



PILOTO DOS DEL MARCO TNFD

Metodología LEAP

**Aplicación de la herramienta de evaluación de la
resiliencia socioecológica**

**Área central del Valle del Magdalena Medio Valley
de Ecopetrol**

**Gerencia de Sostenibilidad y
Descarbonización**
VICEPRESIDENCIA HSE



Créditos

Ricardo Roa Barragán
CEO

Alberto Enrique Consuegra
Vicepresidente Ejecutivo de Operaciones

Mauricio Jaramillo Galvis
Vicepresidente HSE

Santiago Martínez Ochoa
Jefe de Gerencia de Sostenibilidad y Descarbonización-Vicepresidencia de HSE

Xiomara Lucía Sanclemente
Líder del equipo de biodiversidad y servicios ecosistémicos

Claudia Lorena Ortiz Melo
María Juliana Salcedo
Valentina Parra Rodríguez
María José Morales
María del Mar Ordoñez
Diego Fernando Puentes
Equipo de biodiversidad y servicios ecosistémicos

Ana Cristina Sanchez Thorin
Gerente de Gestión Ambiental y Relacionamento - Vicepresidencia HSE

Yudy Alexandra Pedreros Martínez
Jefe Departamento Cumplimiento Legal y Relacionamento

Sandra Yamile Alvarez Aceros
Líder Sostenibilidad Ambiental

Luis Francisco Sanabria Chacón
Líder Desarrollo Estrategia Tecnológica Ambiental

Juan Bernardo Carrasco Leal
Sandra Lidia Zambrano Fajardo
Juan Diego Ramírez Castro
Yenny Patricia Hernández
Mónica Rocío Bayona Arenas
Equipo de gestión ambiental y relacionamiento

Sandra Liliana Monsalve Jaimes
Jefe Departamento Regional Ambiental

María Cecilia Londoño, Jorge Amador, Jeimy Andrea García García, Talía Waldrón Henríquez, María Kamila Góngora, Leidy Tatiana Silva, María Camila Díaz, María Helena Olaya, Erika Suárez, Daniel Fernando López y Manuel Fernando Gálvez.

Instituto Humboldt – Equipo de investigación

Este documento presenta algunos de los hallazgos del proyecto Fibras, específicamente enfocados en el componente de resiliencia, así como el análisis realizado por el equipo de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos de Ecopetrol de la Gerencia de Sostenibilidad y Descarbonización.

Content

Presentation	3
OBJECTIVES OF THE PILOT TWO	¡Error! Marcador no definido.
1. Context	4
1.1 Fibras Project:.....	4
1.2 Ecopetrol's Core areas	5
1.3 Socio-ecological resilience assessment tool	5
1.4 Illustrative Results of the Socio-ecological Resilience Tool's Analysis	7
2. Scope of the LEAP Pilot	8
3. Results for each stage of LEAP	9
3.1 Locate (Nature interface).....	9
❏ L2: Nature Interface	9
3.2 Evaluate (Dependencies and impact)	11
❏ E1: Identification of environmental assets and ecosystem services	11
❏ E2: Identification of dependencies and impacts by priority location.	13
3.3 Assess (Material risk and opportunities)	14
❏ A1: Risk and opportunity ID	14
4. Conclusions and recommendations for enhancement the TNFD framework.....	21
Bibliography	22

Table index

Table 1.	¡Error! Marcador no definido.
Table 2. Component and main impact in the Middle Magdalena Valley.	12
Table 3. Scenario description and metrics used to build it.	14

Figure index

Figure 1. Ubication of Ecopetrol's core areas. In purple we mark the location of the TNFD pilot.	¡Error! Marcador no definido.
Figure 2: Modules of Socio-ecological Resilience assessment tool	¡Error! Marcador no definido.
Figure 3. Stages included in Pilot Two with the Socio-ecological Resilience Assessment Tool.	¡Error! Marcador no definido.
Figure 4. Characterization of the Middle Magdalena Valley core based on the presence of strategic ecosystems (Instituto Humboldt, IDEAM 2015; Instituto Humboldt, 2018), categories of the Human Spatial Footprint Index (HSFI) (Correa Ayram et al., 2018), and categories (EN: Endangered; VU: Vulnerable; LC: Least Concern) from the Red List of Ecosystems (RLE) (Etter et al., 2017) *Source: Humboldt-Fibras project. Information base: IGAC's base cartography (2022).....	10
Figure 5. Portfolio maps in the Middle Magdalena Valley core. *Source: Humboldt-Fibras project. Information base: IGAC's base cartography (2019).	11
Figure 6. Impact Sources in the Middle Magdalena Valley core.	12
Figure 7. Nature's Contributions with the Highest Degree of Relationship - Degrees of Importance to the Socio-Ecological System.	14
Figure 8. Variations in variables associated with BAU, Social, Preservation and Combined scenario changes: i) Diversity of ecological functions, ii) Water retention, iii) Social fabric, iv) People empowered with entrepreneurial skills, v) Socio-environmental conflicts, vi) Common interest, vii) Health index.	18
Figure 9. Resilience Index to scenario evaluated.	20

PRESENTACIÓN

Ecopetrol (ECP) se ha posicionado a la vanguardia de nuevos marcos de gestión ambiental para convertirse en pionero en el sector de petróleo y gas en Colombia. Como parte de este compromiso, la empresa está alineándose activamente con compromisos internacionales como el Marco Global de Biodiversidad Kunming-Montreal. Para lograr esto, es crucial que Ecopetrol fortalezca la gestión de riesgos y oportunidades asociadas con el capital natural, lo que permitirá a la empresa definir e implementar directrices positivas para la naturaleza. Estos esfuerzos son particularmente significativos considerando el estatus de Colombia como un país megadiverso. Además, es esencial establecer sinergias entre los informes del Grupo de Trabajo sobre Divulgaciones Financieras Relacionadas con la Naturaleza (TNFD) y los informes del Grupo de Trabajo sobre Divulgaciones Financieras Relacionadas con el Clima (TCFD).

En 2021, Ecopetrol publicó su primer informe TCFD, lo que ayudó a identificar brechas en sus prácticas de informes ambientales. Basándose en esta experiencia, la compañía lanzó su segundo informe TCFD en 2022. Además, Ecopetrol se convirtió en miembro de TNFD en 2021 y se le confió el liderazgo del grupo No. 6 para el sector Energético en 2022. Como parte de su compromiso con TNFD, Ecopetrol inició el diseño del primer piloto de la metodología LEAP propuesta por TNFD en 2022. La compañía también ha proporcionado activamente retroalimentación sobre todas las versiones del marco beta durante consultas públicas.

Para implementar eficazmente el marco TNFD, Ecopetrol SA llevó a cabo dos pilotos LEAP. El primer piloto se enfocó en un área de producción específica, mientras que el segundo se concentró en aplicar la herramienta de resiliencia socioecológica en el área central del valle del Magdalena Medio. Este documento proporciona los resultados del Piloto Dos relacionados con el caso de estudio para la herramienta de resiliencia socioecológica asociada con la implementación de la metodología LEAP de "Grupo de Trabajo sobre Divulgaciones Financieras Relacionadas con la Naturaleza" (TNFD) bajo el proyecto "Fibras: Esencia y Territorio" realizado por el Instituto Alexander von Humboldt y Ecopetrol.

La herramienta se basa en un modelo dinámico que simula los procesos del sistema socioecológico en respuesta a diversos impactos generados por actividades productivas. Genera series temporales e indicadores que ayudan a establecer límites de intervención en los territorios sin alterar su equilibrio. La herramienta ha contribuido al marco LEAP en cuatro áreas centrales geográficas de Ecopetrol (ver Figura 1). Este documento se enfoca en la integración de información detallada relacionada con una de las áreas, el núcleo del Valle del Magdalena Medio, donde se encuentra el campo Yariguí-Cantagallo, abordado en el Piloto 1.

Es importante mencionar que la aplicación de la evaluación de resiliencia en el marco TNFD cubrió solo algunas etapas de la fase LEAP. La evaluación comenzó cuando el marco estaba en su segunda versión y se completó unos días antes de presentar la versión 4.0.

La incorporación de la herramienta de evaluación de resiliencia enfatiza la importancia de análisis integrales del territorio operativo, abarcando métricas sociales y ambientales. Este enfoque permite una evaluación objetiva de áreas centrales de trabajo y facilita la identificación de las oportunidades más efectivas para mejorar la gestión de la naturaleza.

OBJETIVOS DEL PILOTO DOS

- Contribuir al desarrollo de un estudio de caso que vincule el marco TNFD beta con el modelo de resiliencia socioecológica diseñado en el acuerdo Fibras.
- Generar información para las fases del marco TNFD LEAP, destinadas a caracterizar la zona núcleo a través de la fase de localización, identificando las dependencias, oportunidades e interacciones entre la empresa y los ecosistemas en la fase de evaluación y valoración.
- Identificar brechas en las métricas, indicadores y metodología en el contexto de la identificación de dependencias y oportunidades (empresa-naturaleza).
- Proporcionar recomendaciones generales para la aplicación del marco beta del TNFD y orientar una hoja de ruta para identificar los riesgos relacionados con la naturaleza.

A continuación, se detalla información general sobre el proyecto Fibras, la herramienta de evaluación de la resiliencia y las áreas centrales.

1. Contexto

1.1 Proyecto Fibras¹

Desde 2019, Ecopetrol y el Instituto Humboldt en el proyecto "Fibras: Esencia y Territorio" tienen el objetivo de planificar y gestionar la biodiversidad y sus aportes al bienestar en algunas de sus zonas regiones núcleo, como Huila, Orinoquia y Valle del Magdalena Medio, con base en información científicamente y criterios de desarrollo sostenible.

Este proyecto consta de siete componentes interconectados:

- I. **Ecoreservas:** definido como un área geográficamente delimitada propiedad del Grupo Ecopetrol, que voluntariamente se destina en parte o en su totalidad a la conservación de la biodiversidad y a la provisión de servicios ecosistémicos, sin limitar su vocación productiva y exploratoria.
- II. **Biomonitores:** son personas de la comunidad que, por su interés por conocer la biodiversidad y su disposición para observar, registrar y apreciar la naturaleza, realizan trabajos que les permiten inventariar y monitorear la biodiversidad en las Ecoreservas. Este componente contribuye a la "Ciencia Participativa", donde todo el conocimiento de la comunidad contribuye a la recolección de datos biológicos con el apoyo de estudiantes de pregrado, maestría e investigadores del Instituto.
- III. **Resiliencia:** como parte del proyecto, se desarrolló una herramienta que comprende un modelo conceptual y una aplicación web. Esta herramienta mejorará nuestra comprensión de la resiliencia socioecológica en las zonas donde opera Ecopetrol.
- IV. **BioModelos:** son mapas de distribución de especies basados en datos de teledetección y cámaras trampa. Permiten evaluar los cambios en la distribución de las especies mediante el seguimiento de las tendencias de pérdida o ganancia de áreas de distribución.
- V. **Genómica:** se realizaron tres expediciones para analizar la genómica en ecosistemas de alto valor ecológico dentro de las áreas núcleo de Ecopetrol. Esta información representa el primer inventario de biodiversidad microbiana en los suelos del piedemonte del Casanare (Orinoquia), el Valle del Magdalena Medio y la Reserva Ecológica La Tribuna (Huila). El inventario incluye tanto

¹ Fibras: Esencia y Territorio.

áreas conservadas con baja presencia de hidrocarburos como áreas más intervenidas con presencia natural de crudo en superficie.

VI. Bioeconomía: se promovieron iniciativas de alto impacto centradas en la investigación y el desarrollo en bioeconomía y biosoluciones. Adicionalmente, se fortalecieron las capacidades en el conocimiento de usos sostenibles de la biodiversidad dentro de las comunidades locales en Huila, Orinoquia y Valle Medio del Magdalena.

Como resultado de esta colaboración, se ha desarrollado una herramienta innovadora, compuesta por un modelo conceptual y una aplicación web. Esta herramienta ayudará a Ecopetrol a comprender mejor la resiliencia socioecológica de las zonas en las que opera la empresa. Utiliza un modelo dinámico que simula el funcionamiento del sistema en respuesta a diversos impactos generados por las actividades productivas en el territorio. Mediante el análisis de las tendencias a lo largo del tiempo, la herramienta permitirá a Ecopetrol generar indicadores y comprender los límites de intervención en estos territorios, garantizando la preservación de su equilibrio.

1.2 Áreas núcleo de Ecopetrol

Las áreas núcleo de Ecopetrol son núcleos ubicados geográficamente dentro de la misma cuenca hidrográfica donde los proyectos de explotación de hidrocarburos han generado impactos negativos. El propósito de establecer estas áreas núcleo es compensar y restaurar las comunidades y el entorno natural afectado, buscando contribuir al manejo sostenible de los ecosistemas naturales, la restauración ecológica y los servicios ecosistémicos. A continuación, se identifican las cuatro zonas núcleo en las que se ha trabajado para desarrollar la herramienta de evaluación de resiliencia.

1.3 Herramienta de evaluación de la resiliencia socioecológica

La resiliencia se ha definido como la capacidad de un sistema para absorber perturbaciones y reorganizarse mientras experimenta diferentes cambios, para mantener las mismas funciones ecológicas que exhibía inicialmente.

Esta capacidad depende de las propiedades del sistema, que incluyen (basado en Biggs, 2014):

- Diversidad y redundancia
- Conectividad
- Aprendizaje y experimentación
- Participación por la equidad
- Gobernanza policéntrica

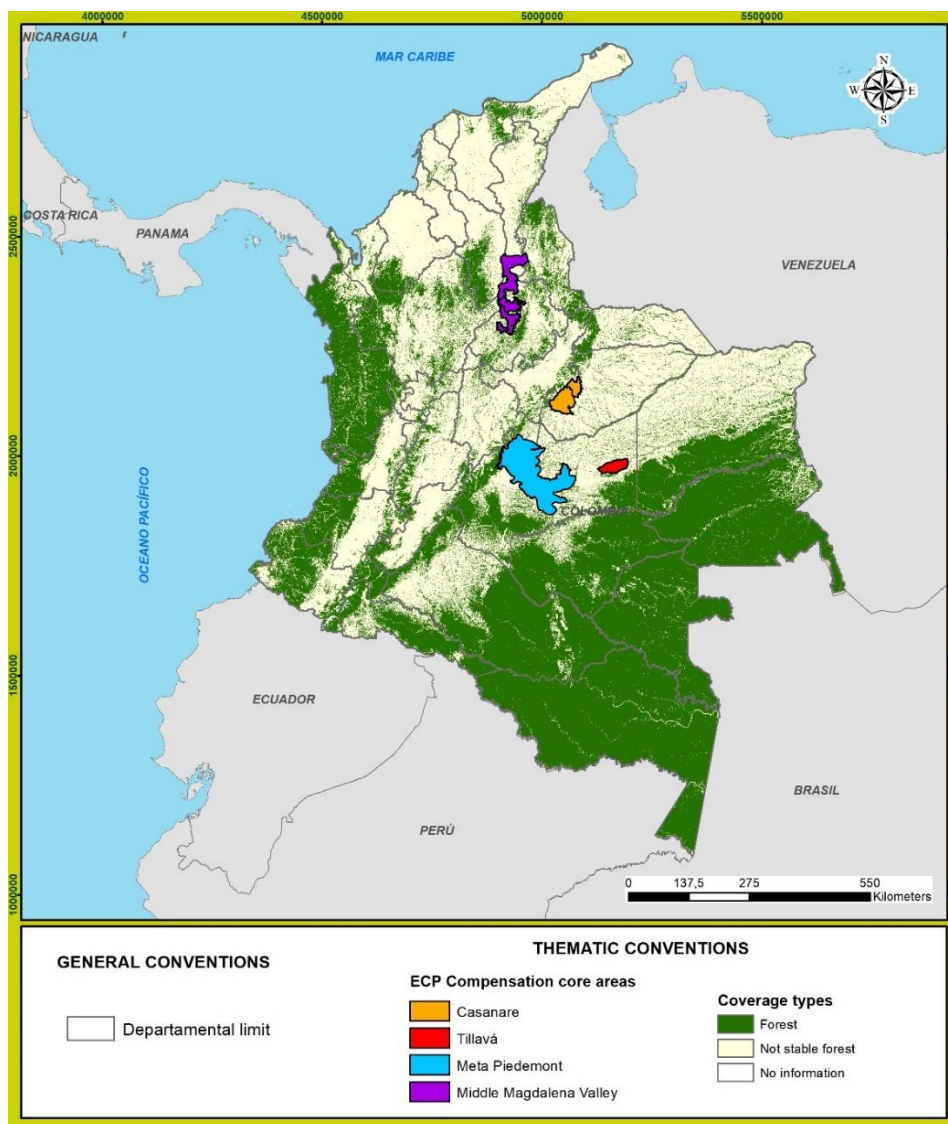


Figura 1. Ubicación de las zonas núcleo de Ecopetrol. En morado se delimita la ubicación de este piloto TNFD.

Una propiedad del sistema es una característica emergente que surge de las interacciones entre los elementos del sistema socioecológico y no puede predecirse analizando cada componente del sistema de forma aislada (Biggs, 2015).

El objetivo de esta herramienta es simular el comportamiento de variables ecológicas y sociales que contribuyen a la resiliencia en un sistema socioecológico. Al analizar las tendencias de estas variables, la herramienta genera un índice de resiliencia, que sirve como indicador de la capacidad del sistema para adaptarse y responder a los cambios con el tiempo.

La herramienta permite:

- Comprender la resiliencia socioecológica en las áreas operativas del Grupo Ecopetrol.
- Simular la respuesta del sistema a impactos resultantes de actividades productivas, permitiendo análisis a lo largo del tiempo.
- Generar datos de series temporales dentro de un período especificado (por ejemplo, entre 2018 y 2040) para las variables asociadas con propiedades de resiliencia.

- Generar un índice de resiliencia agregado que abarque la resiliencia del sistema. Este índice se puede interpretar junto con el comportamiento de las variables, lo que permite identificar aspectos que requieren mayor atención.
- Integrar datos tanto de la empresa como de fuentes nacionales para análisis regionales.
- Realizar modelado de escenarios utilizando datos de series temporales de variables del sistema para revelar tendencias en entornos cambiantes.

Modulos

La herramienta integra ocho (8) módulos que abarcan los componentes socioambientales presentes en el entorno: cobertura terrestre, agua, variables abióticas, disponibilidad de hábitats, diversidad y redundancia, conflictos socioambientales, diversidad de actividades productivas y estado de salud. Cada módulo está representado por ecuaciones diferenciales (modelo matemático), lo que permite simular el funcionamiento del sistema y modelar la tendencia de las propiedades generadoras de resiliencia en respuesta a impactos potenciales a lo largo del tiempo.

Cada módulo se alimenta con información variada derivada de Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA), Informes de Cumplimiento Ambiental (ICA), informes de monitoreo y otras variables para las cuales hay información disponible y que pueden complementar cada módulo según las discusiones entre los equipos de Humboldt y Ecopetrol.

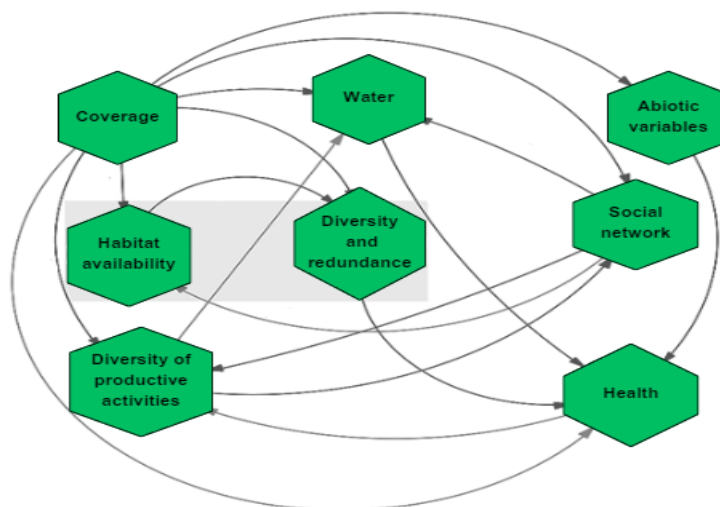


Figura 2. Módulos de la herramienta de evaluación de la resiliencia socioecológica.

1.4 Resultados ilustrativos del análisis de la herramienta de resiliencia socioecológica

La herramienta abarca propiedades y variables específicas y, a través de los análisis, revela las distintas tendencias de cada variable individual, así como una tendencia general de la propiedad. Cuando se combinan, estas tendencias proporcionan una visión de la resiliencia general del sistema, como indica el índice de resiliencia. Estas tendencias pueden mostrar patrones positivos, negativos o coherentes a lo largo del tiempo, poniendo de relieve las relaciones entre múltiples variables. Esta comprensión permite generar acciones de gestión integradas (Tabla 1).

Tabla 1. Resultados ilustrativos: Tendencia del sistema socioecológico (negativa, positiva o estable).

Propiedad	Variable	Tendencia de la variable	Índice de la propiedad	Índice de resiliencia
Conectividad	Polinización	+	+	-
	Dispersión de semillas	+		
	Presencia de corredores de fauna y flora silvestres	+		
	Regulación hídrica	-		
	Red social y comunicación sólidas	→		
	Movilidad	→		
Diversidad y redundancia	Diversidad del paisaje	-	-	
	Diversidad del sistema alimentario local	-		
	Diversidad en los sistemas de conocimiento	-		
	Diversidad de formas de vida	-		
	Diversidad de agentes implicados en la toma de decisiones	→		

Además, hay que tener en cuenta que los resultados parten del supuesto de que las condiciones iniciales del modelo permanecerán invariables a lo largo del tiempo. Esto significa que los escenarios permiten evaluar los cambios potenciales que se producirían en el sistema socioecológico bajo condiciones predeterminadas al inicio del modelo.

Este análisis se basa en las condiciones observadas para los sistemas socioecológicos durante el periodo 2015-2020. Las tendencias modelizadas se derivan de esta línea de base y no se refieren a estados del sistema anteriores a estas fechas. En otras palabras, la condición de una variable se mantiene, mejora o deteriora en comparación con su estado en el periodo 2015-2020.

La herramienta debe utilizarse al menos dos veces, una con los datos de entrada que representan el escenario BAU (Business-as-Usual) y otra con los datos de entrada que representan cada escenario alternativo. Este enfoque permite a la herramienta simular múltiples escenarios, y el usuario puede comparar los resultados obtenidos de cada uso. Al contrastar los resultados, el usuario puede comprender mejor los distintos escenarios y tomar decisiones con conocimiento de causa.

2. Alcance del piloto LEAP

En el contexto del caso de uso de la herramienta de resiliencia, se probaron las siguientes etapas de LEAP, junto con la inclusión del diseño y la aplicación de escenarios para la evaluación de las oportunidades relacionadas con la naturaleza (Figura 3).

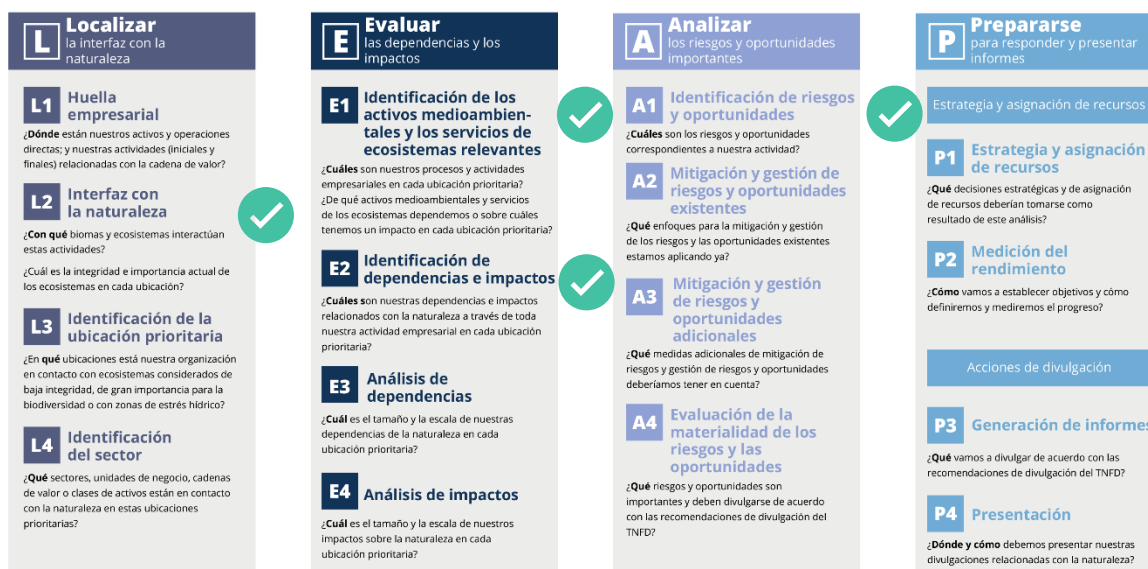


Figura 3. Etapas incluidas en el Piloto Dos con la Herramienta de Evaluación de la Resiliencia Socioecológica.

3. Resultados de cada etapa de LEAP

3.1 Localizar (La interfaz con la naturaleza)

Con base en la información generada en la herramienta para el núcleo del Valle Medio del Magdalena, las oportunidades están relacionadas con la ubicación e integridad de los biomas y ecosistemas con los que interactúan las actividades.

- **L2: Interfaz con la naturaleza**

Los resultados generados en el proyecto Fibras se utilizaron para responder a las siguientes preguntas:

- ¿Con qué biomas y ecosistemas interactúan estas actividades?
- ¿Cuál es la integridad e importancia actual de los ecosistemas en cada lugar?
- ¿Con cuáles biomas y ecosistemas interactúan estas actividades?

La zona núcleo del Valle Medio del Magdalena se encuentra en los departamentos de Norte de Santander, Santander y Cesar, con una extensión de 575.150,80 hectáreas. Corresponde principalmente a las jurisdicciones de la Corporación Autónoma Regional del Cesar (CORPOCESAR) y la Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS), en las cuencas de los ríos Magdalena Medio y Sogamoso (IDEAM, 2013).

¿Cuál es la integridad e importancia actual de los ecosistemas en cada localidad?

Para este núcleo, la mayor parte de su área (95.714 ha) está conformada por ecosistemas categorizados como "Vulnerables" (VU), seguidos por ecosistemas clasificados como "En Peligro" (38.589 ha). Además, la mayor parte de la zona núcleo (442.172 ha) entra en la categoría "Alta" del Índice de Huella Espacial Humana, lo que indica el mayor impacto de las actividades humanas. Los ecosistemas estratégicos presentes son los humedales y bosques secos tropicales, siendo los

humedales temporales los que ocupan la mayor superficie (98.939 ha). Además, el bosque seco tropical ocupa 111 ha, situadas en el centro del núcleo hacia el límite oeste (Figura 4).

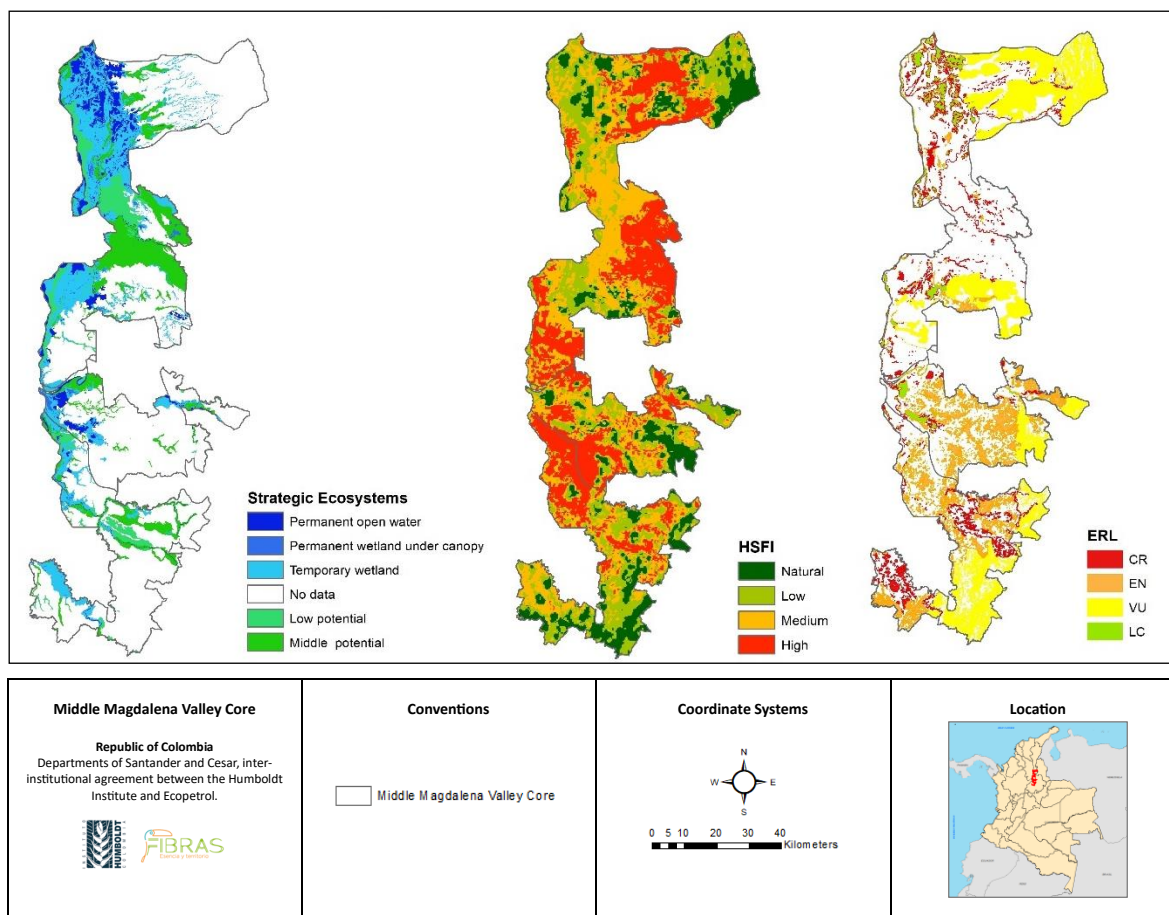


Figura 4. Caracterización del núcleo del Valle del Magdalena Medio basada en la presencia de ecosistemas estratégicos (Instituto Humboldt, IDEAM 2015; Instituto Humboldt, 2018), categorías del Índice de Huella Espacial Humana (HSFI) (Correa Ayram et al., 2018), y categorías (EN: En peligro; VU: Vulnerable; LC: Preocupación Mínima) de la Lista Roja de Ecosistemas (RLE) (Etter et al., 2017) *Fuente: proyecto Humboldt-Fibras. Base de información: cartografía de la IGAC (2022).

In view of the importance of ecosystems, there are prioritization portfolios produced at national level where priority areas for conservation intercept with the core area, these areas contribute to biodiversity conservation and complements the integrity analysis, as follows:

A. WePlan: Prioritizes areas based on their potential for forest restoration planning using a cost-effective criterion, where the restoration cost is minimized while maximizing the biodiversity and climate change mitigation benefits (International Institute for Sustainability Australia and Instituto Humboldt, 2021).

B. ELSA: Refers to "Essential Areas for Life Support in Colombia." The results of the systematic prioritization conducted in this project contribute to the discussions of the 2030 Agenda and the Post-2020 Global Biodiversity Framework, resulting in potential areas for protection, restoration, or sustainable use (Corzo et al., 2020).

C. ACC: This portfolio is based on "Key Areas for the Conservation of Aquatic Biodiversity." It considers threatened freshwater species, including mollusks, crabs, fish, turtles, crocodiles, birds, or aquatic mammals (Lasso et al., 2017).

D. Deforestation 2030: This portfolio can be used to prioritize areas that, according to modeled scenarios, are more likely to be deforested if left untouched, following the trend of IDEAM's analyses, considering principal socio-economic and socio-political deforestation drivers (Rosa et al., 2013).

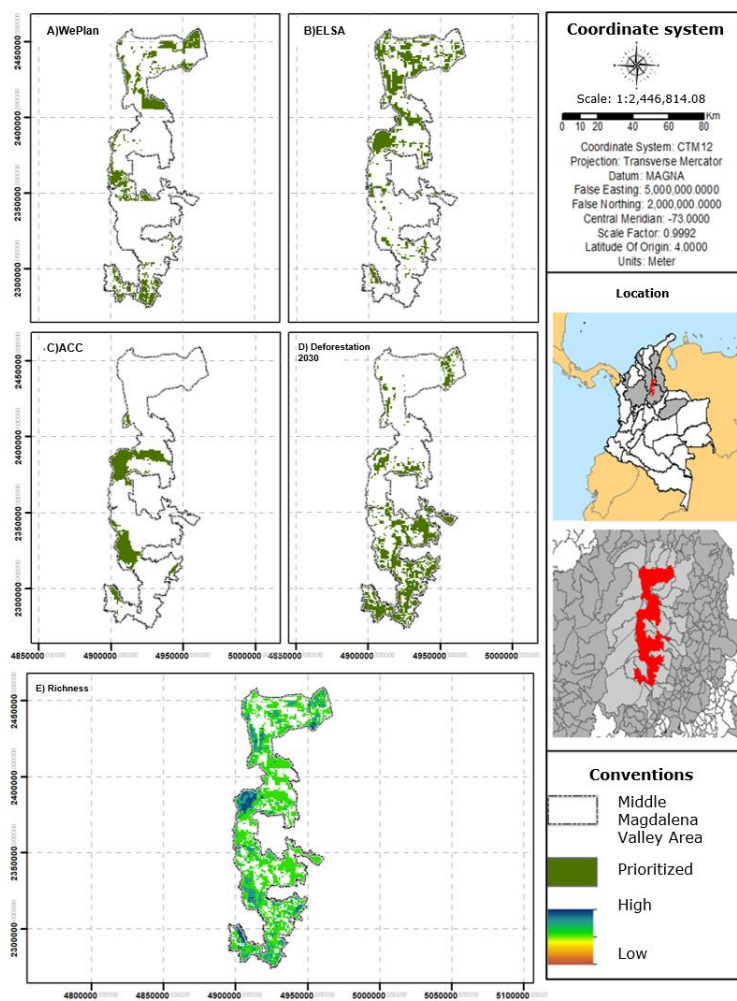


Figure 1. Portfolio maps in the Middle Magdalena Valley core. *Source: Humboldt-Fibras project. Information base: IGAC's base cartography de (2019).

3.2 Evaluate (Dependencies and impact)

- **E1: Identification of environmental assets and ecosystem services**

What are our processes and business activities in each prioritized location?

This information included here is derived from the reading and interpretation of Environmental Impact Assessments, Compliance Reports, and Environmental Management Plans. It is recommended to generate periodic updates of the impact sources as well as their repercussions on the territory.

As a basis for building the resilience assessment tool, a matrix of relationships was constructed between Impact Sources and Impacts, which allowed us to identify the activities from the hydrocarbon sector that generated the highest number of impacts, these were: land clearing and stripping for the construction or expansion of infrastructure such as access roads, locations, and production and injection facilities. They are followed by the mobilization of personnel, vehicles, equipment, and machinery. It is evident that excavation, cutting, and filling activities, as well as the generation and disposal of solid and liquid waste, also have significant importance. The numbers identified the variables with most relevant impacts for the study site.

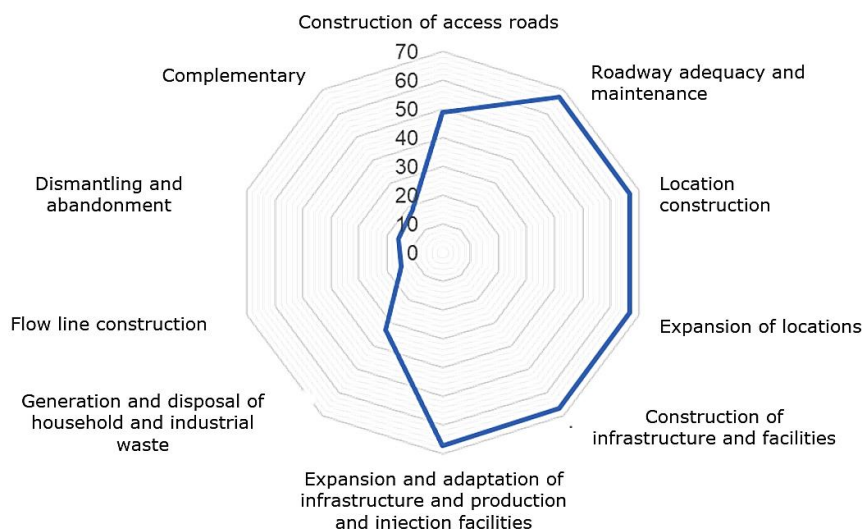


Figure 2. Impact Sources in the Middle Magdalena Valley core.

Impact are related to the alteration of terrestrial fauna communities, their composition and distribution. This is primarily attributed to the construction of new infrastructure such as roads and the loss of vegetation cover. Consequently, it affects landscape quality, as well as terrestrial ecosystems and the physicochemical properties of the soil.

Additionally, in relation to the overall analysis of the core area, the presence of other exploration and drilling blocks is reported, with a significant concentration throughout the area. These aspects entail implications for the different components: abiotic, biotic, and socioeconomic, identifying the most significant impacts, as follow:

Table 1. Component and main impact in the Middle Magdalena Valley.

Component	Impact
Abiotic	Change in landscape quality
Abiotic	Soil quality alteration
Abiotic	Alteration in noise levels
Biotic	Modification of fauna composition and distribution

Component	Impact
Biotic	Alteration to terrestrial ecosystems
Biotic	Disruption of trophic relationships, terrestrial habitats, and corridors
Socioeconomic	Alteration in visual perception of the landscape
Socioeconomic	Generation and/or exacerbation of social conflicts
Socioeconomic	Modification of local economic activities

- **E2: Identification of dependencies and impacts by priority location.**

What is our nature-related dependencies and impacts across our business at each priority location?

In accordance with the modeling results and information from ENCORE (Exploring Natural Capital Opportunities, Risks, and Exposure) of the NCFA (Natural Capital Finance Alliance), the sub-industry dependencies of the Oil & Gas drilling sector, concerning ecosystem services or contributions from nature, are primarily related to water resources in the form of surface and groundwater.

Mitigation of direct impacts is mainly associated with the capacities of species, ecosystems, and the socio-ecological system for bioremediation and filtration.

The ecosystem services that facilitate the provision of water resources for the sector's activities include climate regulation, flood and storm control, erosion control, and soil stability.

For the Oil & Gas Equipment & Services sub-industry, which includes processes related to the manufacturing of machinery and equipment, and service areas for hydrocarbon production, there is also a direct dependence on water resources, making it the most important asset. Regarding the services that enable these productive processes in the socio-ecological system, they include maintaining air quality, water regulation, and water quality.

Regarding the relationship with stakeholders, one of the main aspects is ensuring a healthy environment that offers well-being to the communities within the Company's area of influence. The value of biodiversity conservation actions and ecosystem services can become the seed for economic exploitation (e.g., green businesses) that, in the long term, facilitate the diversification of local economies within the framework of the energy transition process. This can be achieved through investment in strengthening entrepreneurial skills by the Company, which can favor conditions for conservation or restoration businesses (Arce & Amaya, 2023).

To identify the aspects that offers well-being to the communities we used nature contributions to people (NCP) as proxies, identifying for the Middle Magdalena Valley region those NCP that could

be affected by the different impacts previously identified on Figure 6 and Table 2 (Figure 7). The numbers indicate the contributions of nature with the highest importance for the study site.

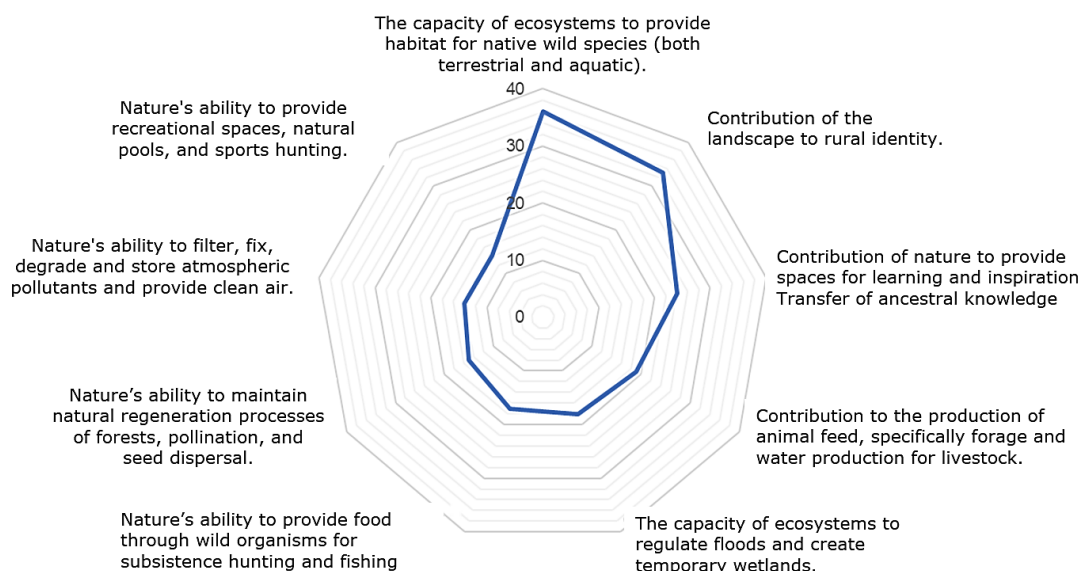


Figure 3. Nature's Contributions with the Highest Degree of Relationship - Degrees of Importance to the Socio-Ecological System.

3.3 Assess (Material risk and opportunities)

- **A1: Risk and opportunity ID**

What are the corresponding opportunities for our organization?

For the assessment of opportunities, based on the proposed modeling, four prospective scenarios of variables and principles associated with the socio-ecological system resilience were formulated. These scenarios are narratives that describe possible present or future contexts. They allow for visualizing changes in the behavior of variables through the introduction of actions that would modulate their trajectory.

Recognizing the potentiality of possible actions in influencing the dynamics of the socio-ecological system, the scenarios are focused on changes in land cover through the implementation of preservation measures and changes in the implementation of programs involving actors within the socio-ecological system.

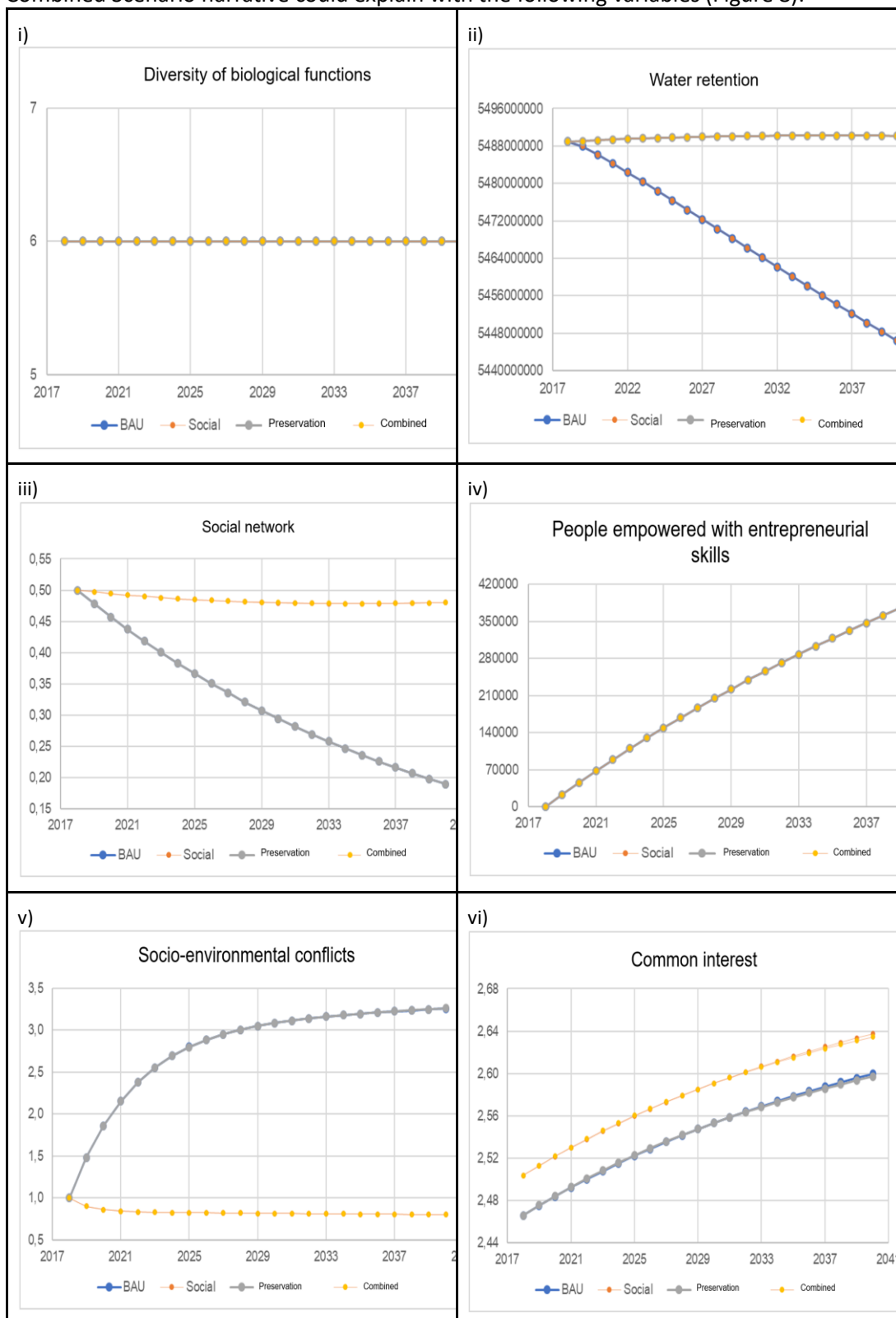
Table 2. Scenario description and metrics used to build it.

Narrative	Metrics*
Social Scenario	
Reduction in the number of petitions, complaints, claims, and/or requests, to diminish the value of the factor	1. Multidimensional poverty index 2. Number of water care practices per municipality 3. Number of fauna care practices per municipality

Narrative	Metrics*
contributing to increased socio-environmental conflicts. Regarding the weights assigned to water, fauna, and forest-ecosystem care practices, they were increased to favor the variable of diversity in care programs and practices. As for participation programs, their participation percentage per program was increased, resulting in a direct positive effect on common interest	Social Scenario 4. Number of forest-ecosystem care practices per municipality. 5. Number of requests, complaints, claims (PQRs) 6. Average number of individuals per community participation program. 7. Percentage of individuals belonging to a community participation program 8. Percentage of individuals belonging to two or more community participation programs 9. Weight of water care 10. Weight of fauna care 11. Weight of forest-ecosystem care 12. Diversity of knowledge systems
	Preservation Scenario 1. Rate of Forest transformation to Heterogeneous Agro-Pastoral 2. Rate of Forest transformation to Homogeneous Agriculture 3. Rate of Forest transformation to Homogeneous Pastures 4. Rate of Forest transformation to Urban – Urbanized 5. Rate of Forest transformation to Extractive Uses 6. Rate of Forest transformation to Degraded Areas 7. Rate of Grasslands and Shrublands transformation to Heterogeneous Agro-Pastoral 8. Rate of Grasslands and Shrublands transformation to Homogeneous Agriculture 9. Rate of Grasslands and Shrublands transformation to Homogeneous Pastures 10. Rate of Grasslands and Shrublands transformation to Urban - Urbanized Rate of Grasslands and Shrublands transformation to Extractive Uses 11. Rate of Grasslands and Shrublands transformation to Degraded Areas 12. Rate of Wetlands transformation to Heterogeneous Agro-Pastoral 13. Rate of Wetlands transformation to Homogeneous Agriculture 14. Rate of Wetlands transformation to Homogeneous Pastures 15. Rate of Secondary or Seminatural Vegetation transformation to heterogeneous Agro-Pastoral 16. Rate of Secondary or Seminatural Vegetation transformation to Homogeneous Pastures 17. Rate of Secondary or Seminatural Vegetation transformation to Vegetation-free Soils (Natural) 18. Rate of Secondary or Seminatural Vegetation transformation to Urban - Urbanized 19. Rate of Secondary or Seminatural Vegetation transformation to Extractive Uses 20. Rate of Secondary or Seminatural Vegetation transformation to Secondary or Seminatural Vegetation
Combination of the two scenarios, adding social and ecological variations.	12 social metrics 20 ecological metrics

* Modified parameters for constructing the scenario that prioritizes the ecological aspect of preserving the Middle Magdalena Valley.

Combined Scenario narrative could explain with the following variables (Figure 8):



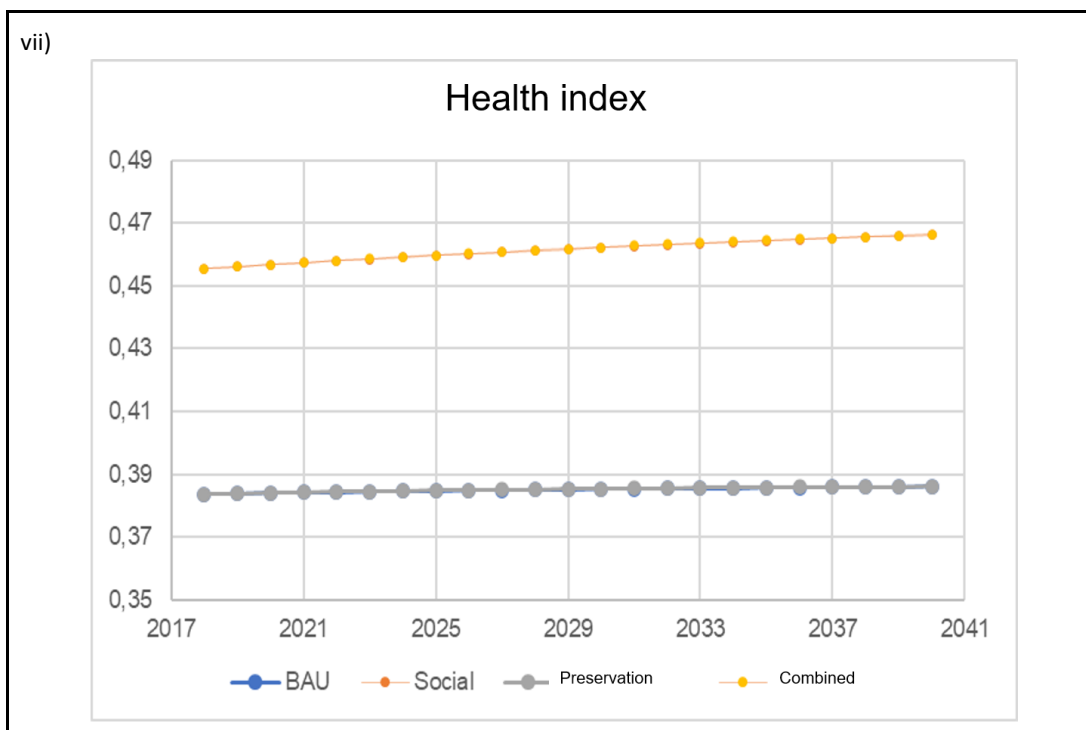


Figure 4. Variations in variables associated with BAU, Social, Preservation and Combined scenario changes: i) Diversity of ecological functions, ii) Water retention, iii) Social fabric, iv) People empowered with entrepreneurial skills, v) Socio-environmental conflicts, vi) Common interest, vii) Health index.

The variable "diversity of ecological functions" refers to the average persistence of all ecological species. If we have sufficient forest cover, above 30%, and take care of wildlife and the forest, the resilience of the socio-ecological system increases.

The difference in water retention trends in the proposed scenarios (Figure 9) is exclusively due to the water demand of vegetation cover, as changes in sector demands, percolation rates, and oversaturation have not been considered in any of the scenario. Although the amount of water retained in the soil is relatively stable for all scenarios (considering the range of values in the time series), it is much more stable in scenarios aiming to conserve natural areas (preservation and combined) compared to those that do not (BAU and social). These changes demonstrate the vulnerability of the system in regulating the hydrological cycle when land covers change. Efforts to preserve or even increase current land covers, as seen in the preservation scenario, allow the soil to retain sufficient water for system balance, avoiding oversaturation that can lead to floods, sudden increases in water flow, and landslides.

In the preservation scenario, where social and ecological variables are combined to promote preservation; the social networks decrease to a greater extent than in the social and combined scenarios. The decrease in the preservation scenario is due to restrictions on the use of productive land covers, which do not promote decision-making by different stakeholders regarding land use or the implementation of good practices, for example. The BAU scenario also does not provide opportunities for land cover use.

Empowered individuals with entrepreneurial skills usually increase in number, which favors the diversity index of productive activities. Socio-environmental conflicts vary across all scenarios, with the social and combined scenarios showing the fewest conflicts. The least favorable scenario is BAU and preservation, and only scenarios that consider improvements in social aspects have the potential to transform conflicts.

The positive trend of common interest is related to increased connectivity, self-consumption reports, a high proportion of protected areas, positive average habitat for all species, good agricultural practices obtained in the CNA (National Agricultural Census) at 50.97%, and governance practices for forest-ecosystem care. The graph shows that although the BAU scenario is positive, it is further strengthened in the combined and social scenarios.

The health index summarizes several aspects. From the social perspective, only the Multidimensional Poverty Index (MPI) was considered, and the combined scenario introduces changes in the persistence of ecological functions and the food provision indicator that affects the diversity of the food system. There is also a change due to noise mitigation. The combined and social scenarios are the ones that favor the health index.

From the behavior of the weighted average and resilience index in the four proposed scenarios represented in Figure 9, the following can be observed:

- All scenarios show a positive trend, indicating that the system has the capacity to assimilate changes and maintain its state over time (remember the reference period is 2015-2020).
- The preservation scenario does not show significant changes compared to the BAU scenario. This suggests that the preservation of natural areas, from a socio-ecological perspective, may generate a response that is not sufficient to improve the resilience of the system.
- Actions focused solely on social aspects significantly improve the weighted average of variables while maintaining an increasing trend. This indicates that the system can assimilate the proposed changes in the scenario, improving them in the medium and long term.
- Preservation, when combined with social changes (combined scenario), provides the best response from the system. This means that the weighted average of variables increases, and the resilience index is higher than in the other scenarios.
- In socio-ecological system resilience, preservation actions must be accompanied by social strategies.

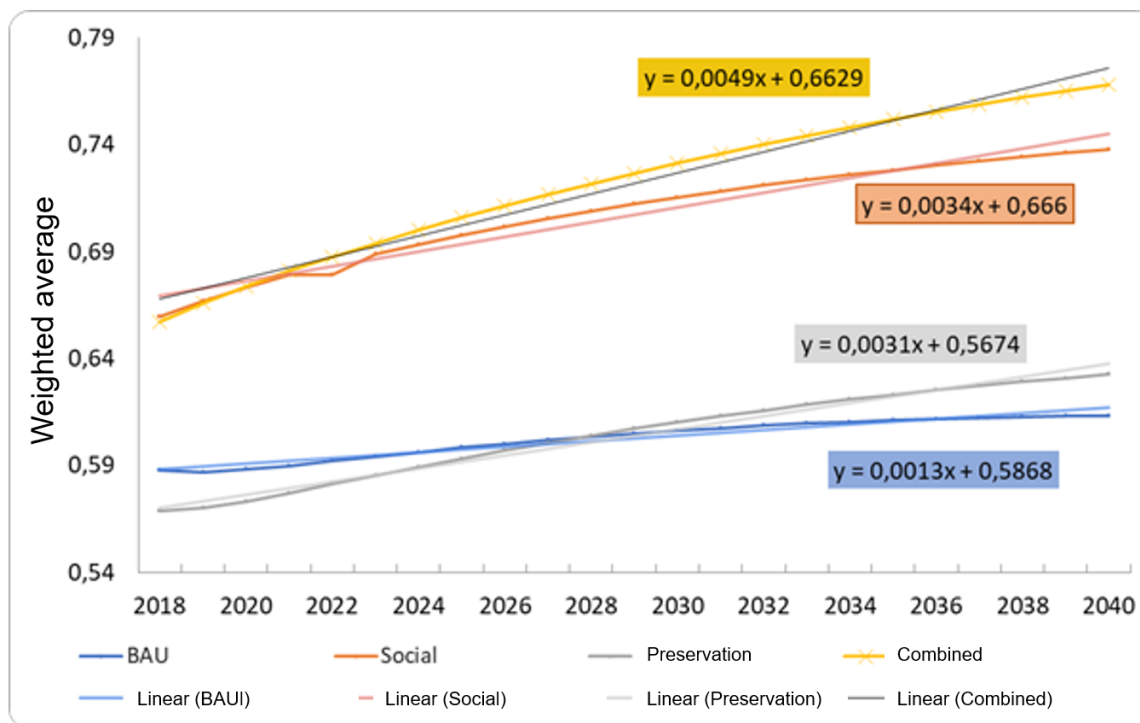


Figure 5. Resilience Index to scenario evaluated.

Starting from the BAU scenario, actions focused solely on preservation could have a negative impact on the resilience of the socio-ecological system. What is particularly interesting is that actions driven by social considerations lead to substantial improvements in both the weighted average and the resilience index. Preservation, in conjunction with social approaches, is what strengthens resilience. Therefore, the implementation of preservation measures requires complementary strategies that enhance common interest.

In this regard, the scenario results provide insights into sources of opportunities for the socio-ecological system related to biodiversity and stakeholders. Specifically, they highlight potential opportunities related to biodiversity that can offer financial benefits to the company, such as increased stability, continuity, risk mitigation, resilience to natural disasters, and improved adaptability to regulatory changes (CBDB, 2021).

4. Conclusions and recommendations for enhancement the TNFD framework

Issues that may be important to enhance the TNFD framework are considered below. Those are based on the experience of applying resilience assessment in some stages of the LEAP phase and the maturation process from version 2.0 to version 4.0.

Understanding the dynamics of the socio-ecological system being assessed

- In version 4.0, the locate and assess phases introduce a set of metrics within the TNFD framework to characterize the evaluated area and its impact. However, there is a lack of a reference framework to relate the metrics used in different stages of LEAP. The metrics are presented independently for impacts and dependencies.
- Frameworks such as Pressure-State-Response-Benefits (Sparks et al., 2011) or methodologies that help understand aspects of the evaluated socio-ecological system's dynamics are crucial. They enable the utilization of metrics in specific contexts and transform them into indicators that provide information beyond mere numbers.
- The metrics included in the resilience index are used in contexts and narratives that explain their significance for the resilience of socio-ecological systems. However, when applying the TNFD framework according to the proposed steps in version 4.0, there appears to be a missing step in comprehending the socio-ecosystem context, which is necessary for relating impact and dependency variables.
- Introducing a contextual step in the evaluation phase could be the most suitable approach, as it would allow for a deeper understanding of the social-ecological system under evaluation, rather than solely focusing on the perspective of the business or company's value chain.
- Enhancing the TNFD framework in these aspects would improve the utilization of the proposed metrics, which are currently presented in isolation, making it challenging to interpret them holistically.
- The resilience tool considers theoretically documented interrelationships between variables, which are part of the generated mathematical model. Hence, modifying one of them leads to the transformation of the entire scenario. These interrelationships could be useful for constructing more realistic scenarios regarding the impacts and dependencies on nature. Currently, TNFD does not incorporate this type of relationships.

Incorporation of social dimensions

- It is crucial to consider social aspects in the TNFD framework, as they are closely related to social license to operate, analyzing socio-environmental conflicts, and assessing reputational risk in areas of influence. Additionally, understanding the socio-economic dynamic can contribute to identifying business opportunities in the territories. It is important to incorporate metrics that assess social dynamics and socio-environmental conflicts to complement the existing categories of opportunities and reputational risks.

Temporal dynamics

- The TNFD framework does not explicitly include analysis of the proposed metrics over different time periods. Time series analysis would allow to understand the trend of change in the assessed area and to detect lags in variables caused by impacts, especially in variables related to biodiversity and ecosystem functioning.

Relevance of national data

- It is important to identify the "why" of the use of assessments, in order to use the best available data for each purpose: if the assessment is expected to help the company to implement better actions in the territory, it is possible that only national information may be detailed enough to facilitate decision making in the prioritized areas, otherwise if the use of the assessment is to comply with international requirements, global information sources may be sufficient.
- Although it is unlikely that a new version of the TNFD will specifically mention national information sources, it would be advisable to discuss the scope of the global databases presented and recognize the importance of national data layers. This would increase the usefulness of the TNFD as a decision support tool at the subnational level.

Use of scenarios

- In version 4.0 of the TNFD framework, a section dedicated to scenarios is included. Based on the scenario approach presented in this report, it is suggested that TNFD make explicit its use in the identification of opportunities during stage A (risk and opportunity assessment) of the LEAP, following the example presented in this report.
- It is recommended that social aspects be more explicitly incorporated in the scenarios presented in version 4.0, considering their importance in the analysis of opportunities. In addition, it is suggested that the metrics used in the LEAP localization and evaluation stages can be modeled under different scenarios, which will facilitate the planning of opportunity and risk actions.
- It is crucial to be able to adapt global scenarios to local scenarios, especially in the areas assessed in stages L2 and L3. If global scenarios do not fit local contexts, it will be difficult to use them for decision making in specific areas. Since the TNFD framework prioritizes application areas, it is important that scenarios can be localized without losing their relationship to archetypes that allow comparability between studies at regional or global scales. This need for scalability between global archetypes and regionalized scenarios has been recognized in the IPBES evaluation (Rosa et. al. 2017).

Bibliography

- Arce Castellanos, L. O., Amaya, B., Cubides, A., Montoya, M. & M. Murcia. (2023). Documento con el análisis potencial de negocios verdes y ecoturismo para los tres (3) predios restantes seleccionados. ASA La Guarupaya, Centenario La Pacora y La Doncella - Isla IV. Bogotá: Convenio de cooperación Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Ecopetrol S.A.
- Biggs, R., Simonsen, S., Schoon, M., Bohensky, E., Cundill, G., Dakos, V., Daw, T., Kotschy, Leitch, A., Quinlan, A., Petterson, G., Moberg, F., Schlüter, M. (2014). Poniendo en práctica el pensamiento resiliente. Siete principios para desarrollar la resiliencia en los sistemas socio-ecológicos. Stockholm Resilience Center. Stockholm University. https://whatisresilience.org/wp-content/uploads/2016/04/Applying_resilience_thinking_SP_aktiv.pdf
- Correa Ayram, C.A., Díaz-Timote, J., Etter, A., Ramírez, W. y G. Corzo. (2018). El cambio en la huella espacial humana como herramienta para la toma de decisiones en la gestión del territorio. En Moreno, L. A, Andrade, G. I. y Gómez, M.F. (Eds.). 2019. Biodiversidad 2018. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos

- Biológicos Alexander Von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. <http://geonetwork.humboldt.org.co/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/3f37fa6b-5290-4399-9ea3-eaafcd0b2fbe>
- Corzo, L., Rodríguez-Buriticá, S., Ochoa, D., Batista, M. F., Fonseca, C., Marigo, M., Virnig, A., Venter, O., Atkinson, S., Ervin, J., & García, H. (2021). Mapeo de áreas esenciales para el soporte de la vida -ELSA- en Colombia. En: Moreno, L. A., Andrade, G. I., Didier, G & Hernández-Manrique, O. L. (Eds.). Biodiversidad 2020. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia. Bogotá, D. C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. 112p.
 - Ecopetrol S.A. (2018). Reporte Integrado de Gestión Sostenible 2018. Bogotá, Colombia.
 - Etter, A., Andrade, A., Saavedra, K., Amaya, P., Arévalo, P. Cortés, J., Pacheco, C. y D. Soler. (2017). Lista Roja de Ecosistemas de Colombia. Pontificia Universidad Javeriana y Conservación Internacional Colombia. <http://geonetwork.humboldt.org.co/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/53474f84-b5b8-4965-a1f0-848d302495a6>
 - Instituto Humboldt. (2018). Cobertura de Bosque Seco Tropical en Colombia, año 2018, escala 1:100.000. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. <http://geonetwork.humboldt.org.co/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/6ccd867c-5114-489f-9266-3e5cf657a375>
 - Instituto Humboldt, IDEAM (2015). Clasificación del mapa de humedales continentales de Colombia por tipología, Escala 1:100.000. Proyecto: Insumos para la delimitación de humedales y páramos en cuencas hidrográficas afectadas por el fenómeno de La Niña 2010-2011. Bogotá, D. C., Colombia. <http://geonetwork.humboldt.org.co/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/7ff0663a-129c-43e9-a024-7718dbe59d60>
 - IDEAM (2013). Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia, Bogotá, D. C., Colombia. Publicación aprobada por el Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM, noviembre de 2013, Bogotá, D. C., Colombia.
 - International Institute for Sustainability Australia & Instituto Humboldt. (2021). WePlan Forests Colombia. <http://weplan-colombia.s3-website-us-east-1.amazonaws.com/>
 - Lasso, C. A., D. Córdoba y M. A. Morales-Betancourt (Eds.). 2017. XVI. Áreas clave para la conservación de la biodiversidad dulceacuícola amenazada en Colombia: moluscos, cangrejos, peces, tortugas, crocodílidos, aves y mamíferos. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. 353 pp.
 - Rosa, I. M., Purves, D. W., Souza, C., & Ewers, R. M. (2013). Predictive Modelling of Contagious Deforestation in the Brazilian Amazon. PLOS ONE, 8(10), e77231. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077231>
 - Sparks, T. H., Butchart, S. H. M., Balmford, A., Bennun, L., Stanwell-Smith, D., Walpole, M., Bates, N. R., Bomhard, B., Buchanan, G. M., Chenery, A. M., Collen, B., Csirke, J., Diaz, R. J., Dulvy, N. K., Fitzgerald, C. M., Kapos, V., Mayaux, P., Tierney, M., Waycott, M., . . . Green, R. E. (2011). Linked indicator sets for addressing biodiversity loss. Oryx, 45(3), 411-419. <https://doi.org/10.1017/s003060531100024x>
 - TNFD. Taskforce on Nature-related Financial Disclosures Framework. <https://tnfd.global/>

- Rosa, I. M., Pereira, H. M., Ferrier, S., Alkemade, R., Acosta, L. A., Akcakaya, H. R., & Van Vuuren, D. (2017). Multiscale scenarios for nature futures. *Nature Ecology & Evolution*, 1(10), 1416-1419.
- Sparks, T. H., Butchart, S. H., Balmford, A., Bennun, L., Stanwell-Smith, D., Walpole, M., & Green, R. E. (2011). Linked indicator sets for addressing biodiversity loss. *Oryx*, 45(3), 411-419.

