio en restauración en la matriz paisajística circundante (tabla 2).

Como ocurrió con las fases y temas propuestos por Miller *et al.* (2017), la cobertura geográfica de las publicaciones sobre ecología de la restauración en Colombia revela sesgos. El 73 % de los estudios fue desarrollado en la región Andina; más de la mitad de ellos se realizó en bosques de cordillera sub-húmedos y húmedos mientras que los restantes fueron en bosque seco, páramo, bosque húmedo tropical, xerofítico andino y ronda de humedal. Los dos últimos en altitud superior a 2250. El Caribe es la segunda región con más publicaciones, pero con un porcentaje muy inferior al de la Andina; 22 estudios equivalentes al 15 % del total, la mayoría de ellos en bosque seco y en manglar. Los otros corresponden a dunas costeras y bosque húmedo tropical. El agregado para la Amazonia, la Orinoquía y la región Pacífico corresponde tan solo a 10 publicaciones (7 %): para bosque húmedo tropical, altillanura y manglar. Cuatro de los 143 estudios se hicieron tanto en la región Andina así como en la Caribe al analizar la diversidad genética de poblaciones distantes de plantas en el bosque seco (tabla 3).

El análisis χ^2 de bondad de ajuste confirmó que las fases propuestas por el marco de trabajo adoptado no se han abordado con la misma frecuencia ($\chi^2 = 34.5$; $p < 0.0001$; g.l.= 4) y que existe un desbalance marcado en la frecuencia con la que se han hecho estudios en las diferentes regiones ($\chi^2 = 298.82$; $p < 0.0001$; g.l.= 4). La proporcionalidad en que se han abordado las cinco fases en los bosques subhúmedos y húmedos de cordillera es similar a la proporcionalidad con la que se han abordado en los otros ecosistemas ($\chi^2 = 6.44$; $p = 0.1684$; g.l.= 4). Por el contrario, la frecuencia con la que se han abordado en la región Andina

Tabla 2. Temas de importancia práctica no abordados por estudios sobre ecología de la restauración en Colombia publicados hasta junio de 2019

Fase	Tema no abordado
Definición de objetivos y planificación para la restauración.	Ninguno.
Obtención de propágulos.	<p>Efecto del origen de los propágulos para minimizar impactos negativos a la restauración. Mezclar genotipos de diferentes sitios (para incrementar potencial evolutivo) <i>versus</i> utilizar genotipos locales (para maximizar adaptación). Incidencia de la endogamia o la baja diversidad genética de la población de origen en el éxito de la restauración.</p> <p>Incidencia de la mezcla de genotipos de poblaciones diferentes en el éxito de la restauración. Optimización del uso de horizontes orgánicos de suelo considerando su cosecha, almacenaje y transferencia. Técnicas para incrementar la producción de semillas viables en poblaciones naturales. Productividad en cultivos para producir semillas <i>versus</i> diversidad genética y viabilidad de las semillas. Técnicas de propagación no sexual para especies no propagables por semilla.</p>
Optimización del establecimiento de plántulas.	<p>Técnicas para acortar período de dormancia orgánica evaluando condición fisiológica, bioquímica, genética y anatómica de las semillas. Técnicas de siembra (incluyendo mecanización y recubrimientos de semillas). Genética.</p>
Facilitación del crecimiento y sobrevivencia de plántulas en campo.	<p>Modificaciones de la topografía. Modificación de la superficie (a través de arado, acolchados cultivos para cubrir el suelo, etc.) Genética.</p>
Resiliencia, sostenibilidad e integración del ecosistema en restauración con el resto del paisaje.	<p>Resiliencia a disturbios y estrés ambiental en sitios en restauración. Efecto del tamaño de las poblaciones y su diversidad genética sobre la producción y viabilidad de las semillas. Manejo de polinizadores para mejorar la producción y viabilidad de semillas en áreas en restauración. Localización, orientación y tamaño del sitio a restaurar para mejorar conectividad, integración con el paisaje circundante e influencia de la restauración a escala de paisaje.</p>

difiere ligeramente de la frecuencia con la que se han abordado en las otras regiones ($\chi^2 = 9.58$; $p = 0.0481$; g.l.= 4) (tabla 3). El porcentaje de estudios de establecimiento de plántulas en la región Andina es casi el doble del porcentaje para las otras regiones (15 % vs. 8 %). En las otras regiones es un poco más alto el porcentaje con el que se ha abordado la evaluación de ecosistemas en restauración comparado con la Andina (29 % *versus* 24 %).

DISCUSIÓN

Los análisis de la literatura científica (como el que acá se presentó) son importantes para entender la amplitud o el alcance de un campo científico como la ecología de la restauración (Borgman y Furner, 2002; Song y Zhao, 2013). Los resultados obtenidos identifican los aspectos que se han abordado con mayor o menor frecuencia a nivel

Tabla 3. Estudios de ecología de la restauración en regiones y ecosistemas de Colombia publicados hasta junio de 2019

Región	Ecosistema	Número de estudios
Amazonas	Bosque húmedo tropical.	3
Andina	Bosque de cordillera subhúmedo-húmedo.	71
	Bosque seco tropical.	14
	Páramo.	10
	Bosque húmedo tropical.	7
	Xerofítico andino.	2
	Ronda humedal.	1
	Indeterminado.	2
Andina/ Caribe	Bosque seco tropical.	4
Caribe	Bosque seco tropical.	10
	Manglar.	9
	Dunas.	1
	Bosque húmedo tropical.	2
Orinoquía	Altillanura.	2
Pacífico	Bosque húmedo tropical.	4
	Manglar.	1

nacional e identifican aquellos que todavía no se han explorado. También sugieren que la investigación asociada a restauración ecológica en Colombia es insuficiente si se considera la extensión de la degradación y la megadiversidad involucrada (Etter *et al.*, 2008). Existe, además, un sesgo marcado en las fases y temas abordados, así como en las regiones y ecosistemas estudiados. El 60 % de los casos revisados corresponden solamente a dos de las cinco fases del marco de trabajo adoptado. Así mismo, solo cuatro temas de un total de 39 que propone el marco adoptado (incluyendo genética), tienen presencia en el 51 % del total de casos. La región Andina concentra el 73 % de publicaciones. El número de publicaciones (143) y los sesgos temáticos y geográficos sugieren, entonces, que la información científica local con la que cuentan

las iniciativas de restauración en Colombia es aún escasa.

La producción científica nacional en restauración ecológica o en ecología de la restauración es comparable a la de otros países latinoamericanos como Argentina (105 artículos entre 1996 y 2013, según Rovere, 2013) y México (160 artículos entre 1995 y 2016, según López-Barrera *et al.*, 2017). En contraste, la producción es ostensiblemente inferior a la de los tres primeros países con mayor número de publicaciones: Estados Unidos (1248), China (819) y Australia (339) (Romanelli *et al.*, 2018). Las diferencias entre estos países y los países latinoamericanos son proporcionales al porcentaje del PIB invertido en investigación (Banco Mundial, 2019). Esta brecha ratifica que una de las alternativas de financiación que se debe fortalecer para que haya más investigación en Colombia es el establecimiento de alianzas entre autoridades ambientales, academia, ONG y empresas privadas; tal como se ha hecho en el marco de algunas compensaciones ambientales por construcción de infraestructura y explotación minera. Sin embargo, es necesario mencionar que uno de los desafíos frecuentes en este escenario de gestión es la asignación de suficientes recursos y tiempo para investigación y monitoreo. De otra parte, durante la pesquisa se constató la existencia de aproximadamente 100 tesis de pregrado y posgrado, lo cual sugiere que existe trabajo y potencial para incrementar significativamente el número de publicaciones.

El 60 % de los casos que evaluamos aborda la definición de objetivos de la restauración y la medición de su éxito. Al revisar los temas que conforman estas dos fases del marco de trabajo, es evidente que estos trabajos tienen un énfasis más descriptivo que experimental; contrario a las tres fases que han sido menos exploradas: la obtención de propágulos, el establecimiento de plántulas y la facilitación del desempeño de estas plántulas. Si bien el tratamiento de temas predominante incluye aspectos esenciales como la caracterización de ecosistemas (Perkins y Leffler, 2018) y el monitoreo

de indicadores de escala pequeña (Aguilar-Garavito y Ramírez, 2015), creemos que la investigación en restauración debe adoptar con mayor frecuencia un enfoque basado en experimentos. Esta decisión implica la comparación metódica de tratamientos y tecnologías que conduzca a la identificación de estrategias costo-efectivas cuya aplicación contribuiría a su vez a superar grandes retos; entre otros, la escasez de recursos financieros, la necesidad de ampliar significativamente la cobertura espacial de los proyectos y el ajuste de políticas gubernamentales identificados por Murcia *et al.* (2016).

Una de las fases menos estudiadas según nuestro análisis fue la obtención de propágulos. En la consecución de costo-efectividad, un tema de la mayor relevancia dentro de esta fase es la restauración pasiva (“Contribución de la regeneración natural y la dispersión” y “Mejora del aporte de la regeneración natural y de la dispersión” en el marco adoptado). No obstante, solo en 10 casos se trató dicho tema, incluyendo aquellos de la fase cinco agrupados bajo el título “Potencial de regeneración”. Es necesario que se tipifique a través de investigación dónde es viable esta estrategia, al considerar variables como historia de uso y cercanía de vegetación remanente (Chazdon, 2014), junto con abundancia de árboles dentro del sitio a restaurar (Esquivel *et al.*, 2008). Una vez se establezca que existe una oferta de propágulos tanto *in situ* (Williams-Linera *et al.*, 2016), así como vía dispersión (Robinson y Handel, 2000), es necesario investigar sobre el uso de estrategias complementarias entre sí; como, por ejemplo, la erradicación sucesiva de plantas invasoras (Gaertner *et al.*, 2012; Kettenring y Reinhardt-Adams, 2011) y el uso de perchas tanto naturales como artificiales (Reid y Holl, 2013).

En tan solo 20 casos (13 %) se exploró el establecimiento de plántulas. Si bien la siembra de semillas es menos efectiva que plantación en términos de número de plántulas sobrevivientes, sus costos más bajos y la consecución de resultados más rápidos hacen que sea una opción a tener en cuenta (Masareli *et al.*, 2019), así sea como estrategia complementaria

a la plantación (Ceccon *et al.*, 2015). Dentro de esta fase del marco de trabajo se propone como prioritario el abordaje de los temas “Momento de siembra y manipulación del sitio junto” con “Técnicas de siembra”, pues implican la superación de barreras que están presentes en la mayoría de escenarios de restauración de ecosistemas terrestres. Dichas barreras son: desecación de la semilla, pudrición, depredación y competencia con vegetación pre-existente (Reid y Holl, 2013). La adopción de siembra supone conseguir suficientes semillas que sean viables, que estén sanas, que sean diversas genéticamente y que no se vea afectada la población de origen como resultado de la colecta. Estos requisitos reiteran que se necesita más investigación en los temas de la fase obtención de propágulos.

La publicación de investigaciones sobre el crecimiento y sobrevivencia de plántulas en campo también ha sido escasa (15 %, es decir, 24 casos). Este déficit llama la atención, considerando que la principal estrategia de restauración a nivel nacional es la plantación de árboles. Los aspectos o temas que propone Miller *et al.* (2017) en esta fase incluyen entender y manejar el suelo a partir de sus características físicas, químicas y biológicas. Así como también el manejo del suelo concebido como sustrato, en el que es necesario explorar aspectos como arado, acolchados, herbáceas no agresivas que compitan con gramíneas invasoras y modificación de la topografía. La investigación que vincula el suelo y el desempeño de material plantado es aún más apremiante si se tienen en cuenta hallazgos recientes en el ámbito local, los cuales sugieren que el abordaje de suelos en proyectos de restauración en Colombia presenta falencias conceptuales y técnicas que amenazan el éxito de esta práctica (Durán-Deñás, 2018). Otro componente importante de esta fase sobre desempeño de plántulas (que no se menciona pero que está implícito) es la interacción entre los individuos plantados, así como entre estos y la vegetación preexistente. Dicha interacción se presenta tanto a nivel subterráneo como aéreo (Cahill, 1999), en concordancia con los temas de la fase. Una manera de abordar

este componente sería la experimentación con los patrones espaciales y composicionales de las plantaciones o siembras, junto con experimentación en el manejo de la vegetación preexistente.

En las publicaciones encontradas, el componente genético no se ha tratado más allá de la necesaria caracterización de poblaciones de plantas con potencial para la restauración. De acuerdo con el marco adoptado y con autores como [Kettenring et al. \(2014\)](#), es necesario establecer el efecto de la diversidad genética en el éxito de la restauración, no solo en el largo plazo sino también en etapas intermedias del proceso (como el establecimiento de plántulas, su crecimiento y sobrevivencia). Seguir esta recomendación es muy importante pues no siempre la diversidad genética está relacionada con indicadores de corto o mediano plazo como el desempeño del material plantado o la formación de toda una cobertura vegetal. Se puede conformar un dosel con una o dos especies, cada una proveniente de una fuente semillera única; pero esto afectaría la sostenibilidad de la restauración en el largo plazo ([Thomas et al., 2014](#)), en relación con temas como cambio climático o viabilidad poblacional.

Aunque la fase cinco del marco de trabajo fue la segunda con más casos (41, de un total de 167), presenta vacíos que requieren investigación. Según el análisis realizado no se han hecho estudios para establecer si los ecosistemas en restauración son resilientes a disturbios o a estrés ambiental. La manipulación de disturbios sería poco probable en sitios en restauración, ya sea por restricciones legales o porque no se pueden controlar los agentes de disturbio. En este contexto, documentar científicamente los disturbios, sus efectos y la respuesta ecológica dependería tanto de la selección y medición oportuna de los indicadores así como de la aplicación de varios tratamientos que puedan tener una respuesta disímil frente a situaciones no siempre controlables como presencia de ganado, incendios, especies invasoras, entre otras. El mismo razonamiento valdría para reportar los efectos de episodios asociados con cambio climático.

Otro apartado de esta fase sobre el cual tampoco se ha publicado investigación es el efecto de la restauración a escala de paisaje o los efectos del paisaje sobre la restauración. Para tal fin es necesario considerar variables como el tamaño, la ubicación y el aporte a la conectividad del sitio en restauración; entendiendo que dichas variables a su vez inciden en procesos bióticos y abióticos que determinan la sostenibilidad ecosistémica de la intervención ([Menz et al., 2013](#)). Estos factores inciden, además, en una escala mayor a la del sitio en restauración en cuanto a funciones como flujos hidrológicos, dinámicas metapoblacionales, rango de acción de especies animales ([Shoo y Caterall, 2013](#)) y, en general, en los servicios ecosistémicos.

El análisis no solo muestra tendencias en los temas abordados, sino que también revela profundos sesgos en la distribución geográfica de las investigaciones. El 94 % fueron realizadas en las regiones Andina y Caribe, lo cual coincide parcialmente con la ejecución de proyectos ([Murcia y Guari-guata, 2014](#)). Si bien estas dos regiones presentan las mayores necesidades de restauración en términos de superficie degradada ([Ramírez et al., 2016](#)), también es cierto que la tasa y la severidad de la degradación durante los últimos años en las regiones restantes requiere mayor atención por parte de los investigadores. El avance de la minería y explotación maderera en el Pacífico ([Valois-Cuesta, 2016](#); [Meyer et al., 2019](#)), de la deforestación en la Amazonía ([Murad y Pearse, 2018](#)) y el avance de la agroindustria en la Orinoquía ([Cárdenas-Aguilera, 2018](#)) hacen imperativa la aplicación inmediata de un marco investigativo como el que presentamos en este artículo.

Junto con los vacíos de investigación detectados mediante este análisis bibliométrico, se destacan otros aspectos relativos al progreso de la ciencia y la práctica de la restauración de acuerdo con la literatura ([Holl, 2010](#) y [Holl, 2017](#)). El avance de la restauración no depende exclusivamente del abordaje de temas prioritarios como los considerados en este trabajo, sino que, además, obedece a la forma como se aborden dichos temas.

Idealmente, los proyectos tanto de investigación como de intervención deberían tener una cobertura espacial mayor que incluya suficiente heterogeneidad ambiental para llegar a conclusiones más contundentes. Así mismo, deben generar resultados que tengan importancia para diferentes audiencias: comunidades y autoridades locales, academia local y externa y quienes formulan las políticas. También es indispensable involucrar los diferentes actores en todas las etapas del proceso. Las recomendaciones desde la literatura también incluyen un período de seguimiento prolongado tanto para proyectos como para investigaciones. En tal sentido, se destaca que el rango de tiempo abarcado por los estudios que analizamos es lo suficientemente amplio como para asegurar que dicho requerimiento ha sido tenido en cuenta por quienes han publicado. El rango es de 0.75 a 80 años ($\bar{x} = 19.3$; $\sigma = 17.6$).

Aunque el alcance del análisis realizado cubre solamente aspectos ecológicos, resulta fundamental armar e implementar una agenda de investigación que cubra aspectos económicos y sociales. No se trata solamente de reportar con mucha mayor frecuencia los costos y los beneficios económicos asociados a la restauración, tal como se ha hecho con sistemas silvopastoriles (Murgueitio *et al.*, 2011 y Calle *et al.*, 2013) y con plantaciones forestales no nativas (Brancalion *et al.*, 2019), sino también de establecer la contribución de la restauración a la generación de empleo, el PIB, la seguridad alimentaria, almacenamiento de carbono y la mitigación de la pobreza (Ding *et al.*, 2017). Así mismo, resulta prioritario evaluar la incidencia de la participación comunitaria en las diferentes etapas de los procesos; incluyendo monitoreo y creación de línea base a partir de ciencia ciudadana.

Finalmente, es necesario buscar estrategias de divulgación complementarias a la publicación de investigaciones en revistas científicas indexadas, dado que no todos los actores tienen acceso a este tipo de información. Por tal motivo, es necesario divulgar y discutir los resultados a través de medios como talleres, programas de extensión y

redes sociales (Matzek *et al.*, 2014). Posiblemente, la interacción frecuente y dialogante entre los diferentes actores sea preferible a la generación de manuales y guías debido a que lo primero puede ser más efectivo al enfrentar los desafíos únicos de cada proyecto en lo social, lo político y lo ecológico. Por esta misma razón, se enfatiza en que el conocimiento a compartir debe ser de origen predominantemente local, emulando iniciativas que han integrado exitosamente ciencia, práctica y diversidad de actores como el Pacto de la Mata Atlántica en Brasil (Melo *et al.*, 2013) y el Programa Gondwana Link en el suroeste de Australia (Bradby *et al.*, 2016).

CONCLUSIÓN

Las investigaciones que versan sobre la ecología de la restauración, analizadas desde un marco de practicidad, han contribuido al desarrollo de la restauración ecológica en Colombia. No obstante, esta contribución resulta insuficiente al tener en cuenta la magnitud de la degradación, la cantidad de publicaciones y los sesgos temáticos y geográficos. En cuanto a los temas, las publicaciones han abordado principalmente la caracterización de ecosistemas, así como el registro y análisis de algunos indicadores de éxito a pequeña escala.

Si bien se trata de aspectos esenciales en la práctica de la restauración, también es necesario explorar temáticas de investigación en las cuales se optimice la obtención de propágulos y el uso de estrategias como la siembra de semillas y la plantación. Esto requiere que se adopte de manera más frecuente (pero no exclusiva) un enfoque experimental, el cual se diferencie del enfoque más descriptivo que ha predominado a la fecha. En este contexto, el abordar temas como diversidad genética, técnicas de siembra, relación suelo-planta, interacción planta-planta y función de la restauración a escala de paisaje aportaría una contribución significativa al diseño de estrategias más costo-efectivas, tanto en el corto como en el

largo plazo. La implementación y monitoreo de esas estrategias aportaría, a su vez, a la superación de grandes desafíos; entre los que están la poca disponibilidad de recursos económicos, la necesidad de mayor cobertura espacial de los proyectos y el ajuste de políticas.

Por otro lado, se ha investigado con mucha mayor frecuencia en las regiones Andinas y Caribe, por lo que se identifica que ello va en consecuencia con el grado de transformación de dichas regiones. Sin embargo, la tasa de deterioro actual y la severidad de las alteraciones hacen necesario que se haga más investigación en las regiones de la Amazonia, Orinoquia y Pacífico, teniendo como base el marco a partir del cual se desarrolló el presente trabajo.

Los resultados obtenidos y la consideración del marco de trabajo utilizado como soporte son un paso importante para definir una agenda de investigación aplicada cuyo desarrollo informe sobre cómo restaurar ecosistemas más diversos, sostenibles y resilientes. Del mismo modo, también apuntan a ser un punto de encuentro entre la academia y otros actores, en el que unos y otros puedan identificar cuáles son los insumos que se necesitan desde la ciencia para la correcta ejecución de cada una de las etapas de un proceso de restauración.

AGRADECIMIENTOS

A Tatiana Sanjuan por sus comentarios sobre la estructura del manuscrito.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses

CONTRIBUCIÓN POR AUTOR

J.G. concibió la investigación, hizo los análisis definitivos y redactó el manuscrito. L.R. y J.C.

colectaron la información e hicieron los análisis preliminares. J.I.B.C. y W.R. revisaron y retroalimentaron versiones previas de este texto.

REFERENCIAS

- Aguilar-Garavito, M. y Ramírez, W.** (eds.) (2015). *Monitoreo a procesos de restauración ecológica aplicado a ecosistemas terrestres*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Aguilar-Garavito, M., Schlesinger, S., Ramírez, W., Hernández, A. y Franco, A.** (2017). La restauración ecológica. Una mirada política y normativa. En L. A. Moreno, G. I. Andrade y L. F. Ruíz-Contreras (eds.), *Biodiversidad 2016. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia* (pp. 68-69.). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Banco Mundial** (2019). *Research and Development Expenditure (percentage of gross domestic product)*. https://data.worldbank.org/indicador/gb.xpd.rsdv.gd.zs?name_desc=false
- Baskin, C. C. y Baskin, J. M.** (2014). *Seeds: ecology, biogeography, and, evolution of dormancy and germination*. Elsevier.
- Borgman, C. L. y Furner, J.** (2002). Scholarly communication and bibliometrics. *Annual Review of Information Science and Technology*, 36(1), 2-72.
- Bradby, K., Keesing, A. y Wardell-Johnson, G.** (2016). Gondwana Link: connecting people, landscapes, and livelihoods across southwestern Australia. *Restoration Ecology*, 24(6), 827-835. <https://doi.org/10.1111/rec.12407>
- Brancalion, P. H., Amazonas, N. T., Chazdon, R. L., van Melis, J., Rodrigues, R. R., Silva, C. C., Sorcini, T.B. y Holl, K. D.** (2019). Exotic eucalypts: from demonized trees to allies of tropical forest restoration? *Journal of Applied Ecology*. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13513>
- Burbidge, A. H., Maron, M., Clarke, M. F., Baker, J., Oliver, D. L. y Ford, G.** (2011). Linking science and practice in ecological research and

- management: how can we do it better? *Ecological Management & Restoration*, 12(1), 54-60. <https://doi.org/10.1111/j.1442-8903.2011.00569.x>
- Cabin, R. J., Clewell, A., Ingram, M., McDonald, T. y Temperton, V.** (2010). Bridging restoration science and practice: results and analysis of a survey from the 2009 society for ecological restoration international meeting. *Restoration Ecology*, 18(6), 783-788. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2010.00743.x>
- Cahill Jr., J. F.** (1999). Fertilization effects on interactions between above-and belowground competition in an old field. *Ecology*, 80(2), 466-480. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1999\)080\[0466:FEOIBA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1999)080[0466:FEOIBA]2.0.CO;2)
- Calle, Z., Murgueitio, E., Chará, J., Molina, C. H., Zuluaga, A. F. y Calle, A.** (2013). A strategy for scaling-up intensive silvopastoral systems in Colombia. *Journal of Sustainable Forestry*, 32(7), 677-693. <https://doi.org/10.1080/10549811.2013.817338>
- Cárdenas-Aguilera, J. F.** (2018). *Aproximación a la producción agroindustrial en la Orinoquía: el caso de la soya (Glycine max) en el municipio de Puerto López-Meta* (tesis maestría). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. <http://hdl.handle.net/10554/34348>
- Ceccon, E., González, E. J. y Martorell, C.** (2016). Is direct seeding a biologically viable strategy for restoring forest ecosystems? Evidences from a Meta-analysis. *Land Degradation & Development*, 27(3), 511-520. <https://doi.org/10.1002/ldr.2421>
- Chazdon, R. L.** (2014). *Second growth: the promise of tropical forest regeneration in an age of deforestation*. University of Chicago Press.
- Chazdon, R. L., Brancalion, P. H., Lamb, D., Laestadius, L., Calmon, M. y Kumar, C.** (2017). A policy-driven knowledge agenda for global forest and landscape restoration. *Conservation Letters*, 10(1), 125-132. <https://doi.org/10.1111/conl.12220>
- Cleef, A. M., Rangel, O., van der Hammen, T. y Jaramillo, R.** (1984). La vegetación de las selvas del transecto Buritaca. *Studies on tropical Andean ecosystems*, 2, 267-407.
- Ding, H., Faruqi, S., Wu, A., Altamirano, J., Anchondo, O., Verdone, M., Zamora, R., Chazdon, R. y Vergara, W.** (2017). *Roots of prosperity. The economics and finance of restoring land*. World Resources Institute.
- Durán-Dueñas, J. C.** (2018) *Análisis Ambiental del Suelo en Proyectos de Restauración Ecológica de Ecosistemas Terrestres en Colombia (2003-2016)* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/68827>
- Esquivel, M. J., Harvey, C. A., Finegan, B., Casanoves, F. y Skarpe, C.** (2008). Effects of pasture management on the natural regeneration of neotropical trees. *Journal of Applied Ecology*, 45(1), 371-380. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01411.x>
- Etter, A., McAlpine, C. y Possingham, H.** (2008). Historical patterns and drivers of landscape change in Colombia since 1500: a regionalized spatial approach. *Annals of the Association of American Geographers*, 98(1), 2-23.
- Gaertner, M., Fisher, J., Sharma, G. y Esler, K.** (2012). Insights into invasion and restoration ecology: time to collaborate towards a holistic approach to tackle biological invasions. *NeoBiota*, 12, 57.
- Giardina, C. P., Litton, C. M., Thaxton, J. M., Cordell, S., Hadway, L. J. y Sandquist, D. R.** (2007). Science driven restoration: a candle in a demon haunted world-response to Cabin (2007). *Restoration Ecology*, 15(2), 171-176. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2007.00227.x>
- Harris, J. A., Hobbs, R. J., Higgs, E. y Aronson, J.** (2006). Ecological restoration and global climate change. *Restoration Ecology*, 14(2), 170-176. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2006.00136.x>
- Holl, K. D.** (2010). Writing for an international audience. *Restoration Ecology*, 18(2), 135-137. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2009.00646.x>
- Holl, K. D.** (2017). Research Directions in Tropical Forest Restoration. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 102(2), 237-251. <https://doi.org/10.3417/2016036>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales** (2010). *Estudio nacional del agua 2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

- Kettenring, K. M. y Reinhardt-Adams, C.** (2011). Lessons learned from invasive plant control experiments: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 48(4), 970-979. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.01979.x>
- Kettenring, K. M., Mercer, K. L., Reinhardt-Adams, C. y Hines, J.** (2014). Application of genetic diversity-ecosystem function research to ecological restoration. *Journal of Applied Ecology*, 51(2), 339-348. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12202>
- López-Barrera, F., Martínez-Garza, C. y Ceccon, E.** (2017). Ecología de la restauración en México: estado actual y perspectivas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, 97-112. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.001>
- Masarei, M., Guzzomi, A. L., Merritt, D. J. y Erickson, T. E.** (2019). Factoring Restoration Practitioner Perceptions into Future Design of Mechanical Direct Seeders for Native Seeds. *Restoration Ecology*. <https://doi.org/10.1111/rec.13001>
- Matzek, V., Covino, J., Funk, J. L. y Saunders, M.** (2014). Closing the knowing-doing gap in invasive plant management: accessibility and interdisciplinarity of scientific research. *Conservation Letters*, 7(3), 208-215. <https://doi.org/10.1111/conl.12042>
- Melo, F. P., Pinto, S. R., Brancalion, P. H., Castro, P. S., Rodrigues, R. R., Aronson, J. y Tabarelli, M.** (2013). Priority setting for scaling-up tropical forest restoration projects: Early lessons from the Atlantic Forest Restoration Pact. *Environmental Science & Policy*, 33, 395-404. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.07.013>
- Menz, M. H., Dixon, K. W. y Hobbs, R. J.** (2013). Hurdles and opportunities for landscape-scale restoration. *Science*, 339(6119), 526-527. <https://doi.org/10.1126/science.1228334>
- Meyer, V., Saatchi, S., Ferraz, A., Xu, L., Duque, A., García, M. y Chave, J.** (2019). Forest degradation and biomass loss along the Chocó region of Colombia. *Carbon Balance and Management*, 14(1), 2.
- Miller, B. P., Sinclair, E. A., Menz, M. H., Elliott, C. P., Bunn, E., Commander, L. E., Dalziel, E., David, E., Davis, B., Erickson, T. D., Golos, P. J., Krauss, S. L., Lewandrowski, W., Ellery-Mayence, C., Merino-Martín, L., Merritt, D. J., Nevill, P.G., Phillips, R. D., Ritchie, A. L., Ruoss, S. y Stevens, J. C.** (2017). A framework for the practical science necessary to restore sustainable, resilient, and biodiverse ecosystems. *Restoration Ecology*, 25(4), 605-617. <https://doi.org/10.1111/rec.12475>
- Murad, C. A. y Pearse, J.** (2018). Landsat study of deforestation in the Amazon region of Colombia: Departments of Caquetá and Putumayo. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 11, 161-171. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.07.003>
- Murcia, C. y Guariguata, M. R.** (2014). La restauración ecológica en Colombia: tendencias, necesidades y oportunidades. *Documentos ocasionales 107*. Centro para la Investigación Forestal Internacional.
- Murcia, C., Guariguata, M. R., Andrade, Á., Andrade, G. I., Aronson, J., Escobar, E. M., Etter, A., Moreno, F. H., Ramírez, W. y Montes, E.** (2016). Challenges and prospects for scaling-up ecological restoration to meet international commitments: Colombia as a case study. *Conservation Letters*, 9(3), 213-220. <https://doi.org/10.1111/conl.12199>
- Murcia, C., Guariguata, M. R., Peralvo, M. y Gálmez, V.** (2017a). La restauración de bosques andinos tropicales: avances, desafíos y perspectivas del futuro. *Documentos Ocasionales 170*. <https://doi.org/10.17528/cifor/006524>
- Murcia, C., Guariguata, M. R., Quintero-Vallejo, E. y Ramírez, W.** (2017b). La restauración ecológica en el marco de las compensaciones por pérdida de biodiversidad en Colombia: Un análisis crítico. Vol. 176. Centro para la Investigación Forestal Internacional.
- Murgueitio, E., Calle, Z., Uribe, F., Calle, A. y Solorio, B.** (2011). Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management*, 261(10), 1654-1663. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.09.027>
- Perkins, L. B. y Leffler, A. J.** (2018). Conceptualizing ecological restoration: a concise and adaptable framework for researchers and practitioners. *Restoration Ecology*, 26(6), 1024-1028. <https://doi.org/10.1111/rec.12881>

- Pizano, C. y García, H.** (eds.) (2014). *El bosque seco tropical en Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Ramírez, W., Murcia, C., Guariguata, M., Thomas, E., Aguilar, M. y Isaacs, P.** (2016). Restauración ecológica. Los retos para Colombia. En M. F Gómez, L. A. Moreno, G. I. Andrade y C. Rueda (eds.), *Biodiversidad 2015. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia* (pp. 72-73). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Reid, J. L. y Holl, K. D.** (2013). Arrival \neq survival. *Restoration Ecology*, 21(2), 153-155. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2012.00922.x>
- Robinson, G.R. y Handel, S.N.** (2000). Directing spatial patterns of recruitment during an experimental urban woodland reclamation. *Ecological Applications*, 10, 174-188. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[0174:DSPORD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[0174:DSPORD]2.0.CO;2)
- Romanelli, J. P., Fujimoto, J. T., Ferreira, M. D. y Milanez, D. H.** (2018). Assessing ecological restoration as a research topic using bibliometric indicators. *Ecological Engineering*, 120, 311-320. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.06.015>
- Rovere, A. E.** (2015). Review of the science and practice of restoration in Argentina: increasing awareness of the discipline. *Restoration Ecology*, 23(5), 508-512. <https://doi.org/10.1111/rec.12240>
- Shoo, L. P. y Catterall, C. P.** (2013). Stimulating natural regeneration of tropical forest on degraded land: approaches, outcomes, and information gaps. *Restoration Ecology*, 21(6), 670-677. <https://doi.org/10.1111/rec.12048>
- Society for Ecological Restoration** (2004). *The SER international primer on ecological restoration*. Society for Ecological Restoration.
- Song, Y. y Zhao, T.** (2013). A bibliometric analysis of global forest ecology research during 2002-2011. *SpringerPlus*, 2(1), 204.
- Thomas, E., Jalonen, R., Loo, J., Boshier, D., Gallo, L., Cavers, S., Bordács, S., Smith, P. y Bozzano, M.** (2014). Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. *Forest Ecology and Management*, 333, 66-75. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.07.015>
- Valois-Cuesta, H.** (2016). *Sucesión primaria y ecología de la revegetación de selvas degradadas por minería en el Chocó, Colombia: bases para su restauración ecológica* (tesis de doctorado). Instituto Universitario de Investigación en Gestión Forestal Sostenible, Universidad de Valladolid, España. <https://doi.org/10.35376/10324/19089>
- Williams-Linera, G., Bonilla-Moheno, M. y López-Barrera, F.** (2016). Tropical cloud forest recovery: the role of seed banks in pastures dominated by an exotic grass. *New Forests*, 47(3), 481-496. <https://doi.org/10.1007/s11056-016-9526-8>

Anexo 1. Base de datos de casos evaluados

Año	Primer autor	Revista	Sección según Miller et al. (2017)
1996	Argüello	<i>Agronomía Colombiana</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
1997	Murcia	<i>Forest Ecology and Management</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
1998	Arens	<i>American Fern Society</i>	Definición de objetivos y planificación
1999	Elster	<i>Hydrobiologia</i>	Establecimiento de plántulas a partir de semillas
1999	Elster	<i>Hydrobiologia</i>	Facilitación del crecimiento y sobrevivencia de plántulas
1999	Aide	<i>Restoration Ecology</i>	Establecimiento de plántulas a partir de semillas
1999	Aide	<i>Restoration Ecology</i>	Facilitación del crecimiento y sobrevivencia de plántulas
1999	Perdomo	<i>Marine Pollution Bulletin</i>	Obtención de propágulos
2000	Posada	<i>Restoration Ecology</i>	Definición de objetivos y planificación
2000	Posada	<i>Restoration Ecology</i>	Establecimiento de plántulas a partir de semillas
2000	Elster	<i>Forest Ecology and Management</i>	Facilitación del crecimiento y sobrevivencia de plántulas
2001	Díaz	<i>Colombia Forestal</i>	Definición de objetivos y planificación
2003	Cortés	<i>Caldasía</i>	Definición de objetivos y planificación
2004	Cardona	<i>Colombia Forestal</i>	Obtención de propágulos
2005	Romero	<i>Colombia Forestal</i>	Definición de objetivos y planificación
2005	Lentijo	<i>Ornitología Colombiana</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2005	Groenendijk	<i>Plant Ecology</i>	Definición de objetivos y planificación
2006	Kattan	<i>Restoration Ecology</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2006	Benavides	<i>Journal of Tropical Ecology</i>	Definición de objetivos y planificación
2006	Galindo	<i>Acta Biológica Colombiana</i>	Facilitación del crecimiento y sobrevivencia de plántulas
2007	Castañeda	<i>Colombia Forestal</i>	Establecimiento de plántulas a partir de semillas
2007	Castañeda	<i>Colombia Forestal</i>	Establecimiento de plántulas a partir de semillas
2007	Guacaneme	<i>Universitas Scientiarum</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2007	Ochoa	<i>Universitas Scientiarum</i>	Facilitación del crecimiento y sobrevivencia de plántulas
2007	Roncancio	<i>Boletín Científico del Centro de Museos</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2007	Arbeláez	<i>Hydrobiologia</i>	Obtención de propágulos
2008	Montenegro	<i>Revista de Biología Tropical</i>	Definición de objetivos y planificación
2008	Cantillo	<i>Colombia Forestal</i>	Definición de objetivos y planificación
2008	Cantillo	<i>Colombia Forestal</i>	Obtención de propágulos
2008	Cantillo	<i>Colombia Forestal</i>	Obtención de propágulos
2008	Castaño	<i>Revista Facultad Nacional de Agronomía</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2008	Gruezmacher	<i>Colombia Forestal</i>	Facilitación del crecimiento y sobrevivencia de plántulas
2008	Montenegro	<i>Revista de Biología Tropical</i>	Definición de objetivos y planificación
2008	Pedraza	<i>Zootecnia Tropical</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2008	Arellano	<i>Caldasía</i>	Definición de objetivos y planificación
2009	Cantillo	<i>Colombia Forestal</i>	Definición de objetivos y planificación
2009	Montero	<i>Boletín Científico del Centro de Museos</i>	Definición de objetivos y planificación
2010	Yepes	<i>Revista Lasallista de Investigación</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje

2010	Yepes	<i>Revista de Biología Tropical</i>	Definición de objetivos y planificación
2010	Castellanos	<i>Acta Biológica Colombiana</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2010	González	<i>Colombia Forestal</i>	Obtención de propágulos
2010	Giraldo	<i>Boletín Científico del Centro de Museos</i>	Obtención de propágulos
2010	Rivera	<i>Avances Investigación en Ingeniería</i>	Facilitación del crecimiento y sobrevivencia de plántulas
2010	Medina	<i>Colombia Forestal</i>	Definición de objetivos y planificación
2010	Kattan	<i>Tropical Conservation Science</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2010	Ascuntar	<i>Boletín Científico del Centro de Museos</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2010	García	<i>Restoration Ecology</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2010	Barliza	<i>Acta Biológica Colombiana</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2011	Castro	<i>Acta Biológica Colombiana</i>	Definición de objetivos y planificación
2011	Fernández	<i>Boletín Científico del Centro de Museos</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2011	Bohórquez	<i>Boletín Científico del Centro de Museos</i>	Definición de objetivos y planificación
2011	Pérez	<i>Colombia Forestal</i>	Establecimiento de plántulas a partir de semillas
2011	Duarte	<i>Tecciencia</i>	Definición de objetivos y planificación
2011	Giraldo	<i>Insect Conservation and Diversity</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2011	Cortés	<i>Biodiversity and Conservation</i>	Definición de objetivos y planificación
2011	Domínguez	<i>Restoration Ecology</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2011	Domínguez	<i>Restoration Ecology</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2011	Del Valle	<i>Revista de Biología Tropical</i>	Definición de objetivos y planificación
2012	Camargo	<i>Acta Agronómica</i>	Definición de objetivos y planificación
2012	Solorza	<i>Luna Azul</i>	Facilitación del crecimiento y sobrevivencia de plántulas
2012	Chaves	<i>Revista de Investigación Agraria y Ambiental</i>	Definición de objetivos y planificación
2012	Arcila	<i>Biota Colombiana</i>	Definición de objetivos y planificación
2012	Hurtado	<i>Caldasía</i>	Establecimiento de plántulas a partir de semillas
2012	Méndez	<i>Revista Colombiana de Entomología</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2012	Henao	<i>Restoration Ecology</i>	Obtención de propágulos
2012	Restrepo	<i>Revista de Biología Tropical</i>	Definición de objetivos y planificación
2012	Mosquera	<i>Geoderma</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2012	Blanco	<i>Revista de Biología Tropical</i>	Definición de objetivos y planificación
2012	Ruiz	<i>Revista Gestión y Ambiente</i>	Definición de objetivos y planificación
2012	Melo	<i>Colombia Forestal</i>	Facilitación del crecimiento y sobrevivencia de plántulas
2013	Bohórquez	<i>Colombia Forestal</i>	Definición de objetivos y planificación
2013	Rojas	<i>Revista de Biología Tropical</i>	Establecimiento de plántulas a partir de semillas
2013	Gómez	<i>Ecological Engineering</i>	Facilitación del crecimiento y sobrevivencia de plántulas
2013	Flórez	<i>Revista de Biología Tropical</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2013	Betancourt	<i>Boletín de Investigación Marina Costera</i>	Definición de objetivos y planificación
2013	Rubiano	<i>Boletín Científico del Centro de Museos</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2013	Peña	<i>Forest Ecology and Management</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2013	Calle	<i>Restoration Ecology</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje

2013	Calle	<i>Restoration Ecology</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2013	Muñoz	<i>Agriculture Ecosystems and Environment</i>	Definición de objetivos y planificación
2014	Beltrán	<i>Biota Colombiana</i>	Facilitación del crecimiento y sobrevivencia de plántulas
2014	Hernández	<i>Biota Colombiana</i>	Facilitación del crecimiento y sobrevivencia de plántulas
2014	Acero	<i>Revista de la Academia Colombiana de Ciencias</i>	Definición de objetivos y planificación
2014	Acero	<i>Revista de la Academia Colombiana de Ciencias</i>	Establecimiento de plántulas a partir de semillas
2014	Avella	<i>Biota Colombiana</i>	Definición de objetivos y planificación
2014	García	<i>Revista de Investigación Agraria y Ambiental</i>	Definición de objetivos y planificación
2014	Ramírez	<i>Plant and Soil</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2014	Castro	<i>Caldasia</i>	Definición de objetivos y planificación
2014	Konnerup	<i>Estuarine, Coastal and Shelf Science</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2014	Sepúlveda	<i>Acta Biológica Colombiana</i>	Establecimiento de plántulas a partir de semillas
2015	Vargas	<i>Revista de Biología Tropical</i>	Establecimiento de plántulas a partir de semillas
2015	Vargas	<i>Revista de Biología Tropical</i>	Obtención de propágulos
2015	Posada	<i>Revista EIA</i>	Definición de objetivos y planificación
2015	Collantes	<i>Revista de Investigación Agraria y Ambiental</i>	Definición de objetivos y planificación
2015	Collantes	<i>Revista de Investigación Agraria y Ambiental</i>	Definición de objetivos y planificación
2015	Moreno	<i>Acta Biológica Colombiana</i>	Establecimiento de plántulas a partir de semillas
2015	Moreno	<i>Acta Biológica Colombiana</i>	Facilitación del crecimiento y sobrevivencia de plántulas
2015	Moreno	<i>Acta Biológica Colombiana</i>	Facilitación del crecimiento y sobrevivencia de plántulas
2015	Moreno	<i>Acta Biológica Colombiana</i>	Facilitación del crecimiento y sobrevivencia de plántulas
2015	Bocanegra	<i>Boletín Científico del Centro de Museos</i>	Definición de objetivos y planificación
2015	Bocanegra	<i>Boletín Científico del Centro de Museos</i>	Definición de objetivos y planificación
2015	López	<i>Luna Azul</i>	Definición de objetivos y planificación
2015	Gutierrez	<i>Colombia Forestal</i>	Establecimiento de plántulas a partir de semillas
2015	Ávila	<i>Acta Biológica Colombiana</i>	Establecimiento de plántulas a partir de semillas
2015	Ávila	<i>Acta Biológica Colombiana</i>	Facilitación del crecimiento y sobrevivencia de plántulas
2015	Alvarado	<i>Acta Biológica Colombiana</i>	Definición de objetivos y planificación
2015	Lizarazo	<i>Acta Biológica Colombiana</i>	Facilitación del crecimiento y sobrevivencia de plántulas
2015	Basto	<i>Universitas Scientiarum</i>	Establecimiento de plántulas a partir de semillas
2015	Herrera	<i>Environmental Entomology</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2015	Sierra	<i>Revista Facultad Nacional de Agronomía</i>	Facilitación del crecimiento y sobrevivencia de plántulas
2016	Fernández	<i>Colombia Forestal</i>	Definición de objetivos y planificación
2016	Manrique	<i>Bistua Revista de la Facultad de Ciencias</i>	Definición de objetivos y planificación
2016	Gallego	<i>Acta Biológica Colombiana</i>	Establecimiento de plántulas a partir de semillas

2016	Bare	<i>New Forest</i>	Facilitación del crecimiento y sobrevivencia de plántulas
2016	Hernández	<i>Tecnura</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2016	Posada	<i>Boletín Científico del Centro de Museos</i>	Definición de objetivos y planificación
2016	Basham	<i>Animal Conservation</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2016	Gonzalez del Pliego	<i>Biological Conservation</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2016	Valero	<i>Chemical and Biological Techniques in Agriculture</i>	Facilitación del crecimiento y sobrevivencia de plántulas
2017	Rojas	<i>Caldasia</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2017	Solorza	<i>Colombia Forestal</i>	Facilitación del crecimiento y sobrevivencia de plántulas
2017	Casallas	<i>Acta Biológica Colombiana</i>	Obtención de propágulos
2017	Valois	<i>Revista de Biología Tropical</i>	Obtención de propágulos
2017	Gutierrez	<i>Revista de Biología Tropical</i>	Establecimiento de plántulas a partir de semillas
2017	Gutierrez	<i>Revista de Biología Tropical</i>	Obtención de propágulos
2017	Rosselli	<i>Acta Biológica Colombiana</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2017	Ocampo	<i>Biota Colombiana</i>	Definición de objetivos y planificación
2017	Beltrán	<i>Colombia Forestal</i>	Facilitación del crecimiento y sobrevivencia de plántulas
2017	López	<i>Colombia Forestal</i>	Establecimiento de plántulas a partir de semillas
2017	Muñoz	<i>Colombia Forestal</i>	Obtención de propágulos
2017	Clavijo	<i>Producción Más Limpia</i>	Definición de objetivos y planificación
2017	Díaz	<i>Biota Colombiana</i>	Definición de objetivos y planificación
2017	Díez	<i>Colombia Forestal</i>	Establecimiento de plántulas a partir de semillas
2017	Thomas	<i>Biodiversity and Conservation</i>	Obtención de propágulos
2017	González	<i>Luna Azul</i>	Definición de objetivos y planificación
2017	Montealegre	<i>Ornitología Colombiana</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2017	Galindo	<i>Restoration Ecology</i>	Obtención de propágulos
2017	Galindo	<i>Restoration Ecology</i>	Facilitación del crecimiento y sobrevivencia de plántulas
2017	Cubillos	<i>Revista Facultad Nacional de Agronomía</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2017	Díez	<i>Colombia Forestal</i>	Facilitación del crecimiento y sobrevivencia de plántulas
2018	Vásquez	<i>Colombia Forestal</i>	Definición de objetivos y planificación
2018	Fuentes	<i>Acta Biológica Colombiana</i>	Definición de objetivos y planificación
2018	Fuentes	<i>Acta Biológica Colombiana</i>	Definición de objetivos y planificación
2018	Calderón	<i>Caldasia</i>	Establecimiento de plántulas a partir de semillas
2018	Bocanegra	<i>Tree Genetics & Genomes</i>	Obtención de propágulos
2018	Tulande	<i>Universitas Scientiarum</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2018	Castellanos	<i>Land Degradation & Development</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2018	Bocanegra	<i>Biological Conservation</i>	Obtención de propágulos
2018	Jaramillo	<i>Wetlands</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2018	Benavides	<i>Journal of Soil and Water Conservation</i>	Definición de objetivos y planificación
2018	Vargas	<i>Revista de Biología Tropical</i>	Establecimiento de plántulas a partir de semillas
2018	Vargas	<i>Revista de Biología Tropical</i>	Obtención de propágulos
2018	Calderón	<i>Caldasia</i>	Obtención de propágulos
2018	Peláez	<i>Restoration Ecology</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2018	Domínguez	<i>Sociobiology</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje

2018	Domínguez	<i>Geoderma</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje
2019	Avella	<i>Caldasia</i>	Definición de objetivos y planificación
2019	Suárez	<i>Caldasia</i>	Definición de objetivos y planificación
2019	Suárez	<i>Caldasia</i>	Definición de objetivos y planificación
2019	Bravo	<i>Revista de Investigación Agraria y Ambiental</i>	Definición de objetivos y planificación
2019	Quiroga	<i>Boletín Científico del Centro de Museos</i>	Definición de objetivos y planificación
2019	Torres	<i>Caldasia</i>	Definición de objetivos y planificación
2019	Bocanegra	<i>Caldasia</i>	Obtención de propágulos
2019	Díaz	<i>Caldasia</i>	Facilitación del crecimiento y sobrevivencia de plántulas
2019	Gracia	<i>Marine Pollution Bulletin</i>	Definición de objetivos y planificación
2019	Meyer	<i>Carbon Balance and Management</i>	Definición de objetivos y planificación
2019	Domínguez	<i>Ecological Indicators</i>	Resiliencia, sostenibilidad e integración con el paisaje

