



OBSERVATORIO SOCIOAMBIENTAL SUR VENEZUELA Edición Especial #05

Cobertura del Suelo 2023-2024

2025

SOSOrinoco

Caracas, Venezuela

INTRODUCCIÓN

El informe técnico presenta un análisis exhaustivo de la cobertura de la Amazonía venezolana entre 2000 y 2024, con un enfoque particular en los cambios observados en los años 2023 y 2024. El estudio se basa en el procesamiento y análisis de imágenes satelitales Landsat, seleccionadas por su baja cobertura de nubes y corregidas atmosféricamente para garantizar la precisión de los datos. La metodología empleada incluye la generación de imágenes medias y la derivación de índices espectrales como NDVI, NDMI, SAVI y EVI, que permiten caracterizar las diferentes coberturas de la tierra. La clasificación de estas coberturas se realizó mediante el algoritmo Random Forest, una técnica de aprendizaje automático que proporciona resultados robustos y precisos. El área de estudio se dividió en estados (Amazonas, Bolívar, Delta Amacuro y Guayana Esequiba) para facilitar el procesamiento y análisis de los datos. El objetivo principal de este informe es evaluar la deforestación y la expansión de actividades humanas en la región, proporcionando una visión detallada de los cambios en la cobertura de la Amazonía venezolana.

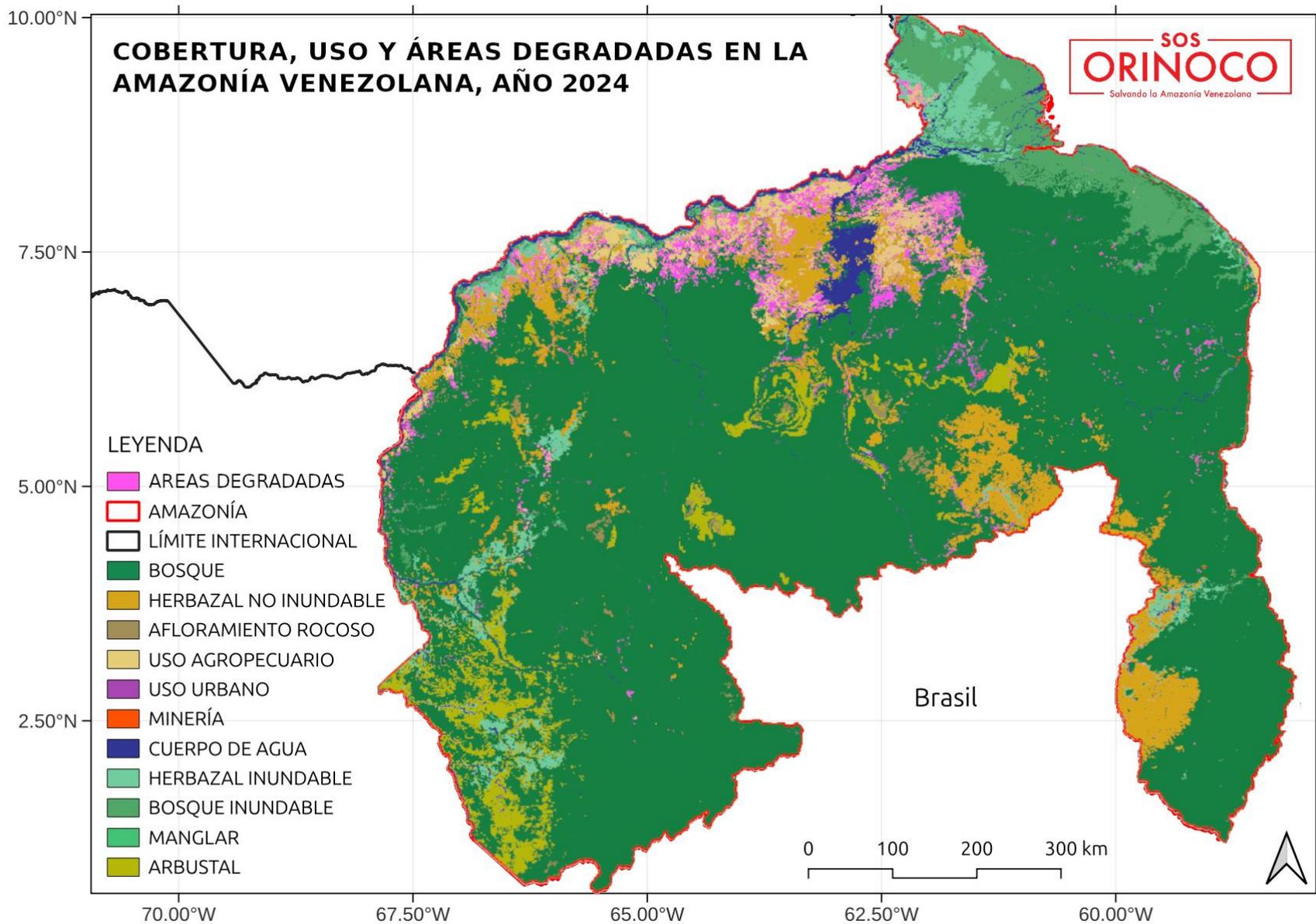
RESUMEN DE LA SITUACIÓN

El estudio analiza la cobertura de la Amazonía venezolana entre 2000 y 2024, utilizando imágenes satelitales Landsat para clasificar las áreas de bosque, sabanas naturales, áreas agrícolas y de extracción minera, así como otras coberturas naturales y antrópicas. Se encontró una reducción de 820.000 hectáreas de bosque desde el año 2000, con una aceleración de la pérdida desde 2015. Las sabanas naturales también disminuyeron significativamente. La minería y la agricultura son los principales causantes de la deforestación, especialmente en la Guayana Esequiba donde la minería ha aumentado considerablemente. Se proyecta que la reducción de las coberturas naturales continuará en los próximos años.

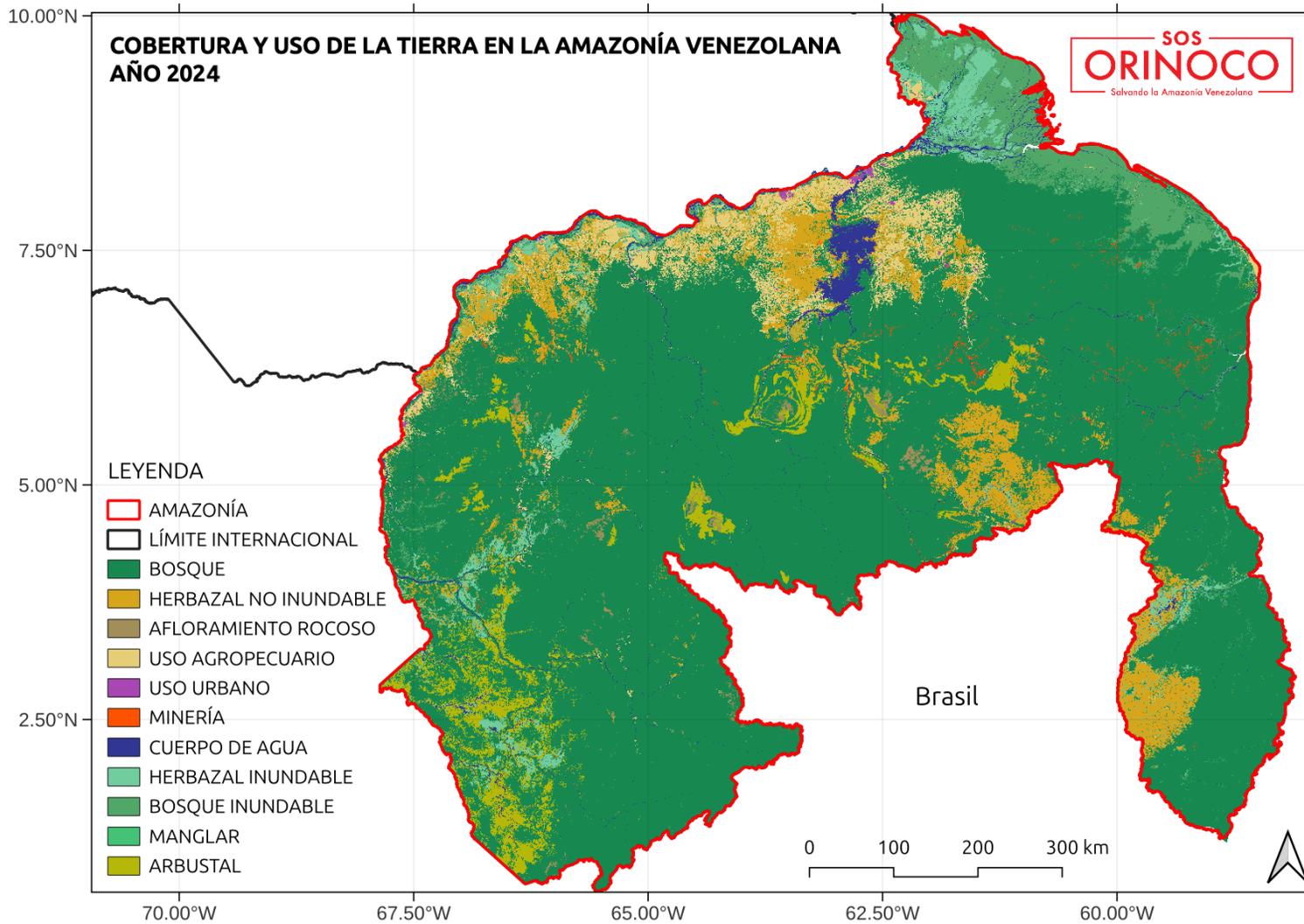
TENDENCIA

La tendencia en la transformación de la cobertura de la superficie de la Amazonía venezolana es una reducción acelerada de las coberturas naturales, especialmente bosque y sabanas, debido principalmente a la expansión de la agricultura y la minería. Esta tendencia se observa con mayor intensidad desde 2015 y se proyecta que continuará en los próximos años, con una posible pérdida de más de 1.300.000 hectáreas para 2025 y 1.500.000 para 2030 si no se toman medidas para contrarrestarla.

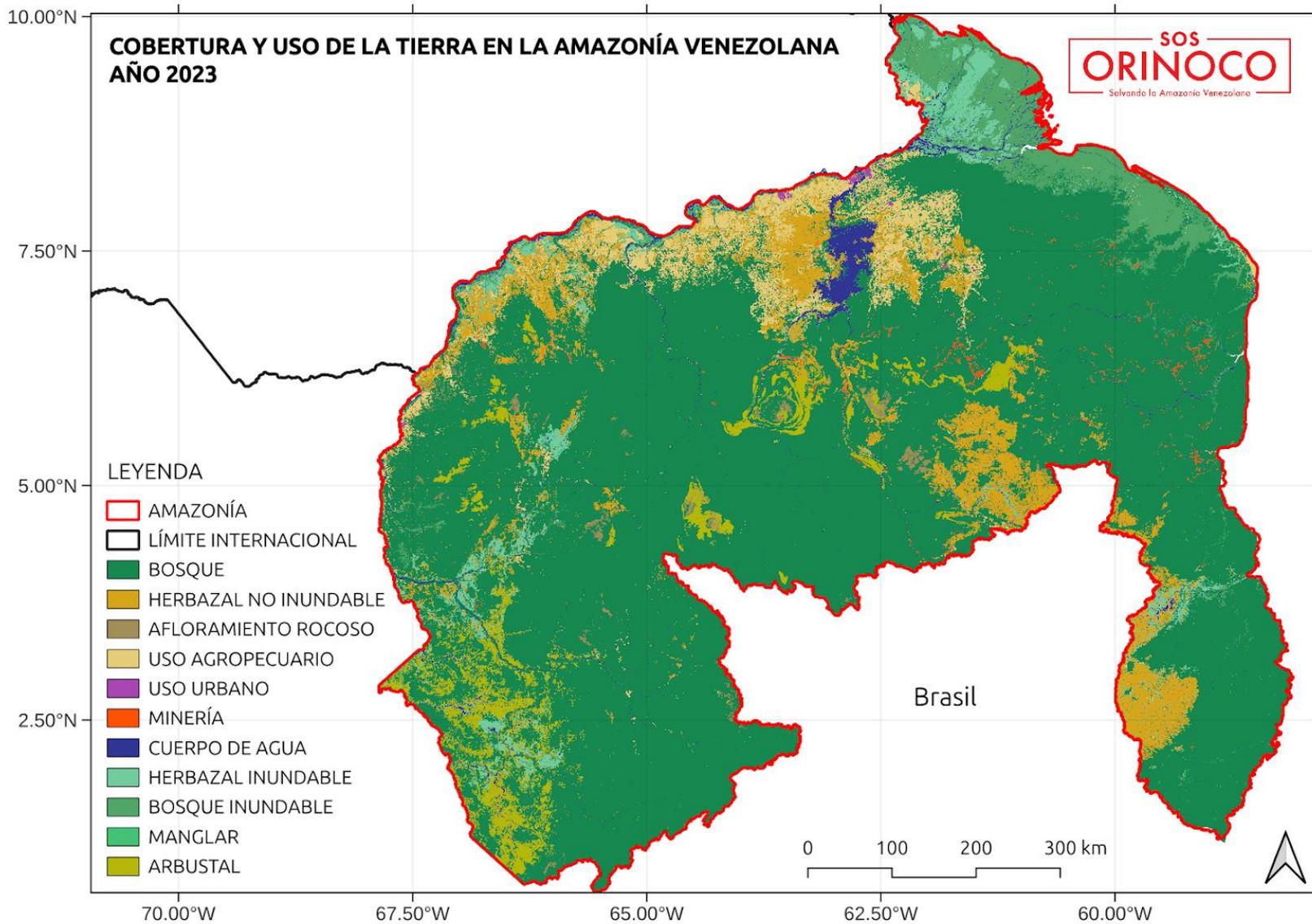
MAPA DE LAS ÁREAS DEGRADAS EN LA AMAZONÍA VENEZOLANA, AÑO 2024



MAPA DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA EN LA AMAZONÍA VENEZOLANA, AÑO 2024

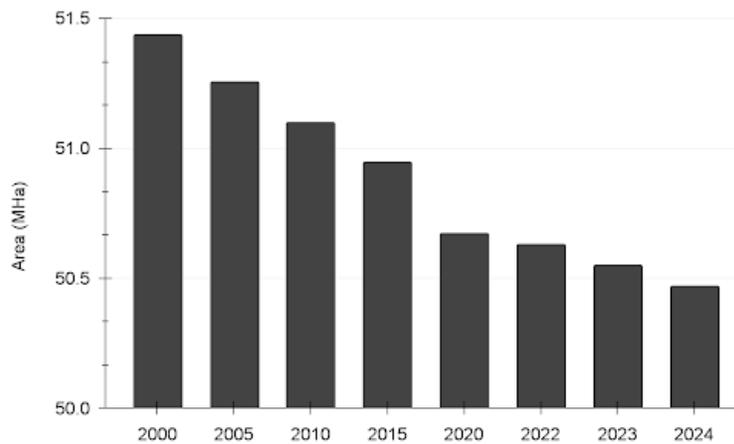


MAPA DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA EN LA AMAZONÍA VENEZOLANA, AÑO 2023

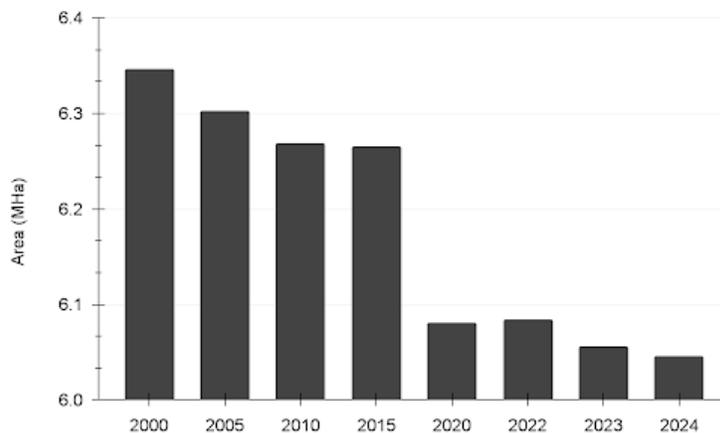


HALLAZGOS

Desde el año 2000 la superficie del bosque en la Amazonía venezolana se ha reducido en al menos unas 820.000 ha. Pero es importante notar que desde el año 2015 la disminución ha sido de unas 475.000 hectáreas, lo que supera el 40% del total de pérdida encontrada para los últimos 24 años analizados. Aunque para el año 2024 el bosque cubre el 82% de la Amazonía venezolana, su superficie ha ido disminuyendo progresivamente en el tiempo, y esta disminución se ha acelerado desde el año 2015.



En el caso de las sabanas naturales, la disminución de su superficie ha sido aún más marcada. Para 2024, estas formaciones ocupan 6.000.000 de hectáreas, unas 300.000 ha menos de lo que ocupaban en 2000. Al igual que ocurre con el bosque, la disminución de las áreas de herbazales se ha acelerado desde el año 2015. La figura a continuación muestra el comportamiento del bosque y los herbazales naturales en la Amazonía venezolana durante los últimos 23 años.

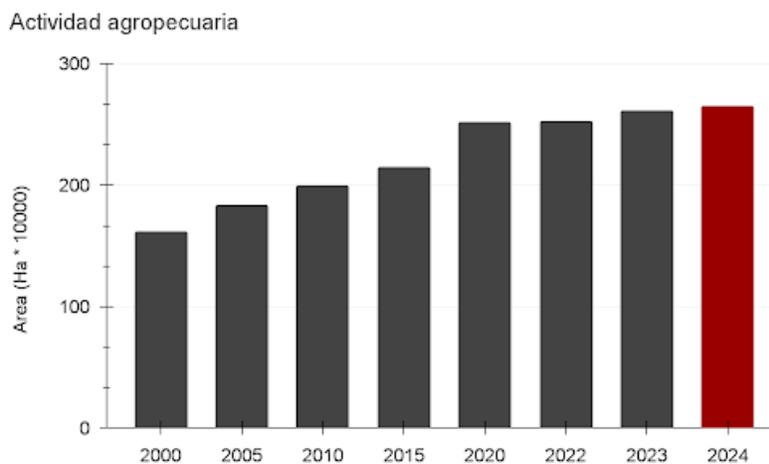


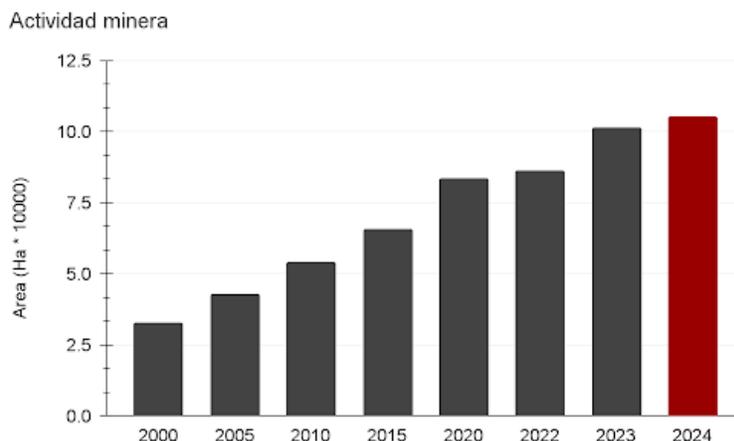
En resumen, las coberturas naturales se han reducido en más de 1.100.000 de hectáreas entre los años 2000 y 2024, con una marcada tendencia a la baja en los siguientes años. De hecho, nuestras proyecciones sugieren que para 2025 la reducción en las coberturas naturales de la Amazonía superará las 1.300.000 hectáreas y para 2030 sería mayor a 1.500.000 hectáreas, si continúa la tendencia observada en los últimos 23 años.

Las actividades agropecuarias y de extracción minera constituyen los dos principales causantes de la pérdida del bosque en el área de estudio. Ambas actividades alcanzaron para 2024 1.65 veces el área que ocupaban en el año 2000, mostrando una tasa de expansión de casi 50.000 hectáreas por año. Es particularmente alarmante:

- La intensificación de estas actividades en la región entre 2015-2024, período en el que la tasa de expansión supera las 60.000 hectáreas por año.
- El rápido incremento que en particular tiene la minería. Sumando las zonas de explotación más todas aquellas áreas que potencialmente pueden verse afectadas y destruidas por esta actividad encontramos que el área de afectación para 2024 es de al menos 200.000 hectáreas, lo que representa una expansión de más de 500% respecto del año 2000.

La figura a continuación muestra el comportamiento de las actividades agropecuaria y minera (ésta última incluyendo el área de explotación y las zonas potencialmente afectadas por esta actividad) durante los años que analizamos.

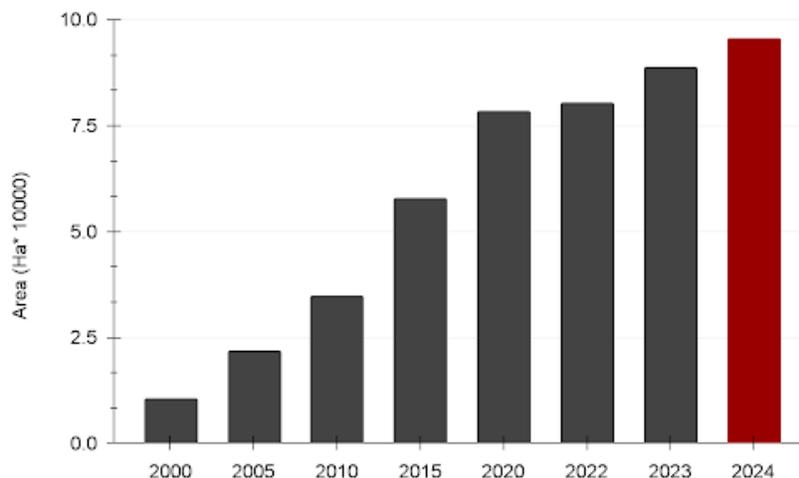




En el caso de la Guayana Esequiba el principal causante reducción en la cobertura forestal es la minería, a diferencia de lo que ocurre en el resto de la Amazonía venezolana, donde lo es la expansión de zonas agrícolas y/o ganaderas en mayor medida. De acuerdo con nuestros resultados, la minería en la Guayana Esequiba cubre para 2024 un área de al menos 95.000 hectáreas, lo que representa más de 9 veces lo que cubría en el año 2000.

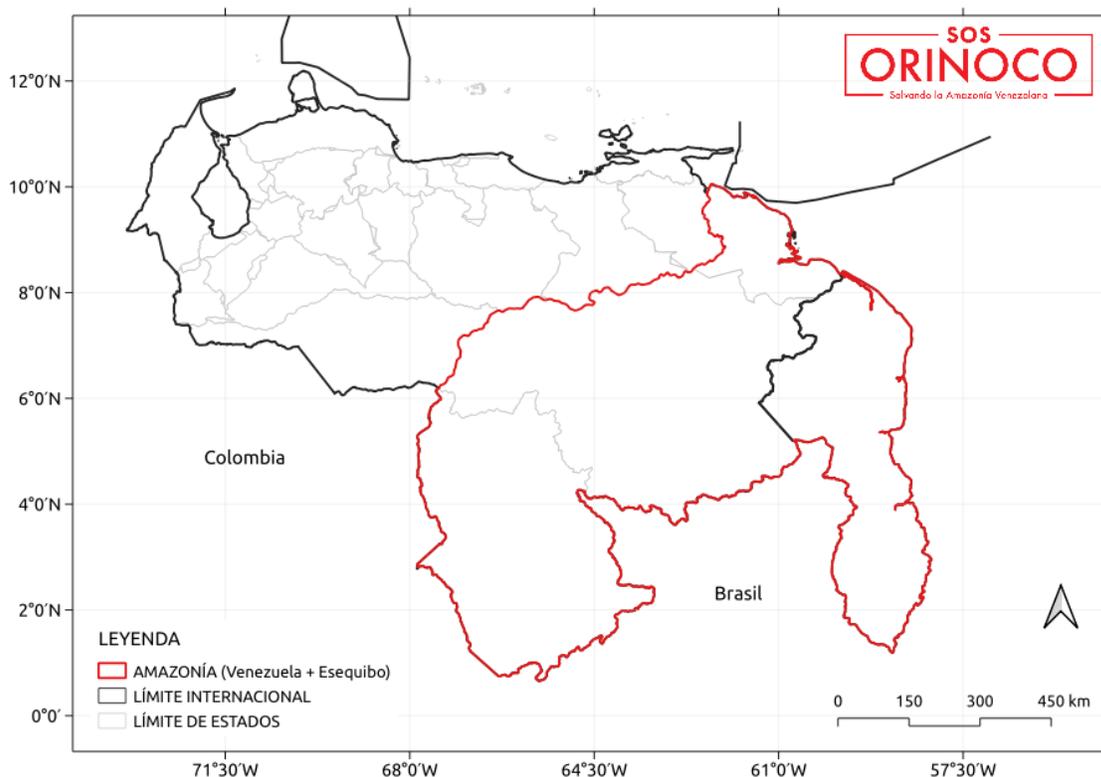
Al igual que en el resto de la Amazonía venezolana, la minería en la Guayana Esequiba también ha ido en aumento progresivo desde el año 2000, a una tasa promedio superior a 3500 hectáreas por año. Sin embargo, es a partir de 2015 cuando ocurre un aumento importante en esta actividad, superando las 4200 hectáreas anuales, prácticamente el doble de lo que se explotaba antes de ese año.

Nuestros análisis revelan un preocupante avance de la minería entre 2022 y 2024 en la Guayana Esequiba. Durante ese período, la superficie afectada se expandió en casi 15400 hectáreas, lo cual representa más de ocho veces el crecimiento registrado entre 2020 y 2022, que fue de aproximadamente 1850 hectáreas.



METODOLOGÍA

El área de estudio se dividió en estados (Amazonas, Bolívar, Delta Amacuro y Guayana Esequiba) para facilitar el manejo de los datos y reducir los tiempos de procesamiento. La disposición y división del área de trabajo se muestran en la figura a continuación.



Cada estado se clasificó por separado. Luego, los resultados de los 4 estados se agruparon para formar las capas de clasificación correspondiente. Como referencia para delimitar la zona de interés, se utilizó la capa del límite de estados oficial de Venezuela, generada por el Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB) y actualizada por el equipo de SOS Orinoco.

Con base en las observaciones de los miembros del equipo de SOS Orinoco, concedores del área amazónica venezolana, se hicieron ajustes en la metodología, entre ellos:

- Ensayos con diferentes tamaños de muestra por cobertura.
- Mejoras en la identificación de las zonas de entrenamiento para el clasificador.
- Cambios en la leyenda inicial e inclusión de coberturas como, afloramientos rocosos, bosques inundables, herbazales inundables, manglares y arbustales, que inicialmente no estaban siendo consideradas.

A continuación, se describe la metodología utilizada por el equipo de SOS Orinoco para la generación de las clasificaciones de cobertura para la Amazonía venezolana.

SELECCIÓN DE IMÁGENES

El área correspondiente a la Amazonía venezolana abarca 33 escenas Landsat, para cada una de las cuales se utilizó como mínimo 3 imágenes con corrección atmosférica (Surface Reflectance) para cada año. Los datos Landsat pueden accederse libremente a través de la plataforma de la [USGS](https://www.usgs.gov/).

Para realizar nuestras clasificaciones, se seleccionaron imágenes que tuvieran menos de 15% de cobertura de nubes. Además, se descartaron aquellas imágenes con nubes que potencialmente pudiesen afectar el resultado final del estudio. Se utilizaron los datos de los diferentes satélites de Landsat (5, 7 y 8), como se muestra en la tabla a continuación, para cubrir la ventana temporal requerida.

	2000	2005	2010	2015, 2020 - 2022-2024
Satélite que genera la imagen	5 y 7	5 y 7	5 y 7	8

Una vez seleccionados y filtrados los datos satelitales, para cada año se generó la imagen media y a partir de ella se derivaron los índices espectrales NDVI, NDMI, SAVI y EVI. En la tabla a continuación se muestran las expresiones utilizadas para obtener estos índices.

	NDVI	NDMI	SAVI	EVI
Expresión	$\frac{[IRc - Rojo]}{[IRc + Rojo]}$	$\frac{[IRc - IRoc]}{[IRc + IRoc]}$	$\frac{[1.5 * (IRc - Rojo)]}{[0.5 + IRc + Rojo]}$	$\frac{[2.5 * (IRc - Rojo)]}{[1 + IRc + 2.5 * Rojo]}$

Donde:

- IRC: banda Infrarrojo cercano (NIR)
- IRoc: banda Infrarrojo de onda corta (SWIR1)
- Rojo: banda rojo (RED)

Estos datos se utilizaron como insumo para generar las clasificaciones de cobertura en el área de estudio.

MUESTRAS DE ENTRENAMIENTO

Se generaron puntos para identificar las coberturas naturales y antrópicas que están presentes en la Amazonía venezolana. Estos puntos se distribuyeron de manera pseudoaleatoria sobre el área de estudio, tomando en cuenta los siguientes criterios:

Coberturas naturales

Para ubicar espacialmente las muestras correspondientes a las coberturas naturales (zonas de bosque y vegetación herbácea / sabana, cuerpos de agua y coberturas inundables) se utilizó como referencia la clasificación GlobCover generada por la Agencia Espacial Europea, el producto de Cambio Global de Cobertura del Bosque de Hansen y los datos de MapBiomas Amazonía. En cada año se generaron las siguientes cantidades de muestras por cobertura

- Cuerpos de agua: 10000 muestras.
- Bosques inundables: 10000 muestras.
- Herbazales inundables: 10000 muestras.
- Manglares: 10000 muestras.
- Herbazales no inundables: 20000 muestras.
- Bosques: 40000 muestras.
- Arbustales: se identificaron usando una postclasificación con base en cotas altitudinales

Coberturas antrópicas

Para las coberturas antrópicas (actividad agropecuaria, minera, zonas con infraestructura urbana o industrial y otras zonas intervenidas), las muestras se generaron en áreas delimitadas con polígonos de referencia que genera y actualiza continuamente el equipo de SOS Orinoco. También se utilizó como referencia la clasificación de cobertura y uso generadas por el equipo de SOS Orinoco para el área que cubre el Arco Minero.

Como herramientas de apoyo para visualización, se emplearon los mosaicos que ofrece Google (Google map/satellite), ESRI, Apple (satellites.pro) y la plataforma Planet.

IDENTIFICACIÓN DE COBERTURAS

Clasificación

Las clasificaciones de cobertura se realizaron utilizando el método de clasificación Random Forest (Breiman 2001). Para todos los años, la clasificación de cada conjunto de imágenes se generó utilizando las muestras asignadas a las 4 áreas de clasificación definidas. Los resultados de cada año se unieron para formar una sola capa de cobertura y uso de la Amazonía venezolana.

Revisión y postprocesamiento

Las clasificaciones de cada año fueron ajustadas de acuerdo con las siguientes reglas temporales:

- Cualquier pixel distinto de bosque en el año 2000 se cambió a bosque si en el resto de la serie ese pixel quedó clasificado como bosque.
- Cualquier pixel distinto de bosque en 2000 se cambió a bosque si el producto de Hansen registraba más de 95% de probabilidad de ser bosque en ese año.
- Si en el año 2000 se identificó un pixel con actividad agropecuaria, minería o infraestructura, se mantuvo ese el valor del año 2000 para el resto de los años analizados. Esta regla se aplicó también para los años 2005, 2010, y 2015. De esta manera se garantiza que las áreas intervenidas no son erróneamente clasificadas

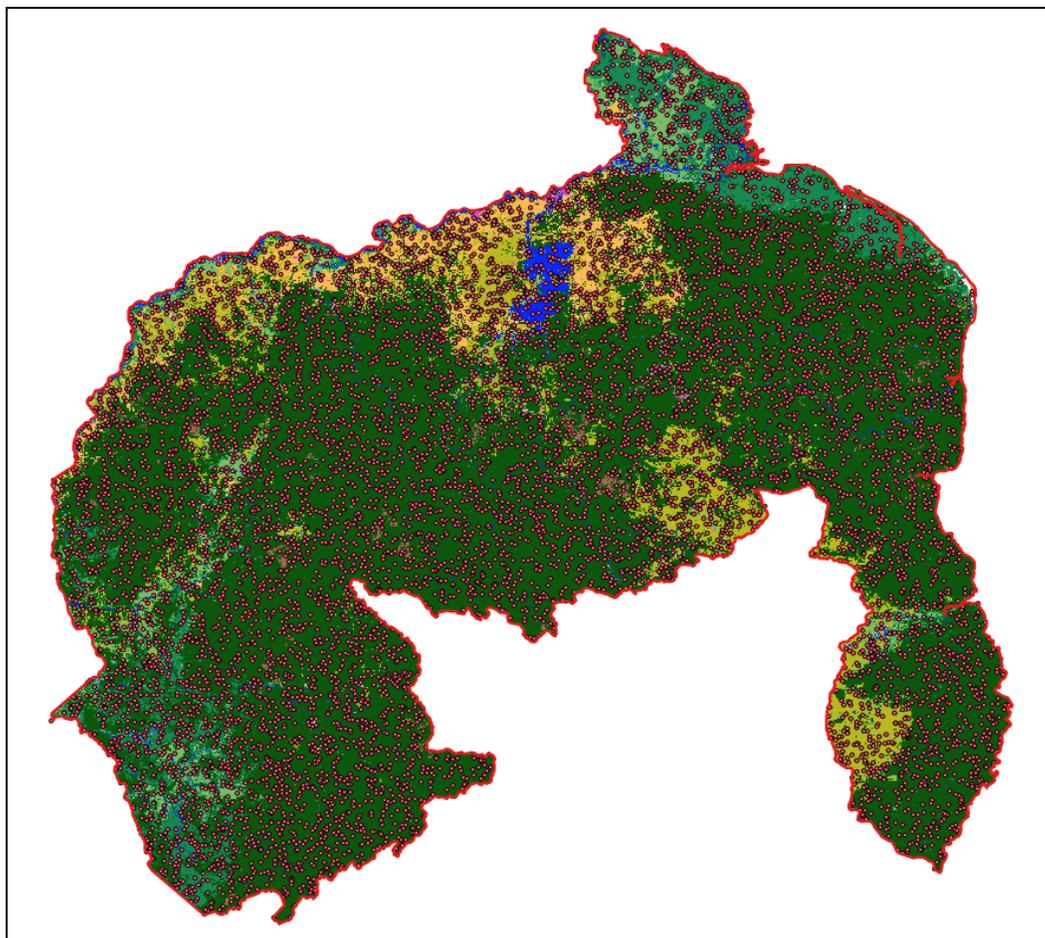
como naturales en años posteriores.

- Si en 2000 y 2024 se identificó un píxel con el mismo valor de cobertura, se asignó ese valor a los años intermedios también.
- En todos los años se usó un suavizado espacial para eliminar aquellos píxeles aislados o grupos de hasta 5 píxeles conectados. De esta forma garantizamos resultados con mejor sentido cartográfico.
- Se utilizaron polígonos generados manualmente para la reclasificación de los principales afloramientos rocosos. Estos afloramientos se identificaron con ayuda del equipo de SOS Orinoco.

Luego del procesamiento descrito anteriormente obtuvimos las imágenes clasificadas de cobertura para la Amazonía venezolana, como se muestra en la imagen a continuación.

Validación

Para realizar la validación se generaron 10.000 muestras distribuidas aleatoriamente en la Amazónica venezolana y el territorio esequibo, como se muestra en la figura a continuación.



A cada punto se asignó la cobertura correspondiente con base en la interpretación de los mosaicos que ofrece Google (Google map/satellite), ESRI, Apple (satellites.pro) y la plataforma Planet.

Con estos datos se realizó el análisis de precisión basado en una matriz de confusión, que arrojó una precisión global de 85%. Encontramos además que la mayor incertidumbre (25%) estuvo asociada a la identificación de coberturas no forestales, especialmente cuando se intenta diferenciar vegetación herbácea (natural) en zonas con actividad agropecuaria. La vegetación forestal, los cuerpos de agua y la actividad minera fueron las coberturas que mostraron los menores valores de incertidumbre en nuestro estudio: 5%, 7% y 10% respectivamente.

Pérdida de Bosque

A partir de las capas clasificadas de cobertura se calculó el área correspondiente a pérdida de bosque, considerando el año 2000 como línea base. Se utilizó la siguiente expresión para realizar el cálculo para los años 2005, 2010, 2015, 2020, 2023 y 2024:

- $Pb = Cf - Cb$
- Donde:
- Pb: Pérdida de bosque.
- Cf: Cobertura de bosque en el último año.
- Cb: Cobertura de bosque en el año base.

De acuerdo con nuestras estimaciones, entre 2000 y 2024 se han perdido más de 960.000 hectáreas de bosque en los estados amazónicos de Venezuela. Solo entre 2023 y 2024, la deforestación alcanzó al menos 80.000 hectáreas, impulsada principalmente por la expansión de actividades agropecuarias, mineras y, en menor medida, por el desarrollo de infraestructura.

REFERENCIAS

- Steyermark, J. A., Berry, P. E., Holst, B. K., & Yatskievych, K. (1995). Flora of the venezuelan Guayana (Vol. 1, p. 320). St. Louis: Missouri Botanical Garden.
- Breiman, L. "Random Forests". Machine Learning 45, 5-32 (2001). <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>.
- Gislason, P. O., Benediktsson, J. A., & Sveinsson, J. R. (2006). Random forests for land cover classification. Pattern recognition letters, 27(4), 294-300.
- Güler, M., Yomralioğlu, T., & Reis, S. (2007). Using landsat data to determine land use/land cover changes in Samsun, Turkey. Environmental monitoring and assessment, 127, 155-167.
- Rosan, T. M., Goldewijk, K. K., Ganzenmüller, R., O'Sullivan, M., Pongratz, J., Mercado, L. M., ... & Sitch, S. (2021). A multi-data assessment of land use and land cover emissions from Brazil during 2000-2019. Environmental Research Letters, 16(7), 074004.
- B. G. Tikuye, M. Rusnak, B. R. Manjunatha, J. Jose, Land Use and Land Cover Change Detection Using the Random Forest Approach: The Case of The Upper Blue Nile River Basin, Ethiopia. Global Challenges 2023, 7, 2300155. <https://doi.org/10.1002/gch2.202300155>.