

Criterios de selección de áreas para restauración ecológica en un sistema de humedales tropical (Caso Ciénaga de Ayapel, Córdoba, Colombia)

Jacobo Campuzano Duque¹, Fabio de Jesús Vélez Macias² y Esneddy Hernandez Atilano³.

1 Calle 67 # 53 108, Grupo GEOLIMNA facultad de ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín Antioquia, Colombia;

Jacobo.campuzano@udea.edu.co  <https://orcid.org/0000-0001-7379-5447>

2 Calle 67 # 53 108, Grupo GEOLIMNA facultad de ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín Antioquia, Colombia;

Fabio.velez@udea.edu.co  <https://orcid.org/0000-0001-6348-6405>

3 Calle 67 # 53 108, Grupo GEOLIMNA facultad de ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín Antioquia, Colombia;

Esneddy.hernandez@udea.edu.co  <https://orcid.org/0000-0003-2380-1436>

PALABRAS CLAVE:

Humedales de tierras bajas; humedal Ramsar; restauración ecológica; ecología del paisaje; participación comunitaria.

RESUMEN: Los humedales en el mundo están sometidos a presiones ambientales y antrópicas, su uso extensivo los pone en riesgo de degradación y/o desaparición. Como caso de estudio se presentan los ecosistemas asociados al complejo cenagoso de Ayapel, de importancia económica y ecológica por su oferta ambiental. El trabajo presenta nuevos criterios de selección de áreas potenciales para implementación de estrategias de Restauración, Rehabilitación y/o Recuperación ecológica (3R) en Ayapel que pueden contrastarse y entenderse en contexto socio-ecosistémico articulando estrategias participativas con análisis de paisaje-ecosistema, a diferencia de lo planteado en ejercicios como el plan nacional de Restauración de enfoque macro-ecosistémico. Inicialmente se realizó levantamiento y verificación de información de campo y talleres de participación ciudadana bajo metodología de estrategia didáctica Prejuicios, Reflexión, Análisis, Comparación, Comprensión, Interpretación y Síntesis (PRACCIS). Después, revisión y análisis de datos de ecología del paisaje mediante *Arc-GIS* empleando *V-late*, finalmente, combinación y análisis de datos con el levantamiento PRACCIS; este proceso articuló las modelaciones de paisaje y resultados de participación ciudadana, dando al ejercicio anclaje socio-ecosistémico. Se plantearon tres criterios de selección de áreas para 3R, coberturas, tenencia de la tierra y tensionantes versus áreas núcleo y su distribución espacial, obteniendo 466 parches relevantes con un área 19,531 ha en las 133,920 ha estudiadas. El patrón de distribución espacial de áreas para 3R obedece a objetivos hipotéticos de implementación, favoreciendo o restringiendo escenarios espaciales según el criterio empleado, ya fuera el paisajístico, ecosistémico o el económico.

1. Introducción

Los sistemas hídricos en el mundo están sujetos a presiones de alto impacto. Este trabajo presenta una aproximación a la ciénaga de Ayapel como ejemplo representativo de humedal neotropical y caso de estudio extrapolable para diseño de estrategias de restauración ecológica. Este complejo cenagoso hace parte de la base de la Mojana Sucreña colombiana. Sus características bióticas, físicas y socioeconómicas revisten este tipo de ecosistemas con importancia económica y ecológica debido a su oferta ambiental. Su deterioro actual y niveles de antropización están asociados a una historia de actividades económicas como la ganadería, minería y pesca, que hoy los tienen en riesgo [1-4]. El Plan Nacional de Restauración del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) [5] identificó áreas con necesidades de Restauración, Rehabilitación y/o Recuperación (3R) en el municipio de Ayapel a nivel macro-ecosistémico y de cuerpos de agua dada la degradación actual; pero la implementación futura de las esas estrategias en 3R es poco factible, pues, a diferencia de este trabajo, el Plan Nacional de 3R está a escala país y no considera en contexto regional composición, estructura de paisaje, estructura ecológica, socioeconómica y temporal que este trabajo sí evalúa. Este trabajo resuelve el problema de identificar cuáles serían las mejores áreas para estos procesos 3R y los criterios para escogerlas en varios escenarios. Los resultados obtenidos presentan una nueva visión frente a los ejercicios 3R a nivel subregional, evaluando áreas núcleo, coberturas, tenencia de la tierra, así como tensionantes socioeconómicos y ambientales en un contexto de paisaje. Así pues, se partió del análisis y tratamiento de datos de diversas fuentes, que involucraron esos aspectos, hasta lograr los resultados aquí presentados.

2. Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

Se encuentra ubicada en el departamento de Córdoba, al norte de Colombia, en el sur de la Mojana Sucreña entre los ríos Cauca y San Jorge, comprende un área total de 133920 hectáreas con coordenadas de esquina 75°12'17.518"W 8°30'19.333"N, 74°53'42.987"W 8°30'20,408"N, 75°12'15.788"W 8°8'20.298"N, 74°53'42,293"W 8°8'21,254"N. El área de estudio, ocupa la totalidad de ecosistemas y coberturas asociados al complejo cenagoso de Ayapel y toma como referencia el polígono designado como área Ramsar mediante la resolución 356 de 2018 del Ministerio de MADS de la República de Colombia.

2.2 Fase 1: Levantamiento y organización de información secundaria

Para caracterizar la zona y mapearla se compiló cartografía impresa, imágenes satelitales LANDSAT 2010-2017 y mosaicos LIDAR 2010-2016 (ALOS-PALSAR). se incluyó los modelos desarrollados en Sistemas de Información Geográfica (SIG) para temas ambientales provenientes de esquemas de ordenamiento territorial (EOT o PBOT) y otros realizados por Corporaciones Autónomas Regionales (CARs), por el MADS y por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para el área de estudio. Esta compilación incluye mapas de coberturas del IDEAM 2010-2011, 2016 y 2017 1:100.000, mapas de ecosistemas escala 1:100.000 2016-2017 del IDEAM, mapas catastrales del municipio de Ayapel.

2.3 Fase 2: Levantamiento de información de campo y verificación de información secundaria

Se emplean técnicas de Evaluación Ecológica rápida (EER) según lo propuesto por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) [6] y ajustado con lo propuesto por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales [7] para complementar y levantar información diagnóstica de ecosistemas actuales, coberturas vegetales, usos del suelo, actividades económicas, flora y fauna. Se depuran los datos obtenidos durante la fase 1, contrastando la información secundaria recopilada con los resultados obtenidos en campo.

2.4 Fase 3: Participación ciudadana

Con metodología PRACCIS, se realizaron catorce preguntas rectoras mapeando aspectos económicos, sociales y ambientales del territorio. En esta fase se empleó los criterios de [8] para producir la cartografía socioambiental base del proyecto, identificando los aspectos e impactos ambientales en el sistema de humedales. Se implementó esta metodología en talleres de socialización de aproximadamente 4 horas con cinco grupos de actores primarios del territorio, ganaderos, pescadores, agricultores (arroceros), estudiantes de bachillerato (área urbana y rural de Ayapel) y docentes de las instituciones públicas del municipio, para representar la población del área de estudio, se expuso a los participantes los objetivos del proyecto y se trabajó con ellos sobre mapas en blanco del área de estudio. para obtener como insumo el mapeo social en formato físico.

2.5 Fase 4 Modelación y análisis de datos

Empleando *ArcGIS* se sistematizó los resultados de la fase 3 hasta obtener un shapefile compilado en formato vector que contiene los atributos del territorio en términos de las actividades económicas, usos del suelo, presencia de ecosistemas naturales y cambios en el tiempo. para la validación de esos resultados, se comparó la información obtenida de los participantes mediante PRACCIS con imágenes satelitales multitemporales LANDSAT y LIDAR y nuestras observaciones de campo, el PBOT y la superposición de los actores territoriales de Ayapel para incluir columnas de valoración y verificación en las tablas de atributos respectivas. Después, se filtraron y ejecutaron sumas ponderadas sobre el shapefile descrito hasta obtener el mapa de actividades económicas y usos más impactantes del territorio. Esto se logró asignándole peso a las actividades económicas en orden de mayor a menor impacto sobre el territorio en su orden, minería, cultivo de arroz, ganadería y pesca. Luego se ejecutó un modelo que aplica *V-late 2.0* sobre el atributo cobertura, agrupando por ecosistemas naturales, terrestres naturales, terrestres transformados y semitransformados. Para evaluar posibles cambios temporales en la cobertura

(2010-2016) se usó dos mapas: el mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia del IDEAM del año 2016 y el mapa de coberturas de Fondo Adaptación 2010, ambos bajo sistema Corine Land Cover (CLC) nivel III y a una escala 1:100.000. Luego, se evaluó los indicadores clásicos de métricas de paisaje como áreas núcleo (*core area, parche*), número de parches e índices de forma, entre otros, usando indicadores asociados desde lo paisajístico, entendiéndose en un contexto físico y funcional. Se calcularon e interpretaron los índices a nivel de clase que representan el patrón y distribución espacial de las coberturas dentro del paisaje [9-11]. Los análisis emplearon distancias típicas de salto de 200 metros, usando como especie focal el ave *Chauna chavarrí*, presente en el área de estudio [12]. Esta distancia corresponde a su vez a las distancias de dispersión típicas empleadas en los estudios de conectividad ecológica del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA)[13]. Los efectos de borde se ajustan de acuerdo con lo planteado por [14] y [11] usando 10, 100 y 200 metros. Este ejercicio planteado permitió cuantificar la estructura y distribución de los fragmentos dentro del paisaje desde un contexto físico y funcional con base en criterios ecológicos, faunísticos y de hábitat. Se agruparon las coberturas homologadas en CLC nivel III que se validaron en campo y por imágenes satelitales multitemporales como grupos funcionales por ecosistemas como ya se describió. A partir de los datos verificados en campo y los diagnósticos PRACCIS, se puede presentar el contexto completo de la conectividad ecológica teniendo en cuenta lo propuesto por [9-11]. Luego se integró la modelación de conectividad ecológica, el mapeo social (producto de los talleres PRACCIS y la validación respectiva de los polígonos obtenidos, vectorizados y convertidos a formato shape), la información de tenencia de tierra proveniente de mapas catastrales, coberturas y ecosistemas del IDEAM, la información faunística y florística y las verificaciones de campo en un modelo espacial empleando *ArcGIS* para obtener la priorización de áreas 3R. Para la información de flora y fauna. Se cotejaron diferentes fuentes tales como la ficha de información Ramsar (FIR), [15] información disponible a través del Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SiB Colombia) [16] y reportes en International Union for Conservation of Nature (IUCN) [17], entre otros.

Este desarrollo metodológico posibilita plantear como resultado nuevas reglas de decisión para un proceso 3R futuro, entendidos en forma de tres criterios de selección de áreas para el análisis de los objetos espaciales obtenidos, estos, atienden a los objetivos típicos de un posible implementación bajo lo propuesto por [18].

3. Resultados

Tras la implementación de los métodos, se plantearon tres criterios de selección de posibles áreas para implementar las 3R en 466 parches de áreas núcleo obtenidas. Estos criterios maximizaron a su vez tres estrategias típicas de intervención en el territorio para la actividad en 3R, fundamentados en reglas de decisión que atienden a objetivos típicos de un posible implementador.

Criterio 1, cobertura original versus área núcleo. Este criterio plantea interpretar las necesidades de 3R desde lo ecosistémico-funcional. El criterio da mayor peso a las coberturas de las áreas núcleo más naturales y menor a las más artificializadas para clasificarlas, priorizando las más conservadas para restauración, las intermedias para recuperación y las más intervenidas para rehabilitación, así, la distribución de las áreas para 3R está centrada en las necesidades de conservación y/o restauración de las áreas núcleo del territorio, los resultados arrojan para restauración 11485 ha en 246 parches, recuperación, 7927 ha en 200 parches y rehabilitación, 118 ha en 20 parches.

Criterio 2, tenencia de la tierra versus áreas núcleo. Este criterio se centra en minimizar la necesidad de gestión de las áreas núcleo para la implantación del proceso 3R mientras que se enfoca en la elegibilidad del área núcleo en pro de facilitar la gestión social y económica del proyecto. Con este criterio, las áreas núcleo que se encuentran contenidas en unidades prediales únicas son más elegibles que aquellas que no lo están. Usando el criterio 2, 18848 ha en 322 parches presentan baja elegibilidad y 683 ha en 144

parches alta elegibilidad. Se configura como un criterio de gestión y se plantea que la estrategia 3R a implementar sea decidida bajo el criterio 1 o 3.

Criterio 3, actividades tensionantes versus áreas núcleo. Este criterio plantea una visión sistémica del territorio. Las áreas núcleo son superpuestas sobre las actividades tensionantes para determinar qué estrategia de 3R se podría llevar a cabo a partir de la potencialidad de ese territorio y así definir una estrategia particular, ya sea Rehabilitación, 17753 ha en 333 parches, Recuperación 1322 ha en 34 parches, o Restauración 441 ha en 12 parches. En este caso hay unas pequeñas zonas descartadas que corresponden a 15 ha en 87 parches dado su posición y reducido tamaño.

La figura 1 espacializa los resultados obtenidos y presenta la diferencia de abordajes de los criterios planteados.

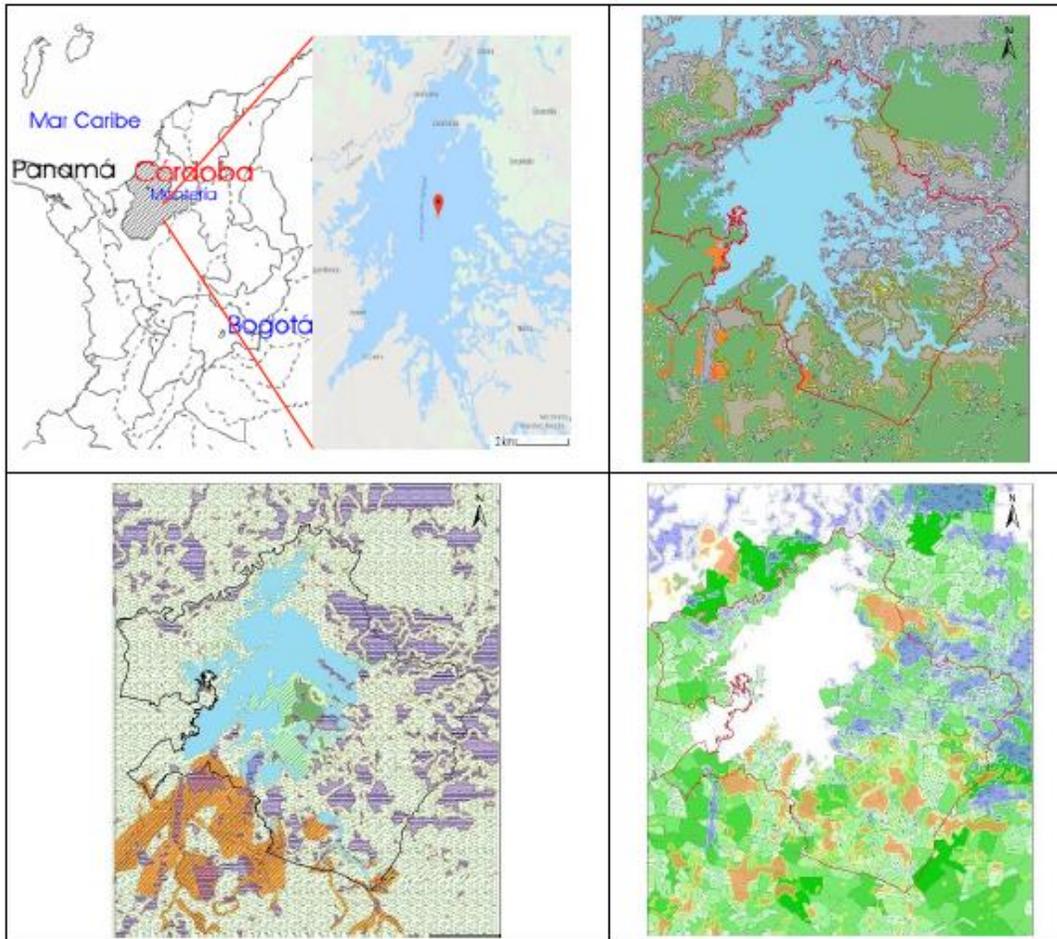


Figura. 1 Área de estudio y espacialización de criterios para selección de áreas objeto de 3R. Arriba izq. área de estudio. En achurados áreas elegibles para 3R, arriba der. criterio 1, abajo izq. criterio 2 abajo der. criterio 3. Polígono RAMSAR en rojo.

Para identificar las áreas susceptibles de estrategias 3R, se deben tener en cuenta los componentes territoriales desde diversas perspectivas: no solo aspectos faunísticos, florísticos y de coberturas, sino también patrones actuales e históricos de usos económicos del territorio y tenencia de la tierra, aspectos que fueron considerados en los tres criterios.

4. Conclusiones

El criterio 1 valora los aspectos ecosistémicos y de conectividad a partir de áreas núcleo, dando mayor peso a las coberturas sensibles apuntando a esquemas conservativos, el ejercicio, logra detectar que las coberturas boscosas originales han desaparecido casi por completo y con ello los ecosistemas de referencia. los pequeños remanentes podrian bajo esquemas de proteccion y rehabilitación adecuados

ser, mantenidas, ampliadas para ser usadas como aproximación a otros espacios que requieren medidas de recuperación o rehabilitación dentro de coberturas tipo mosaico, en zonas con actividades antrópicas detectadas como la ganadería, minería o cultivo de arroz. El criterio 2, se centra en lo paisajístico y territorial partiendo de las áreas núcleo sin distinción, como unidades priorizadas para las estrategias 3R y lo combina con la tenencia de la tierra. Por tanto, este criterio busca maximizar la facilidad de gestión social de modo que se garantice la mayor sostenibilidad y estabilidad de la intervención en 3R a largo plazo. Este aspecto es particularmente relevante a la hora de reducir los costos de gestión asociados a restauración, pero, sacrifica en cierta medida la capacidad de cubrir todos los ecosistemas disponibles. El criterio 3, prioriza el punto de vista económico y social que pretende el éxito de las intervenciones 3R al entender y armonizar éstas con las actividades tensionantes, o presionadoras del territorio. Este criterio direcciona las estrategias de manera efectiva al reducir el riesgo asociado al desarrollo de actividades que no sean compatibles con la tendencia histórica, cultural y económica del territorio.

El mapeo integral de las actividades económicas es el pilar que debe regir la determinación de las áreas y estrategias 3R en una región como la evaluada. Adicionalmente, se debe estructurar una evaluación de los impactos espacializados y asociados a estos usos del suelo para determinar la potencialidad de los espacios a designar en cada estrategia restaurativa. Esta investigación provee una ruta metodológica de planificación territorial para Ayapel en ese sentido, señalando áreas y espacios claves decisivos para el retorno o mantenimiento de servicios ambientales. Además, permite determinar escenarios de gestión asociados al conocimiento del estado actual y las necesidades generales del sistema, yendo más allá de los planteamientos básicos de formulación de un ejercicio 3R según lo planteado por [18-21]. A diferencia del Plan Nacional de Restauración, aquí se partió de la concepción de que las prioridades de 3R deben ser costo efectivas y socialmente implementables, por ende, la prioridad en el área de estudio no debe ser restaurar sino recuperar las áreas de mayor afectación (mineras), ya que al eliminar o manejar los tensionantes y presiones ambientales como causantes de los impactos de mayor severidad, se da paso a un sistema equilibrado ecológicamente y con mejor calidad paisajística. En ese sentido, la recuperación permite articular ecosistemas funcionales y biodiversos en una matriz productiva para la mejora de las condiciones actuales. Según lo expuesto, las estrategias de menor aplicabilidad a la luz de los resultados son las restaurativas ya que, no existen ecosistemas terrestres de referencia suficientes, la transformación espacial y el uso del ecosistema lo inviabilizan desde un punto de vista costo/beneficio, pero, la presencia de abundantes coberturas especializadas y conservadas como vegetación flotante sobre cuerpos de agua plantea la necesidad (en contexto funcional), de la implementación de figuras de conservación alternativas para ellas que son agentes principales en el sostenimiento de bienes y servicios ambientales del humedal. si bien el análisis de métricas de paisajes como las áreas núcleo en sí mismo ofrece un panorama de comprensión del sistema a macroescala espacial, [9-11], [21], no presenta una visión integral del territorio para los ejercicios restaurativos y deben integrarse los elementos ecosistémicos y socioeconómicos aquí involucrados

Una visión alternativa de este trabajo puede partir de la implementación de redes bayesianas a partir de los resultados obtenidos para crear un mapa probabilístico y determinar las áreas y estrategias para 3R, combinando los criterios de determinación empleados y optimizando las designaciones.

Referencias

- [1] Murcia, C. & Guariguata, M. R. (2014). La restauración ecológica en Colombia. Documentos Ocasionales 107. Centro para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR).
- [2] Puerta, T., Aguirre, N. J., and Vélez. F. J. (2016). "Sistema cenagoso de Ayapel como posible sitio Ramsar en Colombia." *Gestión y Ambiente* 19(1), 110–22.

- [3] Ríos-Pulgarín, M. I., Jiménez-Segura L. F., Palacio J. A., & Ramírez-Restrepo, J. J. (2008). “Comunidad de peces en la ciénaga de Ayapel, río Magdalena (Córdoba) Colombia: Cambios espacio-temporales en su asociación.” *Actual Biology* 30 (88), 29–53.
- [4] Universidad de Antioquia. (1990). “Estudio de impacto ambiental por minería en la ciénaga de Ayapel.”
- [5] Ospina, O., Vanegas, S., Escobar, G., Ramírez, W. & Sánchez, J. (2015). “Plan Nacional de Restauración Ecológica, Rehabilitación y Recuperación de Areas Disturbadas.” *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá.*
- [6] Zapata P., Diana M., Carlos A. Londoño B., González, C., & Idarraga, J. 2010. “Metodología general para la presentación de estudios ambientales.” *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.*
- [7] Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales. *Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.*
- [8] González, E., Aguirre, N. J., Grisales, L. M., Giraldo, G. E., Villabona, S. L., Uribe, E. G., & Velásquez, D. (2012). “PRACCIS: Una estrategia didáctica basada en la hermenéutica para la circulación de los conocimientos o acerca del desarrollo de una prueba piloto.” *Gestión y Ambiente* 15 (1).
- [9] Aguilera, F. (2010). “Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el área metropolitana de Granada.” *Anales de Geografía de La Universidad Complutense* 30(2), 9–29. <https://doi.org/10.5209/AGUC.31845>.
- [10] Burel, F. (2003). *Landscape Ecology: Concepts, Methods, and Applications. CRC Press.*
- [11] McGarigal, K., & Marks, B. J.. (1995). “FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure.” *General Technical Report - US Department of Agriculture, Forest Service (PNW-GTR-351).*
- [12] Zuluaga-Sanchez, N., Velasquez-Sandino M.P. & Aguirre, N. J.. 2007. Algunos aspectos de la autoecología de Chauna Chavaria y su importancia socioambiental en el sistema cenagoso de Ayapel, Córdoba - Colombia. *Memorias segundo congreso colombiano de ornitología 8, 9 y 10 de Agosto de 2007. Centro de Convenciones Alfonso López Pumarejo, C Santa Fe de Bogotá.*
- [13] Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Nacional De Colombia Sede Medellín. (2020). Análisis de la conectividad ecológica funcional y estructural en el área metropolitana del valle de aburrá. *Facultad de ciencias agrarias sede Medellín.*
- [14] Lang, S. & Tiede, D. (2003). “VLATE Extension Für ArcGIS – Vektorbasiertes Tool Zur Quantitativen Landschaftsstrukturanalyse.” En *ESRI European User Conference 2003 Innsbruck, CDROM.*
- [15] FIR Universidad de Antioquia & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Ficha de información Ramsar (FIR) complejo cenagoso de Ayapel. https://redjusticiaambientalcolombia.files.wordpress.com/2018/01/documento_tecnico_ramsar_ayapel.pdf
- [16] SiB Colombia (2019, Marzo15) Biodiversidad en Cifras, Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia. Recuperado de: <https://cifras.biodiversidad.co>
- [17] IUCN 2021. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2018-1. <https://www.iucnredlist.org>. Downloaded on [15/03/2018].
- [18] Vargas, J. O. (2007). Guía metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino. *Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.*

- [19] Vargas, J. O.. 2011. "Ecological Restoration: Biodiversity and Conservation." *Acta Biológica Colombiana* 16(2):221–46.
- [20] Vargas, J.O., Díaz, J. E, Reyes S. P. & Gómez P. A. (2012). Guías técnicas para la restauración ecológica de los ecosistemas de Colombia. *Departamento de Biología Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Recuperado de [https://www. researchgate.net/publication/260365693](https://www.researchgate.net/publication/260365693).*
- [21] Burel, F., and J. Baudry. 2005. "Book Review Landscape Ecology Concepts, Methods and Applications." *Landscape Ecology* 20, 1031–1033. <https://doi.org/10.1007/s10980-005-2076-7>.