

**CIENCIA  
Y SABER  
INDÍGENA**

**POR LA AMAZONÍA**

# **DINÁMICA HISTÓRICA**

**y escenario futuro del carbono aéreo  
almacenado en Paisajes de Acción  
Piloto en la Amazonía biogeográfica**

**NOTA TÉCNICA  
2026**

**RAISG**  
AMAZONIAN NETWORK OF GEOREFERENCED  
SOCIO-ENVIRONMENTAL INFORMATION

 **Woodwell  
Climate  
Research  
Center**

 **NICFI**  
Norway's International Climate and Forest Initiative

## Equipo técnico

### Análisis e interpretación de datos

Sandy Terán, EcoCiencia  
Alejandra Tancara, FAN  
William Martínez, Gaia  
Jose E. Victorio, IBC  
William P. Lima, ISA  
Antonio Oviedo, ISA  
Yurmerys Bolaño, Wataniba

### Redacción

Sandy Terán  
Alejandra Tancara  
William Martínez  
Jose E. Victorio  
William P. Lima  
Antonio Oviedo  
Yurmerys Bolaño  
Mario Osorio  
María A. Oliveira-Miranda (Tina)

### Coordinación técnica y modelaje

Jose E. Victorio-Gonzales

### Asesoría técnica y edición

María A. Oliveira-Miranda (Tina)

### Elaboración de figuras

Carla Soria  
William Martínez  
William Lima  
María A. Oliveira-Miranda (Tina)

### Foto de portada

Envato

### Cita sugerida de este trabajo:

RAISG 2026. Dinámica histórica y escenario futuro del carbono aéreo almacenado en Paisajes de Acción Piloto en la Amazonía biogeográfica. Proyecto Ciencia y Saber Indígena por la Amazonía. Disponible en <https://www.RAISG.org/>

### Cómo interpretar los mapas de carbono:

Los valores mostrados representan la densidad de carbono en Mg C/ha (megagramos de carbono por hectárea), equivalente a toneladas de carbono por hectárea.

# CONTENIDO

<b>1</b>	Introducción	<b>04</b>
<b>2</b>	Objetivo	<b>07</b>
<b>3</b>	<b>Marco Metodológico</b>	<b>08</b>
	3.1. PAL en la Amazonía biogeográfica	
	3.2. Generación de información para cada PAL	
<b>4</b>	<b>Países de acción piloto o pilot Action Landscapes (PAL)</b>	<b>14</b>
	4.1. Territorio Indígena del Xingu (TIX), Brasil	15
	4.2. Paisaje Mirití-Paraná	27
	4.3. Territorio Waorani, Ecuador	40
	4.4. Paisaje Kakataibo	49
	4.5. Territorio Comunitario de Origen (TCO) Tacana Cavineño, Bolivia	59
	4.6. Territorio Yek'wana, Venezuela	65
<b>5</b>	<b>Conclusiones generales</b>	<b>74</b>
	5.1. Tendencias comunes entre los PAL	75
	5.2. Diferencias significativas entre los PAL	76
	5.3. Implicaciones para la gobernanza territorial indígena	77
	5.4. Recomendaciones para el manejo y el monitoreo	78
	5.5. Limitaciones metodológicas	79
	5.6. Perspectivas y relevancia para la política pública	81
<b>6</b>	Referencias	<b>83</b>

# 1.

## Introducción

---

### **La Amazonía biogeográfica se extiende a lo largo de nueve países sudamericanos y cubre más de siete millones de kilómetros cuadrados.**

Es uno de los ecosistemas más importantes del planeta en términos de su diversidad biológica y del papel que tiene en la regulación climática y el almacenamiento de carbono.

---

**E**n ese sentido, se estima que la biomasa aérea de sus bosques representa aproximadamente un 50% de su peso en carbono (IPCC 2006). El carbono en bosques, o carbono forestal, se refiere principalmente a aquel contenido en la biomasa viva de los ecosistemas boscosos (aérea y subsuelo) y, en segundo término, a la biomasa muerta (necromasa) y hojarasca. Su cuantificación se realiza mediante la estimación de la masa total de materia orgánica generada, especialmente por los árboles y otras especies vegetales del bosque, en un área determinada. Sin embargo, en muchos casos, especialmente cuando se emplean sensores remotos, las estimaciones se centran en la biomasa aérea (por encima del nivel del suelo).

La compleja estructura boscosa de la Amazonía, le permite almacenar entre  $123 \pm 23$  petagramos de carbono<sup>1</sup> en su biomasa aérea y subterránea, lo que equivale a más de una década de emisiones

globales de CO<sub>2</sub> (Gatti y col. 2021). Esta enorme reserva se considera clave en la regulación natural del clima terrestre mediante la absorción y fijación de dióxido de carbono atmosférico. De manera que la convierte en un indicador para evaluar el carbono almacenado (stocks de carbono) y monitorear los flujos netos de captura o liberación de gases de efecto invernadero.

No obstante, esta capacidad de regulación climática se encuentra en riesgo desde hace unas décadas. La acelerada deforestación, la degradación de los bosques y los efectos acumulativos del cambio climático han reducido la capacidad de los ecosistemas amazónicos para absorber carbono, llegando incluso a convertirlos en fuentes netas de emisiones en algunas localidades. Por ejemplo, según Gatti y col. (2021), en regiones del sudeste amazónico las emisiones de carbono ya superan su capacidad de absorción, lo que evidencia que han comenzado a actuar

---

<sup>1</sup> Equivalente a  $123.000 \pm 23.000$  millones de toneladas de carbono (MtC)

Foto: Felipe Rodríguez / Fundación Gaia Amazonas



como fuentes, en lugar de sumideros. Entre 2001 y 2021, de acuerdo con Global Forest Watch (2023) más del 60% de la Amazonía presentó pérdidas netas de carbono, especialmente en el “arco de deforestación” del sur y sureste amazónico.

Estas pérdidas están directamente asociadas con la transformación y pérdida de coberturas vegetales naturales. Las dinámicas de cambio de uso del suelo —como la conversión de bosques a pastizales, cultivos o zonas urbanizadas— provocan una liberación inmediata de carbono. Además, amenazas menos detectables que se expresan como degradación de los bosques, la tala selectiva, la presencia de fuegos de baja intensidad, la fragmentación, el cambio en los regímenes hidrológicos y los eventos climáticos extremos, erosionan silenciosamente la capacidad de los bosques para actuar como sumideros, incluso cuando la cobertura forestal parece mantenerse estable (Berenguer y col. 2021, Gampe y col. 2021, Silva y col. 2022, Lapola y col. 2023). Se estima que más del 40% de las emisiones de carbono en los trópicos provienen de procesos de degradación (Walker y col. 2020, Silva Junior y col. 2023). En este sentido, Walker y col. (2020) confirman que los paisajes amazónicos, incluidos muchos territorios indígenas y áreas naturales protegidas, enfrentan presiones crecientes derivadas de actividades como la extracción maderera, minera, petrolera y la expansión de infraestructura, las cuales no

necesariamente implican deforestación total, pero sí provocan una significativa pérdida de biomasa y emisiones asociadas. Estas formas de degradación, ampliamente subestimadas, afectan al menos al 53% de la Región amazónica y comprometen cerca del 46% del carbono superficial almacenado, lo que resalta el rol crítico de la degradación como fuente de emisiones en los trópicos.

El cambio climático actúa como un amplificador de estas pérdidas. Eventos extremos como sequías prolongadas, olas de calor y fenómenos como El Niño afectan la fotosíntesis, aumentan la mortalidad de árboles y limitan la capacidad de recuperación de los bosques. Experimentos como Esecafloor, en Brasil, han demostrado que una reducción artificial del 50% en la precipitación durante 24 años puede causar pérdidas de hasta el 40% en la biomasa vegetal, con la transformación temporal del bosque en una fuente neta de carbono (Brando y col. 2023). A nivel regional, las sequías de 2005, 2010 y 2015 —consideradas las más severas de este siglo en la Región amazónica— provocaron disminuciones significativas en la productividad primaria neta (NPP, por sus siglas en inglés) en varias zonas, con el norte y suroeste de la Amazonía especialmente afectadas. Estas condiciones debilitaron la capacidad de recuperación de los bosques, retrasando entre uno y tres años su retorno a los niveles de crecimiento previos (Gampe y col. 2021).

Un componente esencial de esta dinámica es el manejo del territorio. Diversos estudios han demostrado que los Territorios Indígenas (TI) y las Áreas Naturales Protegidas (ANP) presentan tasas significativamente más bajas de deforestación y pérdida de carbono asociada (Walker y col. 2014, 2020). Entre 2001 y 2021, los TI amazónicos removieron de la atmósfera, en promedio, 340 millones de toneladas métricas de CO<sub>2</sub> por año (WRI 2023), funcionando como verdaderas barreras climáticas.

Incluso en contextos de presión extractiva, estas áreas presentan mayor estabilidad de biomasa y menor incidencia de incendios (Silva Junior y col. 2023). Esta efectividad se relaciona con una gobernanza territorial sólida y con prácticas tradicionales de manejo que favorecen la conservación. Sin embargo, un reto para estas unidades territoriales, y en general para la región, es la pérdida silenciosa de carbono por degradación de los bosques (Walker y col. 2020), donde el camino por recorrer es más complejo.



Foto: Karen Espejo / RAISG

Con la perspectiva de mejorar el conocimiento acerca de cómo funcionan territorios indígenas con diferentes características ecológicas, culturales, contextos de gobernanza y amenaza, para de esta manera poder incorporar saberes locales que ayuden a realizar ajustes en materia de justicia ambiental y climática, se propone una aproximación a lo local mediante los Paisajes de Acción Piloto o Pilot Action Landscapes (PAL), distribuidos en la mayor parte de los países de la Amazonía biogeográfica.

De esta manera, mediante la información generada desde la ciencia y los saberes indígenas será posible aumentar la sensibilidad pública y la comprensión de las presiones que afectan los bosques amazónicos, así como el papel que desempeñan efectivamente los territorios indígenas en su conservación, con la consecuente preservación del carbono que almacenan.

Comprender la dinámica del carbono forestal en la Amazonía exige un enfoque integral que articule factores ecológicos (biomasa, captura, pérdidas), sociales (gobernanza territorial, derechos indígenas) y tecnológicos (teledetección, modelación climática). Este conocimiento es indispensable para diseñar políticas públicas más efectivas, promover la conservación basada en evidencia y fortalecer la resiliencia de los ecosistemas amazónicos ante el cambio climático.



Foto: Daniel Chamba / Fundación EcoCiencia

# 2.

## Objetivos

**E**n el marco de este trabajo se planteó como objetivo general relacionar la dinámica del carbono aéreo en la Amazonía biogeográfica con la gestión y gobernanza territorial en seis Paisajes de Acción Piloto (PAL), que son: el Territorio Indígena del Xingu, en Brasil, el territorio de Mirití Paraná, en Colombia, el Territorio Wao-rani, en Ecuador, el Paisaje Kakataibo, en Perú, el Territorio Comunitario de Origen (TCO) Tacana Cavineño, en Bolivia, y el territorio Ye'kwana del medio-alto Ventuari y Alto Orinoco, en Venezuela.

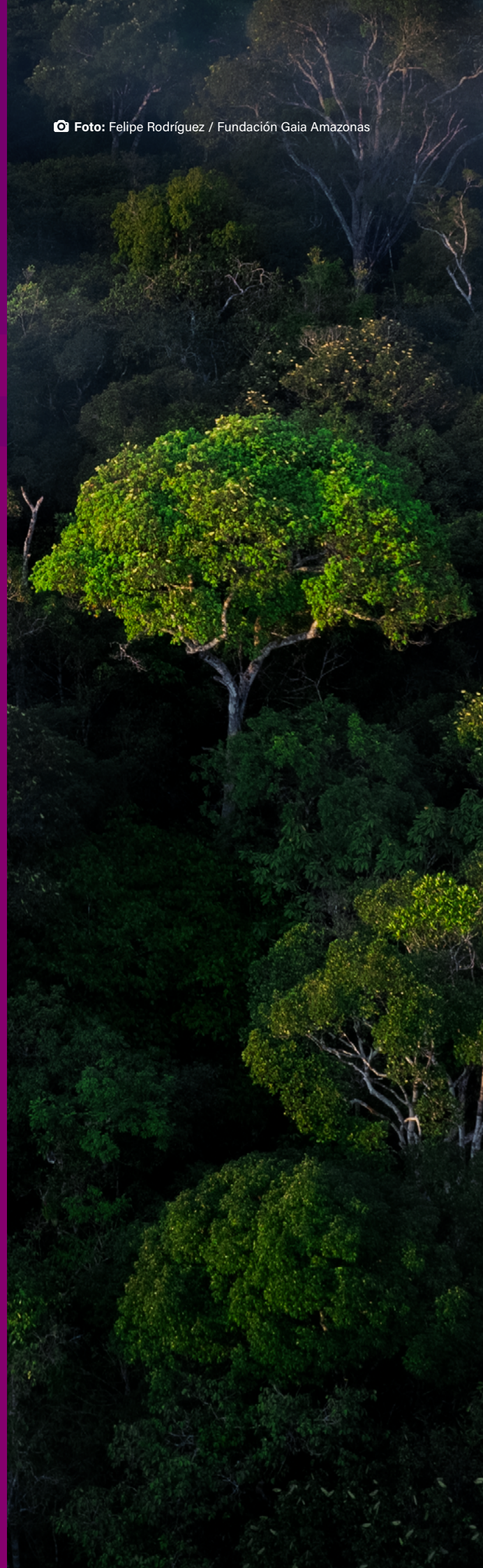
### Los objetivos específicos fueron:



Estudiar la dinámica de carbono aéreo en cada PAL para el período 2000-2023 y su relación con los cambios en las coberturas de suelo.



Modelar el cambio potencial para el año 2030 en las coberturas del suelo dentro de los PAL, así como del carbono aéreo bajo un escenario de cambio anual constante.



# 3.

## Marco Metodológico



# 3.1.

## PAL en la Amazonía biogeográfica

**La Amazonía biogeográfica** es un complejo de ecosistemas, que si bien representan una unidad funcional muestra amplias variaciones a lo largo y ancho de su área de distribución, las cuales responden no sólo a elementos ecológicos sino a aspectos culturales.

Por esta razón, una aproximación a la gestión territorial indígena y a las amenazas que enfrenta la región, desde la perspectiva de las coberturas del suelo y del carbono almacenado requiere contar con evidencia proveniente de diferentes localidades. En la figura 3.1 se aprecia la distribución de los Paisajes de Acción Piloto que participaron en este análisis. Son de una extensión representativa, que se encuentra alrededor o por encima de los 10 mil kilómetros cuadrados (equivalentes a un millón de hectáreas). Los detalles de cada PAL serán ampliados en sus respectivas secciones.

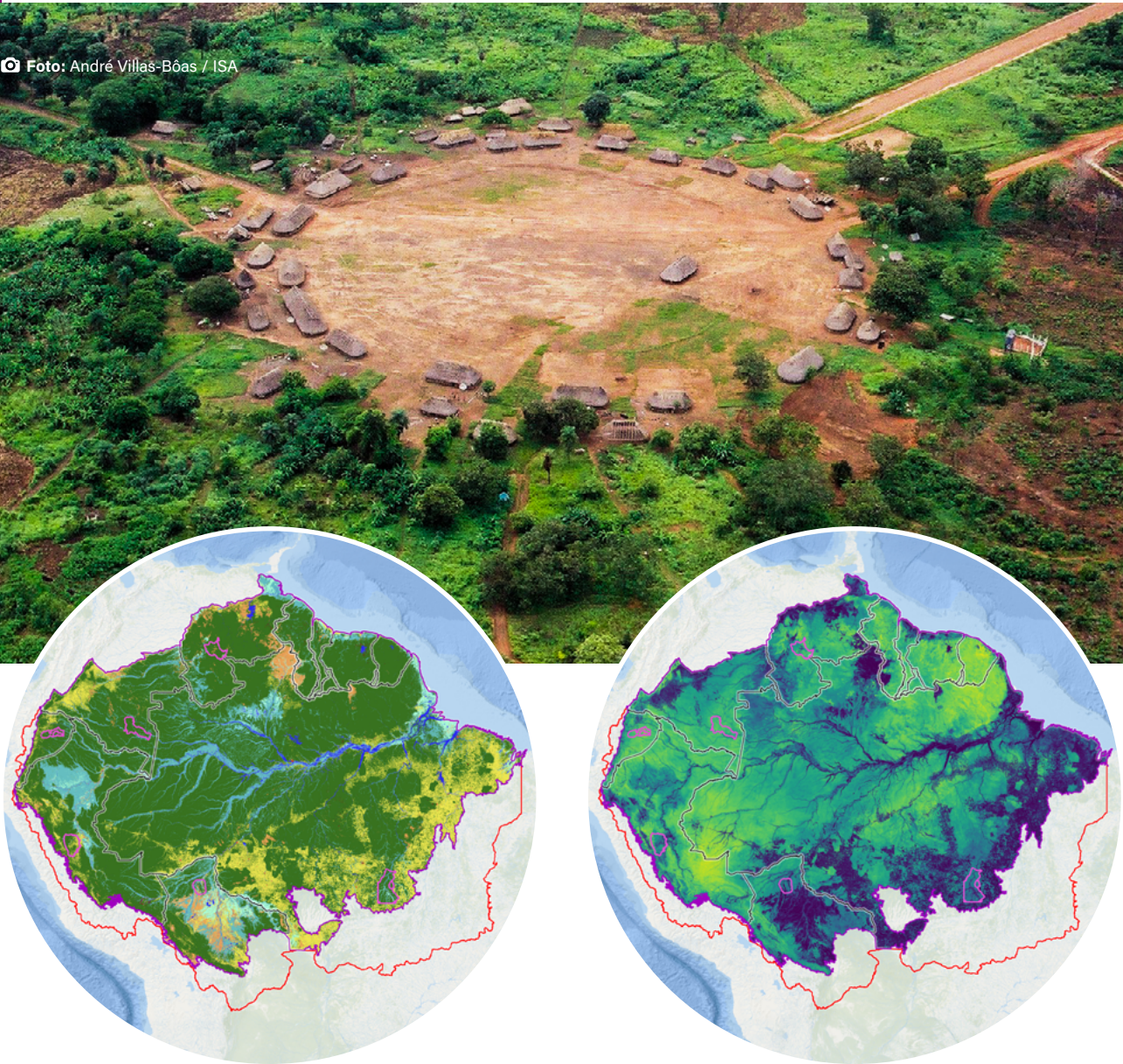
Como ya mencionamos los PAL se distribuyen sobre áreas que reflejan la heterogeneidad de la Amazonía biogeográfica, como se puede ver en las figuras 3.2 y 3.3.



**Figura 3.1:** Distribución de los Paisajes de Acción Piloto (PAL) analizados en este proyecto en la Amazonía biogeográfica.



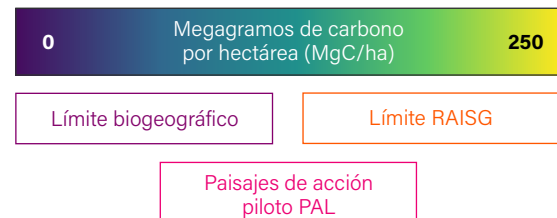
Foto: André Villas-Bôas / ISA



**Figura 3.2:** Distribución de los Paisajes de Acción Piloto (PAL) en las coberturas de suelo de la Amazonía biogeográfica.



**Figura 3.3:** Paisajes de Acción Piloto (PAL) sobre diferentes densidades de carbono en la Amazonía biogeográfica.



**Mg C/ha** = megagramos de carbono por hectárea (equivalente a toneladas de carbono por hectárea).  
 Densidad de Carbono Forestal Sobre el Suelo - Datos de existencias y cambios en biomasa proporcionados por Chloris Geospatial, 2000-2023, basado en Baccini y col. 2017.  
<https://doi.org/10.1126/science.aam5962>

## 3.2.

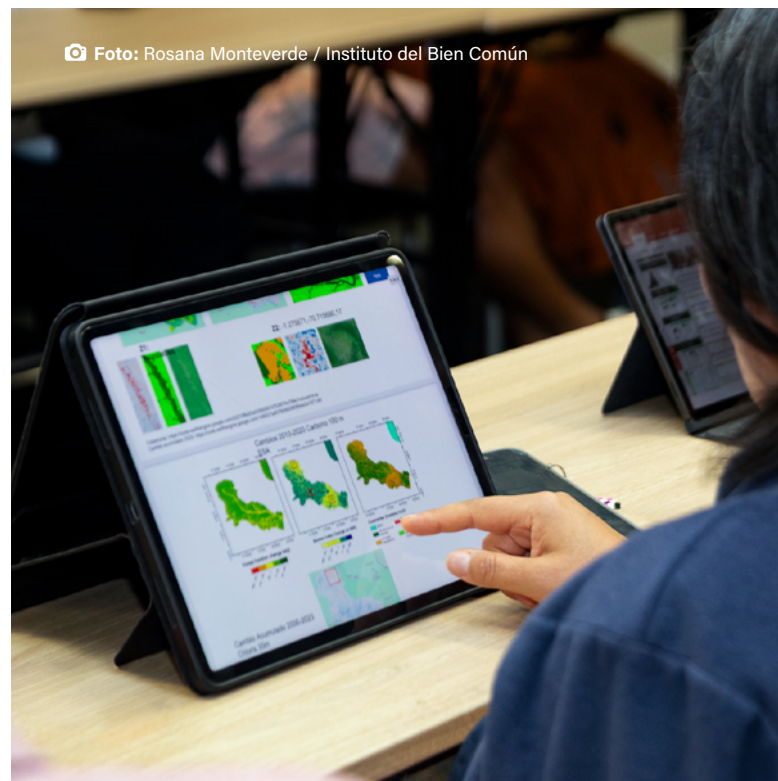
# Generación de información para cada PAL

**La generación de un mapa de carbono en cada PAL para el año 2030** requirió ajustes metodológicos y fuentes de información complementarias, con respecto al análisis de la Amazonía biogeográfica (RAISG, 2025), y que, además, variaron entre cada PAL.

**E**n este sentido, el flujo metodológico (Figura 3.4) consideró dos fases principales que llevaron cada uno de los países involucrados para la generación de la respectiva proyección:

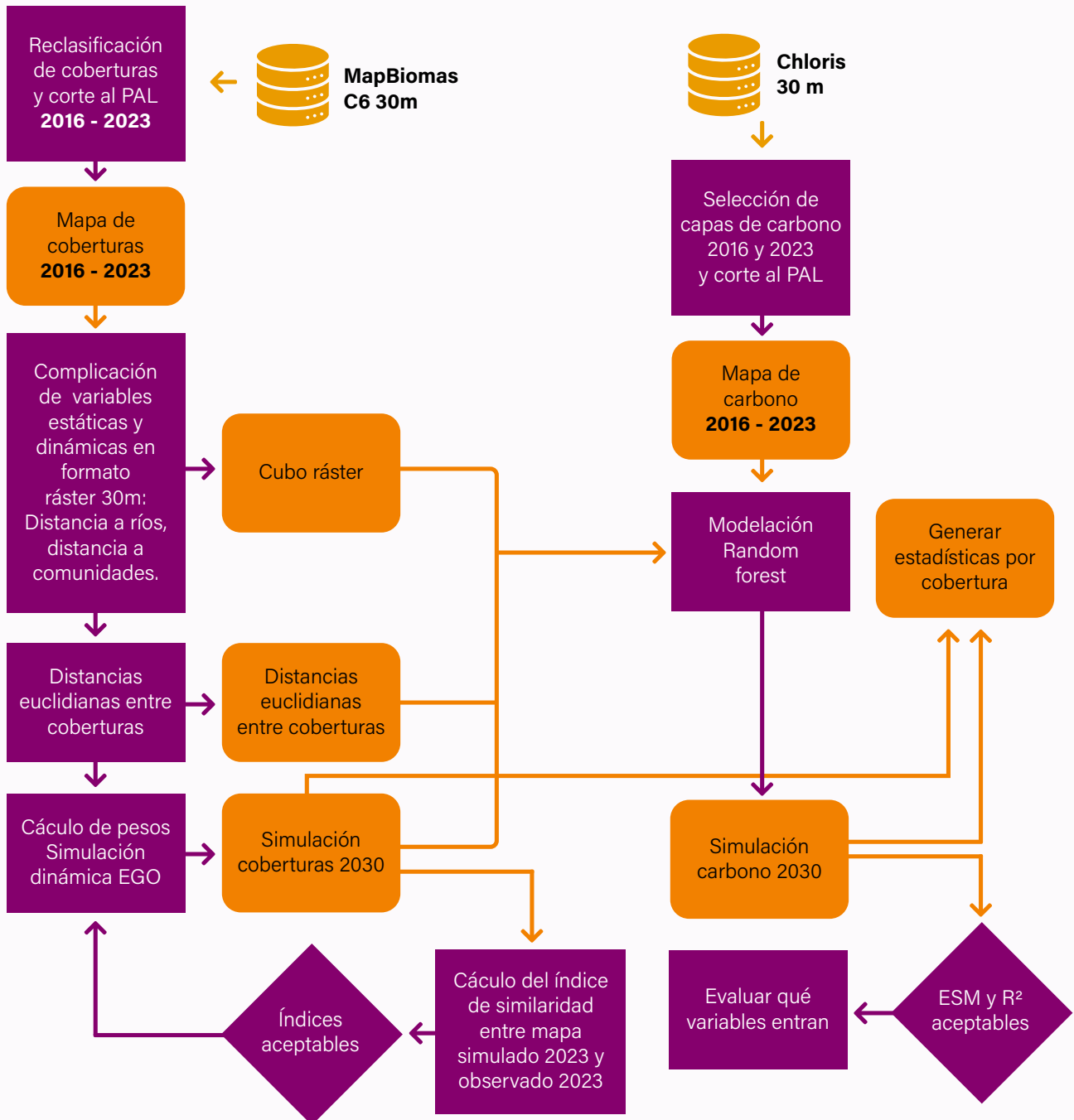
1. La simulación de coberturas de suelo a 2030 en el software de dinámica EGO
2. La proyección de carbono al mismo horizonte temporal, en la plataforma Google Earth Engine.

En la primera fase se emplearon datos de MapBio-mas Cobertura y Uso de la Amazonia (colección 6, resolución de 30 metros) (<https://amazonia.map-biomas.org/>), correspondientes a los años 2016 y 2023, los cuales se reclasificaron entre 7 y 9 clases (Tabla 1) según las características de cada PAL bajo análisis. En ese proceso se revisaron inconsistencias de cambios entre los dos momentos para evitar introducir datos que no reflejaran las dinámicas reales de cambio de cobertura y uso del suelo en el programa de Dinámica EGO.



**Simulación de coberturas a 2030 en dinámica EGO**

**Proyección de carbono a 2030 en GEE**



**Figura 3.4.** Flujo metodológico general empleado para la proyectar al 2030, el carbono aéreo en cada PAL



### Coberturas y usos de suelo

Bosque (Incluye Formación boscosa, Bosque abierto y Manglar)
Bosque Inundable
Formación Natural No Forestal
Pastizal Inundable
Agropecuario (sin considerar silvicultura o plantaciones de palma)
Área sin vegetación
Infraestructura urbana
Uso minero
Cuerpos de agua (integración de datos de MapBiomás Agua y Cobertura/Uso)

**Tabla 1.** Tipos de coberturas a ser consideradas en el análisis de cada PAL

A partir de estos insumos se construyeron los mapas de coberturas y uso del suelo, así como un cubo ráster que compiló variables estáticas y dinámicas de relevancia territorial, como distancias a ríos, comunidades y zonas previamente deforestadas (acumuladas). Estas capas sirvieron de base para calcular distancias euclidianas entre coberturas y, posteriormente, para alimentar el modelo Dinámica EGO, base para simular las transiciones de uso del suelo hacia 2030. La calidad de la simulación se evaluó mediante índices de similaridad entre el mapa simulado 2023 y el mapa observado 2023, repitiendo el proceso en caso de resultados no satisfactorios.

En paralelo, la segunda fase del flujo metodológico correspondió a la proyección de carbono utilizando datos de Chloris (2016 y 2023, también con una resolución espacial de 30 metros)<sup>2</sup>. Con estas capas se generaron mapas de carbono históricas que sirvieron para entrenar un modelo de aprendizaje automático con el algoritmo de Random Forest, capaz de capturar la relación entre los valores de carbono y variables explicativas de tipo topográfico, accesibilidad y cobertura y uso del suelo. Una vez calibrado el modelo, se corrió la simulación de coberturas al 2030, con lo que se generó un mapa de carbono proyectado para ese año. Este procedimiento incluye etapas de validación, donde métricas como el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y el error cuadrático medio (MSE, por sus siglas en inglés) permitieron evaluar la robustez de las estimaciones. Si los valores no cumplían con los umbrales aceptables, se ajustaron las variables y parámetros del modelo hasta alcanzar un desempeño adecuado.

La integración de ambas fases permitió vincular explícitamente las dinámicas de cambio de uso del suelo con las proyecciones de carbono, aportando una visión espacialmente explícita de las tendencias observadas entre 2016 y 2023; entendido como un modelo constante en el informe regional, es decir, la variabilidad de 2030 es inferida entre los años de entrenamiento el 2016 y 2023. El hecho de que la simulación de coberturas alimentara directamente el modelo de carbono permitió también asegurar la coherencia entre la transformación territorial y la dinámica de almacenamiento o pérdida de carbono.

<sup>2</sup> Datos sobre el stock y los cambios de biomasa proporcionados por Chloris Geospatial (2024), basados en métodos revisados por pares establecidos por Baccini y col. (2017)

# 4.

Paisajes de Acción  
Piloto o Pilot Action  
Landscapes (PAL)



# 4.1.

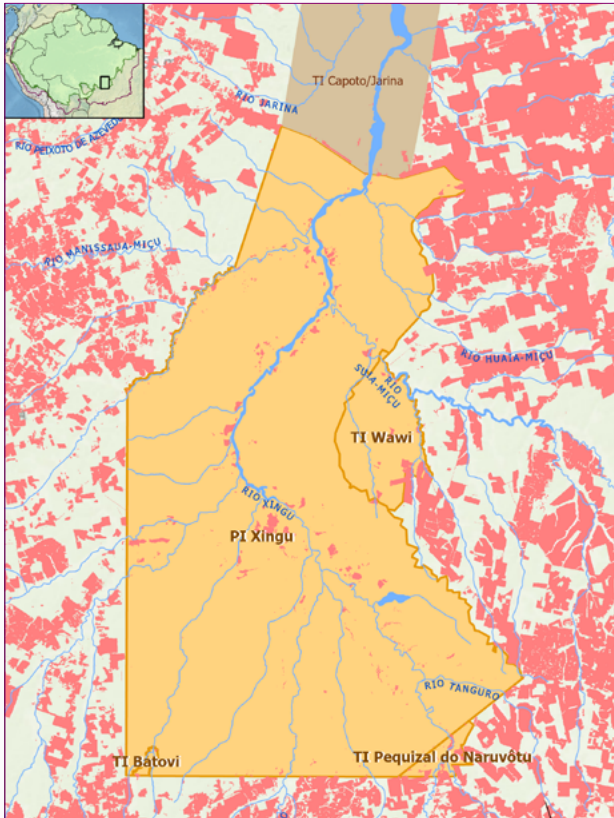
## Territorio Indígena del Xingu (TIX), Brasil

El Territorio Indígena del Xingu (TIX) **se localiza en la región central de Brasil**, entre los estados de Mato Grosso y Pará, en una zona de transición entre los biomas Amazonía y Cerrado.


### 4.1.1 Descripción del paisaje

La región amazónica ha experimentado un intenso proceso de transformación en las últimas décadas, caracterizado por cambios en la cobertura forestal y en la gestión de áreas protegidas habitadas por pueblos indígenas y comunidades tradicionales. Aunque datos recientes indican una reducción de la deforestación en algunos países amazónicos (Global Forest Review, 2024), análisis de largo plazo muestran que, entre 2000 y 2020, la Amazonía perdió 542.581km<sup>2</sup> de bosques tropicales, lo que representa aproximadamente el 9% de su superficie (RAISG, 2022). En este contexto, la expansión de la frontera agropecuaria continúa siendo el principal motor de cambio, responsable del 77 % de la deforestación (RAISG, 2022).

El Territorio Indígena del Xingu (TIX) se localiza en la región central de Brasil (Figura 4.a.1.1.), entre los estados de Mato Grosso y Pará, en una zona de transición entre los biomas Amazonía y Cerrado. Esta región ha experimentado cambios significativos en las últimas décadas, que incluyen un aumento estadísticamente significativo de las temperaturas diarias (máximas y mínimas), así como modificaciones en los extremos climáticos y en la amplitud térmica diurna (Lucas y col., 2021). La interacción entre el cambio climático y las transformaciones en el uso del suelo ha contribuido a alteraciones en los patrones hidrológicos y en la dinámica ecológica de la región (Franco y col., 2025).



**Figura 4.a.1.1.** Territorio Indígena del Xingu (TIX), Brasil.

 Deforestación, de acuerdo a los datos oficiales de (PRODES/INPE)

El TIX representa una de las experiencias más emblemáticas de conservación territorial en la Amazonía brasileña. Su origen se remonta a la creación del Parque Indígena del Xingu (PIX) en 1961, impulsado por los hermanos Villas-Bôas, constituyéndose en la primera gran área indígena multiétnica reconocida oficialmente en Brasil. Actualmente, el territorio abarca aproximadamente 2,8 millones de hectáreas y alberga a 16 pueblos indígenas, que mantienen una diversidad lingüística y cultural significativa.

La consolidación de áreas protegidas, incluyendo territorios indígenas (TI), unidades de conservación (UC) y territorios quilombolas, ha demostrado ser una estrategia eficaz para la conservación de los bosques amazónicos (Schwartzman y col., 2000; Ricketts y col., 2010; Soares-Filho y col.,

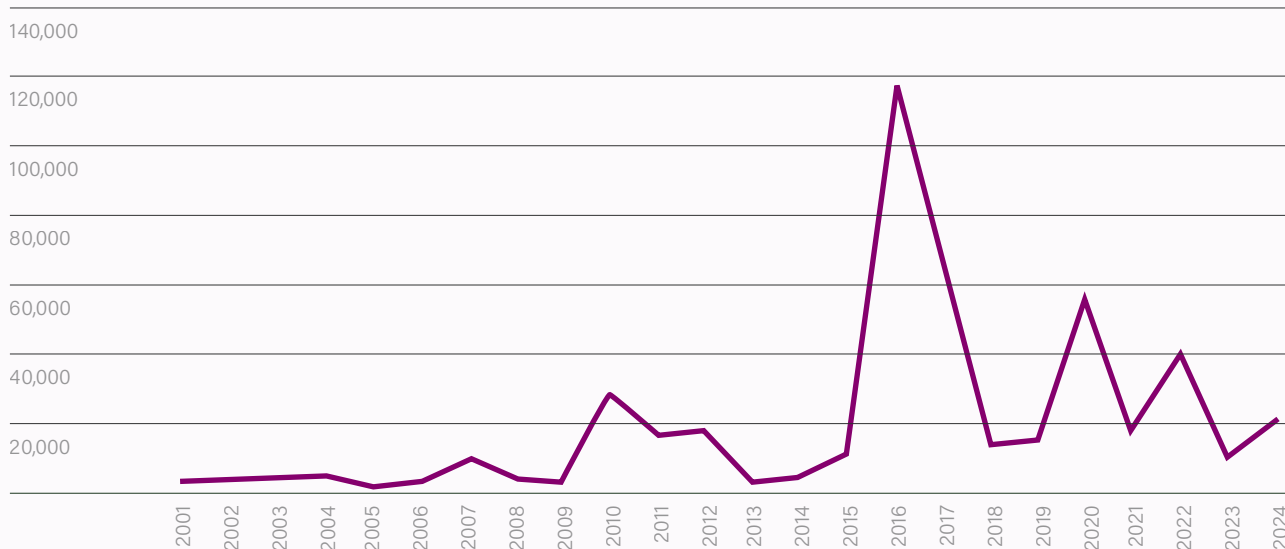
2010; Soares-Filho, 2016). En particular, estudios han demostrado que estas áreas cumplen un rol clave en la reducción de la deforestación y de las emisiones asociadas, actuando como barreras frente a la expansión de la frontera agropecuaria (Soares-Filho et al., 2006).

El TIX se encuentra actualmente en una región de intensa presión antrópica, caracterizada por la expansión del agronegocio, la apertura de nuevas áreas agrícolas y la presencia de actividades ilegales como el acaparamiento de tierras, la tala y la deforestación. La región circundante concentra algunos de los municipios con mayores tasas de pérdida boscosa de la Amazonía en años recientes. A pesar de estas presiones, el territorio mantiene un alto grado de conservación y forma parte de uno de los mayores corredores continuos de áreas protegidas del mundo, que incluye 21 territorios indígenas y 9 unidades de conservación.

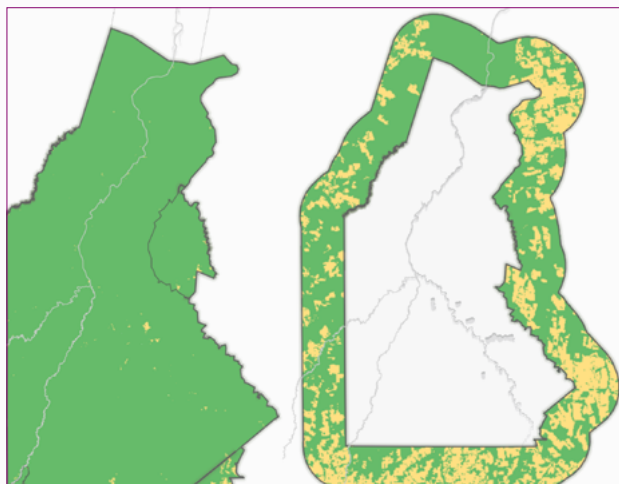


Foto: Ana Lúcia Gonçalves / ISA

**Deforestación (ha)**



**Figura 4.a.1.2.** Deforestación en el TIX. Datos tomados de Hansen y col. (2024)



**Figura 4.a.1.3.** Cobertura forestal en el TIX (izq.) y sus alrededores (derecha) en 2024. Datos tomados de: MapBiomias Coberturas Brasil Colección 10 (2025).

El análisis de la dinámica reciente de pérdida de cobertura forestal en el TIX, basado en datos de Hansen y col. (2024), evidencia un cambio en el comportamiento de la deforestación, con un periodo de relativa estabilidad hasta mediados de la década de 2010, seguido por un incremento significativo de la presión antrópica en años recientes (Figura 4.a.1.2.). Es importante señalar

que la métrica utilizada en estos datos, la pérdida de cobertura arbórea incluye tanto deforestación como procesos de degradación forestal, por lo que proporciona una estimación más amplia de las perturbaciones en la biomasa forestal en comparación con las métricas tradicionales de corte raso.

Asimismo, análisis de cobertura del suelo muestran que, en las últimas décadas, el TIX ha mantenido una alta proporción de cobertura forestal (92,4%), en contraste con su entorno inmediato (zona de amortiguamiento de 30km), donde la cobertura forestal alcanza aproximadamente el 63,5% (Figura 4.a.1.3.). Este contraste evidencia el papel del territorio indígena como barrera frente a la conversión del bosque.

**4.1.2 Dinámica de uso y cobertura**

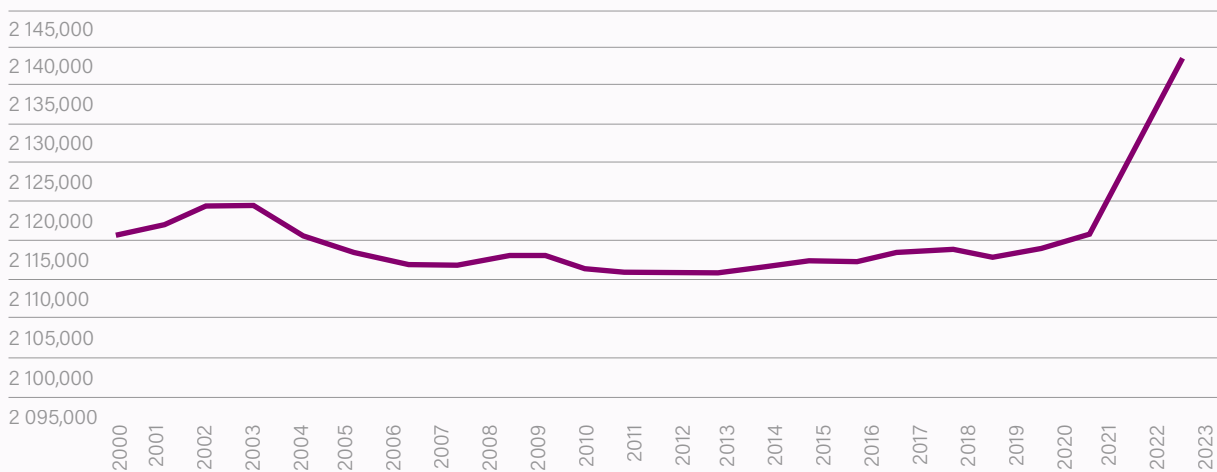
El análisis de la dinámica de uso y cobertura del suelo en el Territorio Indígena del Xingu (TIX) se realizó a partir de la serie temporal de mapas de MapBiomias Amazonía (Colección 6), siguiendo el enfoque metodológico descrito en el capítulo 3, que permite evaluar cambios anuales en las coberturas del suelo

para el periodo 2000–2023. Para este análisis, la clase de bosques inundables fue considerada de manera diferenciada respecto a la cobertura de bosque, debido a su extensión significativa en el territorio y a su importancia ecológica. Asimismo, entre las variables consideradas se incluyeron métricas de accesibilidad, como la distancia a aldeas y viviendas, con el fin de capturar patrones espaciales asociados a la dinámica de uso del suelo.

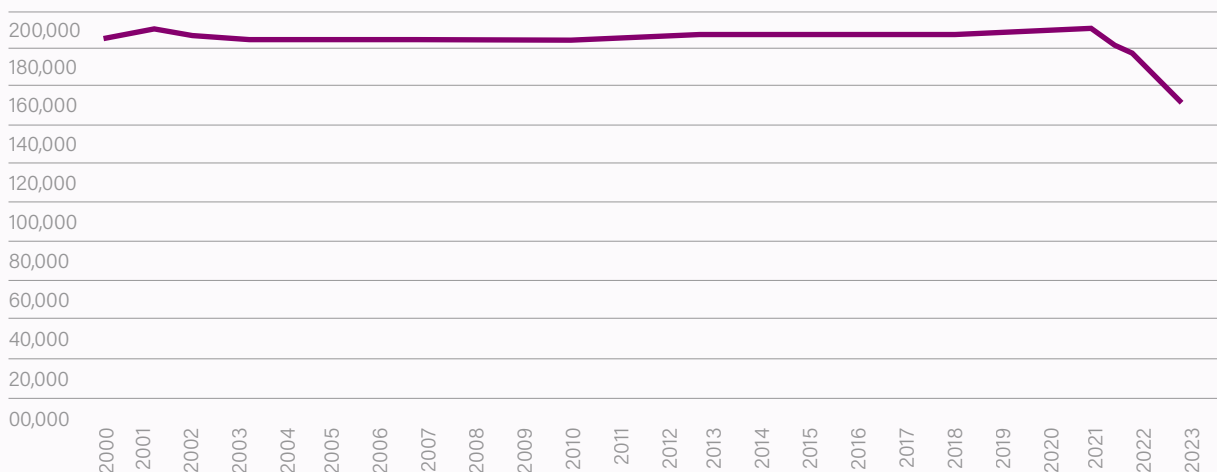
La Figura 4.a.2.1 ilustra la trayectoria histórica de uso y cobertura del suelo entre 2000 y 2023. El TIX presenta un carácter predominantemente forestal. Para el año 2000, aproximadamente el 75% del territorio correspondía a la cobertura forestal natural, seguido por el 16,3% de bosque inundable, el 6,5% de formación natural no forestal, el 1,8% de cuerpos de agua, el 0,3% de áreas agrícolas y una proporción mínima de otras áreas antrópicas.

**Figura 4.a.2.1.** Trayectoria para las clases de cobertura forestal, formación natural no forestal, agricultura, bosques inundables y cuerpos de agua.

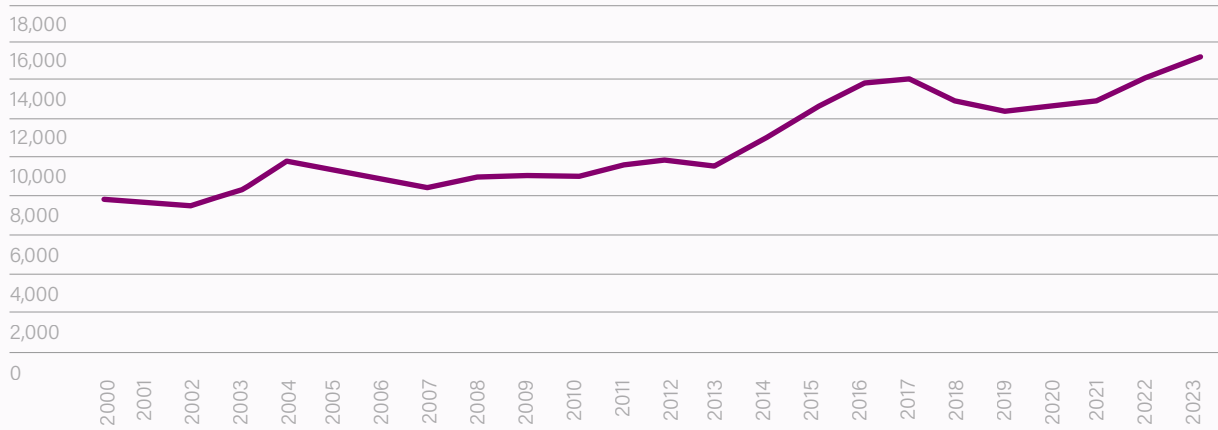
**Cobertura forestal:**



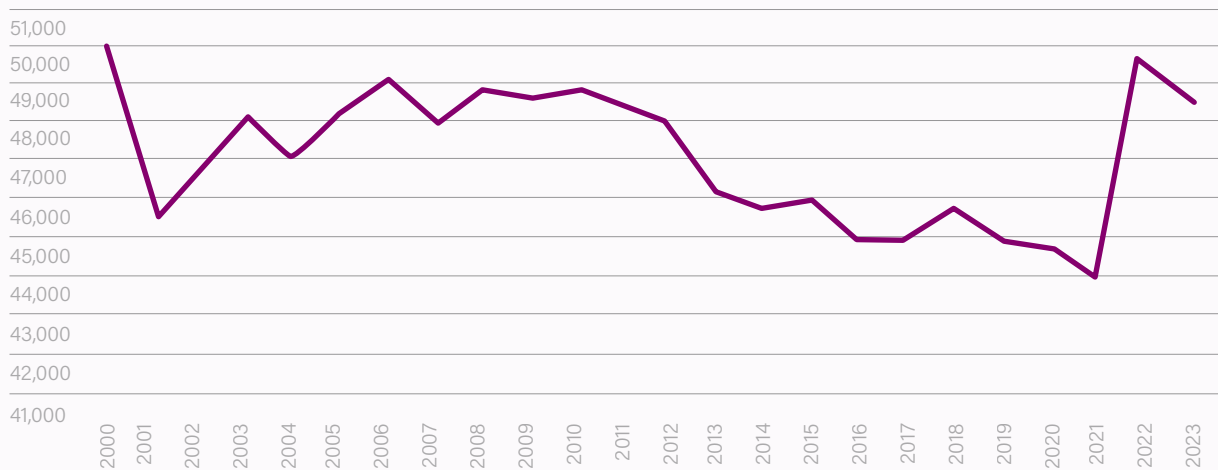
**Formación natural no forestal:**



**Agropecuaria:**



**Cuerpo de agua:**



**Bosque inundable:**

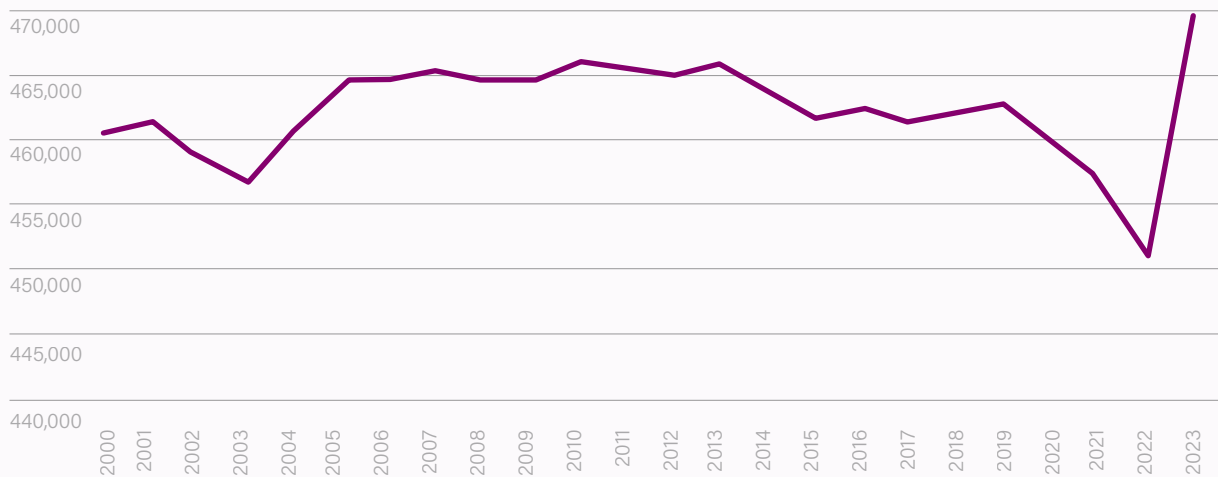




Foto: Fernanda Ligabue / ISA

Durante el periodo 2000–2023, la cobertura forestal mostró una alta estabilidad, con un ligero incremento del 1%, para alcanzar aproximadamente 2.140.956 hectáreas en 2023 (75,7% del área total). De manera similar, los bosques inundables presentaron un aumento ( $\approx 1,4\%$ ), lo que refuerza la estabilidad estructural del paisaje en términos de su cobertura dominante.

En contraste, la formación natural no forestal presentó una reducción de 30.997 hectáreas (-16,8% respecto al año 2000), mientras que las masas de agua disminuyeron en aproximadamente 1.400 hectáreas (-2,8%). Estas pérdidas se asociaron principalmente a la expansión de áreas agrícolas y otras áreas antropizadas.

Las tierras agrícolas, consistentemente, registraron un incremento de aproximadamente 5.213,6 hectáreas ( $\approx 53\%$  respecto a su superficie en 2000). Si bien su participación en el total del paisaje sigue siendo reducida, este crecimiento evidencia una presión progresiva sobre el territorio.

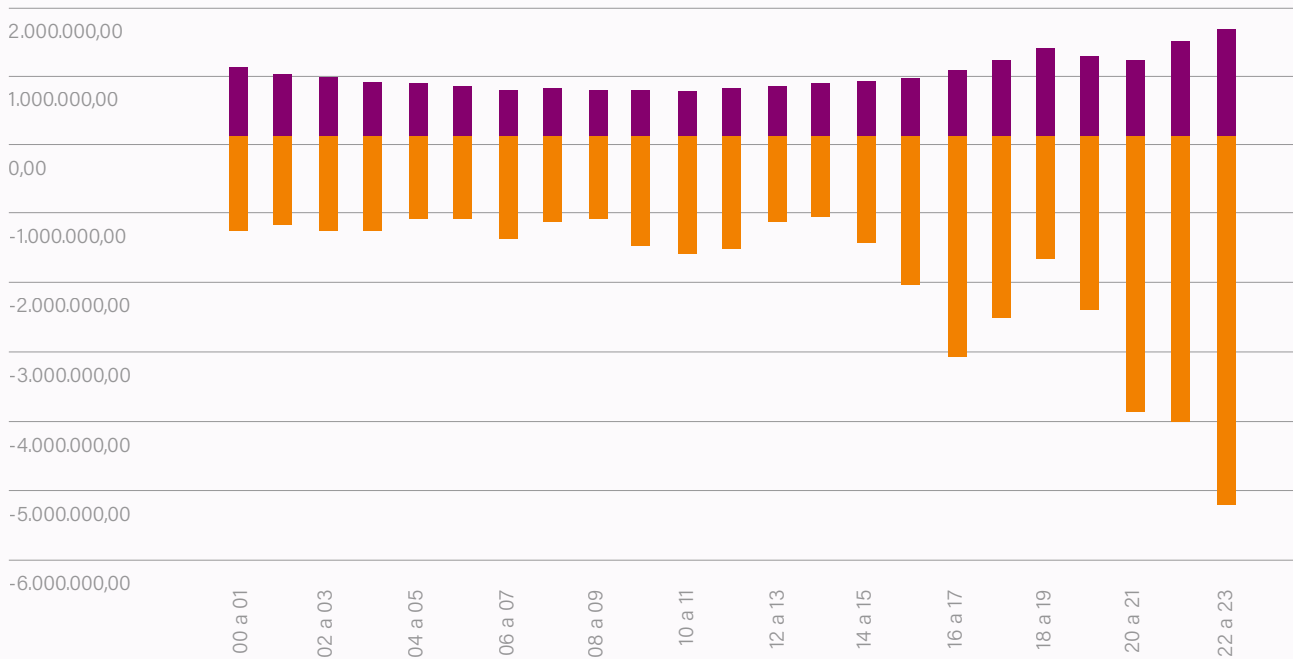
Las principales transiciones de cobertura observadas incluyen cambios de bosque hacia formación no forestal y áreas agrícolas, así como transformaciones entre bosques inundables, cuerpos de agua y otras coberturas. En particular, los bosques inundables muestran una mayor vulnerabilidad relativa, con conversiones hacia otras clases que reflejan procesos de transformación en zonas hidromórficas y ribereñas.

En conjunto, los resultados indican que el TIX mantiene una alta estabilidad en su cobertura forestal, pero presenta cambios importantes en otras coberturas, especialmente en ecosistemas sensibles como los bosques inundables y los cuerpos de agua. Estos procesos, aunque de menor magnitud en términos de superficie, reflejan presiones antrópicas que pueden afectar la integridad del paisaje en el mediano plazo.

#### 4.1.3 Dinámica histórica del carbono

La dinámica del carbono aéreo en el Territorio Indígena del Xingu (TIX) refleja, en gran medida, las transformaciones observadas en el uso y cobertura del suelo, así como procesos más sutiles de degradación forestal. Este análisis se basa en datos multitemporales de carbono aéreo provenientes de la plataforma Chloris para el periodo 2000–2023, integrados con información espacial procesada en Google Earth Engine (GEE), en concordancia con el enfoque metodológico descrito en la sección 3.

A pesar de la alta estabilidad observada en la cobertura forestal del TIX, el carbono aéreo almacenado muestra una tendencia general de disminución a lo largo del periodo analizado (Figura 4.a.3.1). Este patrón sugiere que, además de los cambios de uso del suelo, existen procesos de degradación forestal —como perturbaciones selectivas, incendios de baja intensidad o cambios en la estructura del bosque— que afectan la biomasa sin necesariamente implicar una pérdida completa de cobertura forestal.



**Figura 4.a.3.1.** Valores de ganancia y pérdida de carbono desde 2000 hasta 2023 en el TIX.



El análisis temporal indica que la dinámica del carbono no es homogénea. Al igual que en el caso de la cobertura, se identifican cambios más marcados a partir de la segunda mitad de la década de 2010, periodo en el cual se intensifican las presiones antrópicas sobre el territorio. Esta tendencia coincide con los patrones observados en la dinámica de pérdida de cobertura arbórea reportada por Hansen y col. (2024), que evidencian un incremento en la perturbación del bosque en años recientes.

Desde una perspectiva espacial, las pérdidas de carbono se concentran principalmente en zonas de borde y áreas de transición entre el TIX y su entorno, donde la influencia de actividades externas (como la expansión agrícola y la apertura de vías de acceso) es mayor. Estas áreas presentan una mayor susceptibilidad a procesos de degradación progresiva, que afectan la densidad de biomasa y la capacidad del ecosistema para almacenar carbono.

En contraste, las zonas más internas del territorio muestran una mayor estabilidad en los stocks de carbono, lo que refuerza el papel del TIX como un área clave para la conservación de biomasa en la Amazonía. No obstante, la evidencia de pérdidas graduales de carbono incluso en ausencia de deforestación significativa pone de manifiesto la importancia de considerar la degradación forestal como un componente crítico en la dinámica del carbono.

En conjunto, los resultados evidencian que, aunque el TIX mantiene una alta cobertura forestal, su capacidad de almacenamiento de carbono está siendo afectada por procesos de degradación que no son necesariamente capturados por los indicadores tradicionales de deforestación. Este hallazgo resalta la necesidad de complementar los análisis de cobertura con métricas de carbono para una evaluación más integral de la integridad ecológica del paisaje.

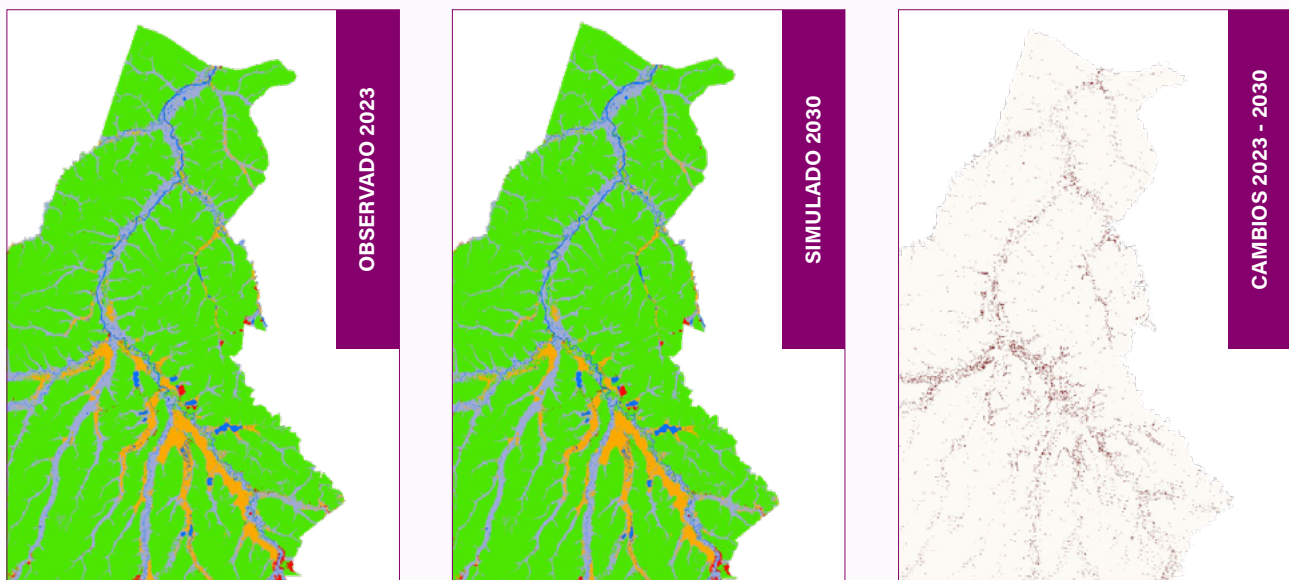
#### 4.1.4 Proyección de coberturas al 2030

La simulación de las coberturas del suelo al año 2030 permite evaluar la posible evolución del paisaje del Territorio Indígena del Xingu (TIX) bajo un escenario de continuidad de las tendencias recientes. Los resultados de la modelación muestran que, en términos generales, el territorio mantendría su carácter predominantemente forestal, aunque con cambios relevantes en otras coberturas (Figura 4.a.2.1).

En este escenario, la cobertura forestal se mantendría relativamente estable, para alcanzar aproximadamente el 76% del área total del TIX en 2030, lo que confirma la resiliencia del territorio frente a procesos de deforestación a gran escala. Sin embargo, esta estabilidad no implica ausencia de transformación, ya que se observan cambios en otras clases de cobertura y en la configuración espacial del paisaje.

Por otro lado, las formaciones naturales no forestales continuarían reduciéndose, en línea con la tendencia observada entre 2000 y 2023. Asimismo, los bosques inundables y los cuerpos de agua presentan cambios que reflejan dinámicas de transformación en zonas hidromórficas, asociadas tanto a procesos naturales como a presiones antrópicas.

Las tierras agrícolas continuarían expandiéndose, con un aumento significativo respecto a 2023, lo que consolida su tendencia de crecimiento observada en el periodo histórico. De manera similar, las otras áreas antrópicas muestran un aumento progresivo, aunque su participación relativa en el total del paisaje sigue siendo limitada.

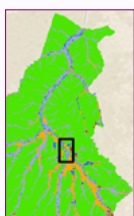
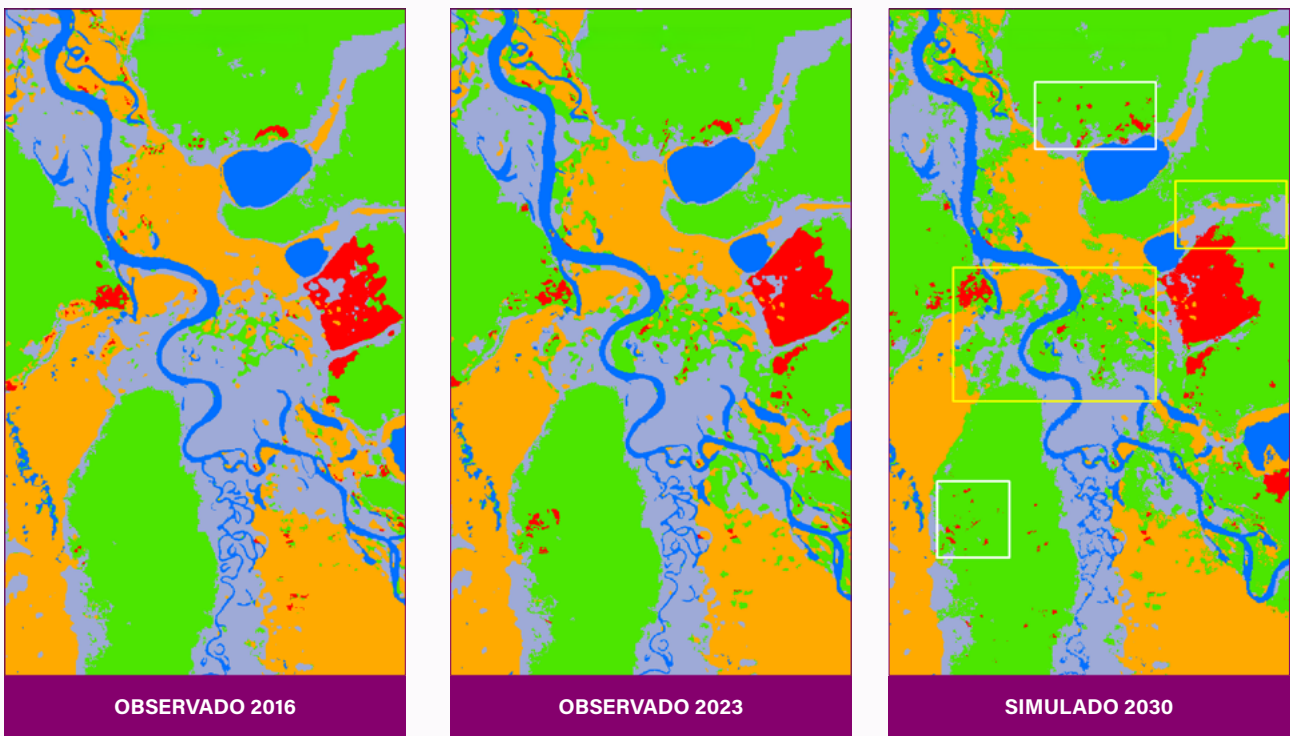


**Figura 4.a.2.1.** Identificación de diferentes patrones entre el uso y los mapas de cobertura observados en 2016, 2023 y proyectados para 2030.

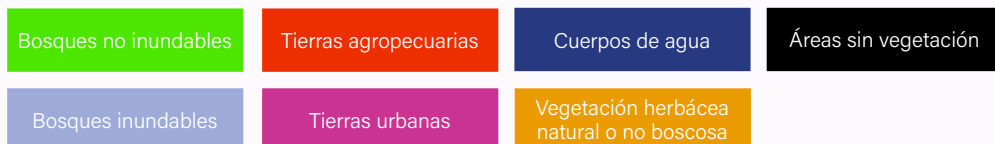


El análisis espacial de la proyección (Figura 4.a.2.1) evidencia que los cambios se concentran principalmente en zonas de borde y áreas de transición entre el TIX y su entorno, donde la influencia de actividades externas es mayor. Estos patrones incluyen la expansión de áreas agrícolas, la fragmentación localizada de coberturas naturales y la intensificación del mosaico de usos del suelo.

En conjunto, los resultados sugieren que, aunque el TIX mantendría una alta cobertura forestal hacia 2030, el paisaje continuaría experimentando procesos de transformación gradual, caracterizados por la expansión de usos antrópicos y cambios en coberturas sensibles. Este escenario refuerza la importancia de considerar no solo la pérdida de bosque, sino también las dinámicas de degradación y fragmentación que afectan la integridad ecológica del territorio.



**Figura 4.a.2.2.** Mapa de Uso del Suelo y Cobertura del Suelo observado en 2016 (izquierda), en 2023 (centro) y proyectado (derecha) para 2030.

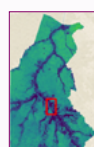
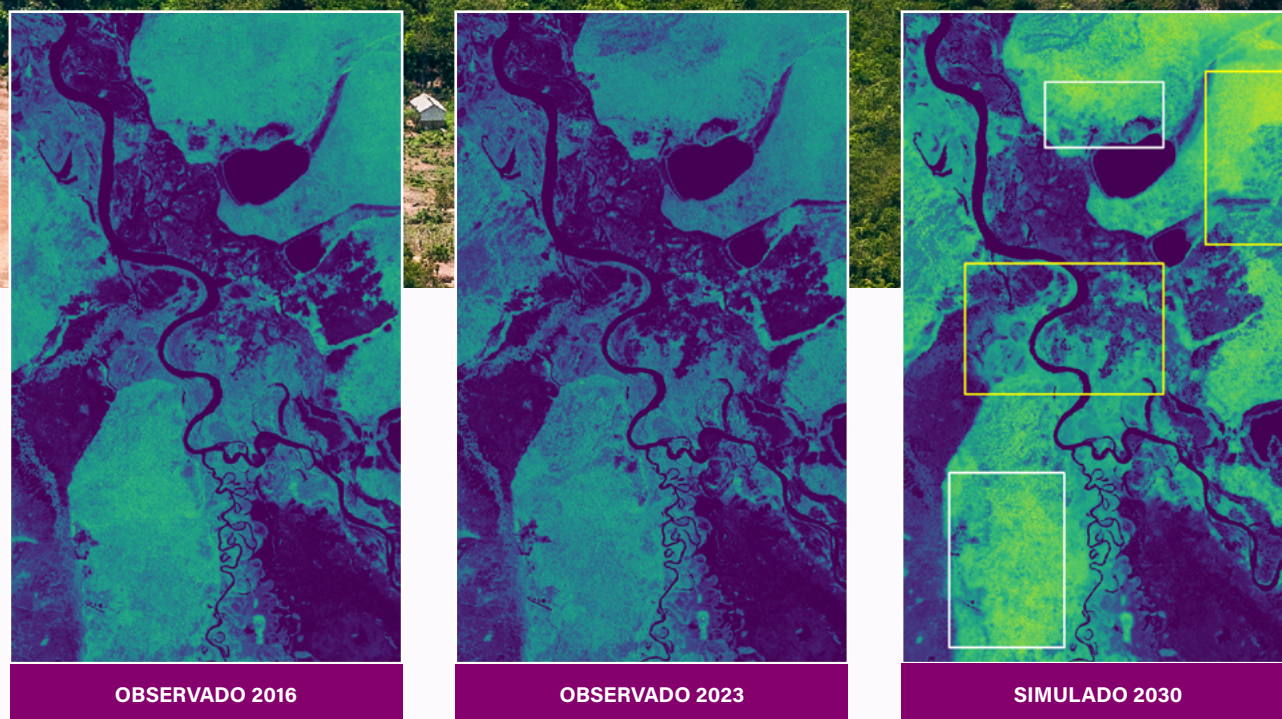


### 4.1.5 Proyección de carbono al 2030

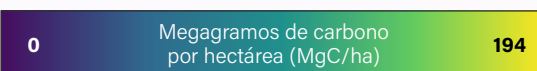
La proyección del carbono aéreo al año 2030 muestra la posible evolución de los stocks de biomasa en el Territorio Indígena del Xingu (TIX) bajo un escenario de continuidad de las tendencias recientes. Los resultados indican que, a pesar de la estabilidad observada en la cobertura forestal, el carbono almacenado en el territorio presenta una tendencia de disminución (Figura 4.a.5.1).

El análisis temporal evidencia que los stocks de carbono continúan reduciéndose de manera gradual entre 2023 y 2030, en línea con la dinámica observada en el periodo histórico. Este comportamiento sugiere que los procesos de degradación forestal seguirán desempeñando un papel importante en la dinámica del carbono, incluso en ausencia de deforestación significativa.

Foto: Guaíra Maia / ISA



**Figura 4.a.5.1.** Comparación de los stocks de carbono en el 2016, 2023 y 2030 simulado.



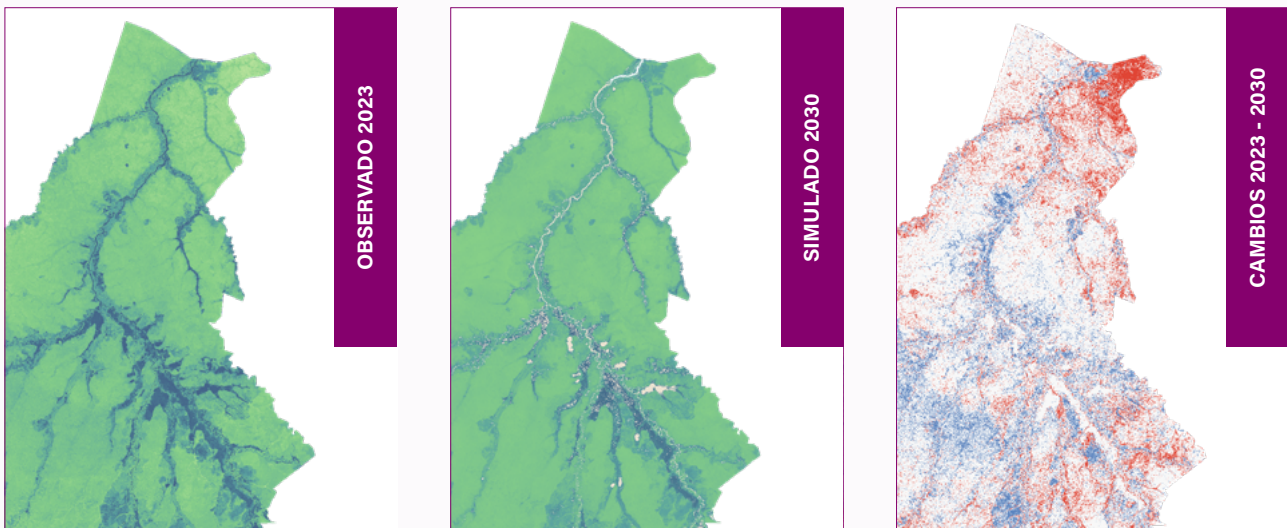
**Mg C/ha** = megagramos de carbono por hectárea (equivalente a toneladas de carbono por hectárea).

Desde una perspectiva espacial, los cambios proyectados en el carbono no se distribuyen de manera homogénea en el territorio. El mapa de variación entre 2023 y 2030 (Figura 4.a.5.2) muestra que las pérdidas de carbono se concentran principalmente en zonas de borde y en áreas de transición con el entorno, donde la presión antrópica es mayor. Estas zonas presentan una mayor susceptibilidad a procesos de degradación, incluyendo perturbaciones selectivas y cambios en la estructura del bosque.

En contraste, algunas áreas muestran ganancias o estabilidad en los stocks de carbono, lo que puede estar asociado a procesos de regeneración o a condiciones ambientales favorables. Sin embargo, estas ganancias no compensan completamente las pérdidas observadas, resultando en una disminución neta del carbono almacenado en el territorio.

En conjunto, los resultados evidencian que el TIX podría mantener su cobertura forestal hacia 2030, pero experimentaría una reducción progresiva en su capacidad de almacenamiento de carbono. Este patrón refuerza la importancia de considerar la degradación forestal como un factor clave en la dinámica del carbono, así como la necesidad de fortalecer las estrategias de gestión territorial para mitigar sus efectos.

Estos resultados también se enmarcan en un contexto más amplio de cambio climático, donde la capacidad de los bosques amazónicos para actuar como sumideros de carbono puede verse afectada por el aumento de la temperatura y cambios en los patrones climáticos (Gatti y col., 2021).



**Figura 4.a.2.1.** Identificación de diferentes patrones entre el uso y los mapas de cobertura observados en 2016, 2023 y proyectados para 2030.



#### 4.1.6 Principales hallazgos

El análisis del Territorio Indígena del Xingu (TIX) evidencia un paisaje que, si bien mantiene una alta proporción de cobertura forestal, experimenta procesos de transformación más sutiles asociados a cambios en otras coberturas y a la degradación de los ecosistemas.

A diferencia de otros paisajes amazónicos, el TIX presenta una alta estabilidad en su cobertura forestal durante el periodo analizado, lo que refleja el papel fundamental del territorio indígena en la conservación del bosque. Sin embargo, esta estabilidad coexiste con cambios importantes en coberturas sensibles, como la reducción de formaciones naturales no forestales y variaciones en bosques inundables y cuerpos de agua.

Estos cambios en el uso del suelo se reflejan en la dinámica del carbono, donde se observa una disminución progresiva de los stocks de carbono aéreo, incluso en ausencia de deforestación significativa. Este patrón sugiere que los procesos de degradación forestal —como disturbios selectivos, fragmentación y presiones en zonas de borde— tienen un impacto relevante sobre la biomasa del paisaje.



Las proyecciones al 2030 indican la continuidad de estas tendencias, con una persistencia de la cobertura forestal acompañada de una reducción gradual en la capacidad de almacenamiento de carbono. Los cambios se concentran principalmente en zonas de borde y áreas de transición con el entorno, donde la influencia de actividades externas es mayor.

En conjunto, los resultados muestran que el TIX funciona como una barrera efectiva frente a la deforestación a gran escala, pero no está exento de procesos de degradación interna que afectan su integridad ecológica. Este hallazgo resalta la necesidad de complementar los enfoques tradicionales de monitoreo de cobertura forestal con análisis de carbono, a fin de capturar de manera más integral los cambios en el paisaje.

Asimismo, se evidencia la importancia de fortalecer los mecanismos de gobernanza territorial y las estrategias de manejo sostenible, no solo para evitar la pérdida de bosque, sino también para preservar la calidad y funcionalidad de los ecosistemas forestales frente a presiones crecientes.



Foto: Ton Koene / ISA

## 4.2.

# Paisaje Mirití-Paraná

---

Mirití-Paraná **hace parte del macrosistema territorial y cultural de los Jaguares de Yuruparí**, un complejo biocultural transfronterizo que articula varios territorios indígenas de Colombia y Brasil.

---

### 4.2.1 Descripción del paisaje

El paisaje Mirití-Paraná se ubica al nororiente del departamento del Amazonas, en la Amazonía colombiana, entre los ríos Caquetá y Apaporis. Este territorio constituye una Entidad Territorial Indígena de Carácter Especial, reconocida en el marco constitucional colombiano y gobernada por el Consejo Indígena del Territorio del Mirití Paraná (CITMA), en ejercicio del derecho a la libre determinación y al autogobierno.

Mirití-Paraná hace parte del macrosistema territorial y cultural de los Jaguares de Yuruparí, un complejo biocultural transfronterizo que articula varios territorios indígenas de Colombia y Brasil. Este sistema se caracteriza por una profunda conectividad ecológica, espiritual y cultural, sustentada en redes de ríos, sitios sagrados, calendarios ecológicos y prácticas de manejo ancestral que han permitido la conservación del bosque amazónico a lo largo de milenios.

El territorio tiene una extensión aproximada de 1,23 millones de hectáreas y limita con varios Parques Nacionales Naturales y otros resguardos indígenas, formando parte de un amplio corredor de conservación (Figura 1). Presenta una alta diversidad de ecosistemas amazónicos, que incluyen bosques de tierra firme, zonas inundables y una densa red hídrica conformada por ríos, quebradas, caños, lagunas y humedales. Estos sistemas sostienen una elevada biodiversidad, con presencia de numerosas especies de aves, mamíferos, reptiles, anfibios y peces, muchos de ellos asociados a redes ecológicas clave como los salados y corredores fluviales.

La integridad ecológica del territorio está estrechamente vinculada a las prácticas indígenas de manejo, que regulan el uso del suelo, los ciclos productivos, la caza, la pesca y la agricultura de chagra mediante calendarios culturales y ecológicos. Estas prácticas constituyen la base del ordenamiento territorial propio y han permitido la conservación del bosque en el largo plazo.



**Figura 4.b.1.1.** Territorio Indígena Mirití Paraná.



Las características socioculturales del territorio están determinadas por 13 comunidades indígenas, distribuidas principalmente a lo largo del río Mirití Paraná y sus afluentes, así como un asentamiento sobre el río Caquetá. Estas comunidades agrupan aproximadamente 1.083 habitantes, organizados en cerca de 240 familias, pertenecientes a más de 20 pueblos indígenas, entre los que destacan los pueblos Yucuna, Matapí y Tanimuca.

La organización social y territorial se estructura a partir de jurisdicciones ancestrales, sistemas de sitios sagrados, rutas de pensamiento y espacios de uso diferenciados (chagras, zonas de rebusque y áreas de convivencia sociocultural). Este ordenamiento territorial propio regula las relaciones entre los seres humanos, el territorio y otros seres del mundo, garantizando la pervivencia física y cultural de los pueblos indígenas.

Un aspecto central del territorio es la existencia de zonas de manejo especial e intangibilidad, particularmente en áreas de cabecera y de conectividad con el Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete, donde se reconoce la presencia de sitios sagrados de origen y de pueblos indígenas en aislamiento voluntario. Estas áreas tienen un alto valor cultural y ecológico, y requieren medidas reforzadas de protección.

La gobernanza del territorio se ejerce a través de un Sistema de Gobierno y Administración Indígena, basado en la Ley de Origen y en principios culturales como la integralidad, reciprocidad, complementariedad, correspondencia, prevención y curación. Este sistema se materializa en instrumentos propios de planificación, como los Planes Locales de Manejo, que establecen regulaciones sobre el uso del territorio, el manejo de los recursos naturales, la protección de sitios sagrados y mecanismos de control y sanción.

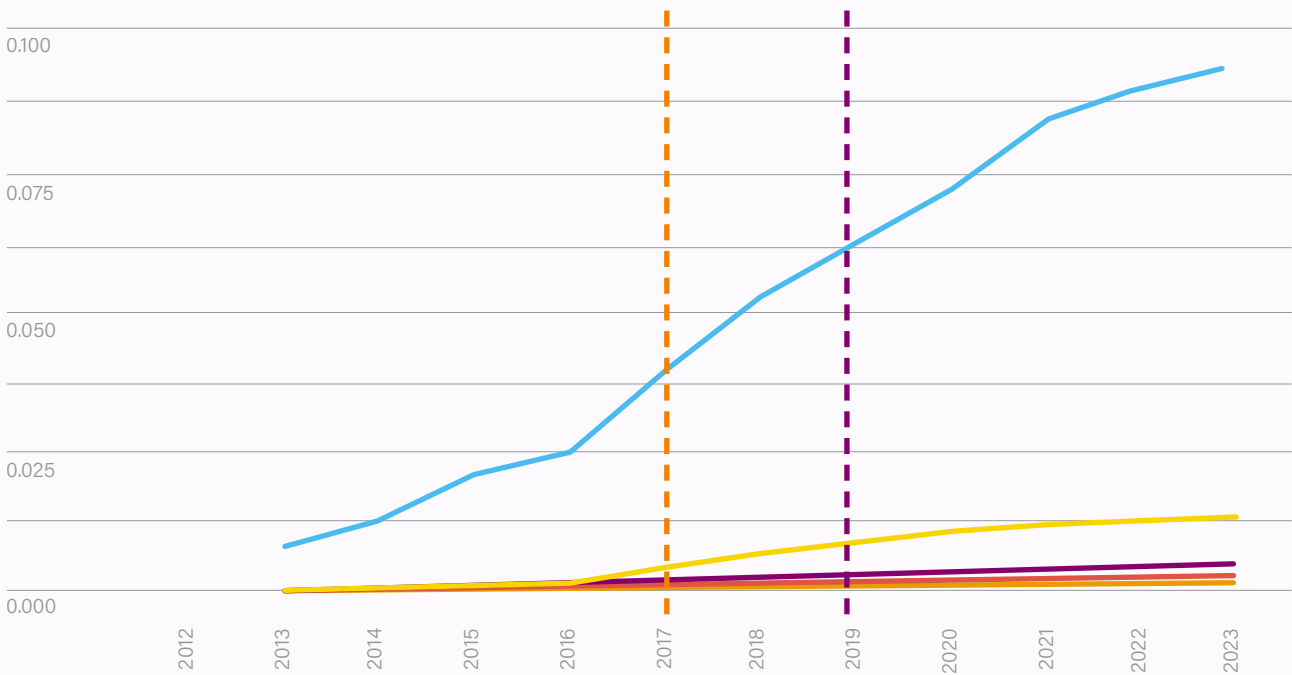
A pesar de su alta integridad ecológica y del sólido sistema de gobernanza indígena, el territorio enfrenta presiones externas crecientes. Entre ellas destacan la implementación de proyectos asociados a esquemas REDD+ sin el consentimiento de las autoridades indígenas, así como la minería ilegal de oro, particularmente aquella que utiliza mercurio, generando impactos sobre las fuentes hídricas, los ecosistemas y la salud de las comunidades. Estas dinámicas evidencian tensiones entre iniciativas externas y la autonomía territorial indígena, así como la necesidad de fortalecer los mecanismos de protección y gobernanza del territorio.

#### 4.2.2 Dinámica de uso y cobertura

El análisis de la dinámica de uso y cobertura del suelo en el Territorio Indígena de Mirití Paraná se realizó a partir de la serie temporal de mapas de MapBiomás Amazonía (Colección 6), en concordancia con el enfoque metodológico general del estudio. De manera complementaria, se incorporó un análisis multifuente de deforestación utilizando información de IDEAM, Hansen y col. (2024) y GLAD, con el fin de contextualizar las tendencias observadas en el territorio.

Los resultados muestran que el territorio de Mirití Paraná presenta niveles extremadamente bajos de deforestación en el periodo analizado. La Figura 4.b.2.1 evidencia que, en términos de deforestación acumulada normalizada (2012–2023), el territorio mantiene valores cercanos a cero durante toda la serie, en marcado contraste con las áreas sin figura de protección, donde se observa un incremento sostenido y acelerado a partir de 2015. Incluso en comparación con otras unidades bajo protección, Mirití presenta una de las trayectorias más estables.

**Deforestación anual acumulado por categoría (normalizado frente a área)**



**Figura 4.b.2.1.** Deforestación acumulada entre los años 2012 y 2023 por unidad especial (valores normalizados respecto a área de la unidad especial). **Fuente de datos:** IDEAM



Este patrón es consistente entre distintas fuentes de información. La integración de datos de Hansen, GLAD e IDEAM (Figura 4.b.2.2) confirma que la deforestación en Mirití Paraná se mantiene en niveles bajos, con oscilaciones puntuales en algunos años, pero sin tendencias sostenidas de incremento. En 2023, el territorio registró aproximadamente 453,7 hectáreas deforestadas, lo que representa cerca del 0,6% del total nacional y el 5,5% de la deforestación en territorios indígenas amazónicos.

Desde una perspectiva espacial, la deforestación se concentra principalmente en zonas de mayor accesibilidad, especialmente a lo largo de ejes fluviales y en cercanías a comunidades y pistas de aterrizaje. Estos patrones sugieren una relación directa entre la apertura de áreas agropecuarias y la proximidad a infraestructura local, configurando núcleos de transformación de carácter localizado.

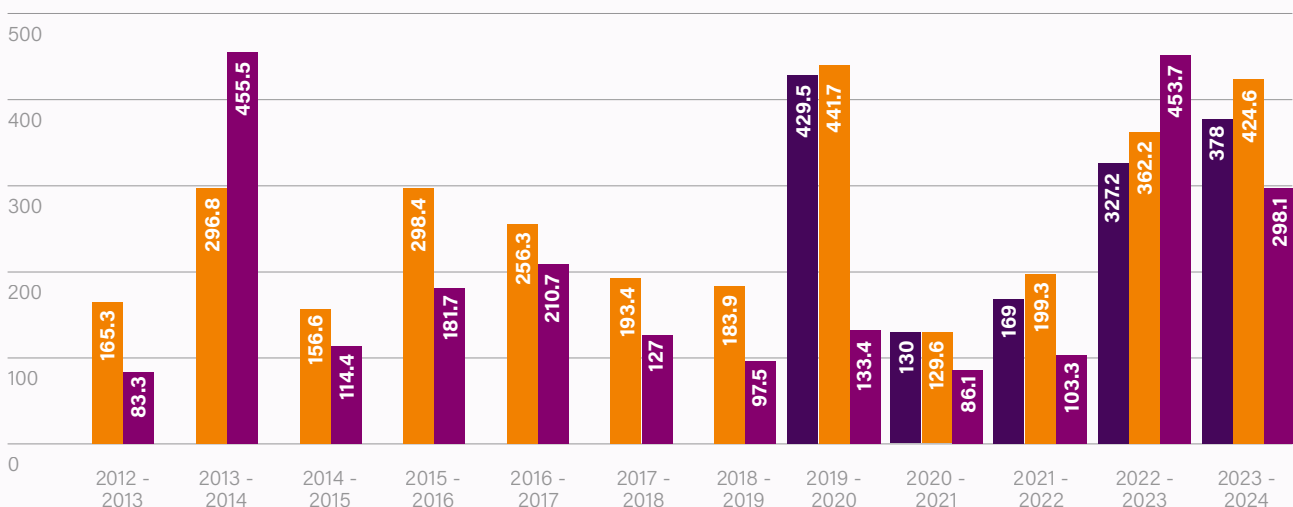
En términos de composición del paisaje, el territorio presenta un carácter marcadamente forestal. Para el año 2023, aproximadamente el 90% del área corresponde a bosque de tierra firme, seguido por cerca de un 7% de bosque inundable, mientras

que las coberturas restantes —como vegetación natural no forestal, áreas agropecuarias y otras clases— tienen una representación minoritaria. Esta estructura confirma que las dinámicas de cambio se concentran en áreas muy específicas del territorio.

El análisis de las transiciones de cobertura entre 2016 y 2023 muestra que los cambios son de muy baja magnitud, con conversiones del bosque hacia otras coberturas —como bosque inundable, áreas agropecuarias y vegetación natural herbácea— que no superan el 0,4% del área total en ningún caso. Estas transiciones reflejan dinámicas internas del paisaje más que procesos extensivos de transformación.

En conjunto, los resultados indican que el Territorio Indígena de Mirití Paraná mantiene una alta estabilidad en su cobertura forestal, con niveles mínimos de deforestación y cambios limitados en el uso del suelo. No obstante, la concentración de las transformaciones en zonas accesibles y la expansión localizada de coberturas no forestales sugieren la presencia de presiones incipientes que podrían influir en la dinámica futura del paisaje.

**Área (ha)**



**Figura 4.b.2.2.** Cifras de deforestación para el Territorio de Mirití Paraná

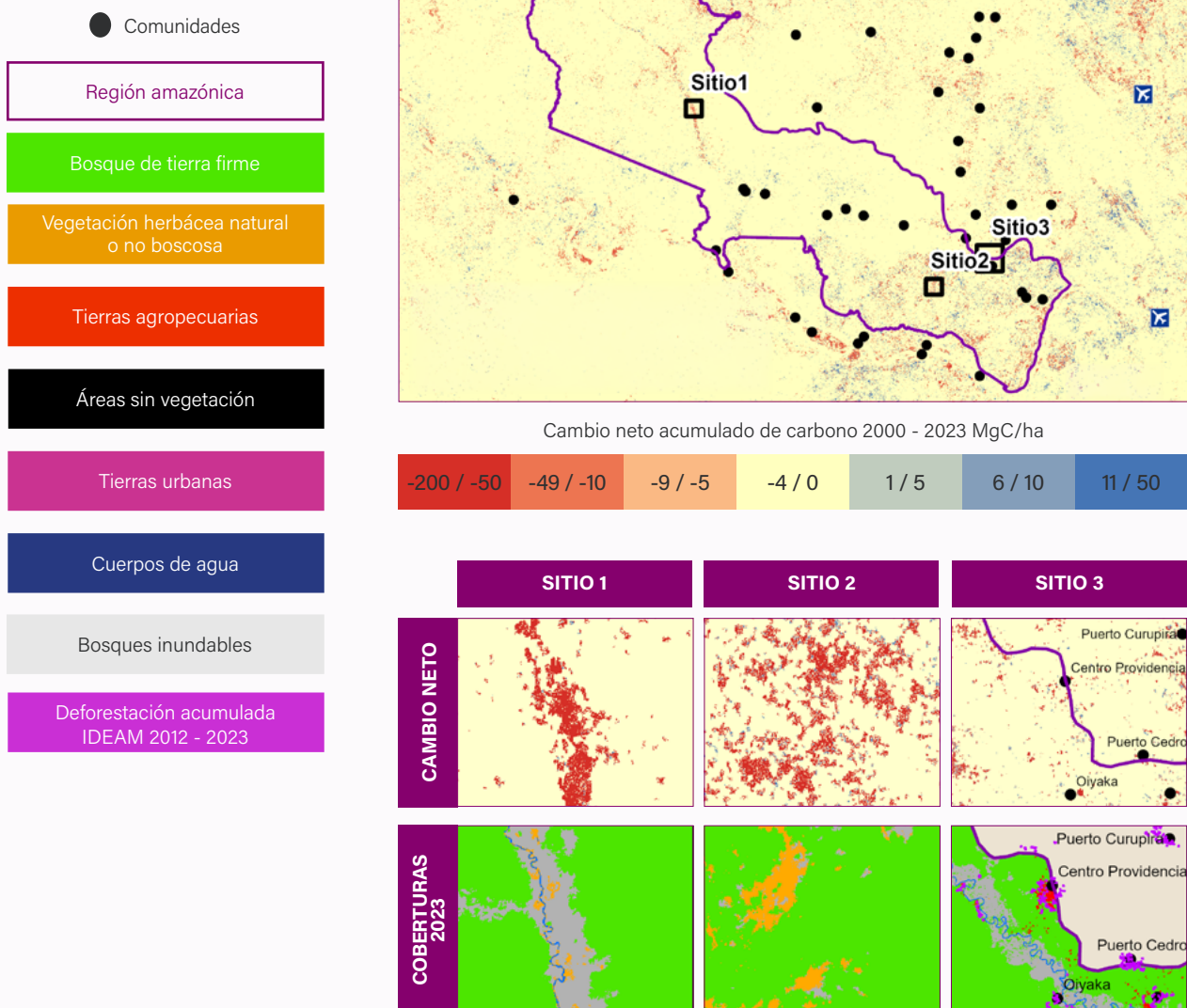


### 4.2.3 Dinámica histórica del carbono

La dinámica del carbono aéreo en el Territorio Indígena de Mirití Paraná se analizó a partir de datos multitemporales provenientes de la plataforma Chloris para el periodo 2000–2023, en concordancia con el enfoque metodológico general del estudio. Estos datos permiten evaluar la evolución de los stocks de carbono en relación con las dinámicas de uso y cobertura del suelo.

A nivel general, el territorio presenta una alta estabilidad en los stocks de carbono, en línea con la estabilidad observada en la cobertura forestal. Sin embargo, el análisis temporal evidencia una ligera tendencia a la disminución del carbono aéreo a lo largo del periodo analizado, lo que sugiere la presencia de procesos de degradación forestal de baja intensidad (Figura 4.b.3.1).

**Figura 4.b.3.1.** Cambios de carbono versus coberturas y áreas con deforestación en Mirití Paraná.



En términos cuantitativos, los resultados muestran una reducción leve pero consistente en el carbono total almacenado entre 2000 y 2023, lo que confirma que, aun en contextos de baja deforestación, pueden ocurrir cambios en la biomasa del bosque asociados a procesos de degradación. Las áreas sin protección ("Otros") registran la mayor disminución relativa (-9%), seguidas por las zonas de traslape TI/PNA (-5%) y los TI en general (-3%). Las ANP presentan una reducción menor (-2%), mientras que el TI de Mirití Paraná destaca por ser el territorio con la menor pérdida relativa (-1%), manteniendo un stock cercano a 207 MtC en 2023.

Área especial	Carbono MtC		% de cambio
	2000	2023	
TI	3,548	3,440	-3%
ANP	1,179	1,160	-2%
IT/PNA	505	484	-5%
Otros	1,597	1,450	-9%
Mirití Paraná	209.95	207.52	-1%

**Tabla 4.b.3.1.** Stocks de carbono para la Amazonía colombiana entre los años 2016 y 2023

El comportamiento del carbono no es homogéneo en el territorio. Parte de la variabilidad observada está asociada a las dinámicas propias de ecosistemas específicos, particularmente los bosques inundables, que presentan una mayor sensibilidad a cambios hidrológicos y a perturbaciones locales. Estos ecosistemas muestran fluctuaciones más marcadas en los niveles de carbono en comparación con los bosques de tierra firme.

Adicionalmente, el análisis espacial evidencia que las reducciones de carbono se concentran en zonas de mayor accesibilidad, especialmente en proximidad a ríos principales, asentamientos indígenas y pistas de aterrizaje. Estas áreas coinciden con los patrones observados en la dinámica de uso del suelo, donde se registran pequeñas aperturas para actividades productivas y transformaciones localizadas del paisaje.

Es importante destacar que, en el caso de Mirití Paraná, la disminución del carbono no está asociada a procesos extensivos de deforestación, sino a cambios estructurales dentro del bosque, como disturbios selectivos, apertura de claros y variaciones en la densidad de biomasa. Estos procesos reflejan una dinámica de degradación de baja intensidad, que no necesariamente es capturada por los indicadores tradicionales de pérdida de cobertura forestal.

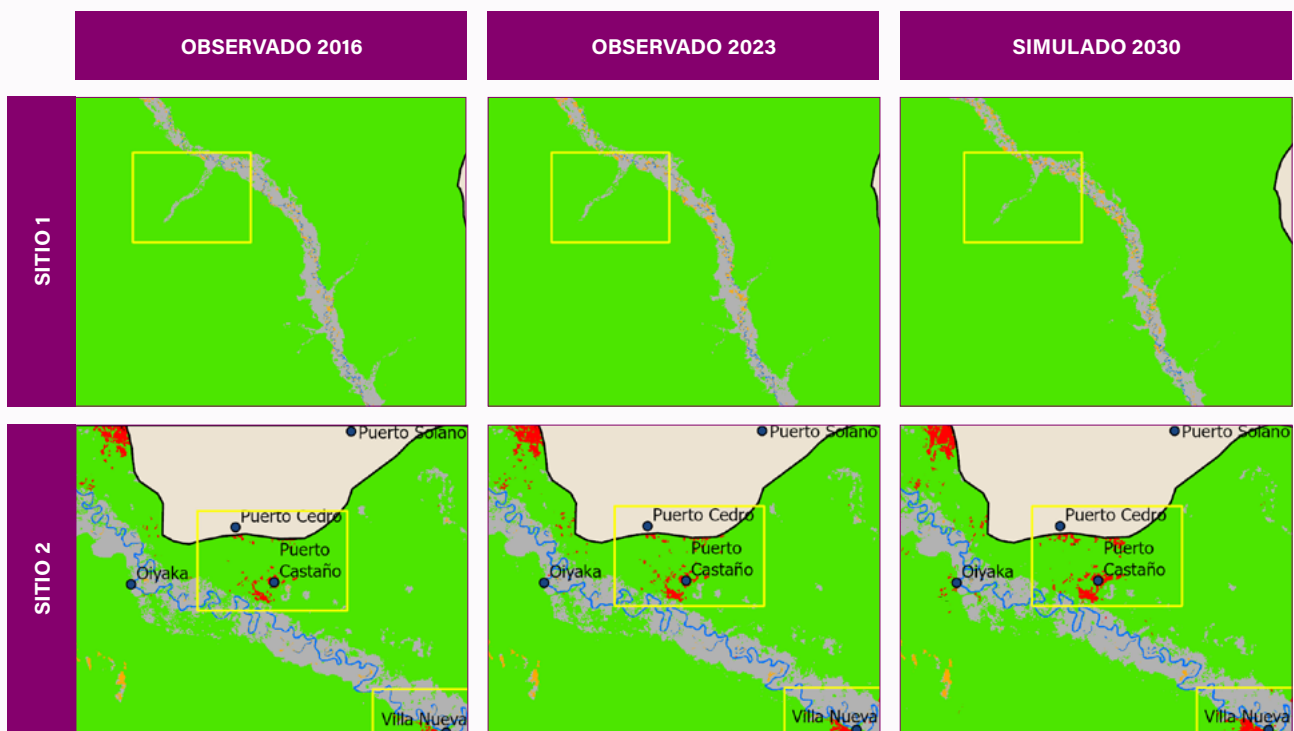
Desde una perspectiva comparativa, el territorio mantiene niveles de carbono significativamente superiores a los observados en áreas amazónicas con mayor presión antrópica, lo que refuerza su papel como un importante reservorio de carbono a escala regional. No obstante, la tendencia decreciente, aunque leve, evidencia que incluso paisajes altamente conservados pueden experimentar cambios en su capacidad de almacenamiento de carbono.

En conjunto, los resultados evidencian que el Territorio Indígena de Mirití Paraná mantiene una alta integridad en términos de carbono, pero presenta señales incipientes de cambio asociadas a procesos internos del ecosistema y a presiones localizadas. Este patrón resalta la importancia de complementar los análisis de cobertura forestal con métricas de carbono, para una evaluación más integral de la dinámica del paisaje.

#### 4.2.4 Proyección de coberturas al 2030

La Figura 4.b.4.1 presenta la distribución de las principales coberturas en el área del PAL Mirití Paraná para los años de referencia 2016 y 2023, junto con la proyección simulada para 2030. El territorio cuenta con una extensión aproximada de 1,22 millones de hectáreas, de las cuales cerca del 90% corresponde a bosque de tierra firme, seguido por un 7% de bosque inundable, un 1,7% de vegetación natural herbácea y alrededor de un 0,4% de áreas agropecuarias para el 2023. Esta composición confirma el carácter predominantemente forestal del paisaje, donde las dinámicas de cambio se concentran en zonas muy específicas.

El análisis comparativo entre los mapas de referencia (2016 y 2023) y la simulación al 2030 indica que tanto el bosque de tierra firme como el bosque inundable mantienen una alta estabilidad espacial a lo largo del periodo analizado. Las variaciones observadas en estas coberturas son de muy baja magnitud y no reflejan procesos de pérdida o expansión estructural, sino ajustes menores asociados a transiciones entre coberturas naturales o a la sensibilidad del modelo frente a condiciones locales, particularmente en ecosistemas inundables.

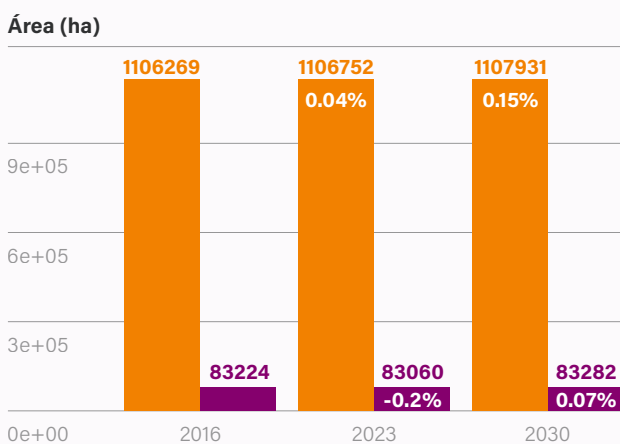


**Figura 4.b.4.1.** Mapas de cobertura y uso del suelo para los años 2016, 2023, 2030 en el Territorio de Mirití Paraná. Fuente: Mapas 2016 y 2023 MapBiomass (2025)



Desde una perspectiva espacial, el modelo evidencia que los cambios proyectados se concentran en zonas de mayor accesibilidad. En sitios específicos del territorio, especialmente aquellos asociados a drenajes menores o cercanos a asentamientos (por ejemplo, Sitio 1), se observa una mayor sensibilidad a transformaciones locales. Asimismo, en áreas previamente intervenidas (Sitio 2), se proyecta una expansión leve de coberturas no forestales, como áreas agropecuarias y vegetación natural herbácea, aunque restringida a espacios ya utilizados.

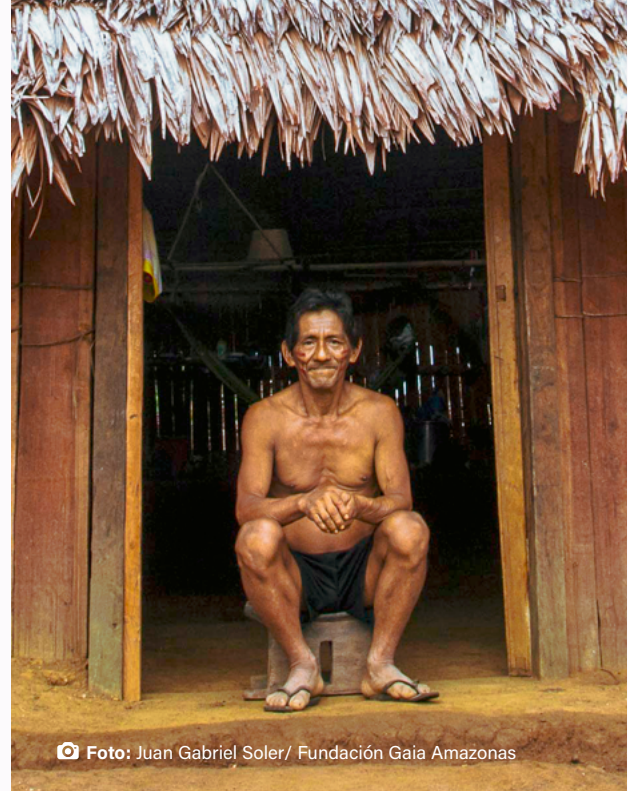
En términos de valores absolutos (Figura 4.b.4.2), el área de bosque de tierra firme se mantiene prácticamente constante entre 2016 y 2030. Se registra un incremento marginal del 0,04% en 2023 y un aumento acumulado del 0,15% hacia 2030 respecto al año base 2016. Estas variaciones, de muy baja magnitud, refuerzan la interpretación de una alta estabilidad estructural del bosque, donde los cambios observados responden más a dinámicas internas del paisaje que a procesos de transformación significativa.



**Figura 4.b.4.2.** Evaluación del área de bosque e inundable (2016-2030), porcentaje de cambio respecto al año base 2016

Bosque de tierra firme

Bosque inundable



El análisis de transiciones de cobertura muestra que, tanto en el periodo 2016–2023 como en la proyección 2023–2030, los cambios desde bosque hacia otras coberturas, como bosque inundable, áreas agropecuarias y vegetación natural herbácea, son limitados. Aunque se observa un ligero incremento en la proporción de estas transiciones en el escenario proyectado (0,8%, 0,12% y 0,1%, respectivamente), su magnitud sigue siendo reducida y no altera la estructura general del paisaje.

En conjunto, los resultados indican que el Territorio Indígena de Mirití Paraná mantendrá una alta estabilidad en su cobertura forestal hacia 2030, con cambios mínimos y espacialmente concentrados. Las dinámicas identificadas responden principalmente a procesos locales asociados a accesibilidad y condiciones ecológicas específicas, sin evidenciar una transición estructural del paisaje.

#### 4.2.5 Proyección de carbono al 2030

La proyección del carbono aéreo en el Territorio Indígena de Mirití Paraná al año 2030 se desarrolló mediante modelos de aprendizaje automático (Random Forest), incorporando variables biofísicas y de accesibilidad del territorio.

Entre los predictores evaluados se incluyen variables topográficas, distancias a elementos del paisaje (DR: distancia a ríos, DC: distancia a comunidades, P: pendiente, A: Altitud, DP: distancia a pistas, DD: Distancia a deforestación), así como indicadores de estructura del dosel forestal.

Modelo	Variables	MSE	R <sup>2</sup>	MAE
1	DR, DC, P, A, DP, DD	81.93	0.78	6.24
2	Model 1 + Canopy forest + SD canopy forest	<b>73.49</b>	<b>0.79</b>	<b>6.11</b>
3	Model 1 + Canopy forest + SD canopy forest *	76.72	0.79	6.19
4	Model 2 + Annual precipitation + LSTmean *	96.47	0.73	7.20
5	Model 1 + Canopy forest + SD canopy forest **	105.34	0.70	7.20
6	DR, DC, P, A, DP, DD**	123.22	0.67	7.50
7	Model 1 + Canopy forest + SD canopy forest **	105.34	0.70	7.20
8	Model 2 + Annual precipitation + LSTmean **	110.53	0.68	7.58

\*Se emplea adicionalmente distancias a coberturas inundables, bosque inundable y formación natural no forestal inundable

\*\*Se emplea adicionalmente distancias a todas las coberturas

**Tabla 4.b.5.1.** Validación de modelos de carbono proyectada a 2030 en la zona de Mirití Paraná para distintos escenarios

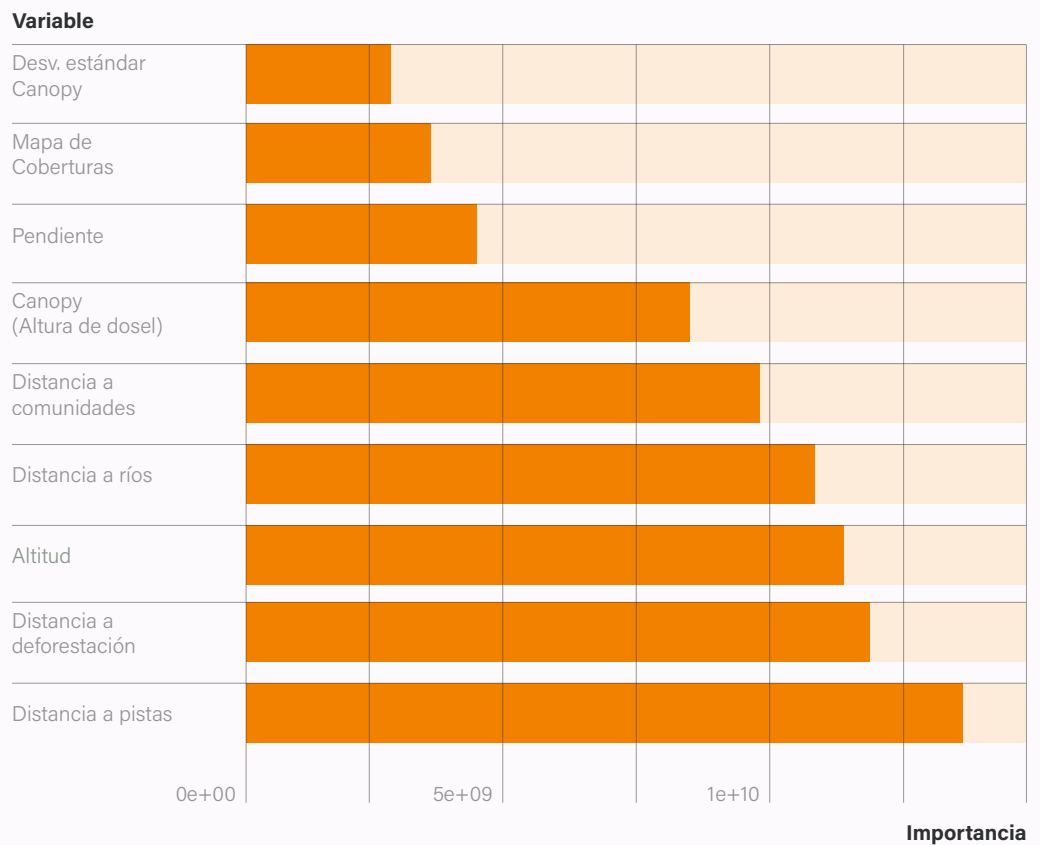
Los resultados de validación muestran que los modelos basados en variables físicas y estructurales del bosque presentan el mejor desempeño predictivo, alcanzando valores de hasta R<sup>2</sup>= 0,79 y errores medios absolutos cercanos a 6,11, lo que indica una alta capacidad para explicar la variabilidad espacial del carbono en el territorio (Tabla 4.b.5.1). En contraste, la incorporación de variables climáticas recientes no mejora el desempeño del modelo, sugiriendo que los patrones de carbono en Mirití Paraná están más fuertemente condicionados por la configuración del paisaje y la estructura del bosque que por variaciones climáticas de corto plazo.

El análisis de importancia de variables (Figura 4.b.5.1) evidencia que el carbono está dominado principalmente por factores de accesibilidad y gradientes físicos del territorio. Variables como la distancia a pistas, la distancia a áreas deforestadas y la altitud presentan el mayor peso en la predicción, seguidas por la distancia a ríos y comunidades. Esto refuerza la idea de que la distribución del carbono está estrechamente vinculada a la accesibilidad y a la influencia antrópica, incluso en un territorio con baja deforestación.

Foto: Felipe Rodríguez / Fundación Gaia Amazonas



**Figura 4.b.5.1.**  
Importancia de variables dentro de múltiples iteraciones de predicción con Random Forest



A partir de las proyecciones obtenidas, se observa una tendencia decreciente suave pero consistente en el stock total de carbono. El carbono pasa de 209,82 MtC en 2016 a 207,52 MtC en 2023, y se proyecta en 206,70 MtC para 2030 (Tabla 4.b.5.2).

Esto representa una pérdida acumulada de -2,30 MtC (-1,10%) entre 2016 y 2023 y de -3,12 MtC (-1,49%) entre 2016 y 2030, lo que sugiere procesos de degradación gradual más que cambios abruptos en las coberturas.

Área especial	Carbono MtC		Carbono MtC		Carbono MtC	
	Área (ha)	2016	Área (ha)	2023	Área (ha)	2030
Bosque de tierra firme	1,106,269	194.3	1,106,752	192.4	1,107,931	191.8
Vegetación natural herbácea natural o no forestal	21,152	2.3	20,988	2.3	19,799	2.3
Tierras agropecuarias	5,022	0.8	4,436	0.7	3,824	0.6
Áreas sin vegetación	38	0.0	32	0.0	29	0.0
Tierras urbanas	8	0.0	8	0.0	8	0.0
Cuerpos de agua	3,889	0.2	4,326	0.3	4,728	0.3
Bosques inundables	83,224	12.2	83,060	11.9	83,282	11.8
<b>Total</b>	<b>1,219,602</b>	<b>209.82</b>	<b>1,219,602</b>	<b>207.52</b>	<b>1,219,602</b>	<b>206.70</b>

**Tabla 4.b.5.2.** Estimaciones de carbono 2016 y 2023 y proyecciones de carbono para el año 2030 en el TI de Mirití Paraná

El análisis por clases de cobertura indica que el bosque de tierra firme concentra la mayor proporción del carbono del territorio y explica la mayor parte de la pérdida absoluta observada, con una reducción de 194,3 a 192,4 MtC entre 2016 y 2023, y una disminución adicional a 191,8 MtC hacia 2030. Por su parte, los bosques inundables también presentan una leve reducción, pasando de 12,2 a 11,8 MtC en el mismo periodo.

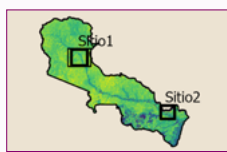
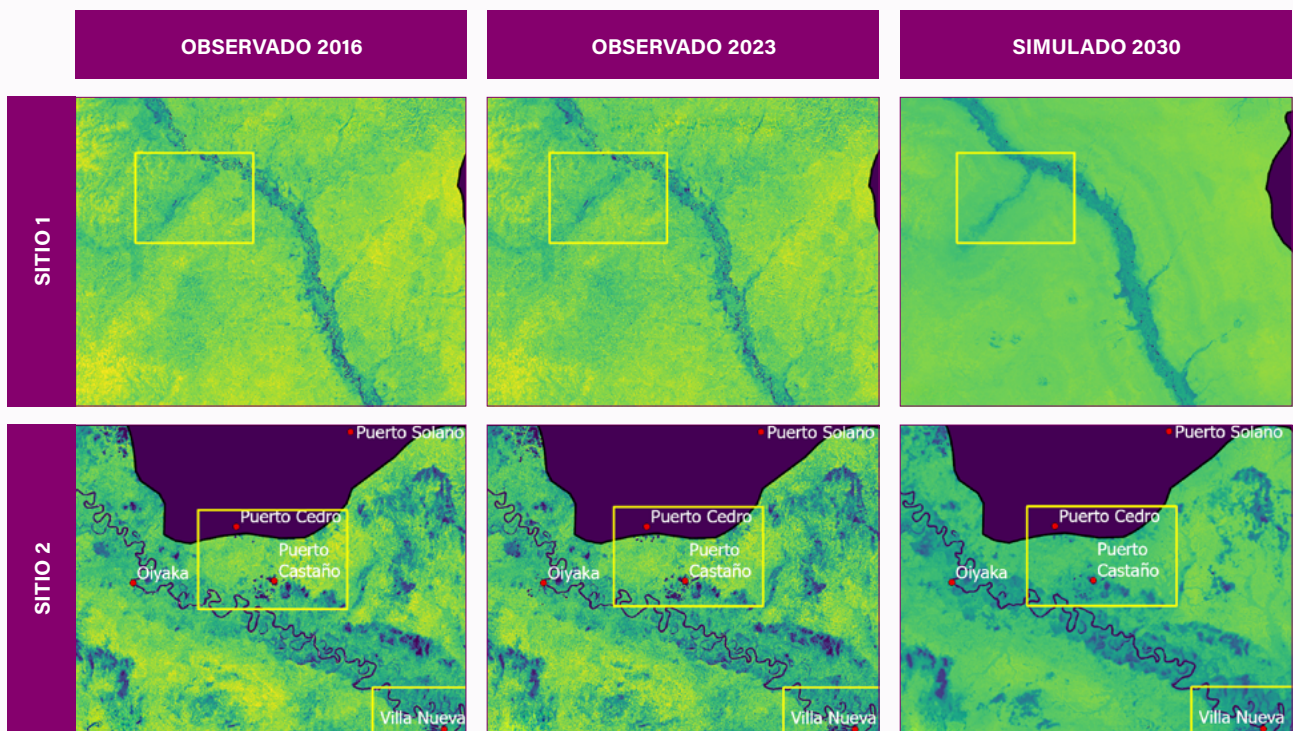
Dado que estas pérdidas ocurren sin cambios significativos en la extensión de las coberturas dominantes, los resultados indican que la disminución del carbono está asociada

principalmente a reducciones en la densidad de biomasa, más que a procesos extensivos de deforestación. Este patrón es consistente con los resultados de cobertura, que muestran una alta estabilidad del paisaje.

Desde una perspectiva espacial, las pérdidas de carbono se concentran en zonas de mayor accesibilidad, particularmente en áreas cercanas a infraestructura local y zonas de transición. Estas áreas coinciden con los patrones identificados en la dinámica de uso del suelo, lo que sugiere que las presiones antrópicas, aunque localizadas, tienen un impacto medible en la estructura del bosque.

En conjunto, los resultados confirman que Mirití Paraná continúa siendo un importante reservorio de carbono dominado por bosques, pero con señales claras de degradación progresiva del stock, impulsadas por cambios sutiles en la estructura del bosque.

Aunque la magnitud de la pérdida proyectada hacia 2030 es moderada, su carácter sostenido refuerza la interpretación de un proceso de degradación acumulativa en el territorio.



**Figura 4.b.5.2.** Estimaciones de carbono 2016 y 2023 y proyecciones para el año 2030 en el PAL de Mirití Paraná

0 Megagramos de carbono por hectárea (MgC/ha) 200

Mg C/ha = megagramos de carbono por hectárea (equivalente a toneladas de carbono por hectárea).

#### 4.2.6 Principales hallazgos

El análisis del Territorio Indígena de Mirití Paraná evidencia un paisaje con altos niveles de integridad ecológica, caracterizado por una cobertura forestal ampliamente dominante y niveles muy bajos de deforestación a lo largo del periodo analizado. Este comportamiento lo posiciona como uno de los paisajes más conservados dentro del conjunto de áreas evaluadas.

A nivel de uso y cobertura del suelo, el territorio muestra una alta estabilidad estructural, donde el bosque de tierra firme y los bosques inundables mantienen su predominancia. Las dinámicas de cambio identificadas son de muy baja magnitud y se concentran en zonas específicas, principalmente asociadas a áreas de mayor accesibilidad, como cercanías a ríos, comunidades e infraestructura local.

En términos de carbono, los resultados evidencian que, a pesar de la estabilidad en la cobertura forestal, existe una disminución progresiva del stock de carbono aéreo, tanto en el periodo histórico como en la proyección al 2030. Esta reducción no responde a procesos extensivos de deforestación, sino a cambios en la densidad de biomasa y en la estructura del bosque, lo que indica la presencia de procesos de degradación de baja intensidad.

Las proyecciones de cobertura al 2030 refuerzan la idea de un paisaje estable, sin evidencias de transformación estructural significativa. Sin embargo, las proyecciones de carbono muestran una continuidad en la tendencia decreciente, lo que sugiere que los procesos de degradación podrían mantenerse en el tiempo si no se implementan medidas de gestión específicas.

El análisis integrado permite identificar que las dinámicas del carbono están fuertemente influenciadas por factores de accesibilidad y configuración del territorio, más que por cambios en la extensión del bosque. En este sentido, las zonas de borde y las áreas cercanas a infraestructura emergen como espacios críticos donde se concentran las principales presiones.



Foto: Foto: Felipe Rodríguez / Fundación Gaia Amazonas

Desde una perspectiva de manejo, estos resultados sugieren priorizar el monitoreo y la conservación del dosel en bosques de tierra firme, que representan la principal fuente de pérdida absoluta de carbono, así como reforzar la protección y vigilancia en bosques inundables, donde convergen procesos de reducción de área y disminución de densidad. Asimismo, acciones focalizadas en bordes accesibles, cercanías a infraestructuras y zonas de transición hacia vegetación herbácea podrían contribuir a sostener o mejorar la densidad de carbono y, con ello, el balance general del territorio en el mediano plazo.

En conjunto, los resultados muestran que Mirití Paraná funciona como un territorio altamente conservado, pero con señales incipientes de degradación interna que no son capturadas por los indicadores tradicionales de deforestación. Este hallazgo resalta la importancia de incorporar el análisis de carbono como un complemento fundamental para la evaluación de la integridad ecológica en paisajes amazónicos.



Foto: Felipe Rodríguez / Fundación Gaia Amazonas

## 4.3.

# Territorio Waorani, Ecuador

El Territorio Waorani, ubicado en la Amazonía ecuatoriana y distribuido en las provincias de Orellana, Napo y Pastaza, **constituye un Paisaje Amazónico Local (PAL) caracterizado por la predominancia de bosque húmedo tropical** de alta integridad ecológica.

### 4.3.1 Descripción del paisaje

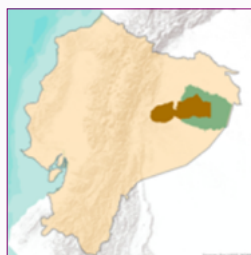
Con una extensión aproximada de 802.000 ha, mantiene cerca del 98% de su superficie bajo cobertura de bosque natural, equivalente a aproximadamente 785.570 ha (EcoCiencia, 2023). Este territorio forma parte de un núcleo de alta relevancia ecológica en la Amazonía, tanto por su biodiversidad como por su capacidad de almacenamiento de carbono forestal, estimado en 123 millones de toneladas (MtC) para el año 2020 y xxx millones de toneladas para 2023 (WCRC, 2024).

El área presenta una configuración territorial compleja (Figura 4.c.1.1), al superponerse con el Parque Nacional Yasuní, la Reserva de Biósfera Yasuní y la Zona Intangible Tagaeri-Taromenane, lo que refuerza su rol como núcleo de conservación biológica y como espacio clave para la protección de pueblos en aislamiento voluntario. Desde una perspectiva espacial, el paisaje mantiene una matriz boscosa continua, con intervenciones localizadas asociadas principalmente a infraestructura y actividades extractivas.

El territorio ancestral del pueblo Waorani se ha desarrollado históricamente entre los ríos Napo, Curaray y Tigre, bajo sistemas de vida basados en la movilidad, la caza, pesca y recolección, estrechamente vinculados al bosque. A partir de mediados del siglo XX, los procesos de contacto, colonización y expansión petrolera generaron transformaciones profundas en la organización territorial, incluyendo la reducción de áreas de uso, la apertura de vías de acceso y la superposición de concesiones extractivas.

En la actualidad, la gobernanza del territorio se articula a través de la Nacionalidad Waorani del Ecuador (NAWE), que reconoce principios de autodeterminación, justicia indígena y protección del bosque. Este sistema se ha fortalecido mediante iniciativas de monitoreo comunitario, destacando el rol del equipo Kenguwe en la vigilancia territorial y el seguimiento de amenazas.

Foto: Daniel Chamba / Fundación EcoCiencia



**Figura 4.c.1.1.** Mapa base del PAL Waorani

● Comunidades Waorani — Vías



El Territorio Waorani enfrenta presiones socioambientales asociadas principalmente a actividades extractivas y dinámicas de acceso (Figura 4.c.1.2). La actividad petrolera constituye la principal presión estructural, debido a la superposición de bloques y la apertura de infraestructura vial, que facilita procesos de fragmentación y expansión de otras actividades. La tala ilegal y la minería aurí-

fera, especialmente en zonas ribereñas, generan impactos adicionales sobre los ecosistemas, incluyendo degradación del bosque y contaminación de cuerpos de agua. Asimismo, la cacería y pesca ilegal afectan la disponibilidad de recursos para las comunidades.



Figura 4.c.1.2. Mapa de presiones y amenazas

**Leyenda:**

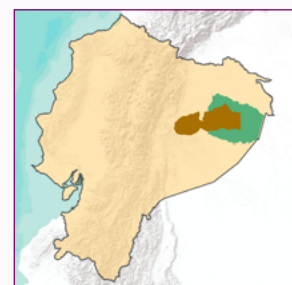
- Comunidades Waorani
- Vías
- Río
- Territorio Waorani
- Límite binacional
- Zona intangible
- Perú
- Parque Nacional Yasuní
- Franja de diversidad y vida
- Conflictos territoriales

**Preciones y Amenazas:**

- Caza y pesca
- Construcción vía
- Contaminación
- Deforestación
- Ganadería
- Invasiones
- Minería de oro
- Pozos petroleros
- Minería
- Campos petroleros

**Deforestación 2000 - 2020:**

- 2000 - 2005
- 2006 - 2010
- 2011 - 2015
- 2016 - 2020



En términos espaciales, estas presiones se distribuyen de manera focalizada, concentrándose en corredores de acceso y zonas cercanas a ríos, lo que configura un patrón de intervención localizado pero persistente.

En conjunto, el Territorio Waorani mantiene una alta integridad ecológica, con predominio de bosque continuo y elevados stocks de carbono. No obstante, presenta focos de presión localizados que introducen procesos de fragmentación y degradación, configurando un escenario de vulnerabilidad emergente frente a la expansión de actividades antrópicas.

#### 4.3.2 Dinámica de uso y cobertura

El análisis de la dinámica de uso y cobertura del suelo en el Territorio Waorani se realizó a partir de la serie temporal de mapas de MapBiomos Amazonía (Colección 6) para el periodo 2000–2023, en concordancia con el enfoque metodológico general del estudio. Las coberturas fueron reclasificadas en seis clases principales, permitiendo identificar las transiciones más relevantes en el paisaje.

El territorio Waorani presenta un carácter marcadamente forestal. Para el año 2023, aproximadamente entre el 98% y 99% del área corresponde a bosque natural, seguido por proporciones muy reducidas de formaciones naturales no forestales, áreas agropecuarias, áreas sin vegetación y cuerpos de agua. Esta composición confirma la alta integridad del paisaje, donde las dinámicas de cambio se concentran en sectores específicos.

El análisis comparativo entre 2016 y 2023 evidencia una alta estabilidad de la cobertura forestal, con una reducción marginal del bosque natural de aproximadamente 6.298 hectáreas, equivalente a 0,57 % del área total. A pesar de esta estabilidad general, se identifican procesos localizados de transformación asociados principalmente a la expansión de actividades agropecuarias.

En este periodo, la conversión de bosque hacia uso agropecuario constituye la principal dinámica de cambio, con aproximadamente 7.476 hectáreas transformadas, lo que se traduce en una ganancia neta agropecuaria de 6.365 hectáreas. Este proceso posiciona a la cobertura agropecuaria como la segunda categoría más relevante del paisaje, aunque todavía con una participación muy reducida en términos relativos.

Desde una perspectiva espacial, los cambios se concentran en zonas de borde y áreas de mayor accesibilidad, particularmente en proximidad a vías de acceso, infraestructura petrolera y asentamientos humanos. Estas dinámicas reflejan presiones antrópicas localizadas que, aunque limitadas en extensión, tienen un impacto significativo a escala local.

El resto de las coberturas presenta una alta estabilidad, con fluctuaciones marginales inferiores al 0,1% del área total. Esto indica que las dinámicas de transformación del paisaje están dominadas por procesos puntuales más que por cambios generalizados en la estructura del territorio.

En conjunto, los resultados muestran que el Territorio Waorani mantiene una muy alta estabilidad en su cobertura forestal, con niveles mínimos de deforestación. No obstante, la presencia de procesos de conversión localizados hacia usos agropecuarios evidencia presiones incipientes que podrían afectar la integridad del paisaje en el mediano plazo, particularmente en zonas de borde y áreas accesibles.

#### 4.3.3 Dinámica histórica del carbono

La dinámica del carbono aéreo en el Territorio Waorani se analizó a partir de datos multitemporales de la plataforma Chloris para el periodo 2000–2023, en coherencia con el enfoque metodológico aplicado en los demás paisajes del estudio.

En términos generales, el territorio presenta altos niveles de almacenamiento de carbono, consistentes con su elevada cobertura forestal. A lo largo del periodo analizado, el carbono muestra una tendencia relativamente estable, con variaciones de baja magnitud en comparación con otros paisajes amazónicos sometidos a mayor presión antrópica.

No obstante, el análisis temporal permite identificar ligeras reducciones en el stock de carbono en sectores específicos, lo que sugiere la presencia de procesos de degradación de baja intensidad. Estas variaciones no están asociadas a pérdidas extensivas de cobertura forestal, sino a cambios en la densidad de biomasa y en la estructura del dosel.

Desde una perspectiva espacial, las disminuciones de carbono se concentran en zonas de borde y áreas de mayor accesibilidad, particularmente en proximidad a infraestructura petrolera, vías de acceso y asentamientos. Estas áreas coinciden con los patrones observados en la dinámica de uso del suelo, donde se registran procesos localizados de conversión hacia usos agropecuarios.



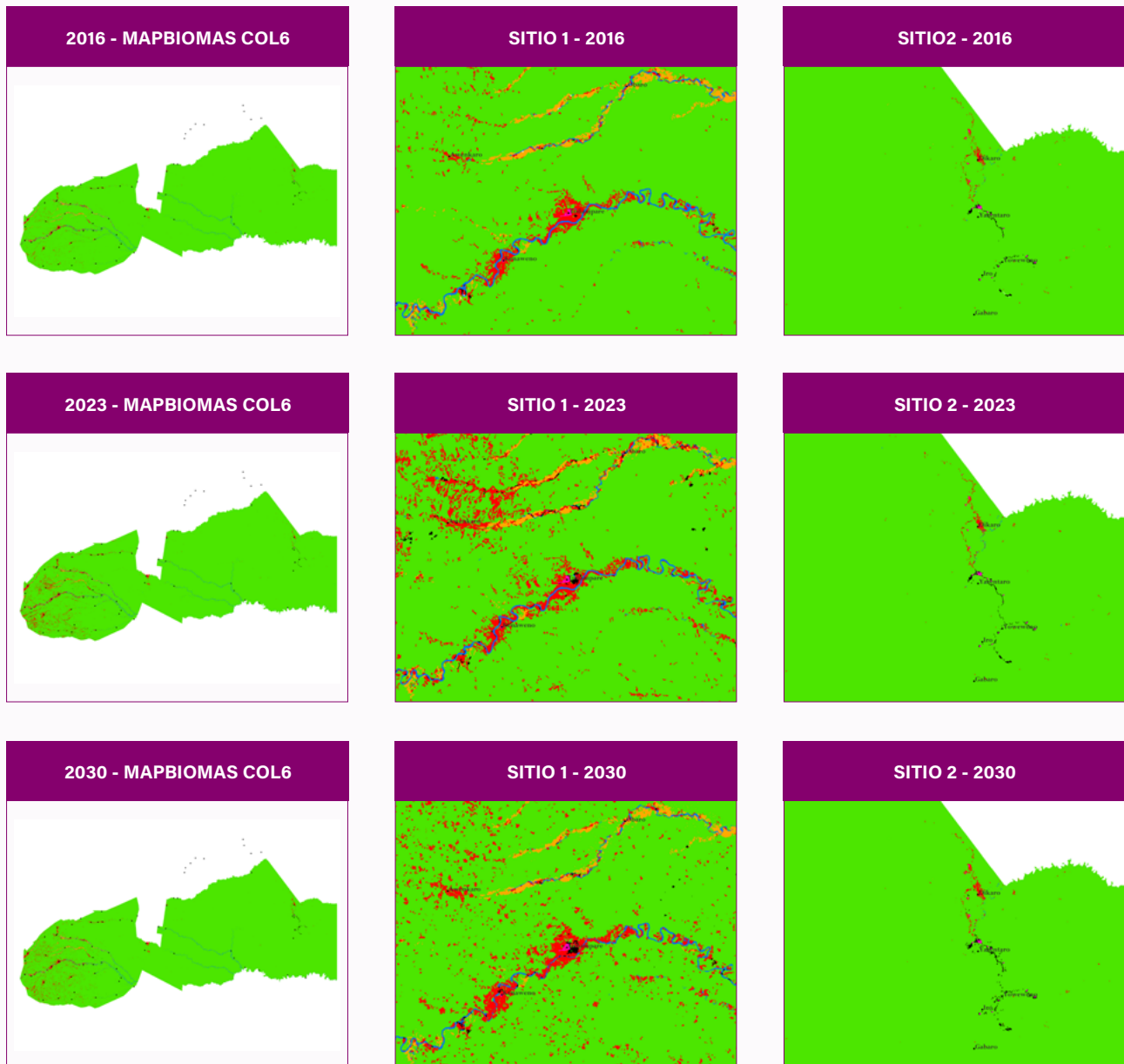
El comportamiento del carbono en el territorio Waorani evidencia que, incluso en contextos de muy baja deforestación, pueden ocurrir cambios en los stocks de carbono asociados a disturbios locales, apertura de claros y modificaciones en la estructura del bosque.

En conjunto, los resultados muestran que el Territorio Waorani mantiene una alta integridad en términos de carbono, pero con señales incipientes de degradación asociadas a presiones localizadas. Este patrón refuerza la importancia de complementar los análisis de cobertura con métricas de carbono para una evaluación más completa de la dinámica del paisaje.

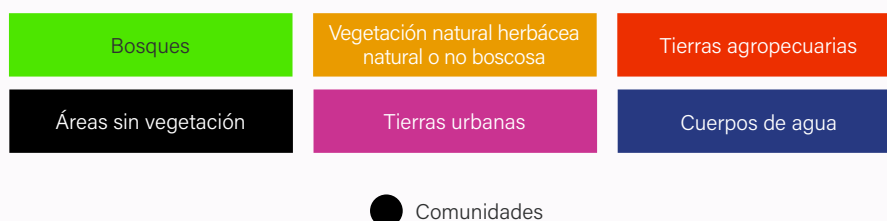
#### 4.3.4 Proyección de coberturas al 2030

La proyección de las coberturas del suelo al año 2030 en el Territorio Waorani, basada en la simulación de las dinámicas observadas entre 2016 y 2023, indica que el paisaje mantendría su carácter predominantemente forestal (Figura 4.c.4.1).





**Figura 4.c.4.1.** Mapas de cobertura y uso del suelo para los años 2016, 2023 y proyección 2030 en el territorio Waorani.  
Fuente: MapBiomas (2016, 2023) y simulación propia (2030).



En el escenario proyectado, el bosque natural continúa siendo la cobertura dominante, con aproximadamente 782.237 ha, lo que equivale a más del 98% del territorio. Las demás coberturas mantienen una participación minoritaria, con 9.793 ha de áreas agropecuarias, 1.821 ha de formaciones naturales no forestales, y valores marginales para áreas sin vegetación, agua y otras clases.

En términos de cambio, la proyección muestra una leve reducción neta del bosque de aproximadamente -4.566 ha respecto a 2016, acompañada por una expansión moderada de la cobertura agropecuaria (+4.687 ha). No obstante, estas variaciones son de baja magnitud en términos relativos y no alteran la estructura general del paisaje.

Desde una perspectiva espacial, el modelo identifica que los cambios proyectados se concentran en zonas específicas de borde y áreas de mayor accesibilidad, particularmente en proximidad a vías de penetración, infraestructura petrolera y asentamientos humanos. En estos sectores, se proyecta una mayor probabilidad de conversión de bosque hacia usos agropecuarios.

El análisis a escala local permite identificar áreas con mayor vulnerabilidad al cambio. En sectores como Toñanpare-Kenaweno (Sitio 1), asociados a drenajes secundarios y accesibilidad, se proyecta una mayor susceptibilidad a la conversión. Por su parte, en zonas como Dikaro-Yarentaro-Yoweweno-Iro-Gabarro (Sitio 2), los enclaves agropecuarios existentes tienden a mantenerse estables o presentar una expansión limitada, sin configurar núcleos de transformación extensiva.

En conjunto, los resultados sugieren que el Territorio Waorani mantendría una alta estabilidad estructural de su cobertura forestal hacia 2030, con procesos de cambio de carácter localizado. Sin embargo, la persistencia de la conversión de bosque hacia usos agropecuarios, aunque de baja magnitud, indica la presencia de presiones antrópicas que podrían afectar la conectividad ecológica y los servicios ecosistémicos a escala local si se intensifican en el tiempo.



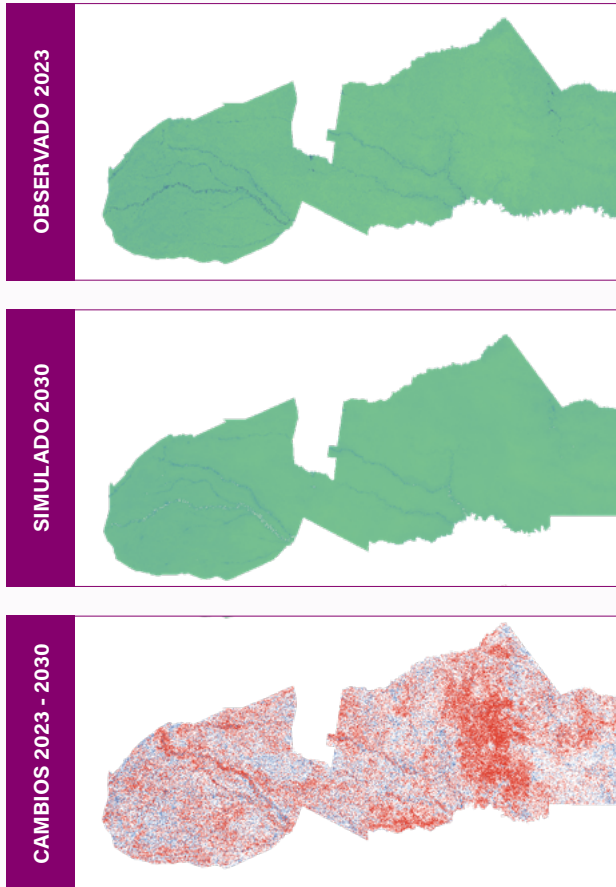
Foto: Daniel Chamba / Fundación EcoCiencia

#### 4.c.5 Proyección de carbono al 2030

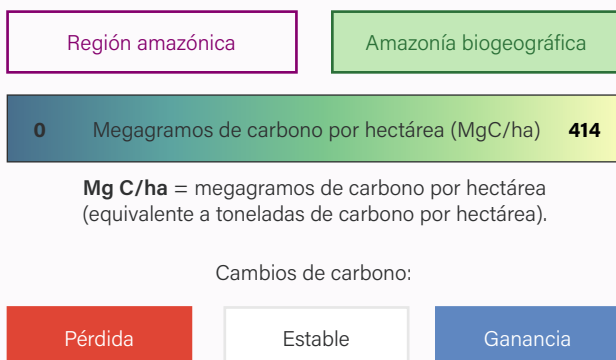
La proyección del carbono aéreo en el Territorio Waorani al año 2030 se desarrolló mediante un modelo de regresión basado en Random Forest, utilizando como variables predictoras la estructura del dosel, las distancias a clases de cobertura y variables espaciales del paisaje.

El modelo seleccionado mostró un desempeño adecuado, con un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0,57$ , un MAE (error absoluto medio, por sus siglas en inglés) de 8,21 y un error cuadrático medio (MSE) de 131,92, lo que indica una capacidad aceptable para representar la variabilidad espacial del carbono en el territorio. La inclusión de variables relacionadas con la altura y heterogeneidad del dosel resultó clave para mejorar la precisión del modelo, reflejando la importancia de la estructura forestal en la dinámica del carbono.

Los resultados de la proyección indican que el territorio mantendría altos niveles de carbono hacia 2030, en línea con su estabilidad en cobertura forestal. Sin embargo, se proyecta una ligera tendencia a la disminución del stock de carbono, consistente con los patrones observados en el periodo histórico.



**Figura 4.c.5.1.** Distribución espacial del carbono observado (2023) y proyectado (2030).



El análisis espacial de la proyección muestra que las pérdidas de carbono se concentran en zonas específicas, principalmente en áreas de mayor accesibilidad y en sectores donde ya se han identificado procesos de cambio de cobertura. Estas áreas incluyen bordes del territorio, zonas cercanas a infraestructura y espacios con presencia de actividades productivas.

Dado que la cobertura forestal se mantiene ampliamente dominante, la reducción proyectada del carbono no está asociada a procesos extensivos de deforestación, sino a cambios en la densidad de biomasa y en la estructura del bosque, lo que sugiere un patrón de degradación progresiva de baja intensidad.

En conjunto, los resultados indican que el Territorio Waorani continuará funcionando como un importante reservorio de carbono, aunque con señales de disminución gradual que podrían intensificarse en el tiempo si aumentan las presiones antrópicas en zonas de borde y áreas accesibles.

#### 4.3.6 Principales hallazgos

El análisis del Territorio Waorani evidencia un paisaje con niveles excepcionalmente altos de conservación, caracterizado por una cobertura forestal que supera el 98% del territorio y por tasas muy bajas de deforestación en el periodo analizado. Este comportamiento lo posiciona como uno de los paisajes más íntegros dentro del conjunto de áreas evaluadas.

En términos de uso y cobertura del suelo, el territorio presenta una alta estabilidad estructural, donde el bosque natural se mantiene como la cobertura dominante. Las dinámicas de cambio identificadas son de muy baja magnitud y se concentran en áreas específicas, principalmente asociadas a zonas de borde y sectores con mayor accesibilidad. La expansión de áreas agropecuarias, aunque limitada en términos relativos, constituye la principal dinámica de transformación del paisaje.



Foto: Daniel Chamba / Fundación EcoCiencia

Desde la perspectiva del carbono, el territorio mantiene altos niveles de almacenamiento, consistentes con su condición de bosque continuo. No obstante, tanto el análisis histórico como la proyección al 2030 evidencian una ligera tendencia a la disminución del stock de carbono, lo que sugiere la presencia de procesos de degradación de baja intensidad.

Estas pérdidas de carbono no están asociadas a procesos extensivos de deforestación, sino a cambios en la densidad de biomasa y en la estructura del bosque, particularmente en zonas de mayor accesibilidad. En este sentido, factores como la proximidad a infraestructura petrolera, vías de acceso y asentamientos humanos emergen como elementos clave en la configuración de las dinámicas del paisaje.

Las proyecciones de cobertura al 2030 refuerzan la idea de un territorio altamente estable, sin evidencia de transformaciones estructurales significativas. Sin embargo, las proyecciones de carbono indican la continuidad de una disminución gradual del stock, lo que evidencia que incluso paisajes altamente conservados pueden experimentar procesos de degradación interna.

Desde una perspectiva de gestión, estos resultados sugieren la necesidad de fortalecer el control y monitoreo en zonas de borde y áreas accesibles, donde se concentran las principales presiones. Asimismo, resulta clave priorizar la conservación de la estructura del dosel forestal, dado su papel central en el mantenimiento del carbono, así como implementar medidas de gestión que limiten la expansión de actividades agropecuarias en sectores sensibles.

En conjunto, los resultados muestran que el Territorio Waorani funciona como un paisaje altamente conservado y estratégico para la mitigación del cambio climático, pero con señales incipientes de degradación asociadas a presiones localizadas. Este hallazgo resalta la importancia de incorporar el análisis de carbono como complemento a los indicadores de cobertura, para una evaluación más integral de la integridad ecológica del territorio.

## 4.4.

# Paisaje Kakataibo

**Perú es el segundo país con mayor extensión de bosques amazónicos,** al concentrar el 11,4% del total de la Amazonía, lo que equivale a 966.190km<sup>2</sup> de su territorio nacional. De esta superficie, el 52,0% se encuentra bajo alguna figura de protección, ya sea como área natural protegida (ANP) o como territorio indígena (TI).

### 4.4.1 Descripción del paisaje

El paisaje de acción piloto (PAL) Kakataibo abarca aproximadamente 1,5 millones de hectáreas en la Amazonía central del Perú (Figura 4.d.1.1). Se extiende por las cuencas de los ríos Aguaytía, Pachitea y Pisqui —afluentes del río Ucayali— y abarca jurisdicciones de los departamentos de Huánuco, Ucayali y Loreto. Este paisaje presenta una morfología variada. En su extremo noroccidental predomina un terreno montañoso y accidentado, mientras que hacia el este y sureste se extiende hacia la llanura amazónica, caracterizada por colinas suaves y terrazas aluviales.

El PAL Kakataibo está conformado por un mosaico de áreas que incluye el territorio de once comunidades nativas pertenecientes a los pueblos Kakataibo (8), Shipibo-Konibo (2) y Asháninka (1); la Reserva Indígena Kakataibo Norte y Sur, destinada a la protección de pueblos en aislamiento y contacto inicial (PIACI); y la zona sur del Parque Nacional Cordillera Azul, un área natural protegida de carácter intangible que conserva una alta diversidad de ecosistemas, flora y fauna.



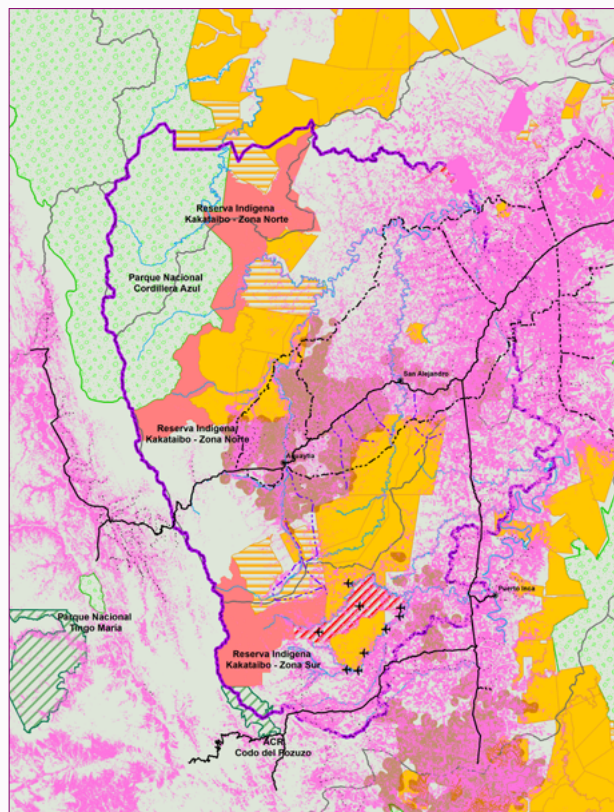
**Figura 4.d.1.1.** Ubicación del Paisaje Kakataibo, Perú.



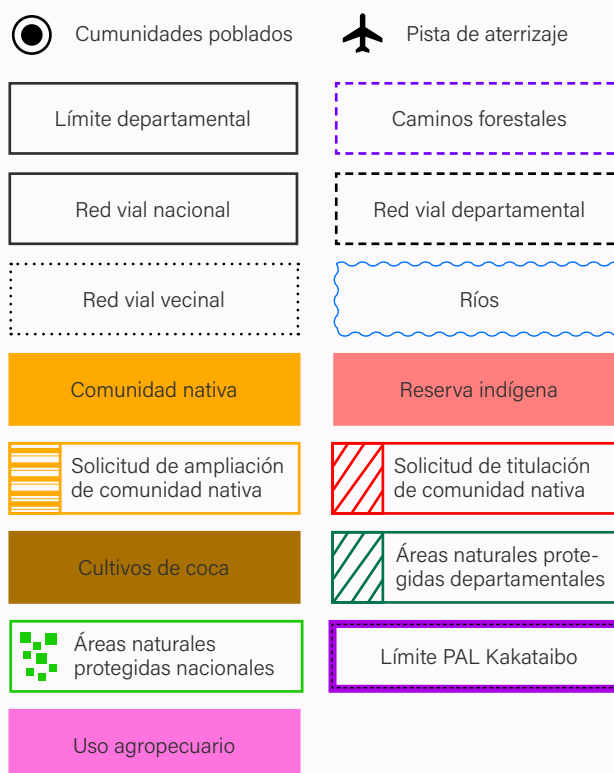
Fuera de estas áreas gestionadas bajo modalidades orientadas a la conservación de los bosques, existen zonas ocupadas por población de origen migrante dedicada a actividades agrícolas, pecuarias y extractivas —tanto formales como informales o ilegales—, como la tala de madera, la minería y el cultivo de hoja de coca (Figura 4.d.1.2). En conjunto, el 45% del paisaje se encuentra bajo alguna figura de protección, ya sea como área natural protegida o territorio indígena (Figura 4.d.1.2). Cabe destacar que el 6,1% de este paisaje son territorios indígenas que tienen una solicitud de titulación o ampliación ante el Estado peruano.

En la parte norte del PAL Kakataibo, el Parque Nacional Cordillera Azul (PNCAZ) colinda con la Reserva Indígena Kakataibo Norte y Sur (RIKNS) y con comunidades nativas ubicadas en su zona de amortiguamiento, como Yamino, Mariscal Cáceres y Santa Rosa. Esta sección del parque está zonificada como de protección estricta y su gestión busca mitigar las amenazas provenientes de áreas contiguas, especialmente en las cuencas de Aguaytía y Pisqui, con el fin de no afectar la dinámica de desplazamiento de los pueblos indígenas en aislamiento que habitan el interior del área protegida. Para ello, el PNCAZ coordina acciones con el Ministerio de Cultura — responsable de la gestión de la RIKNS— y con comunidades vecinas, promoviendo iniciativas de manejo sostenible de los recursos compatibles con los objetivos de conservación.

Las comunidades nativas del paisaje mantienen una economía basada principalmente en la agricultura familiar, orientada al autoconsumo y a la comercialización de excedentes en centros poblados cercanos. Entre los cultivos predominan el plátano, el maíz y, más recientemente, el cacao, promovido por programas de desarrollo alternativo frente al cultivo de coca. Estas actividades se complementan con prácticas tradicionales como la caza, la pesca y la recolección, así como con iniciativas de manejo forestal sostenible en algunas comunidades.



**Figura 4.d.1.2.** Amenazas que enfrenta el Paisaje Kakataibo, Perú

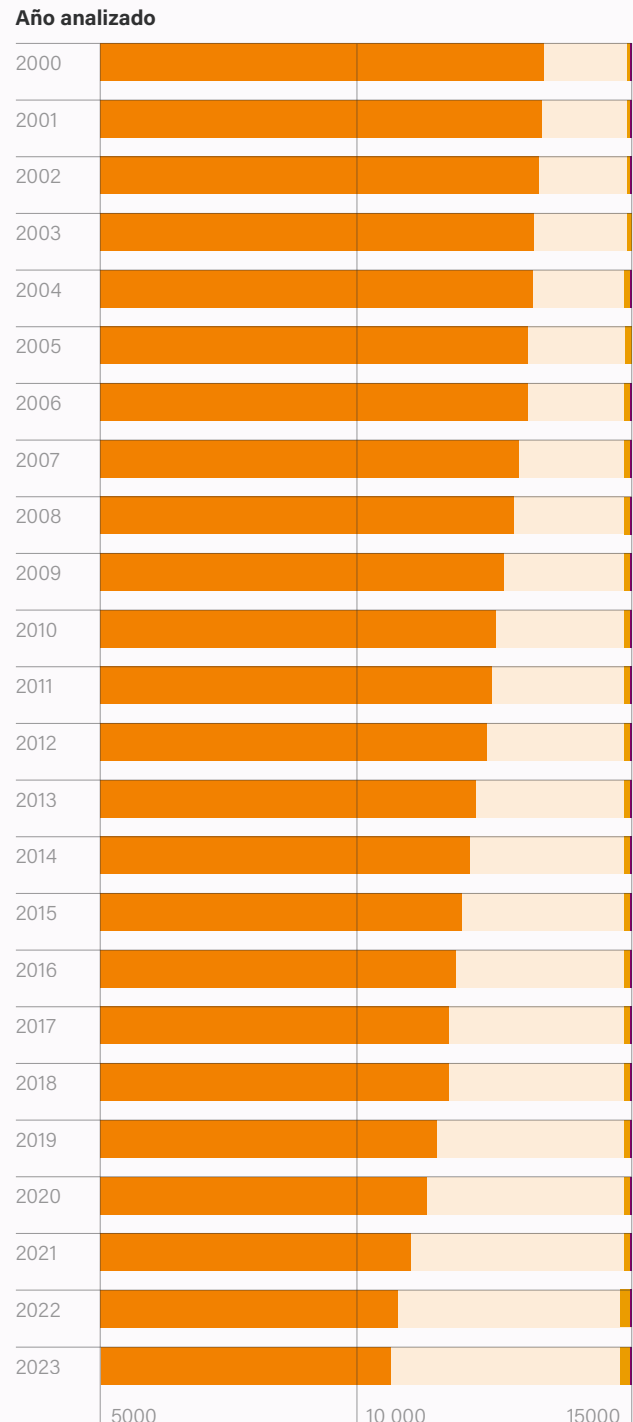


En los últimos años se han fortalecido iniciativas de vigilancia y manejo comunitario impulsadas por organizaciones indígenas, entidades estatales y organizaciones no gubernamentales. Estas incluyen incentivos para la conservación de bosques, como los mecanismos de transferencia directa condicionada del Programa Nacional de Conservación de Bosques del Ministerio del Ambiente, así como proyectos privados de conservación, entre ellos iniciativas REDD+. Asimismo, se han promovido instrumentos de planificación comunitaria como los Planes de Vida, que orientan estrategias de desarrollo local basadas en el uso sostenible de los recursos naturales.

No obstante, a pesar de contar con títulos de propiedad, varias comunidades continúan enfrentando invasiones y presiones sobre sus territorios. Frente a la limitada respuesta estatal, las comunidades —articuladas a través de su federación— han impulsado mecanismos propios de gobernanza territorial, entre ellos comités de vigilancia comunitaria y la Guardia Indígena Kakataibo, orientados a fortalecer la defensa del territorio y la protección de los derechos de los pueblos indígenas, incluidos aquellos en situación de aislamiento.

#### 4.4.2 Dinámica de uso y cobertura

La dinámica de uso y cobertura del suelo en el PAL Kakataibo fue analizada utilizando la serie temporal de mapas de MapBiomias Amazonía para el periodo 2000–2023, siguiendo el flujo metodológico descrito en el capítulo 3. El análisis muestra una transformación significativa del paisaje durante este periodo. Aunque el paisaje se mantiene predominantemente boscoso (Figura 4.d.2.1), la cobertura forestal ha mostrado una disminución sostenida. En términos absolutos, el bosque pasó de aproximadamente 1.354.483 hectáreas en el año 2000 a cerca de 1.067.178 hectáreas en 2023, lo que equivale a una reducción aproximada de 287.305 hectáreas de cobertura forestal. En términos relativos, esto representa una disminución cercana al 21%, pasando de alrededor del 90 % del paisaje en 2000 a aproximadamente el 71% en 2023.



**Figura 4.d.2.1.** Coberturas del suelo en el paisaje Kakataibo según MapBiomias Cobertura y Uso, colección 6.



El principal cambio observado corresponde a la expansión de las tierras agropecuarias, que pasaron de ocupar cerca del 9% del paisaje en 2000 a aproximadamente 28% en 2023. En términos absolutos, esta cobertura casi se triplicó durante el periodo analizado, consolidándose como el principal motor de transformación del paisaje. Este crecimiento refleja la expansión progresiva de actividades agrícolas y pecuarias en el territorio, asociadas a procesos de colonización, apertura de caminos y desarrollo de economías rurales vinculadas tanto a cultivos comerciales como al cultivo de coca.

El análisis territorial muestra diferencias importantes en la dinámica de pérdida de bosque según el tipo de gestión del territorio. Entre 2000 y 2023, la cobertura forestal en áreas naturales protegidas se mantuvo prácticamente estable, con una reducción menor al 1%. En territorios indígenas, la disminución fue cercana al 10%, mientras que en las otras tierras, es decir, aquellas fuera de territorios indígenas y áreas protegidas, la pérdida de bosque superó el 30%. Estos resultados evidencian una mayor presión sobre los ecosistemas forestales en zonas sin mecanismos de gobernanza territorial consolidados y refuerzan el papel de los territorios indígenas y de las áreas protegidas en la conservación de los bosques amazónicos.

Las tendencias de cambio también muestran una aceleración en la pérdida de cobertura forestal durante los años recientes. Entre 2016 y 2023 se registró una reducción particularmente marcada del bosque, concentrada principalmente en áreas externas a territorios indígenas y áreas protegidas. Este patrón sugiere que las presiones sobre el paisaje, especialmente la expansión agropecuaria, se han intensificado en el periodo reciente.

Otras coberturas presentan cambios menos significativos en términos de superficie total, aunque con tendencias de crecimiento sostenido. Las áreas sin vegetación y las áreas urbanas han aumentado durante el periodo analizado, mientras que las formaciones naturales no forestales mantienen una representación espacial relativamente reducida dentro del paisaje.



#### 4.4.3 Dinámica histórica del carbono

La dinámica del carbono aéreo en el PAL Kakataibo refleja los cambios observados en el uso y cobertura del suelo durante las últimas décadas. La pérdida de cobertura forestal asociada principalmente a la expansión de actividades agropecuarias ha tenido efectos directos sobre el almacenamiento de carbono en la biomasa aérea. Este proceso resulta particularmente relevante en el contexto de la Amazonía, región reconocida por su papel como uno de los principales reservorios de carbono del planeta.

El análisis se realizó a partir de datos de carbono aéreo proporcionados por la plataforma Chloris para el periodo 2000–2023, integrados con información de cobertura del suelo y otras variables territoriales relevantes mediante procesamiento en Google Earth Engine (GEE), siguiendo el flujo metodológico descrito en el capítulo 3.

El carbono aéreo en el paisaje Kakataibo ha venido experimentando una disminución sostenida durante el periodo 2000–2023 (Figura 4.d.3.1). En términos absolutos, el carbono total almacenado pasó de aproximadamente 207,4 millones de toneladas de carbono (MtC) en el año 2000 a cerca de 176,0 MtC en 2023, lo que representa una reducción aproximada de 31,4 MtC, equivalente a alrededor del 15 % del carbono aéreo inicial del paisaje. Esta tendencia se acelera particularmente a partir de 2020, lo que coincide con el incremento en la pérdida de cobertura forestal observado durante los últimos años (Figura 4.d.2.1.).

Millones de toneladas de carbono (MtC)

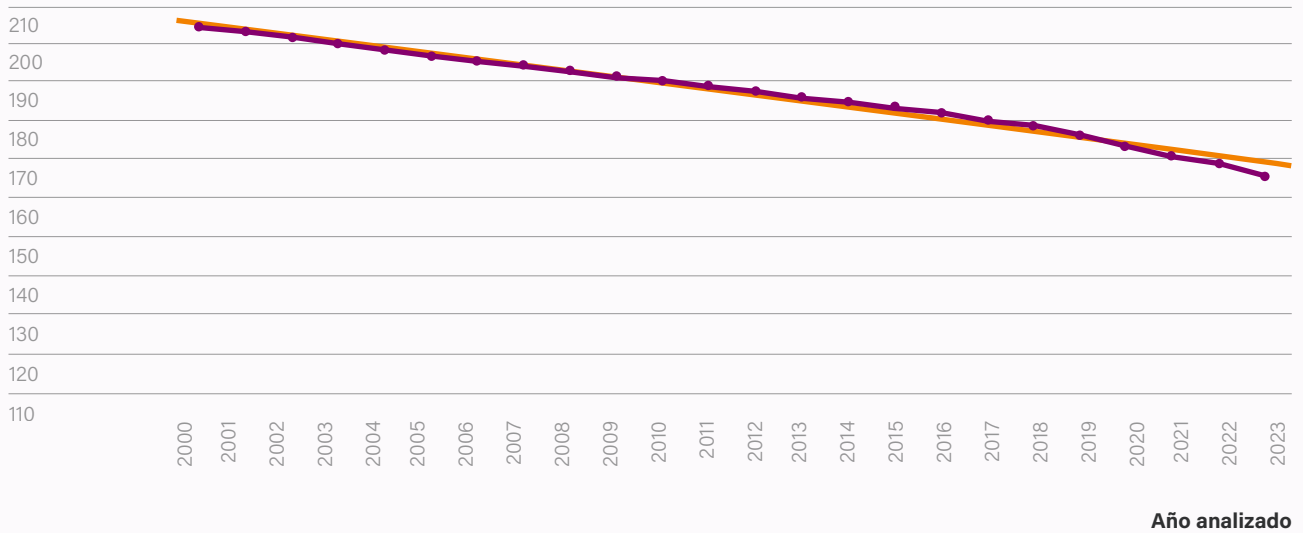


Figura 4.d.3.1. Comportamiento del carbono aéreo almacenado entre los años 2000 y 2023 en el paisaje Kakataibo, Perú.

● MtC      — Tendencia, r2= 0,986

El análisis de la dinámica de carbono en este periodo, muestra diferencias importantes entre las distintas unidades de gestión territorial (Figura 4.d.3.2). En las áreas naturales protegidas (ANP) la pérdida de carbono es prácticamente indetectable durante el periodo analizado, mientras que en los territorios indígenas (TI) la reducción alcanza aproximadamente 8% del carbono aéreo estimado para el año 2000.

En contraste, en áreas fuera de territorios indígenas y áreas protegidas, la disminución alcanza aproximadamente 24,5% del carbono aéreo inicial, evidenciando una presión considerable sobre los ecosistemas forestales en zonas sin mecanismos sólidos de gobernanza territorial.

Millones de toneladas de carbono (MtC)

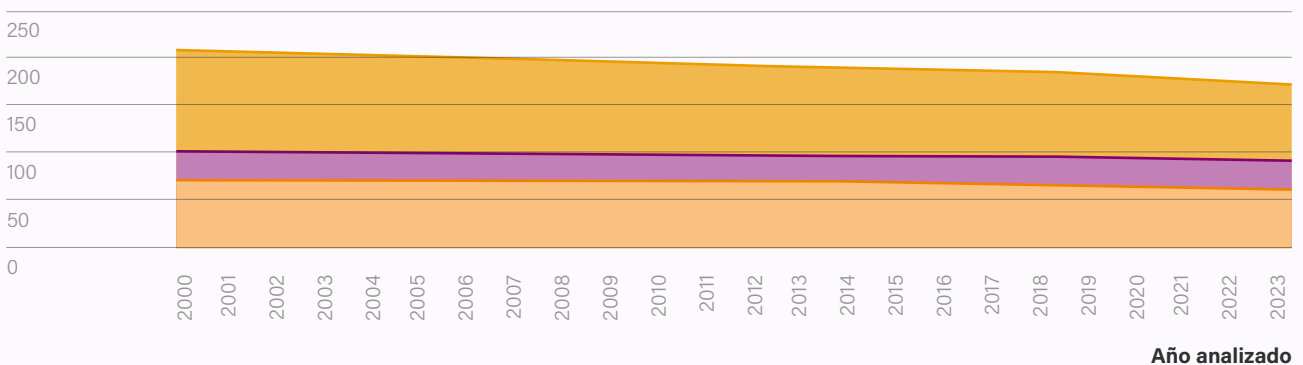


Figura 4.d.3.2. Comportamiento del carbono aéreo almacenado entre los años 2000 y 2023 según la unidad de gestión territorial considerada, en el paisaje Kakataibo, Perú.

Otras tierras      ANP      TI

La comparación entre las distintas unidades territoriales muestra claramente estas diferencias en la evolución del carbono almacenado (Tabla 4.d.3.1).

Territorio	Carbono 2000	Carbono 2023	Cambio
Territorios indígenas	66.5 MtC	61.1 MtC	-8 %
Áreas protegidas	33.5 MtC	33.8 MtC	~estable
Otras tierras	107.5 MtC	81.1 MtC	-24.5 %

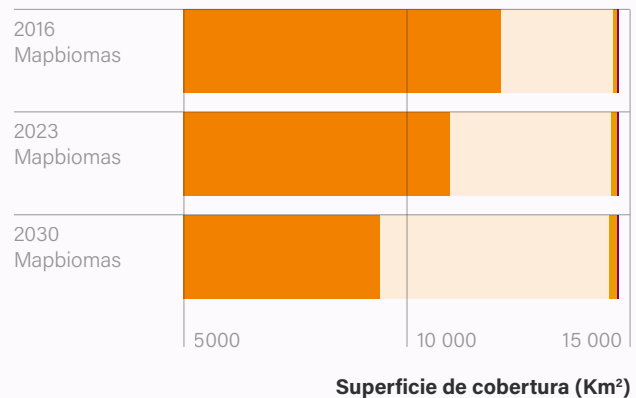
**Tabla 4.d.3.1.** Cambios en el carbono aéreo por tipo de territorio en el paisaje Kakataibo (2000–2023).

En conjunto, estos resultados evidencian el papel fundamental que desempeñan los territorios indígenas y las áreas naturales protegidas en la conservación del carbono forestal en el paisaje Kakataibo, al mantener mayores niveles de biomasa y reducir significativamente la pérdida de carbono asociada a los cambios de uso del suelo.

#### 4.4.4 Proyección de coberturas al 2030

Los resultados de la simulación indican que la cobertura forestal continuará disminuyendo en el paisaje Kakataibo (Figura 4.d.4.1.), en línea con las tendencias históricas observadas. El bosque pasaría de aproximadamente 1,07 millones de hectáreas en 2023 a cerca de 965 mil hectáreas en 2030, lo que representa una pérdida adicional de alrededor de 102 mil hectáreas, equivalente a una reducción de aproximadamente 9,5% respecto a 2023. De este modo, el bosque llegaría a representar cerca del 64,3% del paisaje.

**Tipo y momento del dato**



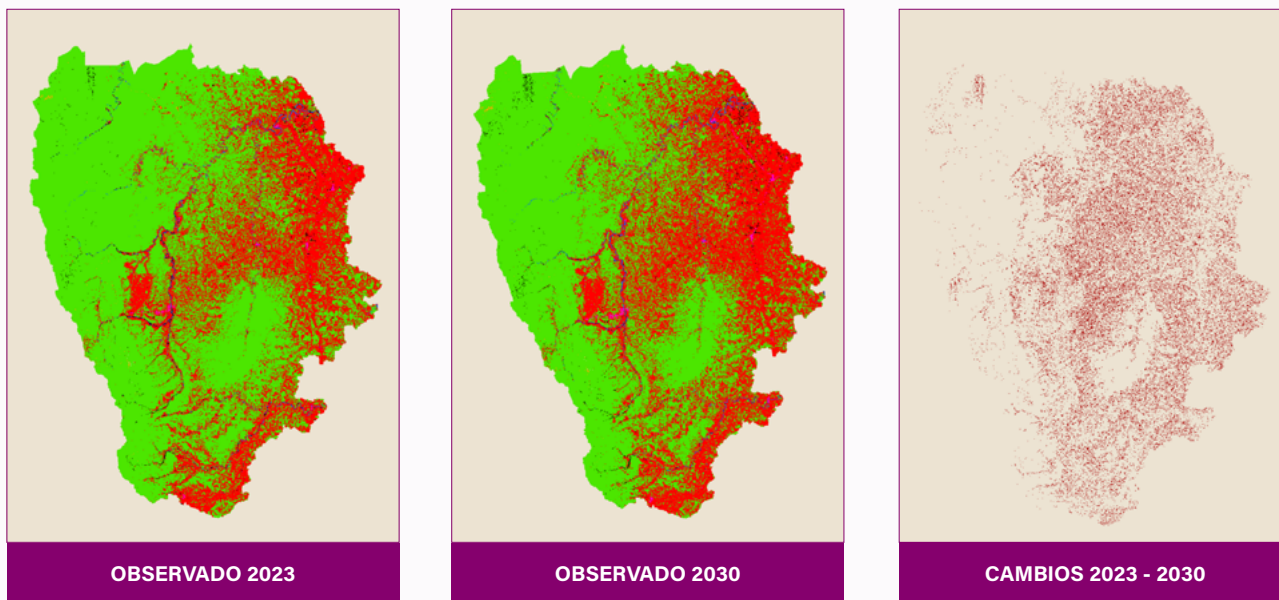
**Figura 4.d.4.1.** Representatividad de las cuatro coberturas principales presentes en el paisaje Kakataibo para 2016, 2023 (estimaciones de MapBiomias Cobertura y Uso, col. 6) y 2030, según proyección simulada



En paralelo, las tierras agropecuarias continuarían expandiéndose de manera sostenida (Figura 4.d.4.2), pasando de aproximadamente 414 mil hectáreas en 2023 a cerca de 511 mil hectáreas en 2030, lo que implica un incremento de alrededor de 97 mil hectáreas ( $\approx 23\%$ ). Como resultado, esta cobertura podría llegar a ocupar cerca del 34% del paisaje, consolidándose como el principal uso del suelo en expansión.



Foto: Karen Espejo / RAISG



**Figura 4.d.4.2.** Estimaciones de coberturas para el 2023, proyección para 2030 y cambios entre el periodo 2023-2030 en el PAL de Kakataibo



Las áreas urbanas y las áreas sin vegetación, aunque con una representación espacial menor, también mostrarían incrementos importantes. Las áreas urbanas pasarían de aproximadamente 2.339 ha en 2023 a cerca de 3.439 ha en 2030, mientras que las áreas sin vegetación aumentarían de 9.269 ha a alrededor de 10.150ha. Estas tendencias, aunque de menor magnitud en términos absolutos, reflejan procesos de intensificación del uso del suelo y posibles dinámicas de degradación asociadas a actividades extractivas e infraestructura.

Desde una perspectiva territorial, se proyecta que para 2030 aproximadamente el 62% del bosque remanente se mantendrá dentro de territorios indígenas y áreas naturales protegidas, lo que

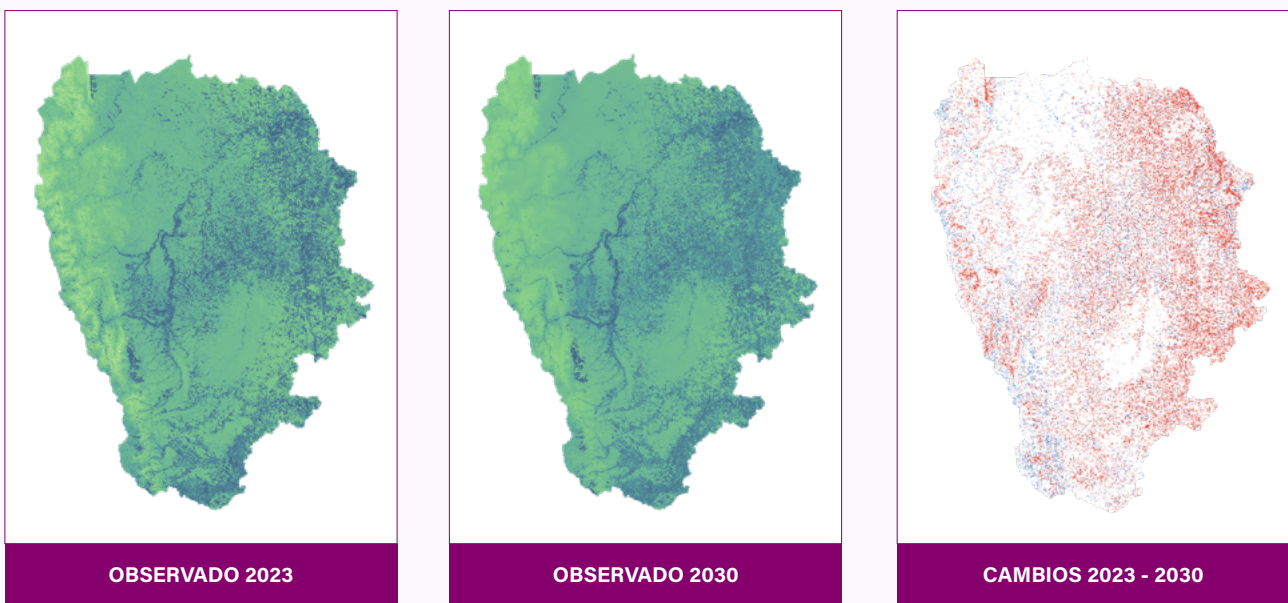
evidencia el papel clave de estas figuras en la conservación de los ecosistemas forestales y su biodiversidad. Sin embargo, esto implica que cerca del 38% del bosque restante se ubicará en otras tierras, donde las presiones de cambio de uso son mayores y más intensas.

Asimismo, las tierras agropecuarias continuarían expandiéndose también dentro de territorios indígenas y áreas protegidas, donde podrían alcanzar cerca del 14% de la superficie total de estas unidades, concentrándose principalmente en territorios indígenas. Este patrón refleja la persistencia de presiones internas y externas sobre estos territorios, en un contexto donde las actividades agropecuarias —incluyendo el cultivo de coca— siguen siendo un factor determinante de cambio.

En conjunto, la proyección al 2030 sugiere la continuidad de un proceso de transformación del paisaje caracterizado por la reducción progresiva de bosques y la expansión de usos agropecuarios, especialmente en áreas fuera de esquemas de protección. Este escenario refuerza la necesidad de fortalecer los mecanismos de gobernanza territorial y las estrategias de conservación, particularmente en territorios indígenas y áreas protegidas, para reducir la pérdida de bosque y sus impactos asociados sobre la biodiversidad y el carbono almacenado en el paisaje.

#### 4.4.5 Proyección de carbono al 2030

Bajo el escenario proyectado al 2030, en el que se asumen tasas de cambio interanuales constantes, se estima que el paisaje Kakataibo continuará perdiendo carbono aéreo (Figura 4.d.5.1) en concordancia con la reducción de su cobertura forestal. La pérdida total proyectada asciende a aproximadamente 9,5 millones de toneladas de carbono (MtC), lo que equivale a cerca del 5,4 % del carbono almacenado en 2023.



**Figura 4.d.5.1.** Estimaciones de carbono 2023, proyecciones para el año 2030 y cambios entre el periodo 2023-2030 en el PAL de Kakataibo

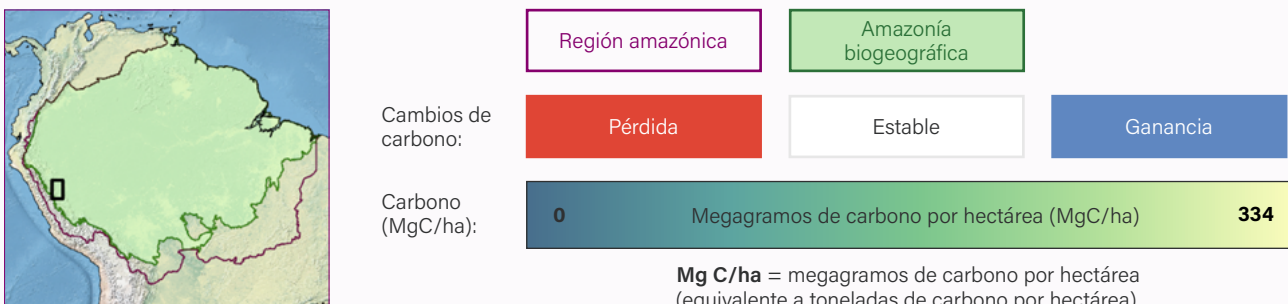




Foto: Karen Espejo / RAISG

El análisis por unidades de gestión territorial muestra que esta pérdida no se distribuye de manera homogénea. En las otras tierras, es decir, aquellas fuera de territorios indígenas y áreas naturales protegidas, se concentrará la mayor parte de la reducción de carbono, con una pérdida estimada de aproximadamente 6,98 MtC, equivalente a alrededor del 8,6% del carbono almacenado en estas áreas en 2023. Este patrón refleja la continuidad de procesos de conversión de bosques hacia usos agropecuarios en zonas con menor nivel de protección y mayores presiones de cambio de uso del suelo.

En los territorios indígenas, de mantenerse las tendencias actuales, se proyecta una reducción de aproximadamente 2,08 MtC, lo que representa cerca del 3,4% del carbono almacenado en 2023. Por su parte, en las áreas naturales protegidas la pérdida sería considerablemente menor, con una disminución estimada de 0,5 MtC, equivalente a aproximadamente 1,4% del carbono existente en estas áreas.

En conjunto, los territorios indígenas y las áreas naturales protegidas, que abarcan aproximadamente el 45% del paisaje, concentrarían cerca del 26,7% de la pérdida total de carbono proyectada. Este resultado confirma su papel como

barreras efectivas frente a la pérdida de carbono, al mantener mayores niveles de biomasa y reducir la intensidad de los procesos de deforestación en comparación con otras áreas del paisaje.

Estos resultados son consistentes con la dinámica histórica observada y con la proyección de cambios en la cobertura del suelo, donde la expansión de las actividades agropecuarias continúa siendo el principal motor de transformación del paisaje. En este contexto, las zonas fuera de esquemas de protección seguirán concentrando la mayor parte de las emisiones potenciales asociadas a la pérdida de carbono.

Finalmente, es importante considerar que la dinámica del carbono en la Amazonía no depende únicamente de los cambios de uso del suelo, sino también de factores climáticos. Estudios recientes han evidenciado una posible reducción en la capacidad de los bosques amazónicos para actuar como sumideros de carbono debido al aumento de la temperatura (Gatti y col., 2021). En este sentido, el fortalecimiento de los mecanismos de gobernanza territorial, particularmente en territorios indígenas y áreas protegidas, resulta clave no solo para reducir la deforestación, sino también para sostener la capacidad de los ecosistemas de almacenar carbono frente a escenarios de cambio climático.

#### 4.d.6 Principales hallazgos

El paisaje Kakataibo evidencia un proceso sostenido de transformación territorial caracterizado por la reducción de la cobertura forestal y la expansión de las actividades agropecuarias como principal motor de cambio. Esta dinámica ha implicado una pérdida significativa de bosques y una consecuente disminución del carbono almacenado en el paisaje.

Los cambios observados presentan una marcada diferenciación territorial. Mientras que las áreas naturales protegidas mantienen una alta estabilidad en la cobertura forestal y el carbono, y los territorios indígenas muestran pérdidas moderadas, las mayores transformaciones se concentran en las otras tierras, donde se registran las tasas más altas de deforestación y pérdida de carbono.

Las proyecciones al 2030 indican la continuidad de estas tendencias, con una reducción adicional de la cobertura forestal y un incremento sostenido de las tierras agropecuarias. Este escenario sugiere que las presiones sobre el paisaje, asociadas a la expansión agrícola, la apertura de caminos y otras actividades, se mantendrán o intensificarán en los próximos años, especialmente en áreas fuera de esquemas de protección.



Foto: Rosana Monteverde / Instituto del Bien Común



Foto: Rosana Monteverde / Instituto del Bien Común



Foto: Walter Sangama / Instituto del Bien Común

En este contexto, los territorios indígenas y las áreas naturales protegidas cumplen un rol fundamental como barreras frente a la deforestación y la pérdida de carbono, al conservar mayores niveles de carbono aéreo y biomasa, y reducir la intensidad de los cambios de uso del suelo. No obstante, la persistencia de presiones internas y externas evidencia la necesidad de fortalecer los mecanismos de gobernanza territorial y garantizar la integridad de estas unidades.

En conjunto, los resultados destacan la importancia de consolidar estrategias de gestión territorial que permitan reducir la pérdida de bosques y carbono en el paisaje Kakataibo, contribuyendo a la mitigación del cambio climático y a la conservación de la biodiversidad amazónica.

# 4.5.

## Territorio Comunitario de Origen (TCO) Tacana Cavineño, Bolivia

Bolivia es un país forestal cuya heterogeneidad lo convierte en una nación megadiversa. **Más del 40% de los bosques** se encuentran dentro de áreas protegidas y/o territorios indígenas titulados.

### 4.5.1 Descripción del paisaje

Los datos muestran que existe una protección efectiva de los bosques cuando se localizan dentro de estos territorios. Hasta 2023, más del 90% de la deforestación en el país ocurrió fuera de los territorios indígenas y áreas protegidas (FAN, 2024).

El 18 % de los bosques del país se encuentra en 57 territorios indígenas titulados. En este estudio, el paisaje de acción piloto (PAL) corresponde al Territorio Indígena Tacana Cavineño, con una superficie de 271.049,46 hectáreas, ubicado en la región amazónica del departamento del Beni, abarcando los municipios de Riberalta, Santa Rosa y Exaltación.



**Figura 4.e.1.1.** Ubicación del Territorio Indígena Tacana Cavineño, Bolivia.

PAL Tacama Cavinero

Límite biogeográfico

Límite internacional

**Según el Plan de Gestión Territorial de la TIOC Tacana Cavineño, está conformado por 14 comunidades, organizadas en dos zonas principales:**

- Zona de río, asentada en las márgenes de los ríos Beni y Biata, con las comunidades de Tablero, Triunfo, Palma Flor, Alta Gracia y Santa Elena.
- Zona de carretera, ubicada en la ribera del río Geneshuaya, donde se encuentran las comunidades Victoria, Rosario, La Esperanza, Carmen Alto del Geneshuaya, Recreo, Todos Santos, Sedan, Los Tubos y Santa Teresita.

El clima corresponde al de la región amazónica, identificado como un bioclima infratropical pluviestacional. El territorio presenta una dominancia de bosques altos de tierra firme e inundables, que cubren aproximadamente el 80% del área total, mientras que el 20% restante está conformado por pampas y sabanas arboladas. La red hidrográfica es densa, destacando los ríos Geneshuaya, Biata y Beni, así como lagunas y cuerpos de agua asociados.

Los suelos del territorio son susceptibles a inundaciones periódicas, con predominio de drenaje deficiente en amplias zonas. Las áreas con mayor elevación presentan mejores condiciones de drenaje, lo que favorece el uso por parte de las comunidades y el desarrollo de hábitats para diversas especies. En este contexto, la aptitud de uso es principalmente forestal, siendo marginalmente apta para agricultura y ganadería intensiva o extensiva.

La economía local es de base familiar y combina actividades de subsistencia con otras orientadas al mercado. Las principales fuentes económicas incluyen la venta de castaña, la agricultura (principalmente arroz, maíz, plátano y yuca), la recolección de productos forestales no maderables como açai y majo, así como la pesca, caza y aprovechamiento forestal. En menor medida, también se recurre a la venta de fuerza de trabajo (Gonzales, V, 2025; p.65)

En los últimos años, se ha fortalecido la asociatividad indígena, destacando organizaciones como AIPRAMCA, AIR MUIJE y AJORA, orientadas a la recolección y comercialización de productos forestales y otros bienes. Asimismo, han surgido emprendimientos productivos vinculados a la transformación de productos locales, como derivados de caña de azúcar en miel, yuca en chivé, y cacao (Gonzales, V, 2025; p.68).

El territorio cuenta con aproximadamente 96,4 hectáreas bajo uso agrícola con Plan de Desmonte (PDM), lo que representa una proporción muy reducida del territorio (0,04%), evidenciando un bajo nivel de transformación formal del bosque.

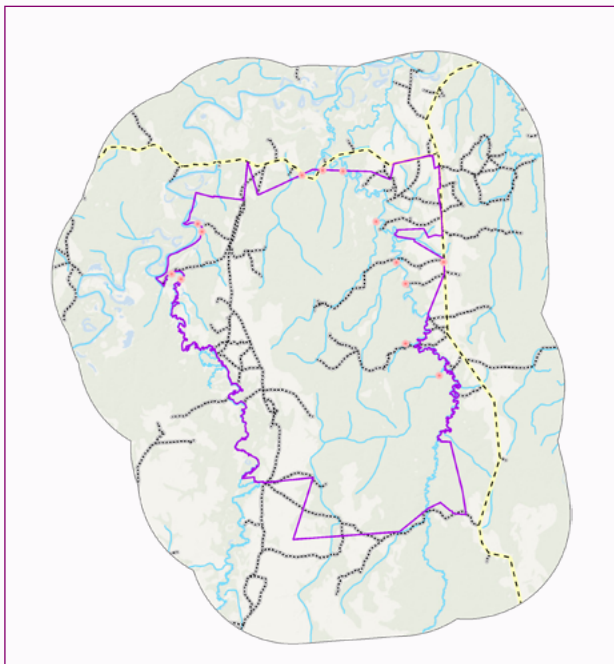
Entre las principales presiones y amenazas se encuentra la accesibilidad generada por las vías Riberalta-Santa Rosa y Riberalta-Cobija, que facilitan la conexión con mercados y servicios, pero también incrementan el riesgo de ingreso de actores externos. Esto puede derivar en procesos de deforestación, quemas, uso y aprovechamiento no regulado del suelo. Asimismo, la presencia de propiedades de terceros dentro del territorio plantea desafíos adicionales para la gobernanza.

Frente a este contexto, el territorio indígena Tacana Cavineño viene fortaleciendo sus procesos de organización y control territorial, orientados a consolidar mecanismos de vigilancia y gestión sostenible que permitan resguardar la integridad de sus bosques y sabanas.

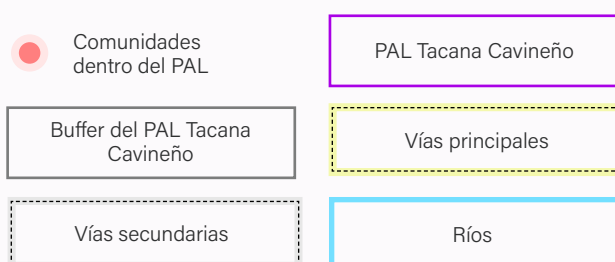
En conjunto, el paisaje se caracteriza por una alta cobertura forestal, una fuerte organización comunitaria y presiones emergentes asociadas a la accesibilidad, lo que lo convierte en un caso relevante para el análisis de las dinámicas de cobertura y carbono en la Amazonía boliviana.

### 4.5.2 Dinámica de uso y cobertura

El análisis de la dinámica de uso y cobertura del suelo se realizó a partir de la serie temporal de MapBiomás Amazonía para el periodo 2000–2023.



**Figura 4.e.2.1.** Mapa de presiones en el Paisaje Tacana Cavineño, Bolivia



La serie temporal del territorio indígena Tacana Cavineño muestra que, a lo largo del periodo analizado, la vegetación natural predomina ampliamente en el territorio, representando aproximadamente el 99% de la superficie total. El porcentaje restante se distribuye entre cuerpos de agua, áreas sin vegetación y áreas destinadas a actividades agropecuarias. Estas últimas se presentan de manera puntual y en proporciones muy reducidas en relación con la extensión total del territorio indígena.

Entre 2016 y 2023, el territorio indígena evidencia una alta estabilidad de la cobertura boscosa, registrándose una reducción neta mínima, estimada en alrededor de 500 hectáreas. En contraste, la vegetación herbácea y las áreas asociadas a actividades productivas muestran un incremento localizado dentro del paisaje, reducido frente al total del territorio (Figura 4.e.4.2.).

Desde una perspectiva de análisis espacial (Figura 4.e.4.1.), se observa que la cobertura forestal presenta una estabilidad relativa, aunque con procesos de degradación y pérdida puntual en sectores específicos. Se identifican dinámicas de conversión de la cobertura concentradas en zonas de alta accesibilidad y áreas de borde (efecto de borde), vinculadas estrechamente a la proximidad de infraestructura vial, núcleos de asentamiento y predios de terceros.

### 4.5.3 Dinámica histórica del carbono

La dinámica del carbono aéreo se analizó para el periodo 2000–2023 utilizando datos multitemporales de la plataforma Chloris.

Los resultados muestran una tendencia decreciente en el stock de carbono, consistente con la pérdida de cobertura forestal observada en el mismo periodo, aunque en términos cuantitativos las variaciones totales son mínimas.

El análisis temporal evidencia disminuciones en el almacenamiento de carbono; sin embargo, también se identifican reducciones en áreas donde no se registran actividades agropecuarias, lo que podría estar asociado a procesos de degradación forestal de baja intensidad. Asimismo, el comportamiento del carbono presenta diferencias según el tipo de cobertura. Mientras que los bosques de tierra firme concentran los mayores niveles de carbono, los bosques inundables muestran una mayor variabilidad temporal, posiblemente relacionada con dinámicas hidrológicas y cambios en la estructura del bosque.

Desde una perspectiva espacial, las pérdidas de carbono se concentran principalmente en sectores próximos a vías de acceso y zonas de borde, donde coinciden procesos puntuales de conversión de cobertura forestal. De manera complementaria, se observa que áreas de cobertura forestal cercanas a pastizales y vegetación herbácea presentan disminuciones de carbono. Estas reducciones podrían estar asociadas a la recurrencia de quemas en áreas adyacentes, lo que podría potencialmente alterar en la estructura y composición del bosque circundante.

En conjunto, estos patrones sugieren que la disminución del carbono responde a múltiples factores que interactúan a distintas escalas, entre ellos la accesibilidad vial, la recurrencia de incendios y, en menor medida, la expansión localizada de actividades productivas.

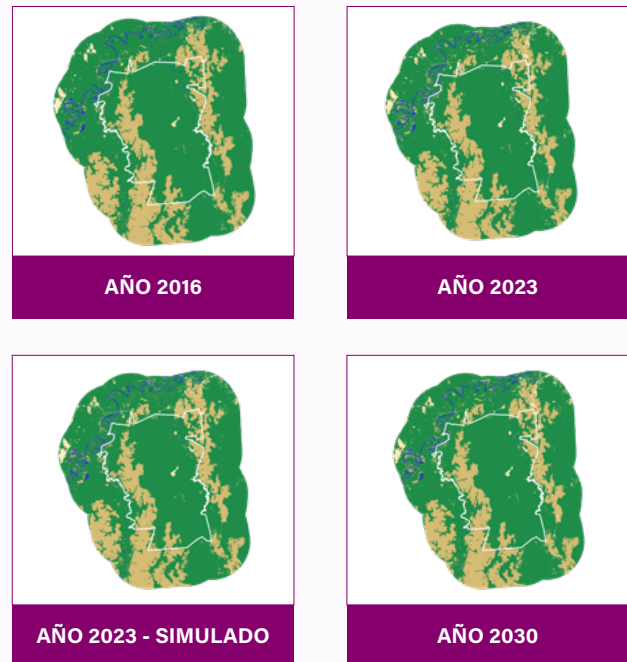
#### 4.5.4 Proyección de coberturas al 2030

La simulación de las coberturas al año 2030, basada en las tendencias observadas entre 2016 y 2023, indica que el paisaje mantendría una alta predominancia de vegetación natural, principalmente de cobertura forestal.

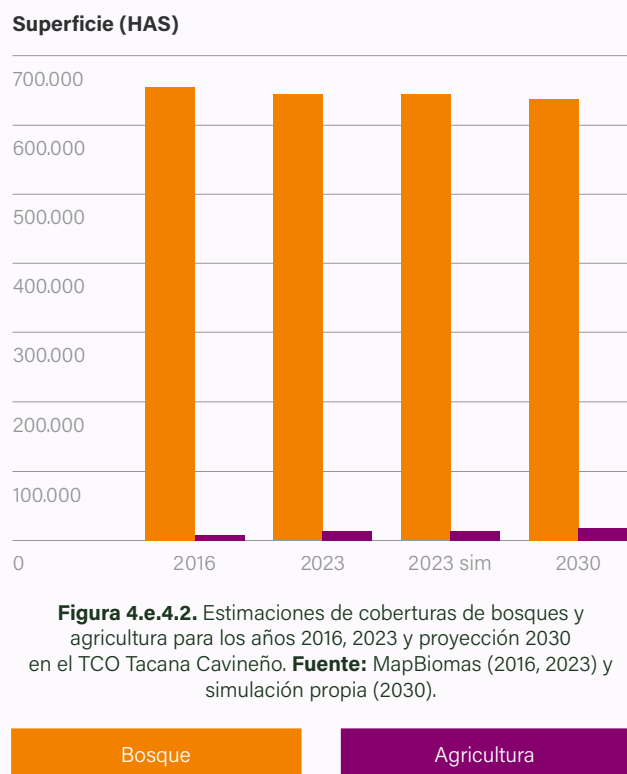
Los resultados (Figura 4.e.4.2.) muestran que la vegetación natural, especialmente la cobertura forestal, permanece relativamente estable hacia 2030, con una reducción proyectada menor al 2% de la superficie total.

Por su parte, la actividad agropecuaria presenta una tendencia de crecimiento; sin embargo, esta expansión se proyecta de manera localizada sobre áreas de bosque y vegetación herbácea, representando una proporción reducida en relación con la extensión total del territorio indígena.

Desde una perspectiva espacial, el modelo señala que los procesos de conversión de cobertura forestal se concentraron principalmente en zonas con mayor accesibilidad, tanto por vías terrestres como fluviales.



**Figura 4.e.4.1.** Mapas de cobertura y uso del suelo para los años 2016, 2023 y proyección 2030 en el TCO Tacana Cavineño. **Fuente:** MapBiomias (2016, 2023) y simulación propia (2030).



**Figura 4.e.4.2.** Estimaciones de coberturas de bosques y agricultura para los años 2016, 2023 y proyección 2030 en el TCO Tacana Cavineño. **Fuente:** MapBiomias (2016, 2023) y simulación propia (2030).

Asimismo, estas áreas podrían desempeñar un rol importante en el incremento de presiones asociadas a actividades agropecuarias y otras actividades productivas, como la extracción de madera, desarrolladas fuera del territorio indígena, particularmente en predios de terceros ubicados dentro o en las proximidades del territorio.

La proyección también muestra que el crecimiento de la actividad agropecuaria tendería a localizarse en áreas aledañas al territorio indígena y en superficies relativamente reducidas. No obstante, aunque la magnitud proyectada no es significativa, estas dinámicas podrían constituir una fuente potencial de presión sobre la cobertura forestal a mediano y largo plazo, especialmente en zonas de borde y sectores con mayor accesibilidad.

#### 4.5.5 Proyección de carbono al 2030

La proyección del carbono aéreo al 2030 dentro del Territorio indígena Tacana Cavineño muestra una ligera tendencia decreciente de stock de carbono en zonas localizadas como se vio en la proyección de cobertura y uso. El análisis espacial indica que las pérdidas de carbono estarán concentradas en áreas de mayor acceso, cerca de infraestructuras viales y fluviales y sectores donde ya existen actividades productivas.

Dado que el carbono está directamente asociado a la biomasa forestal, la disminución proyectada responde principalmente a la reducción de la cobertura de bosque y a cambios en la estructura del bosque. En este territorio, la cobertura forestal

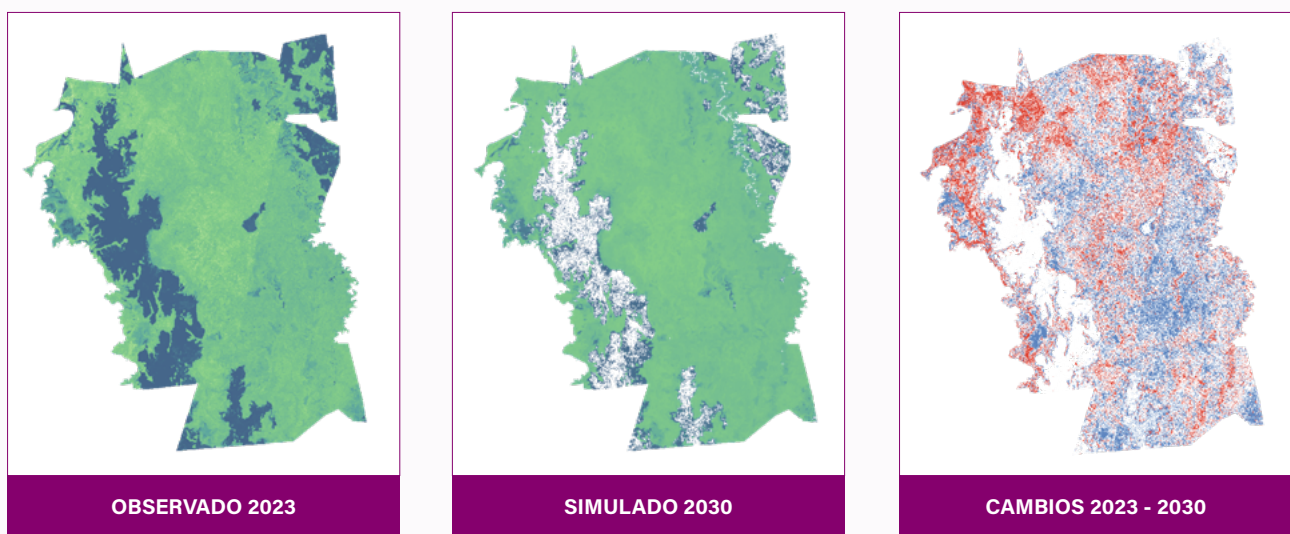
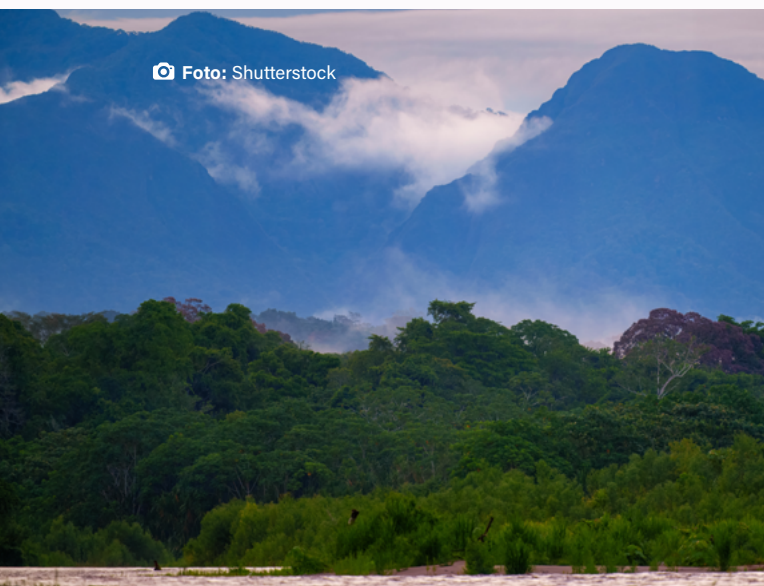


Figura 4.e.5.1. Estimaciones de carbono 2023 y proyecciones para el año 2030 en el TCO Tacana Cavineño.



se mantiene en el tiempo con cambios reducidos por lo que no sería correcto asociar directamente la pérdida de stock de carbono a procesos de deforestación. Es posible que la disminución del stock de carbono se deba a cambios de la estructura del bosque y la densidad de la biomasa.

Aunque la tendencia de disminución del carbono es reducida en términos generales, los resultados sugieren que las dinámicas asociadas a presiones externas, incendios recurrentes en la vegetación herbácea y procesos naturales vinculados a la estructura y dinámica del bosque podrían influir gradualmente en el almacenamiento de carbono del territorio a mediano y largo plazo.



#### 4.5.6 Principales hallazgos

El análisis permite evidenciar el importante rol de los territorios indígenas en la conservación de los bosques y la vegetación natural. De acuerdo con el análisis de cobertura y uso del suelo, el territorio presenta una alta estabilidad de sus coberturas naturales, donde aproximadamente el 80% de la superficie corresponde a cobertura forestal. A lo largo del periodo de estudio, la dinámica de cambio de cobertura y uso del suelo fue mínima. Las reducciones de bosque se registraron en superficies muy reducidas y en

sectores localizados, principalmente cercanos a infraestructuras viales y fluviales. Si bien la actividad agropecuaria constituye la principal dinámica de transformación de la cobertura forestal, su extensión es reducida en comparación con la superficie total del territorio.

En relación con el stock de carbono, los resultados muestran que las disminuciones observadas no están asociadas únicamente a procesos de deforestación, sino también a características propias de la estructura forestal, como las diferencias entre bosques inundables y bosques de tierra firme, así como a variaciones en la densidad de biomasa. Asimismo, la proximidad a sectores de mayor accesibilidad (infraestructura vial, fluvial) representa una presión potencial sobre la dinámica del almacenamiento de carbono.

Las proyecciones refuerzan la continuidad de estas tendencias, mostrando que la cobertura forestal se mantendría predominante y sin cambios significativos en su distribución espacial. Sin embargo, aunque no se proyectan procesos importantes de conversión del bosque, sí se observa una disminución gradual del stock de carbono, lo que podría estar asociado a procesos de degradación forestal de baja intensidad y a dinámicas naturales relacionadas con la estructura del bosque.

En conjunto, estos resultados sugieren la necesidad de fortalecer las acciones de control y monitoreo en las zonas de borde del territorio, así como consolidar mecanismos de gobernanza frente a las presiones externas y la presencia de propietarios terceros dentro de los territorios indígenas. Del mismo modo, se destaca la importancia de continuar fortaleciendo las asociaciones y formas de gestión territorial orientadas al cuidado del bosque y al aprovechamiento sostenible de sus recursos.

Finalmente, el análisis resalta la relevancia de conservar la estructura del dosel forestal como un elemento clave para mantener la capacidad del territorio de almacenar carbono, evitando procesos de degradación que puedan derivar en reducciones progresivas del stock de carbono a largo plazo.

## 4.6.

# Territorio Yek'wana, Venezuela

El territorio indígena Ye'kwana Ventuari **se ubica al noreste del estado Amazonas**, que abarca los municipios de Alto Orinoco y Manapiare, entre las cuencas del medio-alto Ventuari y Alto Orinoco, así como al oeste del estado Bolívar en la cuenca del río Caura (municipio Cedeño).

### 4.6.1 Descripción del paisaje

Este territorio forma parte de la Amazonía venezolana y constituye un espacio de alta relevancia ecológica y cultural (Figura 4.f.1.1). El área de estudio considerada en este trabajo corresponde principalmente al municipio Manapiare, que abarca el alto y medio río Ventuari, con una extensión superior a 10.000km<sup>2</sup>, donde se distribuyen más de 48 comunidades indígenas y aproximadamente 4.000 habitantes. La población es predominantemente Ye'kwana, con presencia de comunidades Sanema (subgrupo del pueblo Yanomami).

La distribución espacial de las comunidades se organiza principalmente a lo largo de los ríos, lo que evidencia el papel estructurante de los sistemas fluviales en la organización territorial, social y económica. El acceso al territorio es predominantemente fluvial y aéreo, lo que limita la expansión de infraestructura vial y modera las presiones externas.

Desde el punto de vista biofísico, el territorio presenta una alta diversidad de ecosistemas amazónicos, incluyendo bosques siempreverdes, bosques semicaducifolios, bosques inundables, sabanas arbustivas y arboladas, herbazales tepuyanos y vegetación saxícola. La predominancia de bosques húmedos tropicales se asocia con altos niveles de biomasa y, por ende, con importantes reservas de carbono.

El sistema hidrográfico es complejo y está dominado por el río Ventuari, que atraviesa el territorio y desemboca en el río Orinoco, junto con otros afluentes importantes como el río Parú y el río Asisa, además de múltiples cursos de agua secundarios. Esta red hídrica cumple un rol fundamental en la conectividad ecológica y en las dinámicas de uso del territorio.

Foto: Wataniba



Figura 4.f.1.1. Ubicación del Paisaje Ye'kwana Ventuari, Venezuela.



**Territorios Indígenas:**

- Ye'kwana - Sanema del medio y alto Ventuari
- Ye'kwana - Sanema de otros sectores
- Otros territorios indígenas

**Áreas Naturales Protegidas:**

- Parques nacionales y Monumentos naturales

**Símbolos:**

- Comunidades
- Capital de municipio
- Río principal
- Límite internacional
- Límite estatal
- Límite municipal
- Pistas

Las prácticas tradicionales del pueblo Ye'kwana están basadas en una cosmovisión de armonía con la naturaleza, e incluyen sistemas de uso del suelo como la rotación de conucos, la recolección, la pesca y una agricultura de baja intensidad. Estas prácticas favorecen la regeneración del bosque y contribuyen al mantenimiento de la integridad ecológica y del carbono forestal.

El territorio también presenta una importante dimensión cultural, caracterizada por la existencia de lugares sagrados (piedras, saltos, lagunas, cerros y orillas de río), que constituyen elementos fundamentales de la memoria colectiva y de la relación espiritual con el territorio. Esta dimensión cultural se traduce en prácticas de manejo que refuerzan la conservación de ecosistemas clave.

Adicionalmente, el territorio se superpone parcialmente con áreas bajo figuras de protección, como el Monumento Natural Macizo Parú-Euaja, el Monumento Natural Sierra Maigualida y sectores del Parque Nacional Caura, lo que refuerza la conservación del paisaje y la estabilidad de sus reservas de carbono.

En términos de gobernanza, el pueblo Ye'kwana cuenta con un sistema propio basado en principios de consenso, trabajo colectivo, respeto a la ley ancestral, armonía con la naturaleza y autodeterminación. Este sistema ha demostrado ser efectivo para la gestión sostenible del territorio y la conservación de los bosques.

No obstante, el territorio enfrenta presiones significativas, principalmente asociadas a la minería aurífera, tanto artesanal como mecanizada, así como a quemadas y otras formas de transformación del uso del suelo. Estas actividades generan impactos sobre los ecosistemas, la calidad del agua, la salud de las comunidades y la integridad del territorio. Asimismo, la presencia de actores externos y dinámicas socio-políticas complejas representan desafíos adicionales para la gobernanza territorial.

Frente a estas amenazas, el pueblo Ye'kwana ha desarrollado mecanismos de control territorial,

como el grupo de guardianes Ayakuweni, y sistemas propios de justicia indígena, orientados a proteger el territorio y regular el uso de los recursos.

En conjunto, el territorio Ye'kwana Ventuari se caracteriza por una alta integridad ecológica, una fuerte gobernanza indígena y presiones crecientes asociadas a actividades extractivas, configurando un paisaje clave para el análisis de la dinámica de cobertura y carbono en la Amazonía venezolana.

#### 4.6.2 Dinámica de uso y cobertura

El análisis de la dinámica de coberturas en el territorio Ye'kwana Ventuari, basado en MapBiomás Amazonía (Colección 6), evidencia un paisaje altamente conservado y predominantemente forestal.

Para el periodo analizado, aproximadamente el 92 % del territorio está cubierto por bosques naturales, el 1,38 % por bosques inundables y apenas el 0,04 % corresponde a áreas agrícolas, lo que confirma el carácter forestal y húmedo del paisaje.

La validación del modelo Dinamica EGO muestra niveles de similitud entre el mapa observado y el simulado para 2023 entre 0,41 y 0,64, lo que indica una correspondencia entre media y media-alta (Figura 4.f.2.1).

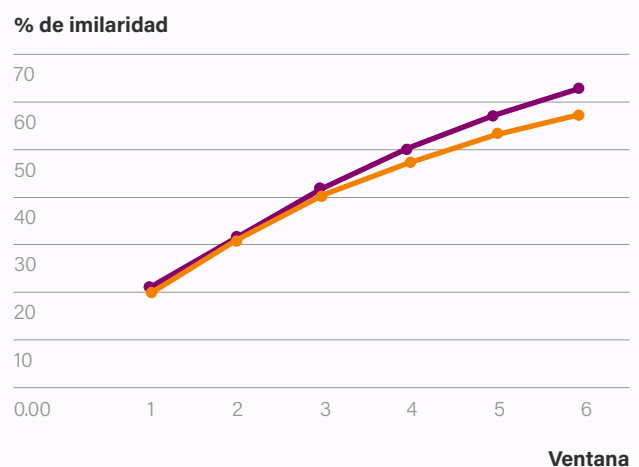


Figura 4.f.2.1. Validación del modelo por ventana.

—●— Mínima similitud      —●— Máxima similitud

Foto: Wataniba



En la comparación entre el mapa observado 2023 y el simulado, se identifican algunas discrepancias: el modelo tiende a sobreestimar bosques, áreas agrícolas y bosques inundables, mientras que subestima formaciones naturales no forestales, cuerpos de agua y áreas sin vegetación. Asimismo, se observa una expansión de áreas agrícolas hacia zonas boscosas, especialmente en sectores cercanos al río Ventuari.

**El análisis de cambios entre 2016 y la proyección al 2030 muestra tendencias claras:**

- Bosques naturales: disminución de -0,32%
- Bosques inundables: disminución de -2,70%
- Áreas agrícolas: incremento significativo de aproximadamente 40%
- Formación natural no forestal (FNNF): aumento de 3,97%
- Áreas sin vegetación: incremento de 50%

Estos cambios reflejan una dinámica de transformación incipiente pero focalizada, donde la expansión agrícola y de otras coberturas ocurre principalmente a expensas del bosque.

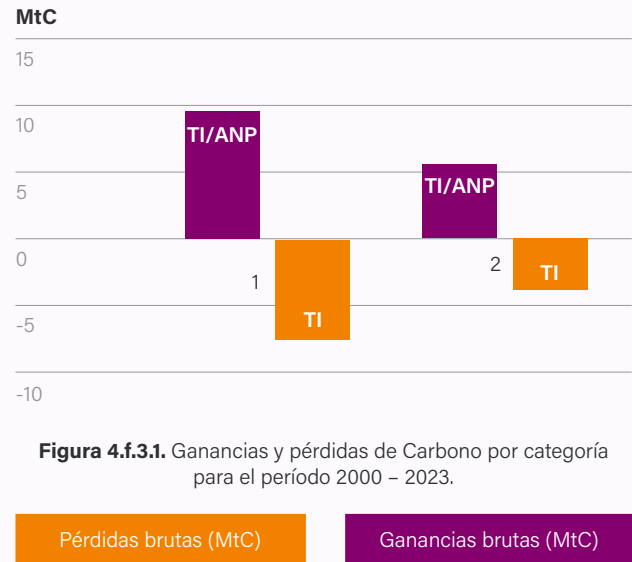
Especialmente, los cambios se concentran en áreas cercanas a los principales ríos, especialmente el Ventuari, donde se observa expansión agrícola y transición hacia otras coberturas. Asimismo, en los bosques inundables ubicados hacia el oeste y noroeste del PAL se identifican transiciones hacia formaciones naturales no forestales.

En conjunto, los resultados indican que el territorio Ye'kwana mantiene una alta estabilidad en su cobertura forestal, pero con señales de cambio localizadas asociadas a la expansión agrícola y transformaciones en zonas accesibles, principalmente fluviales.

### 4.6.3 Dinámica histórica del carbono

El análisis de la dinámica del carbono para el periodo 2000–2023 muestra que el territorio Ye'kwana mantiene un balance neto positivo de carbono, aunque con procesos simultáneos de ganancia y pérdida.

El stock de carbono en territorios indígenas (TI) pasó de 118,24 MtC en 2000 a 120,22 MtC en 2023, lo que representa un incremento neto de +1,98 MtC (+1,7%). De manera similar, en áreas TI/ANP el aumento fue de +1,05 MtC (+1,4%) (Tabla 4.f.3.1).



**Figura 4.f.3.1.** Ganancias y pérdidas de Carbono por categoría para el período 2000 – 2023.

Categoría	2000 (MtC)	2023(MtC)*	Cambio neto (MtC)	Cambio neto (%)	Ganancias brutas (MtC)	Pérdidas Brutas (MtC)
TI	118.23561	120.2174599	1.98	1.7%	9.68	-7.70
TI/ANP	76.884893	77.93714229	1.05	1.4%	5.43	-4.38
<b>Total</b>					<b>15.110</b>	<b>-13.125</b>

**Tabla 4.f.3.1.** Ganancias y pérdidas de Carbono por categoría para el período 2000 – 2023.

**Sin embargo, este balance positivo resulta de un equilibrio entre:**

- Ganancias brutas: 9,68 MtC (TI)
- Pérdidas brutas: -7,70 MtC (TI)

Para el año 2023, la pérdida de carbono forestal alcanza 7,70 MtC, asociada principalmente a incendios forestales, actividad minera y deforestación.

Desde una perspectiva espacial, las pérdidas de carbono se concentran en el centro del PAL, particularmente entre los ríos Parú y Ventuari y en el entorno del sector Cacurí, donde se ha intensificado la actividad minera y los incendios.

**El análisis también evidencia diferencias importantes entre tipos de bosque:**

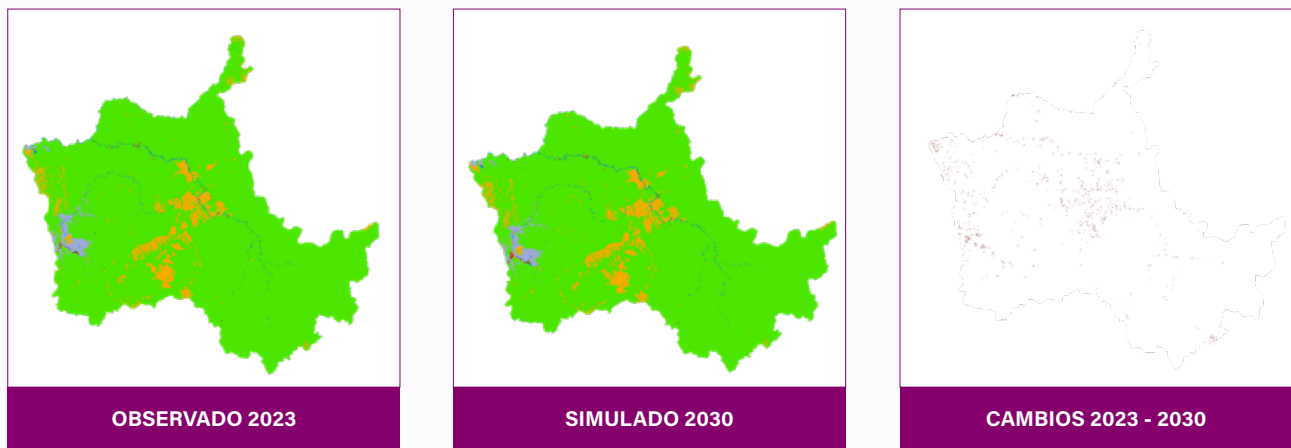
- Bosques inundables: mayores pérdidas de carbono
- Bosques de tierra firme: pérdidas menores

Este patrón sugiere una mayor vulnerabilidad de los ecosistemas inundables frente a presiones antrópicas.

En conjunto, aunque el territorio mantiene un balance positivo de carbono, se evidencian procesos de degradación localizados que afectan la biomasa y el almacenamiento de carbono.

#### 4.6.4 Proyección de coberturas al 2030

La proyección de coberturas al 2030, basada en los patrones observados entre 2016 y 2023, indica la continuidad de las tendencias actuales de cambio en el territorio Ye'kwana (Figura 4.f.4.1).



**Figura 4.f.4.1.** Estimaciones de la Cobertura y Uso del Suelo, proyecciones para el año 2030 y cambios entre el periodo 2023-2030 en el PAL de Ye'kwana Ventuari.



Los resultados muestran una leve reducción de la cobertura forestal, particularmente en bosques inundables, junto con una expansión significativa de las áreas agrícolas y otras coberturas como las formaciones naturales no forestales.

La expansión agrícola proyectada ocurre principalmente en áreas cercanas a los ríos, especialmente el Ventuari, extendiéndose hacia zonas boscosas. Asimismo, se identifican transiciones de bosques inundables hacia FNNF en sectores del oeste y noroeste del territorio.

En términos generales, el paisaje mantendría su carácter predominantemente forestal, pero con procesos de transformación localizados que podrían intensificarse en zonas de mayor accesibilidad.

#### 4.6.5 Proyección de carbono al 2030

La proyección del carbono al 2030 muestra una tendencia a la pérdida de carbono aéreo, en concordancia con la reducción de las zonas de los bosques inundables (Figura 4.f.5.1).



**Figura 4.f.5.1.** Estimaciones de carbono 2023, proyecciones para el año 2030 y cambios entre el periodo 2023-2030 en el PAL de Ye'kwana Ventuari.



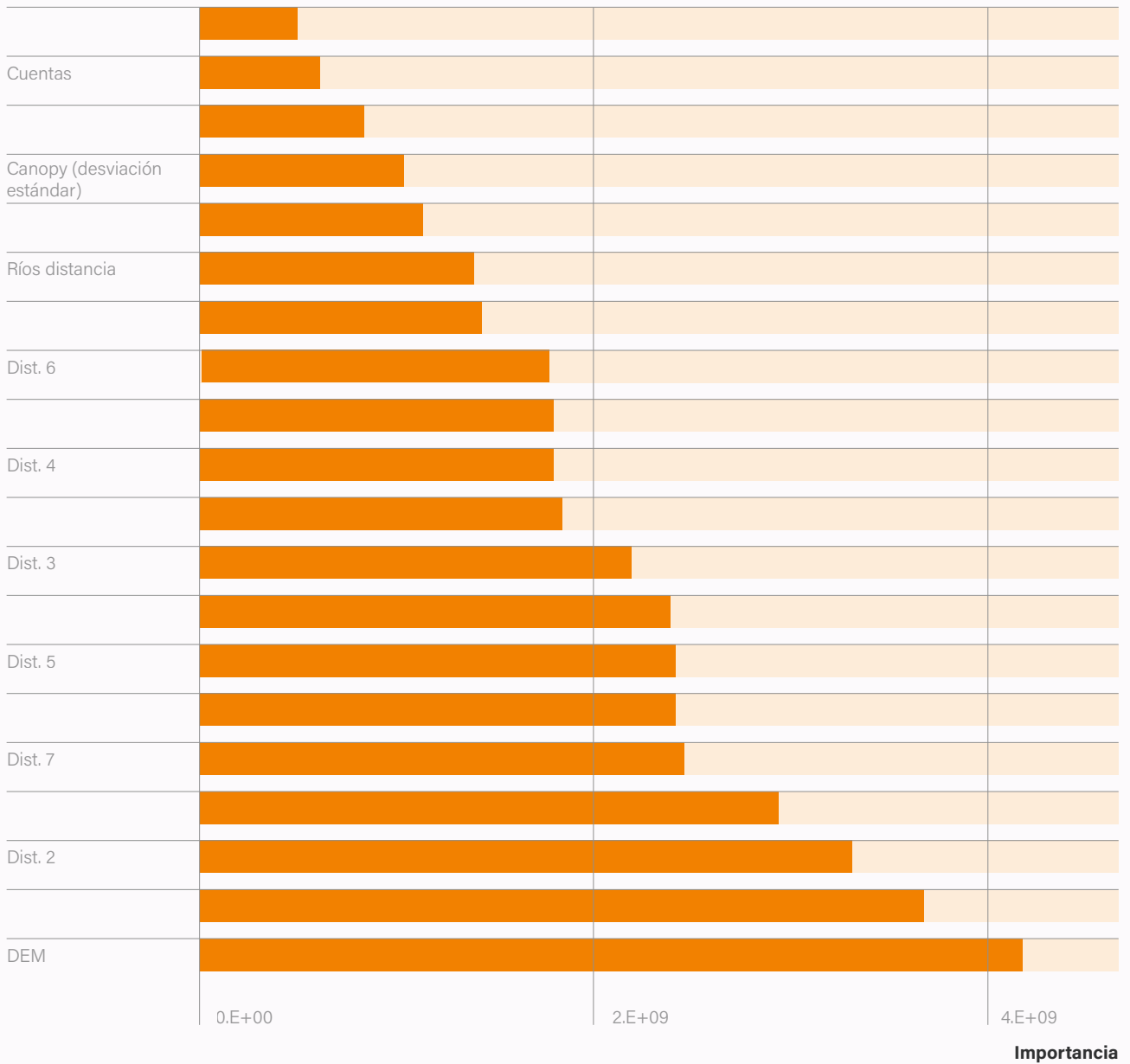
Según el modelo, el valor máximo de carbono para el año 2023 fue de 268 MgC/ha, mientras que, para el año 2030, el mayor valor fue de 216 MgC/ha, con una pérdida del carbono aéreo de 52 MgC/ha, lo que se refleja en la pérdida de cobertura forestal asociada a las intervenciones agrícolas. Aunque hay zonas dentro del territorio indígena con ganancia, al observar los cambios del año 2023 con el simulado al 2030, indica una pérdida importante, afectando así la dinámica de los ecosistemas.

El modelo de predicción, basado en Random Forest, presenta un alto nivel de correlación ( $R^2=88,58\%$ , mejorado a 94% sin outliers) y una reducción significativa del error al ajustar los datos.

**Entre las variables más importantes en la predicción destacan (Figura 4.f.5.2):**

- Formación Natural No Forestal (FNNF)
- Modelo Digital de Elevación (DEM)
- Bosques inundables

**Variable**



**Figura 4.f.5.2.** Importancia de variables dentro de múltiples interacciones de predicción con Random Forest.

**Los resultados muestran que:**

- En bosques inundables, la pérdida de carbono es mayor
- En bosques de tierra firme, la pérdida es menor

En algunos píxeles analizados, el carbono disminuye de 181 a 172 tC/ha entre 2023 y 2030, evidenciando procesos de degradación.

Las zonas de mayor pérdida coinciden con áreas de intervención por minería, deforestación y quemas, lo que refuerza la relación entre presión antrópica y reducción del carbono.

En conjunto, el territorio Ye'kwana mantendría su función como reservorio de carbono, pero con riesgos de degradación localizados, especialmente en ecosistemas inundables.

#### 4.6.6 Principales hallazgos

El análisis del territorio Ye'kwana Ventuari evidencia un paisaje con alta integridad ecológica y predominancia forestal, donde aproximadamente el 92% del territorio se mantiene cubierto por bosques naturales, con una transformación muy limitada del uso del suelo.

A diferencia de otros paisajes amazónicos analizados, la dinámica de cambio en Ye'kwana es reducida y espacialmente localizada, manteniendo una alta estabilidad en la cobertura forestal. No obstante, se identifican señales de cambio asociadas principalmente a la expansión de áreas agrícolas y al incremento de coberturas como formaciones naturales no forestales y áreas sin vegetación, especialmente en zonas cercanas a los principales ríos.

Las proyecciones al 2030 indican la continuidad de estas tendencias, con una ligera reducción del bosque y una expansión significativa, aunque aún en términos absolutos reducida, de las áreas agrícolas. Este patrón sugiere un proceso de transformación incipiente, pero con potencial de intensificación en zonas de mayor accesibilidad.

En términos de carbono, el territorio presenta un balance neto positivo en el periodo 2000–2023 (+1,7%), resultado de que las ganancias brutas

superan a las pérdidas. Sin embargo, este balance oculta procesos simultáneos de degradación, con pérdidas significativas de carbono (-7,70 MtC) asociadas a incendios, minería y deforestación.

El análisis espacial muestra que los bosques inundables son los ecosistemas más vulnerables, concentrando mayores pérdidas de carbono en comparación con los bosques de tierra firme. Esta vulnerabilidad se refleja también en las proyecciones al 2030, donde se evidencian disminuciones más marcadas en estas áreas.

Las zonas críticas de cambio se concentran en el centro del territorio, particularmente entre los ríos Parú y Ventuari, donde la expansión de actividades mineras y la ocurrencia de incendios han generado impactos sobre la biomasa y el almacenamiento de carbono.

En conjunto, los resultados indican que el territorio Ye'kwana mantiene actualmente una alta capacidad de conservación de bosques y carbono, pero enfrenta presiones crecientes que generan procesos de degradación localizados. Este patrón refuerza la importancia de la gobernanza indígena como mecanismo de contención de la deforestación, al tiempo que evidencia la necesidad de fortalecer acciones de control territorial frente a actividades extractivas.

## FINALMENTE...

el análisis metodológico muestra un buen desempeño de los modelos utilizados, con niveles de similitud media-alta en la simulación de coberturas y alta correlación en la modelación de carbono, lo que respalda la consistencia de los resultados y su utilidad para la toma de decisiones.



Foto: Wataniba

# 5.

## Conclusiones generales

El análisis integrado de los seis Paisajes de Acción Piloto (PAL) distribuidos en la Amazonía biogeográfica —el Territorio Indígena del Xingu (Brasil), el Paisaje Mirití-Paraná (Colombia), el Territorio Waorani (Ecuador), el Paisaje Kakataibo (Perú), el Territorio Indígena Tacana Cavineño (Bolivia) y el Territorio Ye'kwana (Venezuela)— permite identificar tendencias comunes, diferencias significativas y hallazgos con implicaciones directas para la conservación, la gobernanza territorial y las políticas públicas en la región.



# 5.1.

## Tendencias comunes entre los PAL

A pesar de la heterogeneidad ecológica, cultural y geopolítica de los territorios analizados, el conjunto de resultados revela patrones recurrentes que trascienden las particularidades de cada paisaje.

En primer lugar, todos los PAL mantienen una cobertura forestal dominante, con valores que oscilan entre el 71% (Kakataibo, 2023) y el 98–99 % (Waorani, 2023). Esta persistencia del bosque en territorios con gestión indígena activa contrasta de manera consistente con los patrones observados en las áreas circundantes sin mecanismos de gobernanza territorial consolidados, donde las tasas de deforestación son sistemáticamente más altas. Este hallazgo, consistente con lo reportado por Walker y col. (2020), WRI (2023), refuerza el valor de los territorios indígenas y las áreas naturales protegidas como barreras efectivas frente a la expansión de la frontera agropecuaria.

En segundo lugar, y de manera significativa, todos los PAL registran una disminución en el carbono aéreo almacenado durante el periodo 2000–2023, aun cuando la cobertura forestal se mantiene relativamente estable. Este patrón es especialmente evidente en los territorios con menor presión antrópica —como Mirití-Paraná, Waorani y Ye'kwana—, donde la pérdida de carbono no está asociada a deforestación extensiva, sino a procesos de degradación forestal de baja intensidad:

disturbios selectivos, incendios, cambios en la estructura del dosel y modificaciones en la densidad de biomasa. En algunos casos posiblemente también asociados a incrementos de la temperatura por cambios climáticos. La única excepción parcial es el Territorio Ye'kwana, que presenta un balance neto positivo de carbono (+1,7% entre 2000 y 2023), aunque este resultado coexiste con pérdidas brutas significativas (-7,70 MtC) asociadas a la actividad minera y los incendios.

En tercer lugar, las proyecciones al 2030 son consistentes en señalar la continuidad de estas tendencias bajo un escenario de cambio constante: persistencia o ligera reducción de la cobertura forestal, expansión de usos agropecuarios y reducción gradual del stock de carbono. Los cambios proyectados se concentran en zonas de borde y áreas de mayor accesibilidad, lo que sugiere que la dinámica futura estará fuertemente condicionada por factores de conectividad territorial y presión externa.

Finalmente, en todos los PAL los bosques inundables emergen como los ecosistemas más vulnerables, con pérdidas de carbono proporcionalmente mayores que las de los bosques de tierra firme, asociadas tanto a dinámicas hidrológicas como a presiones humanas localizadas. Esta vulnerabilidad diferencial es relevante para el diseño de estrategias de monitoreo y gestión.

## 5.2.

# Diferencias significativas entre los PAL

Los seis paisajes presentan diferencias en cuanto a la magnitud, naturaleza y velocidad de los cambios observados, que reflejan contextos ecológicos, sociopolíticos y de presión antrópica distintos. En términos de intensidad de transformación, el Paisaje Kakataibo (Perú) constituye el caso más crítico: registra una reducción del 21% en su cobertura forestal entre 2000 y 2023 —ya que pasa del 90% al 71% del paisaje—, con una pérdida de 287.305 hectáreas de bosque y una disminución del carbono almacenado del orden del 15% (31,4MtC). Las proyecciones al 2030 indican la continuidad de esta tendencia, con una pérdida adicional estimada de 102.000 hectáreas. Este comportamiento es cualitativamente distinto del resto de los PAL y refleja la intensidad de las presiones derivadas de la expansión agropecuaria, la apertura de caminos y el cultivo de coca en zonas externas a los esquemas de protección.

En el extremo opuesto, el Territorio Waorani (Ecuador) y el Territorio Mirití-Paraná (Colombia) se posicionan como los paisajes más conservados, con coberturas forestales superiores al 90% y niveles de deforestación cercanos a cero durante el periodo analizado. En ambos casos, la pérdida de carbono es mínima (-1% en Mirití-Paraná entre 2016 y 2023) y responde principalmente a procesos de degradación interna de baja intensidad, más que a la conversión de bosque.

El Territorio Indígena del Xingu (Brasil) y el Territorio Indígena Tacana Cavineño (Bolivia) presentan situaciones intermedias: mantienen una alta

cobertura forestal con tendencias de transformación progresiva, asociadas a presiones externas e internas que, aunque de menor magnitud que en Kakataibo, evidencian vulnerabilidades crecientes. En el TIX destaca la presión del agronegocio en la periferia del territorio y el incremento en perturbaciones en zonas de borde; en el Territorio Indígena Tacana Cavineño, la accesibilidad vial y la expansión agrícola constituyen los principales motores de cambio.

El Territorio Ye'kwana (Venezuela) representa un caso particular: es el único PAL que registra un balance neto positivo de carbono en el periodo histórico, lo que refleja el buen estado de conservación del territorio y la efectividad de su gobernanza indígena. Sin embargo, la actividad minera ilegal y los incendios generan pérdidas brutas significativas en sectores específicos, especialmente en el centro del PAL, que configura focos de degradación que podrían intensificarse.

Desde una perspectiva comparativa, la diferenciación territorial dentro de cada PAL es un hallazgo transversal: en todos los casos, las áreas naturales protegidas (ANP) muestran la mayor estabilidad en cobertura y carbono; los territorios indígenas (TI) presentan pérdidas moderadas; y las otras tierras —fuera de cualquier esquema de protección— concentran las mayores tasas de deforestación y pérdida de carbono. En el Paisaje Kakataibo, por ejemplo, las otras tierras registraron una pérdida del 24,5% del carbono inicial entre 2000 y 2023, frente al -8% en TI y una variación prácticamente nula en ANP.

## 5.3.

# Implicaciones para la gobernanza territorial indígena

Los resultados de este estudio **aportan evidencia cuantitativa** robusta sobre el papel de los territorios indígenas como pilares de la conservación amazónica.

**E**n los seis PAL analizados, la gobernanza territorial indígena —sustentada en sistemas de derecho propio, prácticas de manejo ancestral y mecanismos de vigilancia comunitaria— se asocia de manera consistente con menores tasas de deforestación, mayor estabilidad de la cobertura forestal y mejor conservación del carbono almacenado en comparación con las áreas sin este tipo de gestión o sin protección formal (ANP o los mismos TI en el caso de Brasil).

Sin embargo, los resultados también evidencian que la gobernanza indígena no opera de manera aislada ni en condiciones de plena seguridad jurídica. Las presiones externas —minería ilegal, expansión agropecuaria, proyectos extractivos sin consentimiento libre, previo e informado, invasiones de tierras— generan impactos mensurables

sobre la biomasa y los ecosistemas, incluso en territorios con sistemas de gobernanza consolidados como Waorani, Mirití-Paraná y Ye'kwana. Esto sugiere que la efectividad de la gobernanza indígena como mecanismo de conservación depende, en parte, de condiciones externas que escapan al control de las comunidades, lo que incluye el marco jurídico nacional, la presencia estatal y la dinámica de los mercados regionales.

En este sentido, fortalecer la seguridad jurídica de los territorios indígenas, garantizar el reconocimiento pleno de sus derechos territoriales y apoyar el desarrollo de instrumentos propios de planificación y monitoreo constituyen acciones prioritarias para sostener las contribuciones de estos territorios a la conservación amazónica.

## 5.4.

# Recomendaciones para el manejo y el monitoreo

Los hallazgos de este estudio permiten identificar un **conjunto de recomendaciones** orientadas a mejorar la gestión territorial y el monitoreo de la dinámica del carbono en los PAL y en la Amazonía en general:



Complementar los indicadores de deforestación con métricas de carbono. La cobertura forestal estable no implica necesariamente estabilidad en los stocks de carbono. Los procesos de degradación forestal —no siempre visibles en los mapas de cobertura— pueden generar pérdidas significativas de biomasa. El monitoreo integrado de cobertura y carbono es indispensable para una evaluación más completa de la integridad ecológica de los paisajes.



Priorizar la protección de bosques inundables. Estos ecosistemas muestran una vulnerabilidad sistemáticamente mayor en todos los PAL, tanto en términos de pérdida proporcional de área como de reducción de carbono. Su conservación requiere estrategias de manejo específicas que consideren su sensibilidad a cambios hidrológicos y presiones antrópicas localizadas.



Fortalecer el monitoreo en zonas de borde y áreas de alta accesibilidad. En todos los PAL, los cambios más significativos en cobertura y carbono se concentran en estas zonas. El monitoreo territorial focalizado en estas áreas, con participación de las comunidades indígenas, puede contribuir a la detección temprana de actividades humanas contrapuestas a la sostenibilidad y a la implementación oportuna de medidas de control.

Foto: Walter Sangama / Instituto del Bien Común



Apoyar los mecanismos comunitarios de vigilancia territorial. Los sistemas propios de guardianes territoriales —como el grupo Ayakuweni en el territorio Ye'kwana o la Guardia Indígena Kakataibo— han demostrado ser instrumentos efectivos para la contención de actividades ilícitas. Su fortalecimiento, con recursos y respaldo institucional, es clave para la defensa de los territorios y la conservación de sus ecosistemas.



Actualizar periódicamente las proyecciones de cobertura y carbono. Las proyecciones al 2030 presentadas en este estudio asumen tasas de cambio constantes basadas en el periodo 2016–2023. Su validez depende de la continuidad de las tendencias observadas, que pueden verse alteradas por cambios en las políticas nacionales, la dinámica de los mercados o la intensificación del cambio climático. Se recomienda actualizar las proyecciones con cada nueva colección de MapBiomias y nuevos datos de carbono de la plataforma Chloris.

## 5.5.

# Limitaciones metodológicas

**Los resultados de este estudio** deben interpretarse considerando algunas limitaciones metodológicas relevantes.

**E**n primer lugar, las proyecciones de cobertura y carbono al 2030 se basan en un escenario de cambio constante, sin incorporar variaciones en las tasas de deforestación, cambios en políticas o efectos del cambio climático. Este supuesto simplificador puede subestimar la magnitud de los cambios en escenarios de intensificación de presiones o sobreestimarlos en contextos de mejora de la gobernanza.

En segundo lugar, la calidad de las estimaciones de carbono depende de la resolución y precisión de los datos de la plataforma Chloris (30 metros), que puede no capturar procesos de degradación de muy baja intensidad o cambios en la estructura del dosel a escala subpixel. Esta limitación es especialmente relevante en territorios con baja deforestación, pero alta degradación, como Mirití-Paraná y Waorani.

En tercer lugar, la heterogeneidad en la disponibilidad y detalle de la información entre los distintos PAL introduce cierta asimetría en la profundidad del análisis.

Estas limitaciones no invalidan los hallazgos, pero señalan áreas de mejora para estudios futuros, así como la incorporación de escenarios múltiples, el uso de datos de mayor resolución y el fortalecimiento de las capacidades de monitoreo en todos los territorios participantes.



Foto: Rosana Monteverde / Instituto del Bien Común

## 5.6.

# Perspectivas y relevancia para la política pública

Los resultados de este estudio tienen implicaciones directas para el diseño de políticas públicas orientadas a la conservación amazónica y a la justicia climática. En un contexto en el que la Amazonía enfrenta presiones crecientes y en el que los compromisos climáticos nacionales e internacionales demandan evidencia sólida sobre las contribuciones de los territorios indígenas a la mitigación del cambio climático, los hallazgos de este trabajo aportan elementos concretos para tres líneas de acción prioritarias.

Primera, el reconocimiento y la titulación de territorios indígenas como mecanismo de política climática. Los datos presentados demuestran que los TI amazónicos funcionan como reservorios de carbono efectivos, con tasas de pérdida sistemáticamente menores que las de las áreas sin protección. Incorporar el reconocimiento de estos territorios en los marcos nacionales de reducción de emisiones y en los mecanismos de financiamiento climático internacional —por ejemplo, REDD+ y fondos de adaptación— puede contribuir tanto a la conservación como a la justicia territorial.

Segunda, la necesidad de articular la ciencia con los saberes indígenas en el diseño de estrategias de conservación. Los sistemas de gobernanza territorial indígena analizados en este estudio no

solo conservan el bosque: generan conocimiento local sobre la dinámica de los ecosistemas que complementa y enriquece los análisis basados en teledetección. La coproducción de conocimiento entre equipos técnicos y comunidades indígenas, como la desarrollada en el marco de este proyecto, debe constituir un principio orientador para futuras iniciativas de monitoreo y gestión.

Tercera, la urgencia de controlar las presiones externas sobre los territorios indígenas. Los resultados del Paisaje Kakataibo ilustran con claridad que la gobernanza indígena, por sí sola, no puede contener las fuerzas de transformación que operan en su entorno. La expansión agropecuaria, la apertura de vías de acceso, la minería ilegal y los cultivos ilícitos constituyen amenazas que requieren respuestas de política pública coordinadas, con la participación de los Estados nacionales, las organizaciones indígenas y la cooperación internacional.

En conjunto, este estudio ofrece una base empírica rigurosa para sostener que la conservación de los territorios indígenas amazónicos no es solo una cuestión de justicia cultural y derechos humanos: es también una estrategia de alto valor para la mitigación del cambio climático, la conservación de la biodiversidad y la integridad ecológica de uno de los sistemas de vida más importantes del planeta.



# REFERENCIAS

- Baccini, A., Walker, W., Carvalho, L., Farina, M., Sulla-Menashe, D., & Houghton, R. A. (2017). Tropical forests are a net carbon source based on aboveground measurements of gain and loss. *Science*, 358(6360), 230–234. <https://doi.org/10.1126/science.aam5962>
- Barber, C. P., Cochrane, M. A., Souza, C. M., & Laurence, W. F. (2014). Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon. *Biological Conservation*, 177, 203–209. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.07.004>
- Blackman, A., & Veit, P. (2018). Amazon indigenous communities cut forest carbon emissions. *Ecological Economics*, 153.
- Bonham-Carter, G. F. (2014). *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS* (Vol. 13). Elsevier.
- Da Silva Cruz, J., Cavalcante Blanco, C. J., & de Oliveira Júnior, J. F. (2022). Modeling of land use and land cover change dynamics for future projection of the Amazon. *Science of The Total Environment*, 811. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152348>
- Eastman, J. R., Van Fossen, M., & Solarzano, L. (2005). Transition potential modeling for land cover change. En D. J. Maguire, M. Batty & M. F. Goodchild (Eds.), *GIS, Spatial Analysis and Modeling* (pp. 357–386). ESRI Press.
- Espinoza, V. (2015). Dinámica EGO: Una herramienta para modelar cambios de uso del suelo. *Boletín del Colegio de Geógrafos del Perú*, 3, 148–164.
- Fassnacht, F. E., et al. (2014). Review of methods for the estimation of aboveground biomass with optical sensor data. *Remote Sensing of Environment*, 151, 290–309. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.11.014>
- Franco, M. A., Rizzo, L. V., Teixeira, M. J., Artaxo, P., Azevedo, T., Lelieveld, J., Nobre, CA, Pohlker, C., Pöschl, U., Shimbo, J., Xu, X, Machado, LAT. (2025). How climate change and deforestation interact in the transformation of the Amazon rainforest. *Nature Communications*, 16. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-63156-0>
- García-Álvarez, D., Camacho Olmedo, M. T., Van Delden, H., Mas, J. F., & Paegelow, M. (2022). Comparing uncertainty in LUCC models. *Environmental Modelling & Software*, 153. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105411>
- Gatti, L.V., et al. (2021). Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. *Nature*, 595(7867), 388–393. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03629-6>
- Global Forest Review. (2024). Tropical forest loss trends. World Resources Institute.
- González-González, A., Villegas, J. C., Clerici, N., & Salazar, J. F. (2021). Deforestation dynamics in Colombia. *Ecological Indicators*, 126. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107695>
- Hagen, A. (2003). Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps. *International Journal of Geographical Information Science*, 17, 235–249.

- HANSEN, M. C. et al. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, v. 342, n. 6160, p. 850-853, 2013. DOI: 10.1126/science.1244693. Datos disponibles en: <https://glad.umd.edu/dataset>
- IDEAM. (2010). Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Bogotá.
- Junk, W. J., Bayley, P. B., & Sparks, R. E. (1989). The flood pulse concept. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*, 106.
- Lucas EWM, De Sousa FAS, Silva, FDS, Da Rocha Jr. RL, Pinto DDC, Da Silva VPR. (2021). Trends in climate extreme indices assessed in the Xingu river basin-Brazilian Amazon. *Weather and Climate Extremes*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2021.100306>
- Macedo, M., Tipula, P., & Ríos, S. (2022). Deforestación en territorio Kakataibo. En *Despojo y violencia en Unipacuyacu*. IBC.
- Nascimento, N., West, T. A. P., Biber-Freudenberger, L., Sousa-Neto, E. R., Ometto, J., & Börner, J. (2020). Bayesian modeling of land-use decisions. *Journal of Land Use Science*, 15, 127–141. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2019.1709223>
- Navarro, M.F., Calamari, N. C., & Mosciaro, M. J. (2023). Forest cover dynamics in Argentina. *Journal for Nature Conservation*, 73. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2023.126391>
- Pinagé ER, Keller M., Duffy P., Longo M., Dos Santos MN, Morton, DC. (2019). Long-Term Impacts of Selective Logging on Amazon Forest Dynamics from Multi-Temporal Airborne LiDAR. *Remote Sensing*, 11(6), 709. <https://doi.org/10.3390/rs11060709>
- Gonzales V., Melgar Y., Monroy F., Gonzales A. (2025). Plan de gestión Territorial de la TIOC Tacana Cavineño. Fundación Amigos de la Naturaleza.
- MapBiomass – Coleção 10 de la Serie Anual de Mapas de Cobertura y Uso del Suelo del Brasil, consultada en 20.nov.2025 a través del enlace: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org>
- Fundación Amigos de la Naturaleza, 2024. Deforestación en Bolivia 1956 -2023. Disponible en <https://storymaps.arcgis.com/stories/4dcdcd1b2b274f09a43c041df406d28d>
- RAISG (2022). Pasado y futuro de la deforestación en la Amazonía. Disponible en <https://www.RAISG.org/es/publicaciones/>
- RAISG (2025). Dinámica del carbono aéreo almacenado en los bosques de la Amazonía biogeográfica al 2030. Disponible en: <https://www.RAISG.org/es/publicaciones/>
- Ricketts TH, Soares-Filho B, da Fonseca GAB, Nepstad D, Pfaff A, Peterson A, Anderson A., Boucher D., Cattaneo A., Conte M., Creighton K., Linden L., Maretti C., Moutinho P., Ullman R., Victurine R. (2010) Indigenous Lands, Protected Areas, and Slowing Climate Change. *PLoS Biol* 8(3): e1000331. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1000331>
- Santoro, M. y Cartus, O. (2023). ESA Biomass Climate Change Initiative datasets. <https://doi.org/10.5285/AF60720C1E404A9E9D2C145D2B2EAD4E>
- Schwartzman, S., Nepstad, D.C., y Moreira, A. (2000). Tropical forest conservation debates. *Conservation Biology*, 14(5), 1370–1374.

- Soares-Filho, BS. 2016. O papel das áreas protegidas da Amazônia, em especial as com apoio do ARPA, na redução do desmatamento. Rio de Janeiro: Funbio, 13 p. Disponible en: [https://www.funbio.org.br/wp-content/uploads/2018/02/Papel-das-Areas-Protegidas\\_PT.pdf](https://www.funbio.org.br/wp-content/uploads/2018/02/Papel-das-Areas-Protegidas_PT.pdf).
- Soares-Filho, BS, Cerqueira, GC, Pennachin CL. (2002). DINAMICA—a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modelling*, 154, 217–235. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00059-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00059-5)
- Soares-Filho, BS, Nepstad, DC, Curran, L.M., Cerqueira, GC, Garcia, RA, Ramos, CA, Voll, E., McDonald, A., Lefebvre, P., Schlesinger, P. 2006. Modelling conservation in the Amazon basin. *Nature* 440 (7083): 520-523
- Soares-Filho, B. S., Rodrigues, H. O., & Costa, W. (2009). Modeling Environmental Dynamics with Dinamica EGO.
- Soares-Filho, B. S., Moutinho, P., Nepstad, D., Maretti, C. (2010). Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation. *PNAS*, 107 (24), 10821–10826. <https://doi.org/10.1073/pnas.091304810>
- Soares-Filho, B. S., Rodrigues, H. O., Follador, M. (2013). Calibration of land-use models. *Environmental Modelling & Software*, 43, 80–87.
- Walker, W. S., et al. (2020). Carbon dynamics in indigenous territories. *PNAS*, 117(6), 3015–3025. <https://doi.org/10.1073/pnas.1913321117>
- Victorio Gonzales, J. E., & Hopfgartner, K. (2024). Modeling future projections of land use and land cover in the Kakataibo territory. *ISPRS Archives*, XLVIII-3-2024, 571–576. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-3-2024-571-2024>



# DINÁMICA HISTÓRICA

y escenario futuro del carbono aéreo  
almacenado en Paisajes de Acción  
Piloto en la Amazonía biogeográfica