

Investigación de restauración ecológica en bosques Andinos Colombianos: un análisis bibliométrico y vacíos de información

Ecological restoration research in Colombian Andean forests: a bibliometric analysis and information gap

Iván Camilo Rodríguez-González^{1*}

Resumen

La investigación es la base para el desarrollo de estrategias de restauración ecológica y por tanto es responsable por la frecuencia del fracaso de esta práctica. La investigación experimental se considera una de las herramientas más poderosas para establecer la causalidad de un fenómeno ecológico y proveer información relevante en términos de gestión de ecosistemas. En este trabajo se realizó una revisión del conocimiento científico específico en restauración ecológica de bosques andinos y alto andinos, con el fin de realizar un análisis a partir de indicadores bibliométricos de importancia (índice de Price, índice de aislamiento e índice de colaboración) e impacto científico (índice de inmediatez e índice de impacto de las publicaciones) y posteriormente, identificar los vacíos de información respecto a la investigación experimental. Se analizaron 186 documentos, entre artículos científicos, documentos técnicos, libros, secciones de libro y tesis de grado. En general, la investigación experimental, en términos de restauración ecológica en bosques andinos y alto andinos, solo se utiliza en el 17% de las investigaciones, con especial énfasis en estudios de flora. Los vacíos de información más grandes, derivados de la investigación experimental, se encuentran en los campos de la agroecología, la socioeconomía y los estudios multitemáticos o multidisciplinares. La mayoría de las investigaciones experimentales corresponden a documentos técnicos o tesis de grado, con resultados parciales o no publicados, por lo que el potencial de generación de conocimiento en restauración ecológica es alto, siempre y cuando las investigaciones se culminen y se realicen con suficiente rigor científico.

Palabras claves: diseño experimental, experimento, métodos de investigación, páramo

Abstract

Research is the basis for the development of ecological restoration strategies and therefore bears responsibility for the frequency of failure of this practice. Experimental research is considered one of the most powerful tools to establish the causality of an ecological phenomenon and to provide relevant information in terms of management of ecosystems. In this work, a review of the specific scientific knowledge on ecological restoration of Andean and high Andean forests was carried out, in order to perform an analysis based on bibliometric indicators of importance (Price index, isolation index and collaboration index) and scientific impact (Immediacy index and impact index of publications), and subsequently, to identify information gaps regarding experimental research. A total of 186 documents were analyzed, including scientific articles, technical papers, books, book sections and graduate theses. In general, experimental research in terms of ecological restoration in Andean and high Andean forests is only used in 17% of the research, with special emphasis on the study of flora. The largest information gaps, derived from experimental research, are found in the fields of agroecology, socioeconomics and multi-thematic or multidisciplinary studies. Most of the ex-

¹. Línea de Investigaciones en Restauración Ecológica, Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, Bogotá, Colombia.

* Autor para correspondencia: <icrodriguez@jbb.gov.co>

perimental research correspond to technical documents or degree thesis, with partial or unpublished results, so the potential for generating knowledge in ecological restoration is high if the investigations are completed and carried out with sufficient scientific rigor.

Keywords: experimental design, experiment, research methods, paramo

INTRODUCCIÓN

La restauración ecológica cada vez toma más fuerza y se considera la principal estrategia para combatir la problemática global en cuanto a la pérdida de la biodiversidad (Hobbs y Suding, 2009; Menz et al., 2013). Las herramientas de compensación creadas por los gobiernos locales, encaminadas a reparar los daños ecológicos generados por los proyectos de desarrollo en áreas con valores significativos de biodiversidad, a menudo son insuficientes y demuestran la necesidad de contar con estrategias de restauración de ecosistemas técnicamente precisas (Quétier et al., 2014). La aplicación de estas técnicas de restauración ecológica debe tener estándares muy altos para que sea realmente efectiva como estrategia de compensación de la biodiversidad o cumpla su objetivo de ayudar a la conservación de las comunidades y especies, tanto vegetales como de fauna. Estos estándares solo se pueden lograr con un considerable aporte científico (Burbidge et al., 2011; Menz et al., 2013); sin embargo, la evaluación de la efectividad de los métodos de restauración, de acuerdo con la literatura, son en su mayoría insuficientes para establecer por lo menos una línea metodológica (Palmer et al., 2010; Quétier et al., 2014).

Dado que la investigación es la base para el desarrollo de estrategias de restauración de ecosistemas, tiene cierta responsabilidad por la frecuencia en el fracaso de la práctica de esta disciplina. La investigación aplicada solo puede conducir a mejores resultados de restauración si aborda preguntas relevantes para la práctica (Cabin et al., 2010). Si bien se lleva a cabo investigación útil, en Colombia ocurre en ausencia de un marco actualizado que permita una generación de resultados aplicables, además de un evidente sesgo temático, en términos de investigación, que privilegia lo descriptivo sobre lo experimental. Según Parrado-Roselli et al. (2016), la mayoría de las publicaciones

asociadas a estudios de bosques y ecología en Colombia, se centran en descripciones de línea base, principalmente en composición y estructura tanto de flora como de fauna. Entendiendo que la investigación descriptiva, o no experimental, es fundamental para entender el estado actual de los ecosistemas, la investigación experimental se considera una de las herramientas más poderosas para establecer la causalidad de un fenómeno ecológico y permite generar conocimiento a partir de dinámicas cambiantes del entorno biofísico; además, provee herramientas costo efectivas para la resolución de algunos problemas ecológicos, que pueden ser utilizados como insumo para la planificación de estrategias de restauración ecológica.

Pese a que la mayoría de la información respecto a la ecología de bosques se concentra en la región Andina (Arbeláez-Cortés, 2013), con aproximadamente el 50% de las publicaciones en el tema de restauración ecológica (Garibello et al., 2021), es posible que la investigación en los bosques andinos y alto andinos, presente un patrón similar respecto al carácter descriptivo de la producción científica. Por esta razón, este trabajo pretende hacer una revisión del conocimiento científico relacionado con la restauración ecológica de bosques andinos y alto andinos, con el fin de realizar un análisis a partir de indicadores bibliométricos de importancia e impacto científico, además de identificar vacíos de información respecto a la investigación experimental.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se elaboró a partir del análisis bibliométrico de la producción científica referente a restauración ecológica en bosques andinos y altoandinos, específicamente en Colombia, para el cual se realizó la búsqueda sistemática de la información generada entre 2000 y 2020, incluyendo toda la producción

académica publicada en fuentes confiables a nivel nacional e internacional. Se definieron como criterios específicos de búsqueda palabras claves y posibles sinónimos utilizados alternativamente dentro del ámbito de estudio, por lo que se usó como ecuación de búsqueda:

(*restauración ecológica* OR *recuperación ecológica* OR *rehabilitación ecológica* OR *ecología de la restauración*) AND (*andino* OR *alto andino* OR *páramo* OR *bosque húmedo montano*) AND (*Colombia*).

Metadatos

De la bibliografía encontrada se obtuvieron los metadatos básicos correspondientes a: tipo de referencia, nombre del documento, número de autores, nombre del autor o autores, año de publicación, institución de vinculación el autor, metodología, ideas principales, área de estudio, ciudad, tipo de investigación (experimental o no experimental) y revista de publicación. Por otra parte, se extrajo el número de referencias y citas recuperadas de sitios web como Web Of Science, Scopus y Google Académico. Además, se evaluaron búsquedas individuales para cada combinación de palabras, con el fin de analizar cuales composiciones arrojaban más resultados acerca del tema de estudio.

Análisis de metadatos

Los datos recolectados fueron objeto de análisis descriptivos, a través de la aplicación de indicadores bibliométricos de importancia e impacto científico (Escorcia, 2008). Referente a los indicadores de importancia científica, se calculó el índice de Price, a fin de hallar el porcentaje de referencias con una antigüedad no menor a cinco años, en donde el año 0 es el año de publicación; el índice de aislamiento asociado a la cantidad de referencias que pertenecen al país de procedencia, determinado por el número de referencias del país versus el total de referencia y el índice de colaboración medido en porcentaje mediante el número de autores por artículo.

Para el caso de los indicadores de impacto científico basados en el análisis de citas, se consideró el indicador de impacto de las publicaciones, medido a partir del número de citas recibidas por publicaciones pos-

teriores, propuesto como un indicador de visibilidad de los artículos más que como de calidad científica y el índice de inmediatez, usado para medir la rapidez con la que un artículo es citado durante el año en el cual fue publicado.

Identificación de vacíos de información

Una vez clasificados los documentos entre Experimentales y No Experimentales, y de catalogar la información en grandes áreas del conocimiento (fauna, flora, suelo, paisaje, socioeconómico, hidrología, agroecología, ecología del fuego y multitemático), se identificaron aquellas temáticas en las cuales se realizaron menos investigaciones de tipo experimental. Posterior a esto, se analizaron las metodologías específicas con el fin de generar preguntas de investigación que cubran dichos vacíos de información.

RESULTADOS

Metadatos

A partir de la ecuación de búsqueda en los motores especializados, se obtuvo un total de 4206 resultados, sin embargo, solo cumplían con los parámetros exactos 92 documentos, lo que indica un porcentaje de aceptación del 2,3% (tabla 1). En este mismo sentido, al probar las diferentes combinaciones de palabras, se encontró una mayor cantidad de resultados para *Restauración ecológica + Páramo*, seguida de *Restauración ecológica + Bosque alto andino* (tabla 2).

Análisis de metadatos

A partir de la exploración en los motores de búsqueda y la indagación directa en diferentes entidades relacionadas con la investigación de bosques andinos en Colombia, se logró acceder a 186 documentos enfocados a la investigación de bosques andinos y alto andinos, incluidos los páramos, dentro del territorio nacional. Sobre los documentos previamente clasificados se extrajo la información principal, además de las variables para los indicadores bibliométricos. Como resultado inicial de la clasificación, se encontró que solamente el 17% de las investigaciones realizadas en el país, relacionadas con bosques andinos y alto andinos, son de tipo experimental (figura 1).

De las investigaciones analizadas, el 55% son documentos técnicos, los cuales, de acuerdo con la revisión, corresponden a trabajos sin publicar y/o documentos con resultados preliminares de una investigación. Es importante mencionar que la mayoría de estos documentos técnicos proceden del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, ya que no se logró tener acceso a proyectos de este tipo en otras entidades relacionadas con bosques andinos y alto andinos. Por otro lado, un 24% de la información corresponde a artículos científicos publicados en revistas indexadas, 10% a secciones de libro, 9% a tesis de grado y pregrado y, finalmente, un 2% corresponde

a libros. En este mismo orden de ideas, dentro de cada tipo de documento se mantiene la tendencia general en cuanto al tipo de investigación; siendo en su mayoría de tipo no experimental, con excepción de las secciones de libro, en donde tienen la misma cantidad (figura 2).

En lo referente a las entidades que generan conocimiento o información científica relacionada con bosques andinos y alto andinos, se clasificaron tres grandes grupos. El primero corresponde a los institutos de investigación, que aportan el 65,05% de la producción documental, siendo los más representativos, el Jardín Botánico de Bogotá José Celestino

Tabla 1. Cantidad de documentos encontrados frente a los aceptados, por cada motor de búsqueda

Motores de búsqueda	Resultados encontrados	Documentos aceptados
Google Scholar	3820	56
Scielo	8	8
Science Direct	189	17
Scopus	189	17

Tabla 2. Número de resultados encontrados por combinación de búsqueda

Combinaciones	Bosque andino	Bosque alto andino
Restauración ecológica	2040	714
Rehabilitación ecológica	229	93
Recuperación ecológica	215	77
Ecología de la restauración	113	52

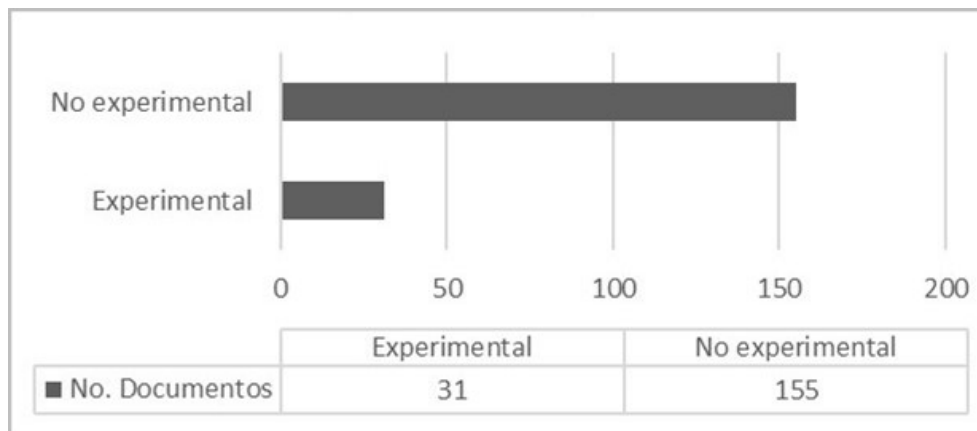


Figura 1. Tipo de investigación realizada en bosques andinos y alto andinos en Colombia.

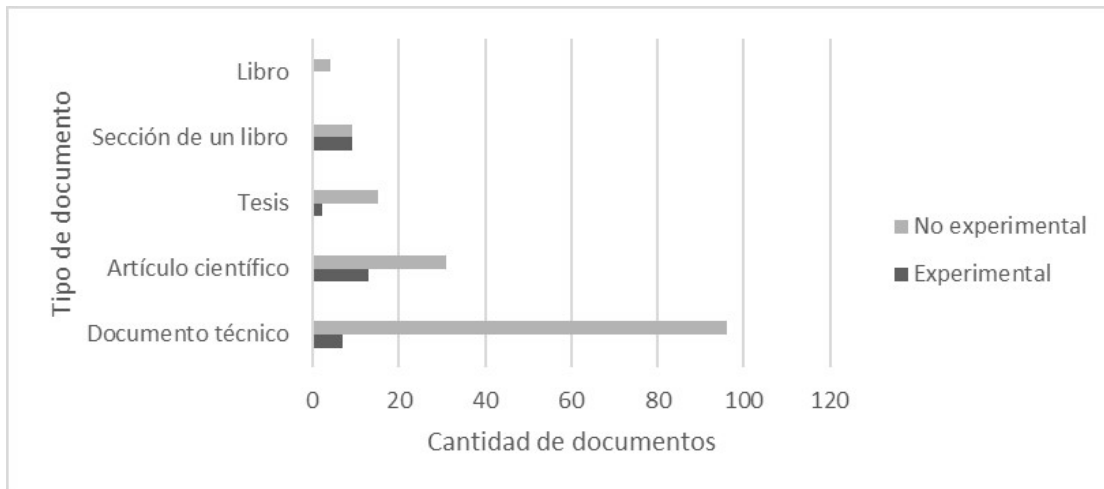


Figura 2. Tipo de investigación reportada en los diferentes tipos de documento.

Mutis y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Las universidades aportaron el 33,87% de la documentación consultada, seguidas de las ONGs con un 1,08%. En relación con lo anterior, las entidades relacionadas con los ecosistemas de estudio, como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la Secretaría Distrital de Ambiente y las Corporaciones Autónomas Regionales, no se encontró información abierta o no se logró tener acceso a las investigaciones específicas en restauración ecológica para bosques andinos y alto andinos.

Es de resaltar que a pesar de que los institutos de investigación tienen la mayor cantidad de estudios, el 85,12% corresponden a documentos técnicos o de trabajo, cuyo acceso es limitado; mientras que la información de acceso libre y publicada la aportan en mayor medida las universidades.

El 46,77% de las investigaciones relacionadas con restauración ecológica en bosques andinos y alto andinos, se enfocan en el estudio de la flora, mientras que un 19,35% corresponden a estudios multitemáticos que abarcan diferentes disciplinas. Con un menor porcentaje de investigaciones, se encuentran las temáticas asociadas con estudios socioeconómicos (9,68%), seguida de investigaciones sobre restauración de suelos (8,06%), mientras que los estudios de fauna y restauración a nivel de paisaje tienen un 6,45% de los documentos, cada uno. Finalmente, los

estudios de restauración a partir de ecología del fuego y de procesos agroecológicos, representan el 2,15% y 1,08%, respectivamente (figura 3).

En términos del tipo de investigación, los estudios de flora abarcan el 67,74% de las investigaciones de tipo experimental, siendo el área de conocimiento que más aplica este tipo de enfoque. Sin embargo, en términos de proporción de investigación experimental frente al total de lo estudiado, el 33,33% de las investigaciones relacionadas con restauración del suelo, son de tipo experimental. Contrario a esto, en los estudios multitemáticos, socioculturales y agroecológicos no se encontró ninguna investigación donde se aplicará un diseño basado en manipulación de variables.

A pesar de que los institutos de investigación generaron la mayoría de los proyectos encaminados a estudiar los bosques andinos y alto andinos, de acuerdo con los documentos encontrados en esta revisión, las universidades son las que mayor cantidad de información generan a partir de investigación experimental, con un 33,33% de su producción científica enfocada principalmente en la flora. Un 91,74% de los proyectos de investigación realizados por los institutos, específicamente el Jardín Botánico de Bogotá, se concentran en investigación no experimental, enfocados principalmente en caracterizaciones florísticas, modelos conceptuales y evaluación del potencial físico-biótico (tabla 3).

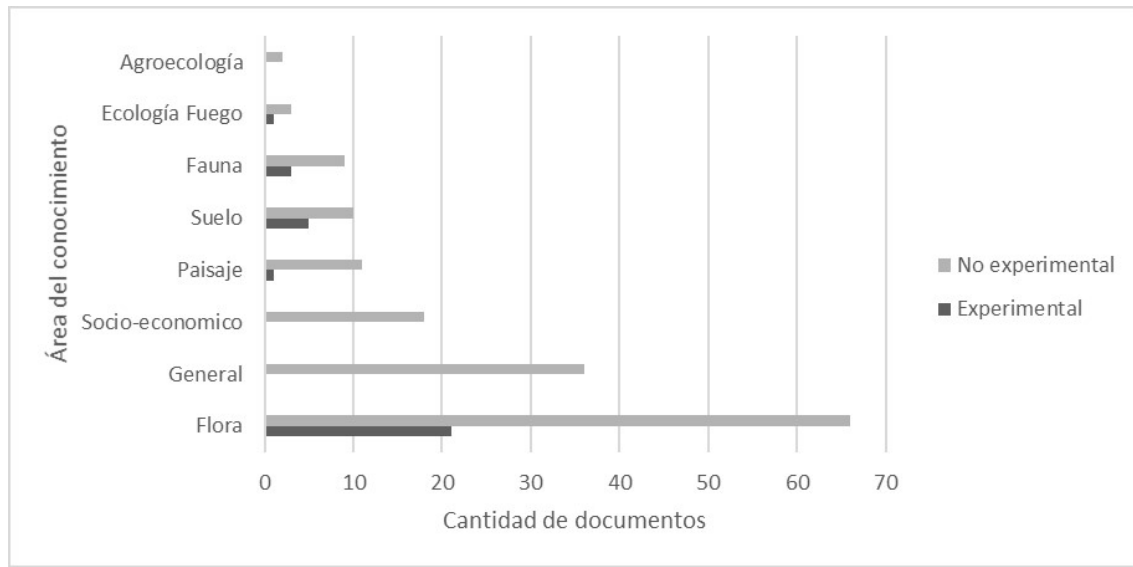


Figura 3. Tipo de investigación por área del conocimiento encontrada en los documentos.

Tabla 3. Tipo de investigación producida por las diferentes entidades en cada área del conocimiento

Área del conocimiento	Instituto investigación		ONG		Universidad	
	Experimental	No experimental	Experimental	No experimental	Experimental	No experimental
Agroecología	-	2	-	-	-	-
Ecología Fuego	1	3	-	-	-	-
Fauna	1	5	-	-	2	4
Flora	6	43	-	2	15	21
Multitemático	-	28	-	-	-	8
Paisaje	-	6	-	-	1	5
Socio-económico	-	15	-	-	-	3
Suelo	2	9	-	-	3	1
Total	10	111	0	2	21	42

Para el análisis espacial de los estudios, se decidió omitir los documentos técnicos ya que se concentran en instituciones del distrito capital, por lo que los resultados se basaron en documentos de acceso libre en internet. En consecuencia, se identificó que el 70% de las investigaciones se concentran en Bogotá y Cundinamarca, tanto de tipo experimental como no experimental, siendo estas últimas las dominantes en la mayoría de las regiones, con excepción de Boyacá, donde cuatro de las cinco investigaciones encontradas contemplaron un diseño basado en manipulación de variables, por lo que se cataloga como experimental (figura 4).

La dirección general de la investigación, en ecosistemas andinos y alto andinos en Colombia, presenta una tendencia de crecimiento anual, cuyo coeficiente X de la ecuación de la recta es de 0,89. En principio, se evidencia un aumento sustancial en la producción científica a partir del año 2005, con un fuerte descenso periódico desde al año 2017 al 2020 (figura 5). En cuanto a las dinámicas temporales de generación de conocimiento, relacionadas con el tipo de investigación, los estudios de tipo no experimental presentan un incremento muy similar al general de la producción documental, con un coeficiente de X igual a 0,81. Por el contrario, la investigación experimental

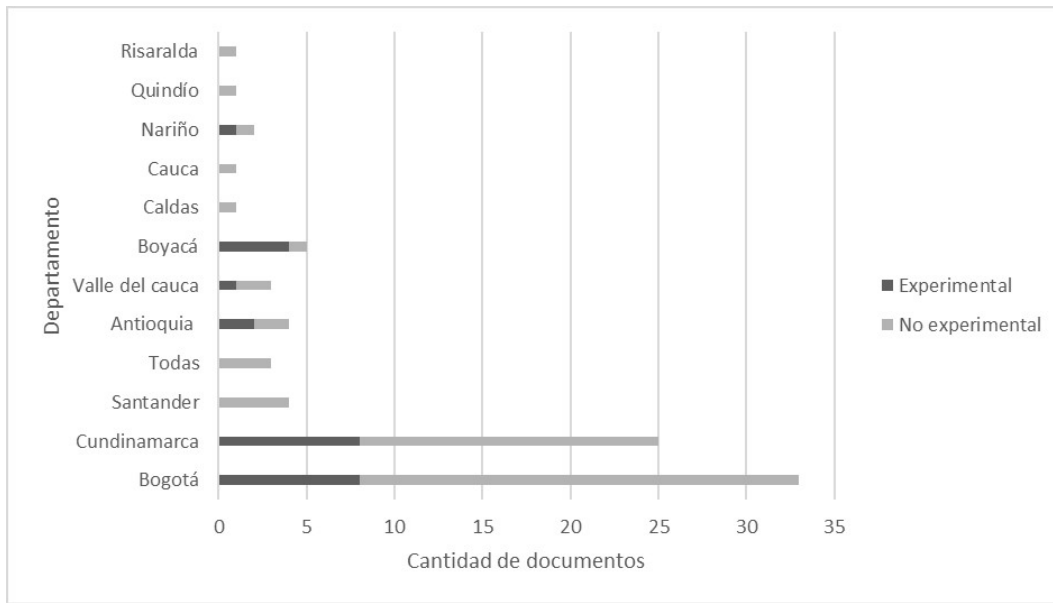


Figura 4. Investigaciones realizadas en los diferentes departamentos de Colombia.

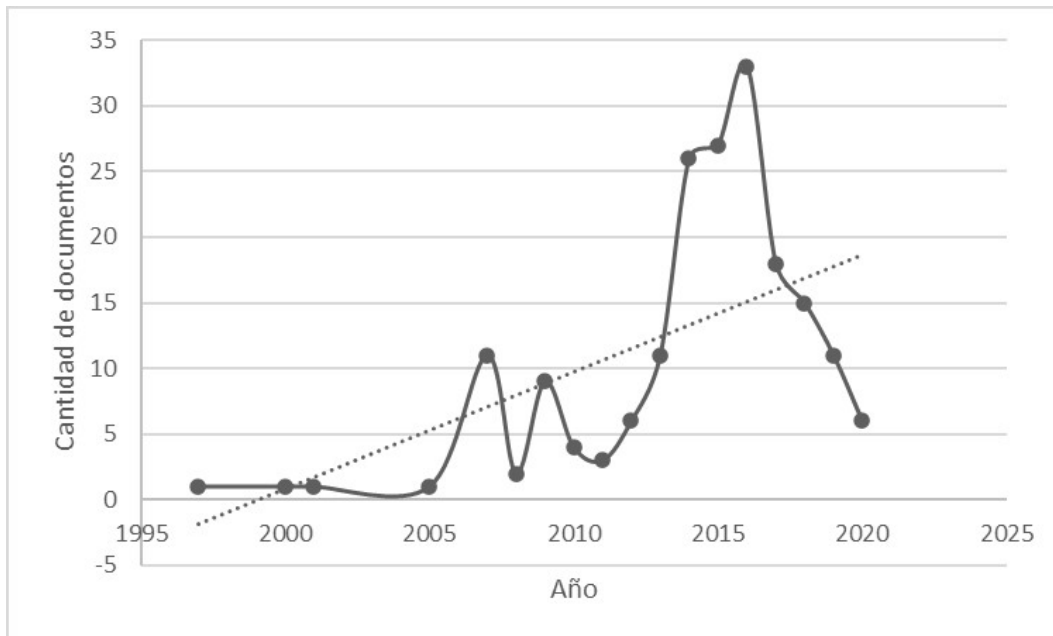


Figura 5. Producción temporal de investigaciones desde 1997 a 2020.

se ha mantenido estable, con una ligera tendencia a la baja, lo que se evidencia en el coeficiente X de la recta con valor de -6,06 (figura 6).

En lo que compete a los indicadores bibliométricos, estos se hallaron únicamente para los artículos científicos publicados en revistas indexadas, ya que en

este tipo de documentos se puede entender mejor la tendencia específica para las diferentes áreas del conocimiento. En lo que se refiere a los índices de importancia científica, tanto el índice de Price como el de aislamiento, son mayores para las investigaciones de tipo no experimental. Dentro de las áreas del conocimiento, los artículos relacionados con fau-

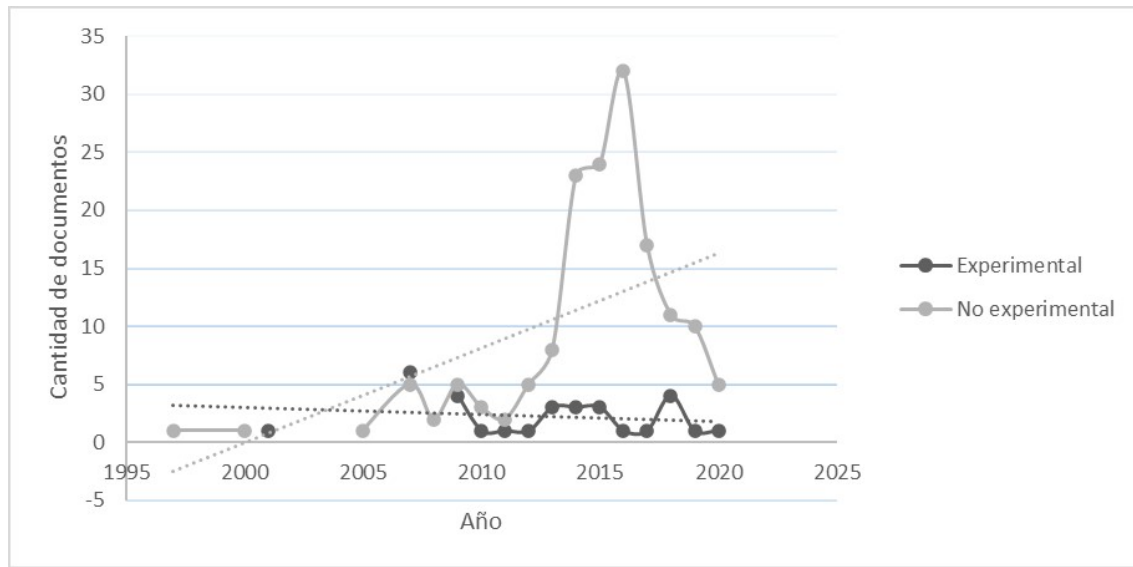


Figura 6. Producción temporal por tipo de investigación desde 1997 a 2020.

na con enfoque experimental presentan los mayores valores en el índice de Price, mientras que, en los no experimentales para este índice, los mayores valores se presentan en Ecología del Paisaje y Flora. En cuanto al índice de aislamiento, dentro de los artículos de tipo experimental, los estudios relacionados con restauración de suelo muestran el porcentaje más alto, diferente al caso de las investigaciones no experimentales, donde los estudios multitemáticos y socioeconómicos presentan los índices más altos (tabla 4).

El índice de colaboración para el total de los artículos consultados muestra que el 68,18% de ellos

fue elaborado entre dos y tres investigadores. En el caso de las investigaciones experimentales, el 53,85% tiene dos autores, mientras que, aunque el 38,71% de los artículos de orden no experimental tienen tres autores, un 51,61% tienen entre uno y dos autores (tabla 5). En cuanto al índice de colaboración para las diferentes áreas del conocimiento se presentan entre uno y tres autores, sin embargo, la mayor colaboración se observa en los estudios de restauración en escala de paisaje con cuatro autores en la totalidad de artículos; contrario a los estudios de tipo socioeconómico, con un solo autor en el 66,67% de las publicaciones (tabla 6).

Tabla 4. Índice de Price para los tipos de investigación y áreas del conocimiento

Área del conocimiento	Experimental		No experimental	
	Índice de Price	Índice de aislamiento	Índice de Price	Índice de aislamiento
Ecología Fuego	-	-	20,61%	18,98%
Fauna	30,77%	23,08%	18,98%	24,38%
Flora	15,74%	28,87%	25,48%	31,33%
Multitemático	-	-	0,00%	62,50%
Paisaje	-	-	25,95%	15,27%
Socio-económico	-	-	24,90%	60,30%
Suelo	12,16%	55,87%	-	-
Total	16,35%	32,58%	23,67%	33,15%

Tabla 5. Índice de colaboración general y por tipo de investigación

No. autores	General		Experimental		No experimental	
	Cantidad de artículos	Índice de colaboración	Cantidad de artículos	Índice de colaboración	Cantidad de artículos	Índice de colaboración
1	9	20,45%	1	7,69%	8	25,81%
2	15	34,09%	7	53,85%	8	25,81%
3	15	34,09%	3	23,08%	12	38,71%
4	3	6,82%	1	7,69%	2	6,45%
5	2	4,55%	1	7,69%	1	3,23%

Tabla 6. Índice de colaboración por área del conocimiento

No. autores	General						
	Ecología Fuego	Fauna	Flora	Multitemático	Paisaje	Socio-económico	Suelo
1	50,00%	0,00%	16,13%	100,00%	0,00%	66,67%	0,00%
2	50,00%	25,00%	38,71%	0,00%	0,00%	0,00%	50,00%
3	0,00%	75,00%	32,26%	0,00%	0,00%	33,33%	50,00%
4	0,00%	0,00%	6,45%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%
5	0,00%	0,00%	6,45%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Respecto a los índices de impacto científico, específicamente en el número de citas que recibió el artículo, los documentos de investigación observacional o no experimental recibieron, en promedio, el doble de citas que los artículos de tipo experimental. En este mismo sentido, los artículos relacionados con restauración de flora y fauna fueron los que mayor número de citas recibieron. Por otro lado, los valores del índice de inmediatez, a pesar de ser bajos para todas las publicaciones, son mayores para las investigaciones no experimentales, representadas en su mayoría por las temáticas de ecología del fuego, flora y fauna (tabla 7).

Identificación de vacíos de información

A nivel general, la investigación relacionada con la restauración ecológica en bosques andinos y alto andinos, se ha estudiado muy poco desde enfoques agroecológicos y ecología del fuego. Sin embargo, ya que este trabajo se concentra en investigación experimental, se evidencia una ausencia de información derivada de estudios basados en manipulación de variables, en los campos de agroecología, socioeconomía y enfoques multitemáticos en donde se analice la

restauración de manera holística. Adicionalmente, la ecología del fuego y estudios a escala de paisaje solo tienen un estudio enfocado en restauración (figura 3).

A pesar de que hay tres investigaciones de tipo experimental enfocadas a fauna, las tres se orientan en la avifauna evaluada a través de perchas, por lo que se evidencian carencias de información relacionadas con otros grupos faunísticos y sus preferencias de hábitat. Adicionalmente, aunque los cinco estudios relacionados con el suelo se enfocan en el desempeño de la vegetación en diferentes tipos de suelo o la aplicación o elaboración de sustrato, no hay estudios relacionados con la recuperación o la rehabilitación de la biota y/o características fisicoquímicas del suelo. A pesar de que el componente de flora es el que más investigación asociada tiene, existen algunos abordajes temáticos que no se utilizan en las investigaciones y pueden responder preguntas relevantes para la restauración ecológica, como, por ejemplo, el análisis desde el punto de vista genético y funcional.

Basados en lo anterior y en la investigación realizada por Miller et al. (2017), en la que se evalúan los diferentes ámbitos de la restauración ecológica y

Tabla 7. Índices de impacto científico para los tipos de investigación y áreas del conocimiento

Área del conocimiento	Número de citas		Índice de inmediatez	
	Experimental	No experimental	Experimental	No experimental
Ecología Fuego	-	2,5	-	0,043
Fauna	2	9	0	0,026
Flora	8,4	18	0,006	0,032
General	-	7	-	0
Paisaje	-	3	-	0,002
Socio-económico	-	5,3	-	0,009
Suelo	2,5	-	0	-
Total	7	14	0,005	0,028

las temáticas poco investigadas; se presenta a continuación una tabla con preguntas de investigación relevantes para todas las áreas del conocimiento relacionadas con la restauración de ecosistemas andinos y alto andinos, que no pueden ser respondidas con la investigación desarrollada a la fecha en el país para estos ecosistemas y pueden ser abordadas en su mayoría desde un punto de vista experimental (tabla 8).

DISCUSIÓN

A pesar de que los motores de búsqueda son una herramienta fundamental para la exploración de la información científica, cuando se aplican fórmulas de búsqueda demasiado específicas se requiere una revisión minuciosa para poder obtener los documentos que cumplan los criterios estrictos; esto debido a que los motores suprimen algunos términos para lograr resultados más amplios. En este mismo sentido, la búsqueda por Restauración ecológica fue la que arrojó mayor número de resultados, ya que es un término que agrupa los enfoques de esta, como lo es la Recuperación y Rehabilitación. A pesar de que el Páramo está inmerso dentro de los ecosistemas altoandinos, fue necesario incluirlo como criterio independiente, ya que de hecho es el que presenta una mayor cantidad de investigaciones.

Análisis de metadatos

La cantidad de documentos obtenidos para el análisis de esta investigación (186 documentos) es relativamente alto comparado con otros estudios del estado del conocimiento en Colombia con restricciones menores en cuanto a búsqueda, como por ejemplo el de Garibello et al. (2021), quienes evaluaron el estado del conocimiento en restauración ecológica en el país. Sin embargo, es de resaltar que en esta investigación se analizaron, a diferencia de otros estudios, tesis de grado y documentos técnicos; este hecho amplió el espectro de datos, pero generó un reto en cuanto a la consecución de la información, teniendo en cuenta que los documentos técnicos no son de libre acceso por parte de las entidades que los generan. En este sentido, ya que el 55% de los estudios analizados en esta investigación corresponden a documentos técnicos, generados principalmente por entidades de la ciudad de Bogotá, debido a que estas fueron las que permitieron un acceso moderado a la información; se hace evidente que existe una gran cantidad de investigaciones relacionadas con restauración de bosques andinos y alto andinos, cuyos resultados no generan un aporte real al conocimiento o a la gestión de estos ecosistemas, debido a la falta de difusión y de publicación de estos resultados. Esta dificultad en cuanto al acceso a la información, reafirma el hecho de que el conocimiento científico solo está disponible para unos grupos y la mayoría de la población no tiene acceso a dicha información (Fuller et al., 2014).

Tabla 8. Preguntas de investigación asociadas a los vacíos de información

Áreas del conocimiento	Preguntas de investigación
Socioeconómico	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo evaluar el impacto social de los procesos de restauración ecológica? • ¿Cuáles son las estrategias adecuadas para generar apropiación de la comunidad hacia el territorio o a los procesos de restauración? • ¿Qué métricas y/o técnicas de encuesta, se requieren para caracterizar adecuadamente las comunidades asociadas a áreas en proceso de restauración ecológica?
Agroecología	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es la influencia de los diferentes cultivos agrícolas sobre las características fisicoquímicas del suelo necesarias para iniciar procesos de recuperación o rehabilitación ecológica? • ¿Cómo mejorar la productividad agrícola en las áreas contiguas a zonas objeto de restauración ecológica, como una forma de reducir la presión antrópica? • ¿Qué tipo de cultivos agrícolas pueden mejorar las condiciones del suelo, previo al inicio de procesos de restauración?
Multitemático	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué técnicas de monitoreo, diseño y pruebas se requieren para evaluar adecuadamente el proceso de restauración para permitir una evaluación inequívoca del progreso y el éxito en diferentes etapas? • ¿Son limitantes los atributos físicos, hidrológicos, climáticos y biológicos del entorno y pueden manipularse para optimizar el crecimiento y la supervivencia de las plantas en la restauración?
Ecología del fuego	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Se puede manipular el fuego como disturbio para el desarrollo de la regeneración natural? • ¿Cuál es la reacción de las diferentes especies de plantas o grupos funcionales, ante diferentes intensidades de fuego?
Paisaje	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Se puede variar la densidad, los patrones o las secuencias de plantación, de los corredores ecológicos, para optimizar la conectividad y/o flujo energético entre parches de bosque? • ¿Cómo las características sociales, físicas, climáticas, socioeconómicas, de infraestructura, etc., influyen en la conectividad y potencial de restauración de un relicto de bosque? • Para bosques andinos y alto andinos, ¿Cuál es el tamaño y distancia mínima de parches de bosque, que garanticen la viabilidad ecológica?
Fauna	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuáles grupos faunísticos son los ideales para mejorar la regeneración pasiva y la dispersión? • ¿Qué tipo de especies vegetales son adecuadas para atraer polinizadores o dispersores? • ¿Se pueden aumentar los requisitos de hábitat y recursos de las especies de fauna para mejorar los valores de biodiversidad y la función del ecosistema?
Suelo	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Las condiciones ambientales sobre el suelo afectan el desarrollo de la microbiota, y pueden construirse estructuras o tratamientos artificiales o naturales para mejorar sus efectos? • ¿Se pueden maximizar la geminación de la capa superficial del suelo mediante cambios en las técnicas de cosecha, almacenamiento, re-almacenamiento y tratamiento? • ¿Cómo la microbiota del suelo puede aumentar la producción de semillas en poblaciones naturales? • ¿Cómo reacciona la biota del suelo y el banco de semillas frente a intensidades o tipos de disturbios? • ¿Es necesaria la biota del suelo para el crecimiento y la supervivencia de las plantas y qué tratamientos pueden emplearse para optimizar su retorno en la restauración?
Flora	<ul style="list-style-type: none"> • Para el abastecimiento de semillas, ¿es mejor mezclar genotipos (aumentando así el potencial evolutivo) o hacer coincidir los genotipos con las condiciones locales (maximizando la adaptación local)? • ¿La endogamia o la baja diversidad genética dentro de las poblaciones de origen pueden afectar el éxito de la restauración ecológica? • ¿Se pueden introducir o gestionar grupos funcionales, para mejorar la sostenibilidad o la regeneración de una población?



En cuanto al tipo de investigación realizada, el bajo porcentaje de estudios basados en parámetros experimentales (17%) puede estar asociado al tipo de entidad en donde se genera la información. Gran parte del conocimiento generado, a pesar de no ser publicado, se desarrolla en institutos de investigación que en su mayoría están financiados con aportes gubernamentales (Murcia y Guariguata, 2014). Dado que la investigación de tipo experimental se basa en respuestas ante la manipulación de uno o varios factores, se requiere un tiempo mínimo para evidenciar dichas respuestas. Este hecho hace que las investigaciones experimentales tomen más tiempo que las observacionales, lo que no es conveniente, cuando las metas de investigación se mezclan con objetivos gubernamentales de restauración basados en la cantidad de hectáreas o número de árboles plantados.

A pesar de que la gran mayoría de las investigaciones en temas de restauración ecológica se basan en estudios de flora, el 76% se centran en caracterizaciones y líneas base. En este sentido, la investigación de flora desde el punto de vista experimental podría generar información que permita el manejo adaptativo tanto de ecosistemas, como de procesos de restauración ecológica activa (Ramírez et al., 2016). Este hecho también se relaciona con lo mencionado anteriormente, donde mucha de la investigación está asociada a metas regionales o distritales, donde la plantación de árboles es el indicador de éxito. Esto hace que se limiten las investigaciones experimentales en temáticas como la restauración de fauna, suelo y estudios a nivel socioeconómico y de paisaje. Estos resultados concuerdan con otras investigaciones sobre el estado del conocimiento ecológico en Colombia, donde la flora agrupa la mayoría de los estudios (Arbeláez-Cortés, 2013; Garibello et al., 2021; Murcia y Guariguata, 2014; Parrado-Roselli et al., 2016).

Al realizar una clasificación de los estudios por región, Bogotá y Cundinamarca son los departamentos ampliamente dominantes en cuanto a la producción científica, lo que se evidencia en estudios como el de Murcia y Guariguata, 2014. Este hecho se explica teniendo en cuenta que en Bogotá se concentran la mayoría de los institutos de investigación y universidades, por lo que, desde el punto de vista logístico

y económico, es más fácil realizar investigaciones, ya sea en la ciudad o en los municipios contiguos.

La tendencia en cuanto a la producción científica enfocada a la restauración ecológica en bosques andinos y alto andinos a lo largo del tiempo, muestra un aumento considerable tanto en las investigaciones experimentales como no experimentales a partir del 2005, coincidente con lo reportado por Garibello et al. (2021) y por Murcia y Guariguata (2014). Esta tendencia puede obedecer a que en el segundo quinquenio del siglo XXI se generaron varios proyectos de investigación en recursos ecológicos por parte de la Alcaldía Mayor de Bogotá y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), en el marco del programa de gobierno Bogotá Sin Indiferencia 2004-2007. Contrario a esto, la investigación experimental presenta una tendencia a la baja, pese al incremento de retos ambientales que requieren información de este tipo para la generación de conocimiento encaminado a la gestión, como por ejemplo el manejo de especies invasoras (Miller et al., 2017).

Los indicadores de importancia científica ubican los artículos no experimentales con un índice de Price alto, esto significa que los autores de este tipo de investigaciones utilizaron mayor cantidad de referencias recientes para generar nueva información. Lo anterior tiene sentido si se tiene en cuenta la cantidad de información que se genera desde un enfoque experimental, ya que al haber menos producción científica es más complicado encontrar documentos de apoyo recientes. En cuanto al índice de aislamiento, entre mayor sea el valor obtenido para este indicador, menor influencia tendrá el conocimiento externo en la investigación u otro tipo de actividades que se estén realizando en el país, caso contrario a lo ocurrido con la investigación realizada en los bosques andinos y alto andinos de Colombia, cuyo índice es bajo en comparación con investigaciones sobre diferentes ecosistemas, en países más desarrollados (Grindle, 2017), por lo que como país nos vemos obligados a apoyarnos en información extranjera, a pesar de estar hablando de ecosistemas muy específicos de los andes del norte.

Estos indicadores de importancia científica también pueden dar luces sobre el estado de la investiga-

ción por área del conocimiento. En cuanto al índice de Price, la investigación experimental en fauna es la que presenta una mayor cantidad de referencias actualizadas, pese a tener una influencia alta de información extranjera, dado su valor de índice de aislamiento. Por otro lado, las investigaciones de restauración desde un componente socioeconómico y multitemático presentan una baja influencia de información extranjera, lo que es entendible, ya que los comportamientos sociales y económicos son muy particulares a nivel de escala local y/o regional.

Los índices de impacto científico muestran, en términos de número de citas, que los estudios descriptivos de flora son los más consultados y citados, dado que son importantes documentos comparativos y de apoyo para estudios de caracterización y para líneas base de proyectos de restauración ecológica. En cuanto al índice de inmediatez, que mide el nivel de difusión de una investigación en el primer año de publicada, la temática con mayor difusión es la de ecología del fuego, lo que era de esperarse debido a la poca información que existe al respecto, que implica una alta demanda de estudios de este tipo. En términos de tipo de investigación, los estudios no experimentales no solo tienen mayor número de citas, sino mayor índice de inmediatez, lo que nos lleva a concluir que la calidad de la información y/o la relevancia de las preguntas de investigación, en proyectos experimentales en el país, no es la adecuada, lo que hace que estos estudios no sean un referente para investigaciones subsecuentes.

Identificación de vacíos de información

Los resultados obtenidos identifican los aspectos que se han abordado con mayor o menor frecuencia a nivel local e identifican aquellos que todavía no se han explorado. También sugieren que la investigación asociada a restauración ecológica en bosques andinos y alto andinos es insuficiente si se considera la extensión de la degradación y la diversidad involucrada (Etter et al., 2008).

A pesar que hay áreas del conocimiento con claros vacíos de información, como estudios de restauración con enfoque multitemático, socioeconómico o agroecológico, al revisar en detalle las metodologías y

preguntas de investigación, se evidencian sesgos importantes en todas las áreas del conocimiento, por lo que hay temas que no se abordan y son fundamentales para la ecología de la restauración en ecosistemas andinos y alto andinos (Garibello et al., 2021, Miller et al., 2017). En este contexto, el componente de flora tiene la mayor cantidad de estudios abordados desde diferentes enfoques, sin embargo, para el caso de rasgos funcionales, los estudios son extremadamente descriptivos y no se da una orientación sobre la utilidad o aplicación de esta información en proyectos de restauración ecológica o manejo integral de bosques. Por otro lado, los estudios de diversidad genética o genética de poblaciones no se han estudiado, a pesar de la importancia de esta información tanto a nivel local como regional (El Enshasy et al., 2015).

A pesar que el aprovechamiento sostenible y los proyectos mixtos de manejo sostenible de bosques han sido parte de la agenda de diferentes gobiernos (MADS, 2014), las investigaciones en agroecología y socioeconomía relacionada con la restauración de ecosistemas no han sido importantes o concluyentes. En este sentido, el conocimiento en este ámbito puede dar herramientas de manejo integral de ecosistemas y llegar a un relativo equilibrio entre la conservación y el uso de recursos por parte de las comunidades.

Partiendo de las preguntas de investigación, se pueden hacer algunos abordajes conceptuales encaminados a suplir parcialmente los vacíos de información. En la temática de investigaciones de orden socioeconómico, no se encontró información sobre el impacto de proyectos de restauración ecológica sobre las comunidades y las técnicas aplicadas para cuantificar dicho impacto en ecosistemas andinos de forma específica. Sin embargo, Aguilar-Garavito y Ramírez (2015) propusieron unos parámetros generales para el acople de la comunidad a proyectos de restauración ecológica, que pueden ser aplicables a los ecosistemas objeto de este estudio. Los indicadores que mencionan para medir el impacto son: la generación de empleo, la cantidad de personas involucradas, la generación de oportunidades de negocio, la participación de la comunidad en el monitoreo y la participación de jóvenes.

En lo referente a las técnicas de apropiación, Casta-



ñeda Rincón (2019) realiza una descripción de técnicas utilizadas por la Subdirección Educativa del Jardín Botánico de Bogotá, que se basan principalmente en recorridos ecológicos, jornadas de divulgación y participación en plantaciones, sin embargo, no se hace referencia a si estas estrategias fueron adecuadas y lograron el objetivo esperado. Aguilar-Garavito y Ramírez (2015), afirman que las estrategias de participación basadas en apropiación económica son las más efectivas a largo plazo, basados en experiencias realizadas en bosques amazónicos o del Magdalena Medio, donde la relación de la comunidad con el ecosistema es distinta a la que se puede tener en bosques andinos y alto andinos. No obstante, es necesario implementar este enfoque económico en los ecosistemas de Bogotá y la región, con proyectos productivos como viveros comunitarios, producción y venta de semillas, etc.

La agroforestería es un enfoque productivo con capacidad de promover la recuperación de los agroecosistemas degradados, particularmente por sus características adaptativas al cambio climático (Chepstow-Lusty, 2011). En este sentido, la evaluación del impacto de sistemas productivos, sobre el suelo especialmente, brinda herramientas fundamentales para abordar procesos de restauración ecológica en áreas alteradas por disturbios de tipo agrícola. Arce-Alvarez y Azero-Alcocer (2020), realizaron una investigación en bosques andinos en Bolivia, en la cual evaluaron diferentes tipos de cultivos y su influencia en las características del suelo. Concluyeron que los cultivos que presentaban plantaciones forestales, ya fuera como cercas vivas o de sombrío interno, tenían mejores características físicas y químicas que facilitaban el desarrollo de todo tipo de vegetación.

Por otro lado, Zamora et al. (2017), experimentaron diferentes tipos de asociaciones de cultivos en relación con el suelo y la productividad. Los resultados mostraron que la asociación café-guamo-naranja incrementó el aporte de materia orgánica y mejoró las condiciones de fertilidad del suelo, presentando los valores más altos de fósforo y potasio disponibles. Dichos resultados pueden ser aplicables a procesos de transición de áreas agrícolas aledañas a zonas objeto de restauración.

Para el caso específico de los bosques andinos de Bogotá y la región, las investigaciones deberían centrarse en experimentar con diferentes especies nativas deseables en procesos de restauración frente a los cultivos tradicionales de la región, utilizando como indicadores principales las características del suelo, banco de semillas y algunos grupos de fauna indicadores. Por otro lado, se podría experimentar, a nivel de parcela, con mezclas de cultivos tradicionales del altiplano cundiboyacense para identificar los mejores ciclos productivos y mejores asociaciones.

La investigación de la ecología del fuego toma relevancia, ya que es un disturbio que modifica la composición y estructura de las comunidades vegetales a través de las respuestas y características funcionales de las especies presentes en el sitio. Además, el fuego interacciona con otros tipos de disturbios, como cambios en el hidropereodo o la introducción de especies exóticas (López-Rosas y Moreno-Casasola, 2012). Páramo Pérez et al. (2018) encontraron, bajo un diseño experimental con incendios controlados, que la intensidad y recurrencia del fuego tiene influencia sobre la regeneración natural en bosques de México. Por otro lado, Carbone et al. (2017) encontraron resultados similares para bosques del Chaco en Argentina.

Entendiendo que muchos de los bosques no tropicales están relacionados con episodios recurrentes de fuego debido a la estacionalidad, a diferencia de los andinos y alto andinos, se podría evaluar de forma experimental el comportamiento de los bancos de semillas y la respuesta de especies nativas y no nativas ante diferentes intensidades y frecuencia de incendios, realizando diseños experimentales con quemas o fuegos controlados. La experimentación con eventos de fuego puede mostrar escenarios prospectivos y a partir de estos, gestionar o desarrollar estrategias para el manejo de zonas con un aumento de los regímenes de incendio, ya sea por causa antrópica derivado del aumento poblacional o por efecto de radiación y temperatura asociada al cambio climático.

En términos de investigación en fauna, la integridad ecológica incluye una biodiversidad enriquecida, una interacción floreciente entre plantas y animales y un ciclo dinámico de nutrientes. En este sentido es

necesario que los proyectos de restauración no solo se concentren en la recuperación de la composición y estructura del bosque, sino que se generen atributos para la fauna, especialmente la encargada de dispersar o polinizar. Juwarkar y Singh (2016) encontraron una estrecha relación de polinizadores con especies vegetales o configuraciones específicas, en diferentes escenarios de restauración. Por otro lado, Alonso-F. et al. (2017), manipularon algunas características del hábitat, con el fin de conocer la calidad deseada para atraer especies con requerimientos ecológicos contrastantes, como el *Tapirus pinchaque*, *Sturnira erythromos* y *Cebus albifrons*.

El hecho de conocer las preferencias de la fauna nativa, especialmente dispersores y polinizadores, ya sea en términos de hábitat o simplemente de gustos alimenticios, facilita que los procesos de restauración ecológica sean integrales y, por consiguiente, más eficientes y aterrizados frente a los procesos naturales de un ecosistema.

En cuanto al estudio del suelo en relación con la restauración ecológica, Wang et al. (2019), concluyen que el restablecimiento tardío de un microbioma diverso en el suelo puede ser crítico para la restauración de las características funcionales de la diversidad vegetal después de una perturbación antropogénica, por lo que la restauración de suelos debería ser una prioridad dentro de los modelos de restauración ecológica de ecosistemas. Perkins y Hatfield (2016), probaron diferentes compuestos comerciales microbianos para el mejoramiento del suelo, encontrando, por ejemplo, que compuestos que disminuyen la actividad fúngica redujeron el crecimiento de la vegetación en general, pero fueron mucho más severos los efectos sobre las especies invasoras. Pizarro-Tobías et al. (2015), exploraron el uso de técnicas de biorremediación y rizorremediación para la restauración de los suelos vulnerables a la erosión y concluyeron que, en bosque incendiados, la aplicación de técnicas de biorremediación aumentó la velocidad de recuperación de las características pre-incendio. Koziol y Bever (2017), encontraron, que la inoculación de micorrizas en una concentración específica, acelero la sucesión vegetal del bosque nativo, en un área utilizada históricamente para el pastoreo. Stavi et al. (2018) encontraron que procesos de volteo de suelo

o arado, favorecen la recuperación de algunas características del suelo ideales para el establecimiento de coberturas nativas. Finalmente, Wagner et al. (2014), a través de plantaciones sobre suelos con diferentes características, descubrieron que la microbiota tiene una estrecha relación con los ciclos fenológicos de la vegetación que allí se desarrolla.

La investigación experimental de técnicas para restaurar suelos, como las mencionadas anteriormente, no implica grandes inversiones de recursos o tiempo, pero si genera un gran impacto a nivel de formulación de proyectos de restauración, especialmente en ecosistemas andinos y altoandinos cuya presión antrópica ha degradado paulatinamente los suelos.

A pesar de que existe gran cantidad de información respecto a la flora, persisten diferentes vacíos de información que es importante ocupar. En este sentido, la diversidad y la estructura genética han sido reconocidas desde hace mucho tiempo como críticas para el mantenimiento de poblaciones viables y resilientes y como materia prima que determina la capacidad de las poblaciones para responder al cambio y representa un importante amortiguador contra la extinción (Rato et al., 2015). En este sentido, la investigación en términos genéticos de la vegetación utilizada en procesos de restauración ecológica aporta herramientas para la toma de decisiones que garanticen un mejor desempeño de las plantaciones y su acople con la matriz de bosques.

Deacon y Cavender-Bares (2015), analizaron la respuesta de una misma especie bajo diferentes condiciones ambientales dentro de un gradiente altitudinal, con el fin de identificar posibles adaptaciones a nivel local. Encontraron que no se desarrollaron dichas adaptaciones, lo que indica que existe la posibilidad de utilizar fuentes semilleras de especies que crecieron bajo condiciones ambientales distintas, sin comprometer la sobrevivencia de las plántulas. Pese a esto, no todas las especies tienen la misma plasticidad fenológica, por lo que este tipo de estudios deben aplicarse de manera particular por especies y tipo de ecosistema. Estos resultados son reafirmados por Van Rossum et al. (2020) y Zavodna et al. (2015), quienes encontraron beneficios de la mezcla genética de taxones provenientes de áreas con condiciones



físico ambientales distintas.

Por otro lado, Kimball et al. (2014), probaron plantaciones con diferentes agrupaciones funcionales, con el fin de probar su comportamiento frente a la invasión de especies vegetales. Como resultado obtuvieron un mejor desempeño de las plantaciones con mayor diversidad funcional, asociado con las estrategias de utilización y/o consumo de recursos. Sin embargo, no se evaluó en zonas con suelos degradados por especies invasoras y/o procesos agrícolas previos, como es el caso de las áreas con invasión de *Ulex europaeus* en ecosistemas andinos y alto andinos.

Finalmente, en términos de estudios de restauración a nivel de paisaje, es importante entender que las investigaciones deben agrupar la mayor cantidad de los componentes o áreas del conocimiento expuestas anteriormente. Por otro lado, los estudios realizados pueden obtener resultados a corto, medio y largo plazo; sin embargo, las investigaciones de tipo experimental, necesarias para obtener herramientas de manejo eficientes, requieren tiempos prolongados y continuidad de las líneas de investigación con el fin de lograr resultados efectivos que se puedan aplicar a los proyectos de restauración a escala de paisaje.

CONCLUSIONES

Se hace evidente que la mayoría de la investigación se concentra en estudios de flora, dejando de lado áreas fundamentales para la restauración de ecosistemas como lo es el suelo, fauna y el componente socioeconómico. Los vacíos de información en estas áreas de conocimiento se pueden suplir a partir de investigaciones de tipo experimental, sin embargo, es necesario destinar más recursos a la investigación, aplicación y monitoreo de estrategias, para medir el impacto de los proyectos de restauración ecológica. Adicionalmente, el hecho que la información no sea de acceso público limita que los procesos de restauración cuenten con un espectro más amplio de información que facilite su éxito.

En términos generales, existe una gran cantidad de vacíos en el conocimiento, que es relevante ocupar para el éxito de los proyectos de restauración ecológica. En este sentido, esta falta de información

no solo obedece a la escasa investigación de tipo experimental, sino, a una baja tasa de publicación de los resultados de los estudios relacionados con restauración ecológica, por lo que debería ser una política de las diferentes entidades e institutos, que las investigaciones partan de preguntas de investigación relevantes y se realicen con el suficiente rigor científico como para optar a una publicación en revistas científicas.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, no solo por el financiamiento de la investigación, sino por aportar documentos claves para el desarrollo de la investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

El autor no presenta ningún tipo de conflicto de intereses, por lo que su juicio, independencia e imparcialidad se mantuvieron intactas en la elaboración de esta investigación.

REFERENCIAS

- Aguilar-Garavito, M., & Ramirez, W. (Eds.). (2015) *Monitoreo a procesos de restauración ecológica aplicado a ecosistemas terrestres*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). <https://bit.ly/3FzBX2A>
- Alonso-F., A. M., Finegan, B., Brenes, C., Günter, S., & Palomeque, X. (2017). Evaluación de la conectividad estructural y funcional en el corredor de conservación Podocarpus-Yacuambi, Ecuador. *Caldasia*, 39(1), 143. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v39n1.64324>
- Arbeláez-Cortés, E. (2013). Knowledge of Colombian biodiversity: published and indexed. *Biodiversity and Conservation*, 22(12), 2875–2906. <https://doi.org/10.1007/s10531-013-0560-y>
- Arce-Alvarez, A., & Azero-Alcocer, M. (2020). Evaluación comparativa de la calidad de suelos en sistemas agroforestales dinámicos versus sistemas convencionales en el semiárido de Cochabamba–Bolivia. In M. Azero-Alcocer (Ed.), *Evaluación de sistemas agroforestales dinámicos en el semiárido de Cochabamba*, (pp. 105–132). Universidad Católica Boliviana de San Pablo. <https://chrome-extension://efaidnbmnnpkajpcgclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fucba.ucb.edu.bo%2Fwp-content%2Fuploads%2F2019%2F02%2FEvaluaci%25C3%25B3n-de-sistemas-agroforestales>

- pdf&clen=18088678&chunk=true
- Arbeláez-Cortés, E. (2013). Knowledge of Colombian biodiversity: published and indexed. *Biodiversity and Conservation*, 22(12), 2875–2906. <https://doi.org/10.1007/s10531-013-0560-y>
- Burbidge, A. H., Maron, M., Clarke, M. F., Baker, J., Oliver, D. L., & 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/https://doi.org/10.1111/j.1442-8903.2011.00569.x>
- Cabin, R. J., Clewell, A., Ingram, M., McDonald, T., & 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/https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2010.00743.x>
- Carbone, L. M., Aguirre Acosta, N., Tavella, J. R., & Aguilar, R. (2017). Cambios florísticos inducidos por la frecuencia de fuego en el Chaco Serrano. *Bol. Soc. Argent. Bot.*, 52(4), 753 – 778. <https://doi.org/52.10.31055/1851.2372.v52.n4.18861>
- Castañeda Rincón, J. A. (2019). *Elaboración e implementación del programa de Educación Ambiental y Estrategias Metodológicas para la apropiación social en el componente forestal de las localidades de Antonio Nariño, San Cristóbal y Teusaquillo*. [trabajo de grado]. <http://hdl.handle.net/11349/24456>
- Chepstow-Lusty, A. (2011). Agro-pastoralism and social change in the Cuzco heartland of Peru: a brief history using environmental proxies. *Antiquity*, 85(328), 570–582. <https://doi.org/85.570-582.10.1017/S0003598X0006796X>
- Deacon, N. J., & Cavender-Bares, J. (2015). Limited Pollen Dispersal Contributes to Population Genetic Structure but Not Local Adaptation in *Quercus oleoides* Forests of Costa Rica. *PLOS ONE*, 10(9), e0138783. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138783>
- El Enshasy, H., Maftoun, P., Johari, H., Soltani, M., Malek, R. A., & Othman, N. (2015). The Edible Mushroom *Pleurotus* spp.: I. Biodiversity and Nutritional Values. *International Journal of Biotechnology for Wellness Industries*, 4, 67–83. <https://doi.org/10.6000/1927-3037.2015.04.02.4>
- Escorcia-Otálora, T. A. (2008). *El análisis bibliométrico como herramienta para el seguimiento de publicaciones científicas, tesis y trabajos de grado* [trabajo de grado]. Pontificia Universidad Javeriana. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/8212>
- Etter, A., McAlpine, C., & 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. <https://doi.org/10.1080/00045600701733911>
- Fuller, R. A., Lee, J. R., & Watson, J. E. M. (2014). Achieving open access to conservation science. *Conservation Biology: The Journal of the Society for Conservation Biology*, 28(6), 1550–1557. <https://doi.org/10.1111/cobi.12346>
- Garibello, J., Riaño, L., Cuellar, J., Barrera-Cataño, J. I., & Ramírez, W. (2021). Identificación de vacíos de investigación aplicada para restaurar ecosistemas terrestres en Colombia. *Colombia Forestal*, 24 (1 SE-Artículos de investigación científica y tecnológica), 88–107. <https://doi.org/10.14483/2256201X.15679>
- Grindle, M. S. (2017). *Politics and Policy Implementation in the Third World*. Princeton University Press. <https://doi.org/doi:10.1515/9781400886081>
- Hobbs, R., & Suding, K. (2009). *New Models for Ecosystem Dynamics and Restoration*. Society for Ecological Restoration International. https://books.google.cg/books/about/New_Models_for_Ecosystem_Dynamics_and_Re.html?hl=fr&id=TxwKQG.7HlgC&output=html_text
- Juwarkar, A.A., & Singh, L. (2016). Biodiversity Promotion in Restored Mine Land through Plant-Animal Interaction. *Journal of Ecosystem Ecography*, 06(01), 2. <https://doi.org/10.4172/2157-7625.1000176>
- Kimball, S., Lulow, M. E., Mooney, K. A., & Sorenson, Q. M. (2014). Establishment and Management of Native Functional Groups in Restoration. *Restoration Ecology*, 22(1), 81–88. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/rec.12022>
- Koziol, L., & Bever, J. D. (2017). The missing link in grassland restoration: Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation increases plant diversity and accelerates succession. *Journal of Applied Ecology*, 54(5), 1301–1309. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1365-2664.12843>
- López-Rosas, H., & Moreno-Casasola, P. (2012). Invader versus natives: Effects of hydroperiod on competition between hydrophytes in a tropical freshwater marsh. *Basic and Applied Ecology*, 13(1), 40–49. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.baae.2011.10.004>
- MADS. (2014). *Informe de Gestión 2014*. Ministerio de Ambiente. https://www.minambiente.gov.co/images/planeacion-y-seguimiento/pdf/Informes_de_Gestión/Informe_de_Gestión_MADS/INFORME_GESTION_MADS_2014.pdf
- Menz, M. H. M., Dixon, K. W., & Hobbs, R. J. (2013). Hurdles and opportunities for landscape-scale restoration. *Science*, 339(6119), 526–527. <https://doi.org/10.1126/science.1228334>
- Miller, B. P., Sinclair, E. A., Menz, M. H. M., Elliott, C. P., Bunn, E., Commander, L. E., Dalziel, E., David, E., Davis, B., Erickson, T. E., Golos, P. J., Krauss, S. L., Lewandowski, W., Mayence, C. E., Merino-Martín, L., Merritt, D. J., Nevill, P. G., Phillips, R. D., Ritchie, A. L., Ruoss, S., & 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/https://doi.org/10.1111/rec.12475>
- Murcia & Guariguata. (2014). La restauración ecológica en Colombia: Tendencias, necesidades y oportunidades. Center for International Forest and Research (CIFOR) Occasional Paper, 107. http://www.cifor.org/publications/pdf_files/occpapers/OP-107.pdf
- Palmer, M. A., Menninger, H. L., & Bernhardt, E. (2010). River restoration, habitat heterogeneity and biodiversity: a failure of the theory or practice? *Freshwater Biology*, 55(s1), 205–222. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02372.x>
- Páramo Pérez, M. E., Lindig-Cisneros, R., & Moreno-Casasola,

- P. (2018). Potencial de invasión de *Phragmites australis* en comunidades dominadas por especies nativas ante disturbios por fuego en condiciones controladas. In *Hidrobiológica*, 28, 201–207. <https://doi.org/https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2018v28n2/lindig>
- Parrado-Roselli, A., Gonzalez-M., R., & Garcia, H. (2016). Estado actual de la investigación científica publicada sobre los bosques colombianos. *Biodiversidad en la Practica* 1(1), 177–197. <https://bit.ly/3A2AfWx>
- Perkins, L. B., & Hatfield, G. (2016). Can commercial soil microbial treatments remediate plantsoil feedbacks to improve restoration seedling performance? *Restoration Ecology*, 24(2), 194–201. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/rec.12302>
- Pizarro-Tobías, P., Fernández, M., Niqui, J. L., Solano, J., Duque, E., Ramos, J.-L., & Roca, A. (2015). Restoration of a Mediterranean forest after a fire: bioremediation and rhizoremediation field-scale trial. *Microbial Biotechnology*, 8(1), 77–92. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1751-7915.12138>
- Quétier, F., Regnery, B., & Levrel, H. (2014). No net loss of biodiversity or paper offsets? A critical review of the French no net loss policy. *Environmental Science & Policy*, 38, 120–131. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.11.009>
- Ramirez, W., Murcia, C., Guariguata, M. R., Thomas, E., Aguilar, M., & Isaacs, P. (2016). Restauración ecológica: los retos para Colombia. In *Biodiversidad 2015. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia* (p. 150). <http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2015/cap3/308/#seccion1>
- Rato, C., Harris, D. J., Perera, A., Carvalho, S. B., Carretero, M. A., & Rödder, D. (2015). A Combination of Divergence and Conservatism in the Niche Evolution of the Moorish Gecko, *Tarentola mauritanica* (Gekkota: Phyllodactylidae). *PLoS ONE*, 10(5), e0127980. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127980>
- Stavi, I., Siegal, Z., Drori, B., Hyams, E., Shafir, A., Kamiski, Y., Al-Ashhab, A., Dorman, M., & Tsoar, A. (2018). Single Session of Chiseling Tillage for Soil and Vegetation Restoration in Severely Degraded Shrublands. *Water* 10(6), 755. <https://doi.org/10.3390/w10060755>
- Van Rossum, F., Hardy, O. J., Le Pajolec, S., & Raspé, O. (2020). Genetic monitoring of translocated plant populations in practice. *Molecular Ecology*, 29(21), 4040–4058. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/mec.15550>
- Wagner, M. R., Lundberg, D. S., Coleman-Derr, D., Tringe, S. G., Dangl, J. L., & Mitchell-Olds, T. (2014). Natural soil microbes alter flowering phenology and the intensity of selection on flowering time in a wild *Arabidopsis relative*. *Ecology Letters*, 17(6), 717–726. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ele.12276>
- Wang, G., Schultz, P., Tipton, A., Zhang, J., Zhang, F., & Bever, J. D. (2019). Soil microbiome mediates positive plant diversity-productivity relationships in late successional grassland species. *Ecology Letters*, 22(8), 1221–1232. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ele.13273>
- Zamora, F., Torres, D., Medina, M., & Labarca, R. (2017). Efecto de los sistemas agroforestales sobre La fertilidad de suelos de ladera de la sierra Falconiana (Venezuela). *Revista Academia*, 16(37), 71–82. <https://bit.ly/3fy2Fhw>
- Zavodna, M., Abdelkrim, J., Pellissier, V., & Machon, N. (2015). A long-term genetic study reveals complex population dynamics of multiple-source plant reintroductions. *Biological Conservation*, 192, 1–9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.08.025>