





Elicitación de la distribución del nivel de importancia de actividades de restauración del paisaje en los Andes colombianos

Elicitation of the Distribution of the Level of Importance of Landscape Restoration Activities in the Colombian Andes

  Carlos Barrera-Causil¹;
 José Luis González Montañez²;
 Juan Carlos Correa Morales³

¹ Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín-Colombia,
carlosbarrera@itm.edu.co

² South Pole Carbon Asset Management S.A.S, Medellín-Colombia,
josegonzalezm0408@gmail.com

³ Universidad Nacional de Colombia, Medellín-Colombia,
jccorrea@unal.edu.co

ISSN-p: 0123-7799
ISSN-e: 2256-5337

Vol. 26, nro. 58, e2827, 2023

Recibido: 09 agosto 2023
Aceptado: 14 diciembre 2023
Disponible: 29 diciembre 2023

©Instituto Tecnológico Metropolitano
Este trabajo está licenciado bajo
una Licencia Internacional
Creative Commons Atribución
(CC BY-NC-SA)



Cómo citar / How to cite

C. Barrera-Causil, J. L. González Montañez, J. C. Correa Morales, "Elicitación de la distribución del nivel de importancia de actividades de restauración del paisaje en los Andes colombianos," *Tecnológicas*, vol. 26, nro. 58, e2827, 2023. <https://doi.org/10.22430/22565337.2827>

Resumen

La definición y priorización de actividades de restauración del paisaje en áreas deforestadas es esencial para la salud a largo plazo de los ecosistemas, la biodiversidad y las comunidades humanas que dependen de los servicios ecosistémicos de los bosques. Este estudio se enfocó en la compleja área de Belmira, Antioquia, en los Andes colombianos, donde el objetivo principal de la investigación se centró en la identificación de áreas y actividades de restauración mediante un análisis espacial multicriterio y un análisis multitemporal. Se presentó una metodología innovadora de elicitación que considera las características individuales de cada experto para estimar la importancia de estas actividades. Se diseñó un instrumento de madera con escala numérica para el proceso de elicitación, controlando posibles sesgos cognitivos mediante protocolos estructurados. Además, se introdujo un algoritmo para generar muestras de distribuciones de probabilidad elicidadas a partir de modelos beta con el objetivo de mejorar la robustez de los resultados. Los hallazgos destacaron que las actividades de *restauración de cuencas y suelos*, así como las *cercas vivas*, son consideradas de mayor importancia por los expertos en toda el área de estudio. Estos resultados sugieren que los esfuerzos ambientales en la región deben focalizarse en estas actividades para generar impacto positivo.

Palabras clave

Conservación, elicitación, preservación, restauración del paisaje, sostenibilidad.

Abstract

The definition and prioritization of landscape restoration activities in deforested areas are essential for the long-term health of ecosystems, biodiversity, and human communities that rely on forest ecosystem services. This study focused on the complex area of Belmira, Antioquia, in the Colombian Andes, where the main research objective was the identification of areas and restoration activities through a multicriteria spatial analysis and a multitemporal analysis. An innovative elicitation methodology was presented, considering the individual characteristics of each expert to estimate the importance of these activities. A wooden instrument with a numerical scale was designed for the elicitation process, controlling potential cognitive biases through structured protocols. Additionally, an algorithm was introduced to generate samples of elicited probability distributions using beta models, aiming to enhance result robustness. Findings highlight that *watershed and soil restoration* activities, along with *live fences*, are deemed of utmost importance by experts across the entire study area. These results suggest that environmental efforts in the region should be focused on these activities to generate a positive impact.

Keywords

Conservation, elicitation, landscape restoration, preservation, sustainability.

1. INTRODUCCIÓN

Extraer el conocimiento o las creencias de un experto a través de técnicas de elicitación e incorporarlo en una distribución a priori, permite obtener estimaciones a partir de las creencias que un individuo o varios pueden tener acerca de un fenómeno o parámetro de interés [1]. Aunque este no es un proceso sencillo, en algunas circunstancias, como por ejemplo en ausencia total o casi total de datos, se hace necesario la implementación de técnicas que permitan cuantificar el grado de creencia de expertos y poder usar dicha información para la toma de decisiones [2].

Autores como [3] y [4], definen que la práctica de la elicitación debe realizarse de la manera más rigurosa y científica posible, minimizando los sesgos cognitivos de los expertos, a partir de protocolos estructurados. El diseño y validación de las preguntas, el contexto con vocabulario apropiado y la adaptación de la elicitación según las condiciones de los expertos, son diferentes recomendaciones que dan expertos para un correcto desarrollo de la técnica de elicitación [5]. Por tanto, bajo el escenario de que el experto no cuente con suficiente conocimiento matemático o estadístico para hacer estimaciones de sus creencias, este proceso resulta aún más complejo.

La elicitación del conocimiento de expertos, o *Expert Knowledge Elicitation* (EKE) ha sido implementada en diferentes campos, por ejemplo, en el área ambiental, podemos encontrar en la literatura que se han desarrollado procesos donde la técnica de elicitación es usada de forma exitosa para definir distribución de patrones de hábitat y distribución de especies a escala de paisaje [6]. Además, [7] realizan una recopilación de aplicaciones del conocimiento de experto y elicitación para ser aplicados en ecología del paisaje. De igual forma, [8] generan un listado de criterios e indicadores para la priorización de áreas para restauración basados en la técnica de elicitación con múltiples actores en el área de restauración. Otra importante aplicación que busca obtener información desde la elicitación en conjunto con la cartografía, pero con otros métodos espaciales, ha sido aplicada en evaluación de servicios ecosistémicos [9].

Por su parte, [10] definen que es posible integrar análisis de decisiones bayesianas dentro del contexto de restauración, siendo esto metodológicamente importante en la gestión adaptativa en la ciencia de la restauración. Además, autores como [11] y [12], han implementado técnicas de elicitación para conocer posiciones frente a procesos de conservación con los actores relacionados, específicamente en términos de la causa de la degradación de los ecosistemas, como también las acciones a seguir para promover la recuperación ecológica.

De otro lado, la restauración del paisaje es, para la socioecología, un proceso transdisciplinario, necesario y estratégico en la actualidad para el mejoramiento de los ecosistemas a nivel global [13], [14]. Este proceso contribuye significativamente a la conservación ambiental y la provisión de servicios ecosistémicos [15]; y puede ser implementado desde una perspectiva de los sistemas socioecológicos [14]. Ahora bien, en este sentido, [16] sugieren concentrar los esfuerzos de restauración en regiones tropicales, y en particular en ecosistemas altoandinos, pues allí existen áreas de ecosistemas estratégicos rodeados por áreas degradadas o convertidas a usos alternativos como ganadería y agricultura, que pueden ser objetivo de procesos de restauración del paisaje. Por lo anterior, se requieren aproximaciones metodológicas que permitan una identificación, localización y priorización efectiva de estas áreas, para orientar esfuerzos de inversión y toma de decisiones a escala global [17], [18], y en sitios específicos [19].

Distintos autores han empleado diversas metodologías para detectar y localizar zonas aptas para la restauración del paisaje. Estas estrategias abarcan, entre otros enfoques, la

modelación de servicios ecosistémicos mediante la definición de umbrales y probabilidades de éxito en su aplicación,[20], la utilización de índices de calidad ambiental, métricas de paisaje, infraestructura azul y verde, así como iniciativas destinadas a mejorar la biodiversidad y restaurar el suelo [21]–[23]. Asimismo, el análisis espacial multicriterio (AEMC) ha ganado relevancia en las evaluaciones ambientales, facilitado por la accesibilidad a datos espaciales y la implementación de tecnologías de información geográfica [24], [25]. Una perspectiva más completa para abordar la identificación de áreas propicias para la restauración del paisaje debería contemplar combinaciones de factores sociales, ambientales y económicos, como se plantea en [26].

Ahora bien, implementar estas técnicas para definir actividades de restauración ecológica del paisaje es importante para un territorio por varias razones. En primer lugar, ayuda a conservar la biodiversidad al identificar las especies que deben reintroducirse en áreas degradadas. Además, promueve la provisión de servicios ecosistémicos y contribuye a mitigar el cambio climático al seleccionar actividades que maximicen la recuperación de estos servicios y la captura de carbono. Finalmente, considera la prevención de la erosión del suelo, mejora de la calidad del suelo y la recuperación de paisajes culturales, preservando la identidad y el valor cultural de un lugar [27]. Por tanto, la definición de actividades de restauración ecológica lleva a una planificación efectiva del territorio, e incrementa los beneficios ambientales, sociales y económicos, contribuyendo a la conservación de la naturaleza y el bienestar de las personas.

Este artículo, se centra en una propuesta metodológica para la elicitación del nivel de importancia de actividades para la restauración del paisaje en una zona de los Andes colombianos, a partir de áreas y actividades de restauración definidas por medio de la combinación de un AEMC y un análisis multicriterio espacial contemplando cambios de cobertura en suelo y aspectos propios del área bajo estudio. La propuesta de elicitación considera diferentes escenarios o características propias de los expertos o conocedores de las tierras e incluye el diseño y construcción de un instrumento de madera que permite de forma exitosa obtener estimaciones de parámetros de modelos de probabilidad asociados al problema de interés.

La estructura de este artículo es como sigue: la sección 2 presenta los aspectos metodológicos para el desarrollo de la investigación, donde se describe el área de estudio, se identifican las áreas y actividades para la restauración, se presentan los disturbios generadores de degradación de los ecosistemas de área, se presentan los factores tensionantes, limitantes/barreras y potenciadores relacionados al desarrollo de procesos en la restauración del paisaje, se exponen los objetivos y características de estas áreas, se explica la técnica de elicitación implementada, y se detalla el algoritmo usado para hacer las estimaciones vía elicitación; la sección 3 presenta los resultados y discusión del estudio; la sección 4 contiene las conclusiones; y finalmente las secciones 5 y 6 presentan respectivamente los agradecimientos y las referencias bibliográficas.

2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

2.1 Área de estudio

El área de interés para este estudio comprende la región rural del municipio de Belmira, ubicado en la parte noroccidental de Antioquia, Colombia. Belmira experimenta una temperatura promedio de 14 grados Celsius y tiene una altitud que varía entre 2400 y 3000

metros sobre el nivel del mar (msnm). En 2018, la población estimada es cercana a los 6000 habitantes, y está situado en la Cordillera Central en las coordenadas 6°36'18"N 75°39'57"O.

El municipio engloba un total de 15 asentamientos rurales o veredas, abarcando un área aproximada de 29000 ha. Este estudio se enfoca en 7 de estas 15 veredas, que cubren un total de 3708.87 ha, con una estructura geográfica y comercial compleja donde confluyen características ecosistémicas únicas, procesos económicos, actores de diversa naturaleza (científicos, ONGs, comunidad, gobierno y empresas) y diferentes determinantes, como los son los paisajes productivos que generan *trade-offs* entre conservación y producción. Los criterios para definir el área de estudio incluyen el tamaño y la concentración del área para el trabajo de campo, la homogeneidad en términos de características del ecosistema y las áreas fuera del área protegida, ya que este municipio tiene una extensa zona de conservación debido a la presencia de un páramo y fuentes hídricas importantes.

La región de estudio mayormente está cubierta por ecosistemas de alta montaña, con la población principalmente dedicada a actividades vinculadas a agroecosistemas (75.28 %), que comprenden pastizales para ganado y hábitats mixtos para actividades agrícolas. Además, el paisaje también abarca bosques de alta montaña (15.43 %) y vegetación secundaria (4.84 %) [28]. Las características ecológicas de este ecosistema son semejantes a las descritas en la Cuenca del Río Grande, especialmente en las zonas de transición entre el bosque andino, el bosque de alta montaña y el páramo, según se ha informado en estudios anteriores [29], [30].

Alrededor del 60 % del municipio se ubica dentro de la categoría de protección designada como Distrito de Manejo Integrado (DMI), específicamente en el Sistema de Páramos y Bosques Altoandinos del Noroccidente Medio Antioqueño (SPBANMA). Aproximadamente el 91 % del territorio municipal está bajo la influencia de la categoría asociada al Plan de Ordenamiento de Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) del Río Grande [31]. Cabe destacar que el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) data del año 2000, y su actualización cartográfica más reciente se llevó a cabo en el año 2005.

La extensión destinada a pastos abarca 17882.1 ha, lo que equivale al 59.9 % del área total del municipio. De este porcentaje, el 85.2 % se refiere a pastizales que han experimentado algún tipo de manejo, el cual no necesariamente implica el uso de pastos mejorados, como *kikuyo raigrass*, entre otros (grama, andadora, falsa poa), comúnmente encontrados en la región. Este manejo se relaciona más con prácticas culturales como la división de potreros, rotación, fertilización y control de malezas. El 14.77 % restante comprende pastizales enmalezados o mezclados con rastrojos bajos, lo que sugiere un menor grado de manejo o abandono de los pastizales [32]. En la zona también se destacan actividades como la producción de trucha, pastos para la lechería y cultivos de papa, así como plantaciones forestales de *Pinus patula* y hortensias.

El 67.9 % de la extensión del municipio está ocupado por el ecosistema estratégico de páramo, específicamente el Páramo de Belmira-Santa Inés [33]. Este páramo es la fuente de origen de importantes cuerpos de agua, entre los que se destacan el río Chico, y la quebrada Quebradona [34]. Estas fuentes hídricas abastecen a una población aproximada de 68000 habitantes distribuidos en 11 municipios cercanos al páramo [34]. En la Figura 1 se presenta de manera visual un resumen de las temáticas, actores, acciones, instrumentos y peculiaridades del municipio de Belmira. En la parte superior de la figura se representan diversos factores ambientales en la zona, como el Páramo de Belmira-Santa Inés, el POMCA, el EOT y el DMI, así como las características naturales relevantes. En la parte inferior se describen las actividades comerciales y de subsistencia, así como los distintos procesos relacionados con los actores en el territorio.

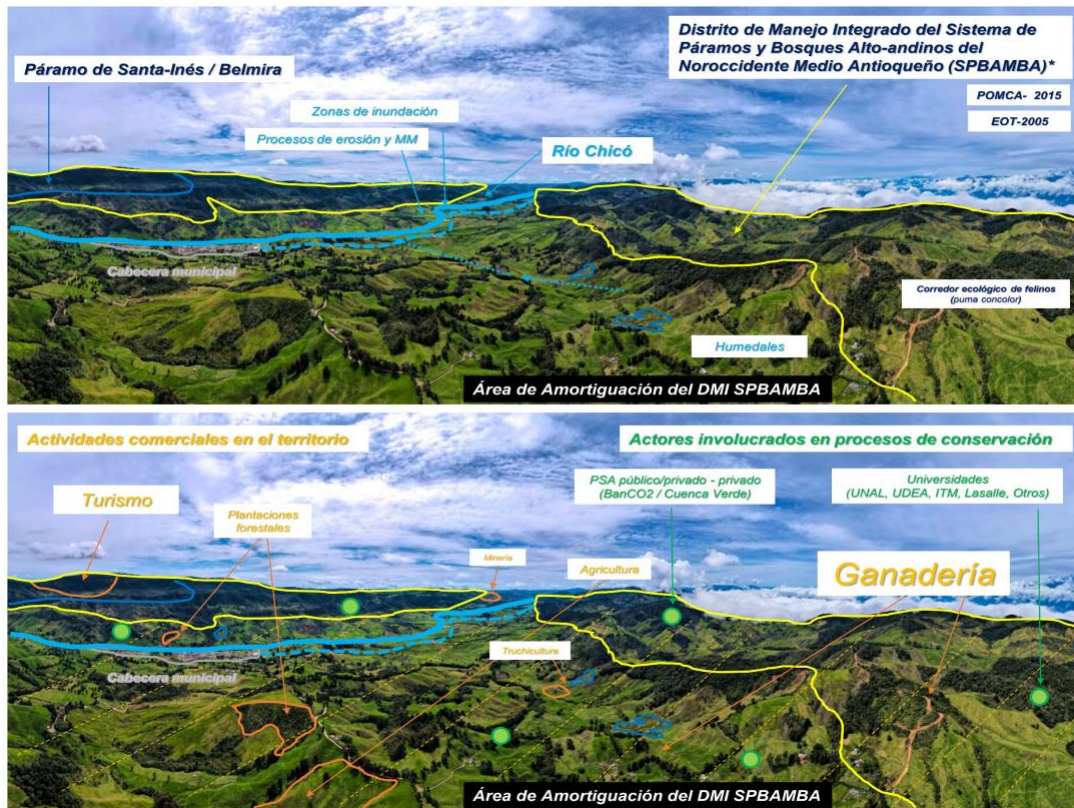


Figura 1. Resumen visual de las temáticas, actores, acciones, instrumentos y particularidades del municipio de Belmira. Fuente: elaboración propia.

2.2 Identificación de áreas y actividades para la restauración del paisaje

Para llevar a cabo la elicitación de la distribución del nivel de importancia de las actividades de restauración, primero se establecen los criterios para la identificación de las áreas a restaurar. Por lo tanto, en este estudio se consideran los disturbios que generan la degradación de los ecosistemas, así como los factores estresantes y limitantes (también conocidos como barreras y/o filtros), junto con los objetivos y características de estas áreas para la restauración del paisaje. Según [35], estas pautas permiten definir aspectos ambientales, sociales, económicos y de gobernanza. Ya sea a través de información secundaria o mediante trabajo de campo, se pueden determinar los elementos que afectan el proceso de restablecimiento natural del sistema perturbado, lo que es esencial para una precisa definición de estas áreas basada en las condiciones territoriales.

Para la identificación de áreas y actividades para la restauración se considera inicialmente un AEMC que con nueve (9) variables que incluyen criterios ecológicos y socioeconómicos, seleccionados en función de la recopilación de información secundaria, observaciones de campo y barreras específicas definidas en [36]. Luego, integrando los cambios en la cobertura terrestre entre los años 2010 y 2020 por medio de un análisis multitemporal, que, en conjunto con el AEMC, sumado a los disturbios generadores de degradación de los ecosistemas, los factores positivos o negativos para la restauración del paisaje, y los objetivos y características a considerar para áreas a restaurar, se definen actividades con fines de priorización para la restauración en la zona de estudio. La combinación de estas técnicas con la innovadora propuesta de elicitación, permiten alcanzar

los objetivos de esta investigación, comprendiendo así un proceso metodológico que no se ha implementado en la literatura.

2.3 Disturbios generadores de degradación de los ecosistemas

La perturbación es un evento relativamente discreto en el tiempo que altera la estructura y función de un determinado ecosistema, comunidad o población [37]. Los diferentes disturbios, tanto naturales como antrópicos, afectan los diferentes hábitats y los procesos a escala de paisaje [38]. A partir de información secundaria, junto con el trabajo de campo, se evidencian algunos de los disturbios para nuestra área de estudio, como por ejemplo la expansión agrícola con monocultivos como la papa criolla, papa negra, tomate de árbol, uchuva y aguacate, entre otros.

La minería a cielo abierto en las cercanías del Río Chicó (río que se encuentra dentro del área de estudio) es otro disturbio antrópico que impacta todos los compartimientos del ecosistema, incluyendo suelo, vegetación, fauna y condiciones microclimáticas. Este disturbio es observable tanto en el trabajo de campo como en el insumo cartográfico. En la zona también se presenta la expansión ganadera hacia relictos de bosques y vegetación en transición.

Las inundaciones a lo largo del Río Chicó y otros drenajes son un disturbio natural que afecta principalmente el suelo. Para identificar estas inundaciones, se utiliza información de registro histórico y modelaciones, así como recursos multimedia proporcionados por los habitantes del área. Por último, los deslizamientos son otro disturbio natural del área de estudio y se han evidenciado durante los recorridos de campo.

2.4 Factores en la restauración del paisaje

Diferentes factores pueden jugar a favor o en contra de los procesos de restauración. Los factores tensionantes son considerados estímulos externos, que pueden dañar o no los sistemas naturales [39], que pueden causar pérdidas de elementos y organización de los ecosistemas [40]. Un factor limitante son las condiciones propias de los sistemas que impiden su normal desarrollo [39].

Entre los diferentes factores evidenciados en el área de estudio se encuentra la presencia de especies invasoras, específicamente la especie *Thunbergia alata*, que se observa durante los recorridos de campo. Otro factor es la ampliación de la frontera agrícola en zonas de bosques, respaldada por análisis espaciales multitemporales realizado por [41], por observación en campo, y lo expuesto en [26]. Además, se destaca la existencia de monocultivos, confirmados tanto por estos autores como mediante trabajo de campo.

Por otro lado, los bancos de semillas representan un potenciador, obtenido a través de información secundaria proporcionada por [41]. La falta de conocimiento sobre el estado de los suelos, la baja capacitación en procesos de uso sostenible y la necesidad de iniciativas de conservación son barreras y limitantes identificados, los cuales se obtienen mediante trabajo de campo y recolección de información de entidades del área de estudio.

2.5 Objetivos y características que deben tener las áreas para restauración del paisaje

Para la restauración ecológica, la definición de los objetivos se realiza de acuerdo con el tipo, magnitud y frecuencia del disturbio, aunada al estado del ecosistema, su incidencia negativa sobre los adyacentes y, especialmente, el estado de los bienes y servicios ecosistémicos deseados socialmente [39]. Con base en la información tanto de los disturbios como de los diferentes factores evidenciados, se observa un componente ambiental, donde se

busca garantizar la provisión de servicios ecosistémicos para individuos y comunidades. Además, se busca que las áreas de restauración sean coherentes con la vocación y aptitud de uso del suelo del territorio, y que ayuden a disminuir y/o eliminar los disturbios en el ecosistema.

Desde el punto de vista económico, se busca mejorar las actividades considerando criterios de sostenibilidad y generando un impacto positivo en las finanzas a través de actividades definidas. A su vez, desde lo social, se busca tener en cuenta las percepciones y gustos de los individuos, así como contribuir a procesos de gobernanza y empoderamiento de las comunidades locales a través de actividades productivas sostenibles que permitan promover una gestión del territorio a través de procesos óptimos y/o apropiados en las zonas de amortiguación de áreas protegidas.

2.6 Elicitación del nivel de importancia de las actividades de restauración

La estimación del nivel de importancia de cada una de las actividades de restauración del paisaje en los predios se obtiene a partir de elicitación del conocimiento de expertos (EKE), el cual es un proceso que permite convertir las ideas y conocimientos de una persona o un grupo, en un número real, que represente una distribución de probabilidad de sus creencias [42].

Para llevar a cabo el proceso de elicitación definimos como unidades muestrales los predios que comprenden el área total de estudio. Por lo tanto, basados en proporción de área total, se define una muestra de 348.19 ha usando un error de estimación de 0.05, un nivel de confianza de 95 %, y una probabilidad de éxito o nivel de importancia promedio de las actividades de 0.5. Esta muestra es comprendida entonces, bajo criterios de aleatoriedad y de inclusión forzosa (debido a la disponibilidad de los propietarios de las tierras), por 14 predios en total, los cuales abarcan 419.37 ha.

Como el interés es determinar las actividades de restauración más apropiadas para el área de estudio, pero considerando beneficios sociales, económicos y ambientales para los propietarios de las tierras estudiadas, se definen como expertos, o personas a elicitar, a aquellos que mayor conocimiento tengan sobre los predios. En nuestro caso son los mismos propietarios, los cuales habitan sus tierras. Así, para estos 14 predios tenemos un total de 13 expertos, pues uno de ellos es propietario de dos predios.

Ahora bien, a través de la elicitación se estima el nivel de importancia de cada una de las principales actividades de restauración para los predios considerados en el estudio. Por lo anterior, se lleva a cabo un proceso de elicitación gráfico individual por predios apoyados de la herramienta que se presenta en la Figura 1, donde a través de una escala numérica se estiman cuantiles (en particular percentil 5, 50 y 95) de la distribución de probabilidad del nivel de importancia de cada actividad para el área de conocimiento del experto.

En la Figura 2 se observa un instrumento de madera que se construye para mayor entendimiento por parte de los expertos, facilidad y precisión en el proceso de elicitación. El instrumento tiene una escala numérica que va desde cero (0) a 100 con el fin de representar en porcentaje del nivel de importancia de cada una de las actividades de restauración del paisaje propuestas. En la Figura se observa además tres dispositivos removibles en los costados del instrumento con el fin de que el experto los ubique en la altura que considere representa su nivel de creencia acerca del nivel de importancia de cada actividad considerando siempre beneficios ambientales, sociales y económicos.

Este instrumento emula el método de elicitación de apuestas propuesto por [2] donde a diferencia de la propuesta de estos autores no se usa un software para plantear una batería de preguntas a través de una entrevista-encuesta, sino que, de forma manual, y más acorde

a las características de la población de expertos se extrae la información requerida de los expertos permitiendo superar barreras tecnológicas o matemáticas que puedan causar sesgo en las estimaciones. El proceso de elicitación es ilustrado en el siguiente [material suplementario](#).



Figura 2. Herramienta o instrumento para la elicitación de cuantiles de una distribución de probabilidad de una proporción o un porcentaje. Fuente: elaboración propia.

Nótese que, en este punto, el proceso de elicitación es bastante complejo, pues los propietarios de las tierras o expertos son entrevistados a través de preguntas cuyo interés es obtener cuantiles de distribuciones de probabilidad, pero donde el lenguaje utilizado debe ser lo suficientemente claro y preciso para alcanzar el objetivo del estudio.

Para el caso de una actividad en particular, por ejemplo, Aviturismo, se puede preguntar de la siguiente manera para obtener los percentiles 5, 50 y 95, respectivamente: de 0 a 100, ¿Cuál es el mínimo nivel de importancia que usted, basado en su conocimiento de la tierra, le asigna a esta actividad para ser implementada aquí? En promedio, ¿En una escala del 0 al 100, qué nivel de importancia asignaría a esta actividad según el conocimiento de su propiedad? De 0 a 100, ¿Cuál es el máximo nivel de importancia que usted, basado en su conocimiento, le asigna a esta actividad para ser implementada aquí? Estas preguntas permiten obtener una estimación inicial de los percentiles de interés, luego, es necesario realizar una serie de contrapreguntas para que el experto ajuste sus creencias y poder así evitar caer en anclajes en el proceso de estimación u obtener estimaciones sesgadas [3].

El algoritmo propuesto en este artículo que describe el proceso de elicitación y las estimaciones de los modelos de probabilidad se presenta a continuación:

ALGORITMO 1

Inicio

1. Contextualización de la frase “nivel de importancia de actividades de restauración” basados en beneficios sociales, económicos y ambientales para el propietario
2. Caracterización del experto y proceso pedagógico respecto a las actividades de restauración definidas y del concepto de elicitación.
3. Instructivo de uso de la herramienta de elicitación (ver Figura 2) y ejecución de preguntas de prueba para afianzar su uso.
4. Inicio de preguntas y contrapreguntas, y registro de información por actividad de interés para cada experto.
5. Ajustar los valores elicitados para cada actividad y por predios, a una distribución de probabilidad conocida. Se implementan los siguientes pasos.

- a. Convertir a escala 0-1 los valores estimados para los parámetros con el fin de ajustar un modelo de probabilidad beta para cada caso. Note que este modelo de probabilidad es apropiado para datos en dicho rango.
- b. Calcular los cuantiles teóricos 5, 50 y 95 de la distribución beta a partir de su modelo de probabilidad, basados en la función de densidad (1):

$$\text{Función de densidad de probabilidad} \rightarrow f(x) = \frac{x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}}{B(\alpha, \beta)} \quad (1)$$

- c. Calcular la media teórica (2)

$$\text{Media} \rightarrow f(x) = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \quad (2)$$

- d. Guardar en un vector los parámetros de los tres (3) percentiles estimados (5, 50 y 95) a partir del proceso de elicitación.
- e. Comparar del modelo de probabilidad de los datos teóricos con los datos estimados mediante suma de cuadrados para obtener así el error cuadrático.
- f. Determinar los valores óptimos de los parámetros de la distribución beta (α y β) para cada escenario evaluado a través de la función *optim()* del software R (2023) [43] (ver código en anexo).
- g. Realizar por cada actividad y por cada dueño de predio los puntos 1 a 6, para obtener así los datos óptimos de α y β , y obtener así las distribuciones de probabilidad elicitadas para el nivel de importancia de cada actividad de restauración por predio.
6. Construir modelos multinomiales del nivel de importancia de las actividades de restauración para cada caso a partir de medidas de centralidad de datos generados de cada modelo de probabilidad beta.

Fin**3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Inicialmente, se procede a la identificación de las actividades para la restauración, donde se aplica un enfoque holístico e integrado basado en el paisaje. Este proceso es descrito en detalle en [26], [45], donde la identificación de áreas y actividades de restauración del paisaje se realiza a través de un análisis espacial utilizando un mapa inicial que representa la viabilidad para implementar procesos de restauración del paisaje. Este mapa se obtiene combinando espacialmente nueve variables mediante el enfoque de análisis espacial multicriterio (AEMC). Las nueve variables consideradas son: erosión y deslizamientos de tierra, importancia del agua, cobertura del suelo, conectividad ecológica, inundaciones, distancia a la pérdida de bosques, propiedades con cercas vivas, densidad de construcciones, y propiedades con procesos de conservación.

Finalmente, con base en la integración de los cambios en las coberturas terrestres entre los años 2010 y 2020 en el área de estudio (análisis multitemporal), el análisis multicriterio espacial definido en [44], y los criterios definidos en la metodología descrita arriba, se identifican las cinco principales actividades para restauración en la zona de estudio. De esta manera, las actividades priorizadas son A1: Cercas vivas, A2: Rotación de cultivos, A3: Restauración de cuencas y suelos, A4: Turismo de naturaleza, y A5: Aviturismo. Nótese que

estas se encuentran enmarcadas dentro de los conceptos de uso sostenible, restauración ecológica y de preservación.

Los resultados también muestran que la actividad de preservación está asociada con cambios en la clase de cobertura terrestre de Bosque a Bosque, Río a Río, Pastos a Bosque, Transición (rastrojos y vegetación secundaria) a Bosque e Infraestructura a Bosque (ver Figura 3 y Tabla 1).

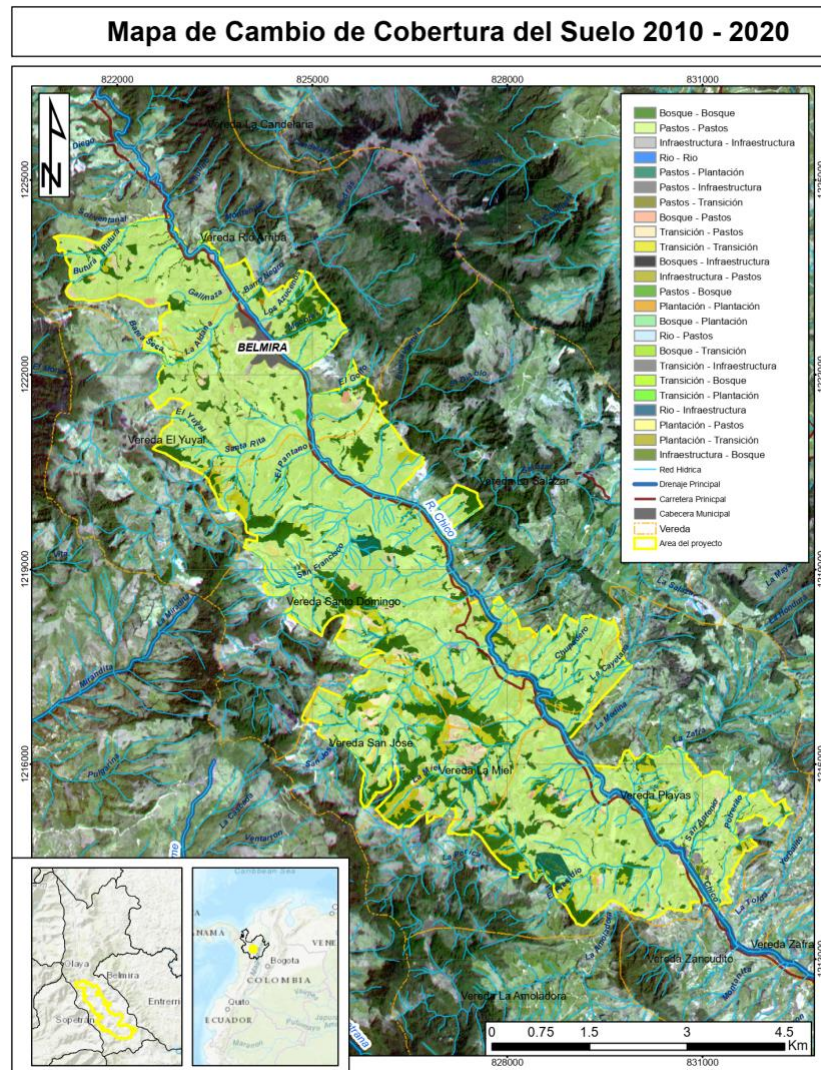


Figura 3. Mapa de cambio de coberturas terrestres 2010-2020, en el área de estudio. Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 1 se observa que los mayores cambios asociados a pérdida de coberturas naturales se presentan entre la cobertura de Transición a Pastos (89.18 ha, equivalentes a un 2.40 % del total del área) y los Bosques a Pastos (33.22 ha, equivalentes a un 0.89 % del total del área). A su vez, se presenta una ganancia de Pastos a Bosques de 6.89 ha, equivalentes a 0.18 % del total del área; como también de Pastos a Transición (5 ha equivalentes al 0.13 %). Otro punto importante es el cambio que se da entre los pastos y las plantaciones forestales, aumentando en un 0.67 % (25.10 ha). Nótese que en algunos casos las clases de coberturas no cambian de 2010 a 2020, por lo tanto, estas mantienen el mismo

nombre. Por su parte, cuando se presentan cambios de Transición a Transición esto indica una actividad de restauración ecológica que implica la transformación de áreas de transición; mientras que un cambio de Bosque a Transición indica una restauración ecológica que implica la transformación de áreas boscosas a áreas de transición.

Tabla 1. Cambio de clases de coberturas terrestres entre 2010 y 2020, con su respectiva actividad de restauración del paisaje asignada, para el área de estudio. Valores de 0.00 % indican representación porcentual muy baja. Fuente: elaboración propia.

Actividad de restauración del paisaje	Cambio de clase de cobertura terrestres 2010-2020 (%)	Área (ha)	Área (%)
Preservación	Bosque - Bosque (15.13 %)	586.11	15.80 %
	Río - Río (0.37 %)		
	Pastos - Bosque (0.19 %)		
	Transición - Bosque (0.11 %)		
	Infraestructura - Bosque (0.00 %)		
Restauración ecológica	Río - Pastos (0.00 %)	179.51	4.84 %
	Transición - Transición (4.43 %)		
	Bosque - Transición (0.27 %)		
	Pastos - Transición (0.13 %)		
	Plantación - Transición (0.00 %)		
Uso sostenible	Pastos - Pastos (71.67 %)	2822.00	76.09 %
	Transición - Pastos (2.40 %)		
	Bosque - Pastos (0.90 %)		
	Pastos - Plantación (0.68 %)		
	Plantación - Pastos (0.28 %)		
Sin actividad	Plantación - Plantación (0.08 %)	121.18	3.27 %
	Transición - Plantación (0.05 %)		
	Infraestructura - Pastos (0.03 %)		
	Bosque - Plantación (0.01 %)		
	Infraestructura - Infraestructura (2.92 %)		
	Pastos - Infraestructura (0.20 %)		
	Transición - Infraestructura (0.12 %)		
	Bosque - Infraestructura (0.03 %)		
	Total	3708.80	100.00 %

Otras actividades, como la restauración ecológica y el Uso sostenible, también están vinculadas a cambios específicos en las clases de cobertura terrestre. Por ejemplo, la Restauración ecológica se relaciona con cambios de Transición a Transición, Bosque a Transición, Pastos a Transición y Plantación a Transición, mientras que el Uso sostenible involucra cambios de Pastos a Pastos, Transición a Pastos, Bosque a Pastos y más. Esta observación lleva a la construcción del mapa de actividades para este estudio el cual se presenta en la Figura 4.

La caracterización de los expertos muestra que la edad promedio de los expertos es de 56.23 años, con una mediana de 61 años. La distribución de sus edades tiene una desviación estándar de 12.14 y un rango intercuartil de 12. Los expertos son personas que en promedio llevan 21.08 años de su vida bajo el cuidado del área bajo estudio y realizando actividades propias del campo o relevantes para este estudio, con una mediana de experiencia de 20 años. El rango intercuartil para su tiempo de experiencia es de 23, y la desviación estándar es de 15.11. Además, 8 de los 13 expertos han participado previamente en procesos de conservación, resaltando su papel significativo como individuos conocedores en esta investigación.

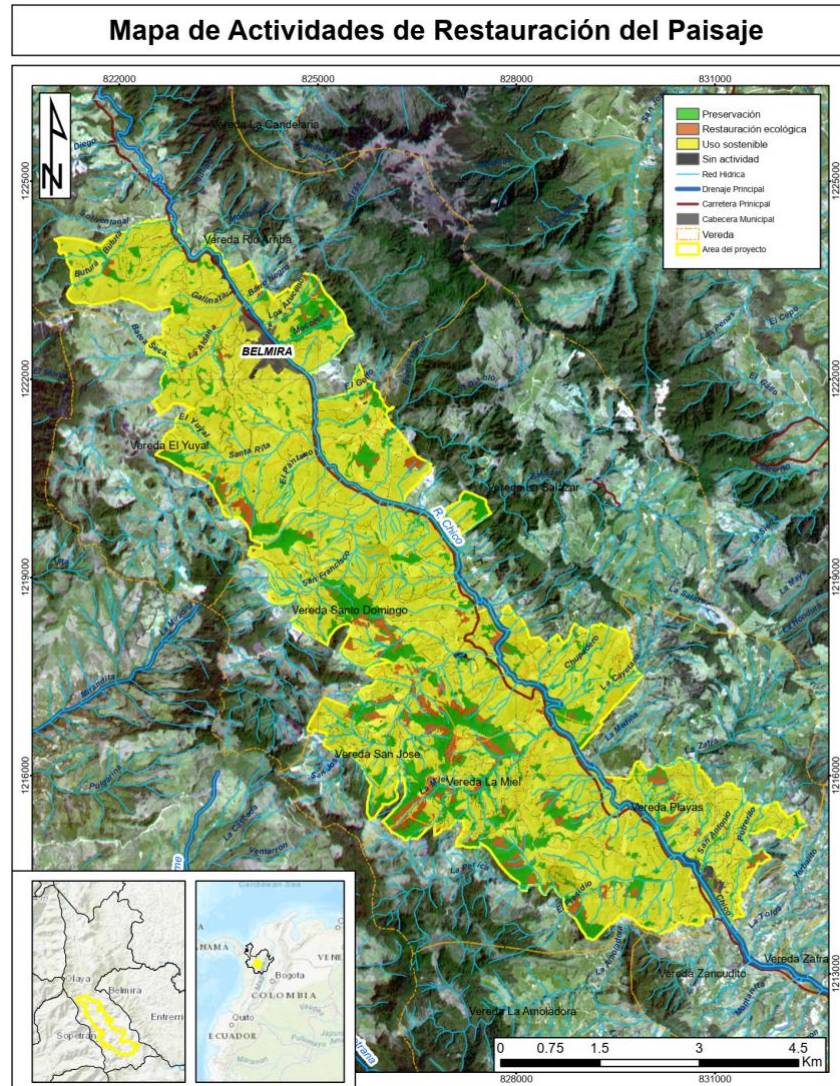


Figura 4. Mapa de actividades de restauración del paisaje. Según los cambios definidos, áreas que hayan pasado de bosques a transición, o que se hayan mantenido en transición, deberían ser más ideales para el desarrollo de procesos de restauración ecológica (color café). Fuente: elaboración propia.

Luego de aplicar el algoritmo propuesto, se obtienen las distribuciones de probabilidad beta ajustada para cada una de las actividades independiente del predio (ver Figura 5). El código R que implementa el algoritmo expuesto y los datos correspondientes al proceso de elicitación puede ser descargado accediendo al [material suplementario](#). Al igual de lo que se aprecia en la Figura 6, donde se grafica la distribución multinomial del nivel de importancia de las actividades de restauración del paisaje, vemos que la actividad 3, Restauración de cuencas y suelos, es la de mayor nivel de importancia asignado por los expertos en toda el área de estudio. Note que las barras de error de la Figura 6 indican que dicha actividad es la que tiene menor variación respecto al nivel de importancia asignado. Se puede ver también en este mismo gráfico que la actividad 1, Cercas vivas, es la segunda mejor calificada por los expertos como posible actividad de restauración del paisaje en la zona.

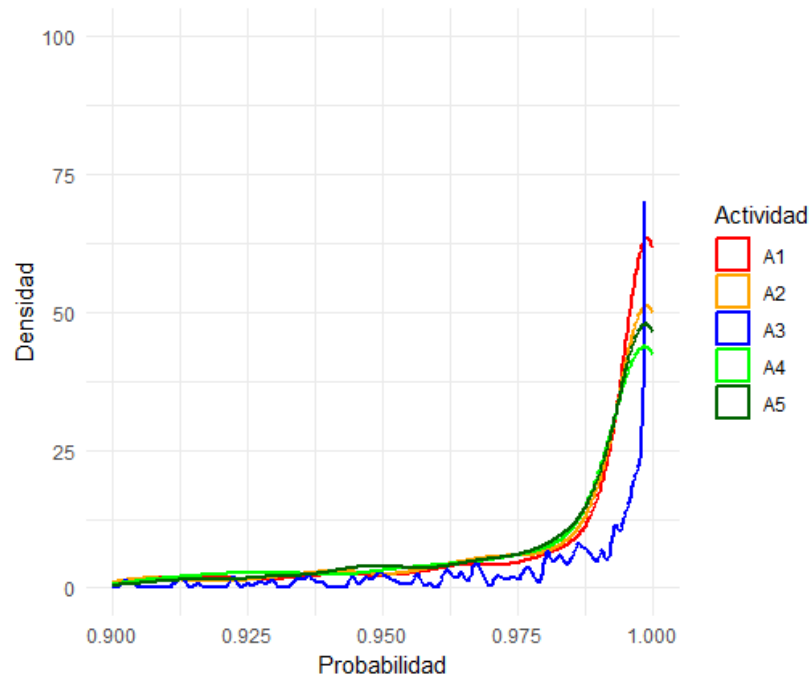


Figura 5. Distribución de probabilidad beta ajustada para cada una de las actividades independiente del predio. Vemos un comportamiento asimétrico de las distribuciones beta ajustadas a cada una de las actividades. Fuente: elaboración propia.

Se generan muestras de cada modelo de probabilidad beta y se calculan mediana y rango intercuartil de los modelos como estimadores de medidas de centralidad y dispersión del nivel de importancia de las actividades. De aquí, se ajusta una función de masa de probabilidad multinomial empírica para estas estimaciones (ver Figura 6).

Ahora bien, este proceso se realiza también considerando criterios de área de las propiedades y del nivel de experticia de los propietarios. Por lo tanto, basado en área se crean tres grupos: terrenos con menos de 18.77 ha (8 predios), predios con tamaño comprendido entre 18.77 ha y 53.74 ha (2 predios), y los mayores de 53.74 ha (3 predios). Con respecto al tiempo de experticia de los propietarios se crean también tres grupos: aquellos con menos de 7 años de experticia (4 predios), entre 7 y 20 años (4 predios), y los que tienen más de 20 años de experticia o de conocimiento de su tierra (5 predios).

Al aplicar el algoritmo descrito arriba para cada grupo de predios según tamaño, se estiman las distribuciones a priori elicítadas para el nivel de importancia de las cinco actividades propuestas en cada grupo. Los parámetros estimados de las distribuciones beta ajustadas se presentan en la Tabla 2. A partir de dichos modelos, podemos generar muestras y construir los respectivos modelos de probabilidad multinomial empíricos para cada caso.

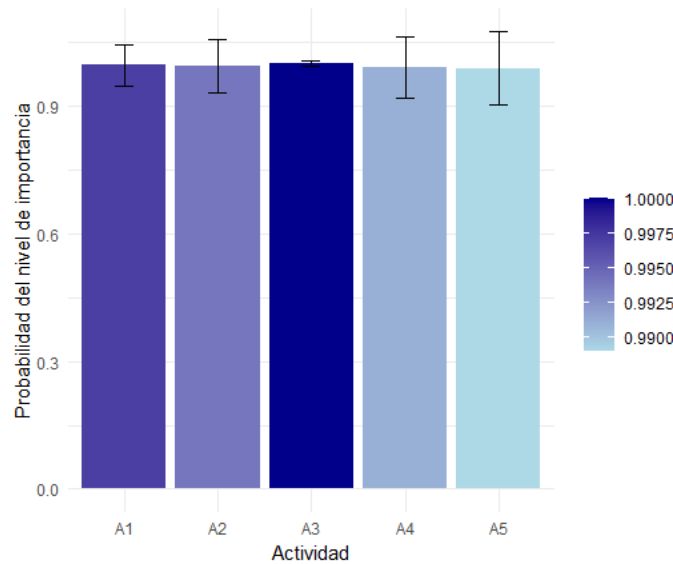


Figura 6. Distribución multinomial empírica del nivel de importancia de las actividades de restauración del paisaje. La escala de colores indica el nivel de importancia asignado a cada actividad, donde las tonalidades fuertes corresponden a niveles de importancia más alto. Debido a la asimetría de las distribuciones en la Figura 4, se agregan barras de error con el rango intercuartil para identificar la variación de las observaciones que pueden ser generadas a partir de cada actividad. Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Distribuciones beta ajustadas usando el algoritmo descrito arriba para cada grupo de tamaños de predios. Fuente: elaboración propia.

Grupo	Parámetro	A1	A2	A3	A4	A5
<18.77	α	2.67	3.18	3.09	3.08	2.58
	β	0.15	0.08	0.08	0.08	0.19
>=18.77 & <=53.74	α	2.05	2.46	3.06	2.64	2.05
	β	0.43	0.23	0.08	0.14	0.43
>53.74	α	3.13	2.15	3.03	3.10	3.16
	β	0.08	0.37	0.08	0.08	0.08

La Figura 7 presenta la distribución multinomial empírica del nivel de importancia de las actividades de restauración del paisaje según área (en hectáreas) de los predios. Podemos observar que en los predios con áreas inferiores a 18.77 ha no existe diferencias sustanciales en cuanto el nivel de importancia de las actividades de restauración del paisaje evaluadas para ser implementadas en estos predios y considerando siempre beneficios económicos, sociales y ambientales. Sin embargo, al observar predios con dimensiones más grandes (áreas superiores o iguales a 18.77 ha, pero inferiores o iguales a 53.74 ha) se observa mayor preferencia o nivel de importancia por las actividades 3 y 4 (A3: Restauración de cuencas y suelos, A4: Turismo de naturaleza), sin desconocer que también es preferida la actividad 2, pero note que esta posee, según la barra de error, una alta variación en el nivel de importancia. Por último, vemos que para predios con área superior a 53.74 ha el nivel de importancia de las actividades de restauración propuestas es alto para todas, excepto para la actividad número 2. De esta forma, en general destacamos las actividades 3 y 4 como las mejores valoradas por los expertos.

Se destaca que, al contrastar con las características específicas de las propiedades con áreas inferiores a 18.77 ha, se observa que, aunque la ganadería prevalece como la actividad principal en seis de los ocho predios, la gran mayoría de estos también dedica terrenos a

cultivos destinados tanto para su autoconsumo como para ventas en una escala menor (siete de ocho). Además, los propietarios de estas propiedades expresan su interés en el turismo en general y asignan una valoración alta a la actividad A4; no obstante, señalan que la mayoría carece de atractivos naturales en sus terrenos que permitan desarrollar esta actividad, principalmente debido al tamaño reducido de sus propiedades. Esta perspectiva contrasta con la opinión de los propietarios de terrenos con áreas superiores a 18.77 ha, ya que la amplitud de sus terrenos favorece su inclinación hacia las actividades 3 y 4.

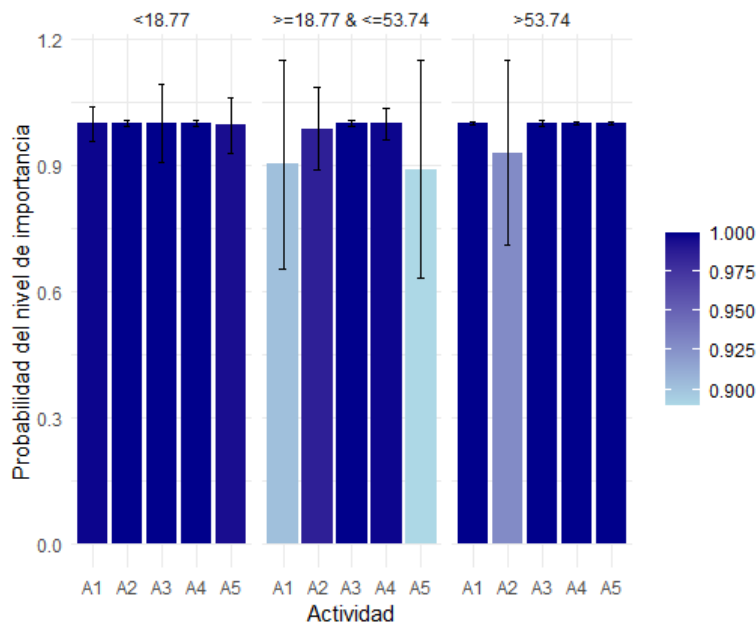


Figura 7. Distribución multinomial empírica del nivel de importancia de las actividades de restauración del paisaje según área (en hectáreas) de los predios. Fuente: elaboración propia.

La Tabla 3 presenta los parámetros estimados de las distribuciones beta ajustadas usando el algoritmo descrito arriba para cada grupo de tiempo de experticia de los propietarios. Generando muestras a partir de estas distribuciones y calculando la mediana y el rango intercuartil podemos construir la distribución multinomial empírica para los tres grupos de años de experticia considerados (ver Figura 7).

Tabla 3. Distribuciones beta ajustadas usando el algoritmo descrito arriba para cada grupo de tiempo de experticia de los propietarios. Fuente: elaboración propia.

Grupo	Parámetro	A1	A2	A3	A4	A5
<7	α	2.56	2.42	3.08	2.34	2.50
	β	0.20	0.25	0.08	0.28	0.22
>=7 & <=20	α	3.17	2.46	3.06	3.18	3.16
	β	0.08	0.23	0.08	0.08	0.08
>20	α	2.56	3.16	3.07	2.56	2.38
	β	0.20	0.08	0.08	0.20	0.27

En la Figura 8 se aprecia las estimaciones de los diferentes niveles de importancia que los expertos, según su grado de experticia, asignan a las actividades de restauración propuestas para el área de estudio. Observamos que cuando el nivel de experticia es inferior

a siete (7) años, la actividad 3 es la que posee una mayor importancia de implementación en su zona. Por su parte, para personas con entre 7 y 20 años de experticia, todas las actividades son consideradas importantes, en igual grado, excepto la actividad número 2. Por último, al centrarnos en aquellos que tienen más de 20 años de experticia las actividades 2 y 3 (A2: Rotación de cultivos, A3: Restauración de cuencas y suelos) son las mejores valoradas respecto a nivel de importancia de implementación en el área de estudio teniendo en cuenta los beneficios económicos, ambientales y sociales que estas puedan generar.

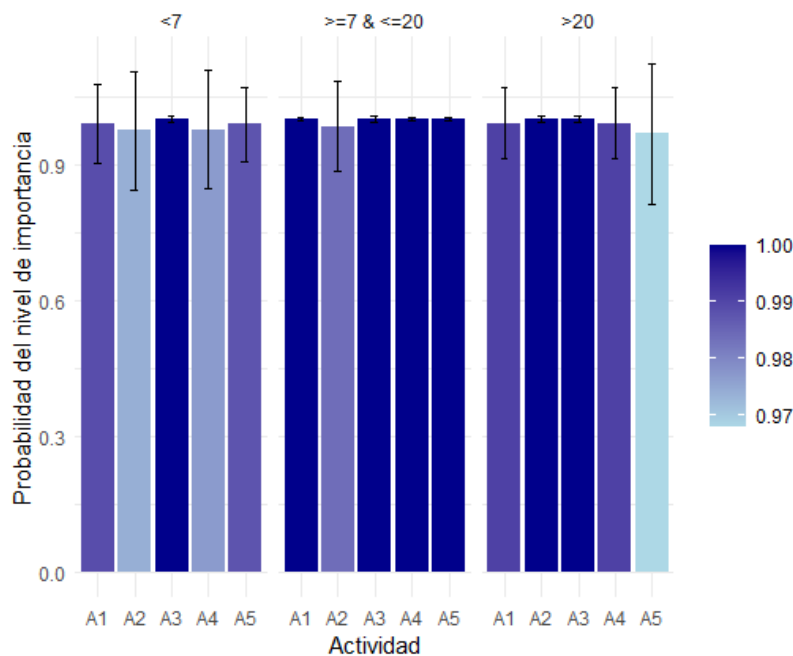


Figura 8. Distribución multinomial empírica del nivel de importancia de las actividades de restauración del paisaje según años de experticia de los propietarios de los predios. Fuente: elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

En este manuscrito se propone la implementación de un método de elicitación a través de un instrumento de madera como herramienta didáctica para la estimación del nivel de importancia de las actividades de restauración en un paisaje complejo de los Andes colombianos. Los resultados obtenidos muestran la capacidad de esta técnica de elicitación para llevar a cabo procesos de estimación cuando el experto requiere de procesos pedagógicos acerca del fenómeno a estudiar. Una mayor disposición de parte de los expertos permitiría una ampliación de los resultados obtenidos con miras a considerar un mayor número de actividades de restauración.

La implementación del AEMC y del análisis multitemporal permitieron identificar áreas y actividades más relevantes para la restauración del paisaje. Actividades tales como creación de corredores biológicos, control de especies invasoras, manejo de pastizales, entre otras, fueron consideradas, sin embargo, la inclusión de diferentes variables que comprenden criterios ecológicos y socioeconómicos permitieron priorizar cinco actividades para la restauración. De aquí, la metodología de elicitación permitió la estimación y priorización del nivel de importancia de las actividades de restauración del paisaje.

En términos generales, los expertos consideran que la restauración de cuencas y suelos es la actividad más significativa, evidenciada por un percentil 50 de 0.8 y un percentil 95 de 1.0. En contraste, el aviturismo se percibe como la actividad menos relevante en términos de beneficios sociales, económicos y ambientales, con un percentil 50 de 0.2 y un percentil 95 de 0.4. Sin embargo, otros estudios revelan que esta actividad es poco conocida tanto por los propietarios como por la población en general, a pesar de la presencia en la zona de especies con un considerable potencial para el aviturismo, aunque no sean endémicas. Cabe destacar que la restauración de cercas vivas se posiciona como la segunda actividad de restauración del paisaje mejor valorada por los expertos en la región en el proceso de elicitación.

Cuando discriminamos los predios estudiados según su tamaño, se observa mayor preferencia o nivel de importancia por las actividades restauración de cuencas y suelos, y turismo de naturaleza, para predios con áreas comprendidas entre 18.77 ha y 53.74 ha. Por su parte, al observar predios con áreas superiores a 53.74 ha, se aprecia que el nivel de importancia de las actividades de restauración propuestas es alto para todas, excepto para la actividad rotación de cultivos.

El nivel de conocimiento o experticia de las personas muestra que para aquellos con siete (7) o menos años de conocimiento de su tierra definen la restauración de cuencas y suelos como la actividad con mayor nivel de importancia; mientras que las personas con más de 20 años de experticia consideran muy importante para su zona la rotación de cultivos y restauración de cuencas y suelos.

5. AGRADECIMIENTOS Y FINANCIACIÓN

Los autores expresan su sincero agradecimiento al Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM) por su apoyo a través del proyecto P20244.

CONFLICTOS DE INTERÉS DE LOS AUTORES

Se declara que no existe ningún conflicto de intereses económicos, profesionales o personales que puedan influir de forma inapropiada en los resultados obtenidos en este artículo

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

La contribución de los autores se describe como sigue: conceptualización, Carlos Barrera-Causil, Jose Luis González M. y Juan Carlos Correa Morales; recolección de datos y trabajo de campo, Jose Luis González M.; análisis y organización de datos, Carlos Barrera-Causil y Jose Luis González M.; adquisición de fondos, Carlos Barrera-Causil; investigación, Carlos Barrera-Causil y Jose Luis González M.; metodología, Carlos Barrera-Causil, Jose Luis González M. y Juan Carlos Correa Morales; administración y supervisión del proyecto, Carlos Barrera-Causil; redacción del borrador original, Carlos Barrera-Causil. Todos los autores han leído y acordado la versión publicada del manuscrito.

6. REFERENCIAS

- [1] P. H. Garthwaite, J. B. Kadane, and A. O'Hagan, "Statistical Methods for Eliciting Probability Distributions," *J. Am. Stat. Assoc.*, vol. 100, no. 470, pp. 680–701, Jan. 2005. <https://doi.org/10.1198/016214505000000105>
- [2] G. W. Harrison, R. M. Harstad, and E. E. Rutström, "Experimental Methods and Elicitation of Values," *Exp. Econ.*, vol. 7, pp. 123–140, Aug. 2004. <https://doi.org/10.1023/B:EXEC.0000026975.48587.f0>
- [3] A. O'Hagan, "Expert Knowledge Elicitation: Subjective but Scientific," *Amer Stat.*, vol. 73, no. sup1, pp. 69–81, Feb. 2019. <https://doi.org/10.1080/00031305.2018.1518265>
- [4] A. Chrysafi. *et al.*, "Quantifying Earth system interactions for sustainable food production via expert elicitation," *Nat. Sustain.*, vol. 5, pp. 830–842, Aug. 2022. <https://doi.org/10.1038/s41893-022-00940-6>
- [5] L. C. Dias, A. Morton, and J. Quigley, Eds., *Elicitation, The science and art of structuring judgement*, Springer International Publishing, 2018. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-65052-4>
- [6] C. A. Drew, Y. F. Wiersma, and F. Huettmann, Eds., *Predictive species and habitat modeling in landscape ecology, Concepts and applications*. Springer New York, 2011. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7390-0>
- [7] C. J. Johnson, C. A. Drew, and A. H. Perera, "Elicitation and use of expert knowledge in landscape ecological applications: a synthesis," in *Expert Knowledge and its Application in Landscape Ecology*, Springer New York, 2011, pp. 279–299. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1034-8_14
- [8] F. Orsi, D. Geneletti, and A. C. Newton, "Towards a common set of criteria and indicators to identify forest restoration priorities: An expert panel-based approach," *Ecol. Indic.*, vol. 11, no. 2, pp. 337–347, Mar. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.06.001>
- [9] V.-C. Lim, E. V. Justine, K. Yusof, W. N. S. W. M. Ariffin, H. C. Goh, and K. S. Fadzil, "Eliciting local knowledge of ecosystem services using participatory mapping and Photovoice: A case study of Tun Mustapha Park, Malaysia," *PLOS ONE*, vol. 16, no. 7, p. e0253740, Jul. 2021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253740>
- [10] C. Applestein, T. T. Caughlin, and M. J. Germino, "Bayesian modeling can facilitate adaptive management in restoration," *Restor. Ecol.*, vol. 30, no. 4, Oct. 2021. <https://doi.org/10.1111/rec.13596>
- [11] A. K. Jara-Guerrero, D. Maldonado-Riofrío, C. I. Espinosa, and D. H. Duncan, "Beyond the blame game: a restoration pathway reconciles ecologists' and local leaders' divergent models of seasonally dry tropical forest degradation," *Ecol. Soc.*, vol. 24, no. 4, 2019. <https://doi.org/10.5751/es-11142-240422>
- [12] E. B. Camus *et al.*, "Using expert elicitation to identify effective combinations of management actions for koala conservation in different regional landscapes," *Wildl. Res.*, vol. 50, no. 7, pp. 537–551, Jul. 2022. <https://doi.org/10.1071/wr22038>
- [13] S. A. Edrisi and P. C. Abhilash, "Need of transdisciplinary research for accelerating land restoration during the UN Decade on Ecosystem Restoration," *Restor. Ecol.*, vol. 29, no. 8, e13531, Nov. 2021. <https://doi.org/10.1111/rec.13531>
- [14] J. Fischer, M. Riechers, J. Loos, B. Martin-Lopez, and V. M. Temperton, "Making the UN Decade on Ecosystem Restoration a Social-Ecological Endeavour," *Trends Ecol. Evol.*, vol. 36, no. 1, pp. 20–28, Jan. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.08.018>

- [15] F. A. Comín, B. Miranda, R. Sorando, M. R. Felipe-Lucia, J. J. Jiménez, and E. Navarro, "Prioritizing sites for ecological restoration based on ecosystem services," *J. Appl. Ecol.*, vol. 55, no. 3, pp. 1155–1163, May. 2018. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13061>
- [16] A. Etter, A. Andrade, C. R. Nelson, J. Cortés, and K. Saavedra, "Assessing restoration priorities for high-risk ecosystems: An application of the IUCN Red List of Ecosystems," *Land Use Policy*, vol. 99, p. 104874, Dec. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104874>
- [17] P. H. S. Brancalion and K. D. Holl, "Guidance for successful tree planting initiatives," *J. Appl. Ecol.*, vol. 57, no. 12, pp. 2349–2361, Dec. 2020. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13725>
- [18] B. B. N. Strassburg *et al.*, "Global priority areas for ecosystem restoration," *Nature*, vol. 586, no. 7831, pp. 724–729, Oct. 2020. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2784-9>
- [19] J. J. Schulz and B. Schröder, "Identifying suitable multifunctional restoration areas for Forest Landscape Restoration in Central Chile," *Ecosphere*, vol. 8, no. 1, p. e01644, Jan. 2017. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1644>
- [20] D. Uribe, D. Geneletti, R. F. D. Castillo, and F. Orsi, "Integrating stakeholder preferences and GIS-Based Multicriteria Analysis to Identify Forest Landscape Restoration Priorities," *Sustainability*, vol. 6, no. 2, pp. 935–951, Feb. 2014. <https://doi.org/10.3390/su6020935>
- [21] Y. Qu *et al.*, "Identifying restoration priorities for wetlands based on historical distributions of biodiversity features and restoration suitability," *J. Environ. Manage.*, vol. 231, pp. 1222–1231, Feb. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.057>
- [22] T. P. V. De Matos, V. P. V. De Matos, K. De Mello, and R. A. Valente, "Protected areas and forest fragmentation: Sustainability index for prioritizing fragments for landscape restoration," *Geol. Ecol. Landsc.*, vol. 5, no. 1, pp. 19–31, Dec. 2021. <https://doi.org/10.1080/24749508.2019.1696266>
- [23] D. P. S. Terêncio *et al.*, "Integrating ecosystem services into sustainable landscape management: A collaborative approach," *Sci. Total Environ.*, vol. 794, p. 148538, Nov. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148538>
- [24] A. Gonzalez and Á. Enríquez-de-Salamanca, "Spatial Multi-Criteria Analysis in Environmental Assessment: A Review and Reflection on Benefits and Limitations," *J. Environ. Assess. Policy Manag.*, vol. 20, no. 3, Sep. 2018. <https://doi.org/10.1142/S146433321840001X>
- [25] J. Malczewski and P. Jankowski, "Emerging trends and research frontiers in spatial multicriteria analysis," *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, vol. 34, no. 7, pp. 1257–1282, Jan. 2020. <https://doi.org/10.1080/13658816.2020.1712403>
- [26] C. Barrera-Causil and J. González-Montañez, "Harmonization Approach to Spatial and Social Techniques to Define Landscape Restoration Areas in a Colombian Andes Complex Landscape," *Forests*, vol. 14, no. 9, pp. 1–23, Sep. 2023. <https://doi.org/10.3390/f14091913>
- [27] M. Höhl, V. Ahimbisibwe, J. A. Stanturf, P. Elsasser, M. Kleine, and A. Bolte, "Forest Landscape Restoration—What Generates Failure and Success?," *Forests*, vol. 11, no. 9, p. 938, Aug. 2020. <https://doi.org/10.3390/f11090938>
- [28] S. Maginnis *et al.*, "Guía sobre la metodología de evaluación de oportunidades de restauración (ROAM). Evaluación de las Oportunidades de Restauración del Paisaje Forestal a Nivel Nacional o Subnacional," Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), Gland, Switzerland, 2014. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2014-030-Es.pdf>

- [29] R. McLain, S. Lawry, M. Guariguata, and J. Reed, “Integración de la tenencia y la gobernanza en las evaluaciones de oportunidades de restauración del paisaje forestal,” *Center for International Forestry Research Infobrief*, no. 244, pp. 1–8, Mar.2019. <https://doi.org/10.17528/cifor/007142>
- [30] C. Antioquia, “Catastro en Línea. Información geográfica del municipio de Belmira, Antioquia.” <https://www.catastroantioquia.co/>
- [31] CORANTIOQUIA, “Aunar esfuerzos para realizar los estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, en municipios de la región norte de Antioquia. Convenio interadministrativo de Asociación: Departamento de Antioquia-Departamento Administrativo de Planeación-Corantioquia,” Medellín, Colombia, Jun. 2015. https://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/flora/AIRNR_CV_1409_68_2014.pdf
- [32] F. L. Aguilar Gómez, “Programa de gobierno alcaldía de Belmira – Antioquia periodo 2020 - 2023.” <https://www.confecoopantioquia.coop/CkEditor/UserFiles/File/articulos/2019/planes-de-gobierno/norte/pg-belmira-20-23.pdf>
- [33] L. G. Vergara-López, “Evaluación de los efectos del cambio climático sobre el recurso hídrico en el Páramo de Belmira,” *Repositorio Institucional Universidad de Antioquia*, 2021. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/19673>
- [34] I. M. Castañeda-Riascos, “Paleoecología de Alta Resolución del Holoceno (11000 años), en el Páramo de Belmira, Antioquia (Colombia),” M.S. thesis, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, 2013. <http://bdigital.unal.edu.co/11762/1/43250394.pdf>
- [35] J. I. Barrera-Cataño and C. Valdés-López, “Herramientas para abordar la restauración ecológica de áreas disturbadas en Colombia,” *Univ. Sci.*, vol. 12, no. 2, pp. 11–24, 2007. <https://www.redalyc.org/pdf/499/49912203.pdf>
- [36] R. Saaty, “The analytic hierarchy process-What it is and How it is used,” *Math. Model.*, vol. 9, no. 3–5, pp. 161–176, 1987. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- [37] E. Ceccon, “*Restauración en bosques tropicales: fundamentos ecológicos, prácticos y sociales*,” México, Ediciones Díaz de Santos, 2013. https://www.fisica.unam.mx/personales/mir/el/2013_libroRestauracion.pdf
- [38] F. Mora *et al.*, “*Estrategias para la restauración ecológica del bosque altoandino: El caso de la reserva forestal municipal de Cogua, Cundinamarca*,” 2a ed. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, 2008. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79849>
- [39] M. Aguilar-Garavito and W. R. Hernández, “Fundamentos y consideraciones generales sobre restauración ecológica para Colombia,” *Biodiversidad en la Práctica*, vol. 1, no. 1, Jan. 2016. <http://hdl.handle.net/20.500.11761/9894>
- [40] G. C. P. de León and G. A. G. Ruiz, “*Lineamientos técnicos para la declaratoria y gestión en zonas amortiguadoras. Colección Lineamientos para la Gestión en Parques Nacionales Naturales*,” Bogotá, Panamericana Formas e Impresos SA, 2005. <https://www.guao.org/sites/default/files/biblioteca/Lineamientos%20y%20tecnicas.pdf>
- [41] O. J. Camelo, L. E. Urrego, y S. A. Orrego, “Environmental and socioeconomic drivers of woody vegetation recovery in a human-modified landscape in the Rio Grande basin (Colombian Andes,)” *Restor. Ecol.*, vol. 25, núm. 6, pp. 912–921, Nov. 2017. <https://doi.org/10.1111/rec.12514>
- [42] F. K. Adams, “Expert elicitation and Bayesian analysis of construction contract risks: an investigation,” *Constr. Manage Econ.*, vol. 24, no. 1, pp. 81–96, Feb. 2006. <https://doi.org/10.1080/01446190500310254>

- [43] R Core Team, “R: A Language and Environment for Statistical Computing,” R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2023. <https://www.R-project.org/>
- [44] J. L. González, “Zonas Prioritarias Para Restauración del Paisaje en Belmira, Antioquia, Colombia,” M.S. thesis, Instituto Tecnológico Metropolitano ITM, Medellín, Colombia, 2022. <https://www.preprints.org/manuscript/202308.0152/v1/download>