

Comprendiendo la dinámica ambiental del centro oeste brasileño: un análisis del uso y cobertura de la tierra y de la dinámica de los focos de incendios en la cuenca hidrográfica del río Araguaia

Pâmela Camila Assis^{*} 

Maximiliano Bayer^{*} 

Matheus Cardoso Gomes^{*} 

Resumen

La cuenca hidrográfica del río Araguaia es uno de los principales cursos de agua de Brasil, y se extiende por una región que alberga los mayores remanentes de vegetación nativa del bioma Cerrado, el segundo más extenso del país. Este estudio analizó, a lo largo de 33 años (1985-2019), las transformaciones en el uso y la cobertura de la tierra, así como la dinámica espacial de los incendios entre 2002 y 2020. Los resultados indican un aumento del 107 % en las áreas destinadas a la agropecuaria, acompañado de una reducción del 37,8 % en las áreas de formación forestal. Las formaciones naturales no forestales (sabánicas y campestres) mostraron una disminución adicional del 13,3 %. Los datos del Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (INPE) revelan que, aunque los pastizales concentran la mayor parte de los focos de calor (39 %), las fitofisionomías del Cerrado representaron el 61,7 % de los focos en el periodo analizado, destacándose las formaciones sabánicas (27,3 %), forestales (19,4 %) y campestres (15,1 %). Es importante señalar que los focos de incendio se concentraron en unidades de conservación y tierras indígenas, lo que evidencia la vulnerabilidad de estos territorios. Los datos sugieren una intensificación de las presiones antrópicas sobre las áreas de vegetación natural, lo que subraya la urgencia de implementar estrategias integradas de manejo territorial para la conservación de los ecosistemas del Cerrado y la protección de los recursos hídricos nacionales.

Palabras clave: cerrado brasileño, cuenca hidrográfica, incendios forestales, sistemas de información geográfica, uso y cobertura de la tierra, ocupación.

Ideas destacadas: artículo de investigación que analiza, a lo largo de 33 años (1985-2019), los cambios en el uso y la cobertura de la tierra en la cuenca hidrográfica del río Araguaia, y examina la dinámica espacial de los incendios registrados entre 2002 y 2020.



RECIBIDO: 13 DE JULIO DE 2021. | EVALUADO: 20 DE ENERO 2023. | ACEPTADO: 14 DE NOVIEMBRE DE 2024.

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO

Assis, Pâmela Camila; Bayer, Maximiliano; Gomes, Matheus Cardoso. 2025. "Comprendiendo la dinámica ambiental del centro oeste brasileño: un análisis del uso y cobertura de la tierra y de la dinámica de los focos de incendios en la cuenca hidrográfica del río Araguaia". *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 34 (1Supl.): **-**. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v34n1supl.97246>.

^{*} Universidade Federal de Goiás, Goiânia – Brasil.  pcassis@discente.ufg.br – ORCID: 0000-0001-6526-6780.

^{*} Universidade Federal de Goiás, Goiânia – Brasil.  maxbayer@ufg.br – ORCID: 0000-0002-0873-0564.

^{*} Universidad Federal de Goiás, Goiânia – Brasil.  matheuscardoso545@gmail.com – ORCID: 0000-0002-3769-6000.

 Correspondencia: Pâmela Camila Assis, Universidade Federal de Catalão (UFCAT) St. Universitário, Catalão-GO, 75705-220.

Understanding the Environmental Dynamics of the Brazilian Central West Region: An Analysis of the Land Use and Cover and Wild Fire Dynamics in the Araguaia River Basin

Abstract

The Araguaia River Basin is one of the main watercourses in Brazil, extending through a region that contains the largest remnants of native vegetation of the Cerrado biome, the country's second-largest biome. This study analyzed, over 33 years (1985-2019), the transformations in land use and land cover, as well as the spatial dynamics of wildfires between 2002 and 2020. The results indicate a 107 % increase in areas designated for agricultural use, accompanied by a 37.8 % reduction in forest formations. Non-forest natural formations (savanna and grassland) showed an additional 13.3 % decrease. Data from the National Institute for Space Research (INPE) reveal that, although pastures concentrate most fire hotspots (39 %), Cerrado phytophysiognomies accounted for 61.7 % of the hotspots during the analyzed period, with a predominance of savanna formations (27.3 %), forest formations (19.4 %), and grasslands (15.1 %). Notably, fire hotspots were concentrated within conservation units and Indigenous lands, indicating the vulnerability of these territories. The data suggest increasing anthropogenic pressures on areas of natural vegetation, emphasizing the urgency of integrated land management strategies for conserving Cerrado ecosystems and protecting national water resources.

Keyword: Brazilian Cerrado, river basin, wildfires, geographic information systems, land use and land cover, land occupation.

Highlights: research article that examines, over a 33-year period (1985-2019), the changes in land use and land cover in the Araguaia River Basin and analyzes the spatial dynamics of wildfires recorded between 2002 and 2020.

Compreendendo a dinâmica ambiental do Centro Oeste brasileiro: uma análise do uso e cobertura da terra e da dinâmica dos focos de incêndios na bacia hidrográfica do rio Araguaia

Resumo

A bacia hidrográfica do rio Araguaia é um dos principais cursos d'água do território brasileiro, estendendo-se por uma região que abriga os maiores remanescentes de vegetação nativa do bioma Cerrado, o segundo maior do país. Este estudo analisou, ao longo de 33 anos (1985-2019), as transformações no uso e cobertura da terra, bem como a dinâmica espacial dos incêndios entre 2002 e 2020. Os resultados indicam um aumento de 107 % nas áreas destinadas à agropecuária, acompanhado por uma redução de 37,8 % nas áreas de formação florestal. As formações naturais não florestais (savânicas e campestres) apresentaram um decréscimo adicional de 13,3 %. Os dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) revelam que, embora as pastagens concentrem a maior parte dos focos de calor (39 %), as fitofisionomias do Cerrado responderam por 61,7 % dos focos no período analisado, com destaque para as formações savânicas (27,3 %), florestais (19,4 %) e campestres (15,1 %). Notadamente, os focos de incêndio concentraram-se em unidades de conservação e terras indígenas, indicando a vulnerabilidade desses territórios. Os dados sugerem a intensificação das pressões antrópicas sobre áreas de vegetação natural, ressaltando a urgência de estratégias integradas de manejo territorial para a conservação dos ecossistemas do Cerrado e a proteção dos recursos hídricos nacionais.

Palavras-chave: cerrado brasileiro, bacia hidrográfica, queimadas, sistemas de informações geográficas, uso e cobertura da terra, ocupação da terra.

Ideias destacadas: artigo de pesquisa que analisa, ao longo de 33 anos (1985-2019), as transformações no uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Araguaia e examina a dinâmica espacial dos incêndios florestais entre 2002 e 2020.

Introducción

La región hidrográfica del Tocantins-Araguaia representa la cuarta mayor cuenca hidrográfica de América del Sur. Posee un área de drenaje de 920.000 km², con una capacidad hídrica de 5.447 m³/s (6 % de la capacidad hídrica brasileña) y un flujo de agua promedio de 13.779 m³/s, lo que corresponde a 7,7 % del caudal promedio nacional (ANA 2015).

La región hidrográfica del Tocantins-Araguaia corresponde a 10,8 % del territorio brasileño, e incluye los estados de Goiás (21 %), Tocantins (30 %), Pará (30 %), Maranhão (4 %), Mato Grosso (15 %) y el Distrito Federal (0,1 %), con una población total de aproximadamente 8,6 millones de habitantes (ANA 2015). Se caracteriza por comprender el 35 % de su área en la Floresta Amazónica y 65 % del bioma *Cerrado* (Myers et ál. 2000; ANA 2009).

El río Araguaia, principal tributario de la cuenca Tocantins-Araguaia, es uno de los principales cursos de agua del territorio brasileño y representa el único gran sistema fluvial del centro y sur de Brasil que no ha sido represado ni afectado por otras intervenciones humanas directas en su propio cauce (Latrubbles et ál. 2009).

La cuenca hidrográfica del río Araguaia, se extiende sobre la región que conserva los mayores remanentes de vegetación natural del bioma *Cerrado*, y presenta una compleja llanura de inundación que constituye la mayor área húmeda del bioma *Cerrado*, conocida como llanura del Bananal, la cual se extiende por más de 100.000 km² (Dagosta y Pinna 2017).

Además de poseer áreas con alta biodiversidad, geodiversidad, índices elevados de endemismo, riqueza biológica, relevancia cultural y espiritual, la región del río Araguaia también conserva una intensa actividad turística, que involucra diversas actividades económicas y genera ingresos económicos significativos para los municipios ubicados dentro de la cuenca hidrográfica (IBAMA 1997; Geogoiás 2002; Costa 2005; Angelo y Carvalho 2008; ANA 2009; Dagosta y Pinna 2017). Se destaca sus usos múltiples en irrigación, abrevadero de animales, generación de energía, abastecimiento humano, navegación y transporte, pesca y recreación (ANA 2018).

La cuenca del Araguaia constituye, por tanto, una de las áreas prioritarias para la conservación del *Cerrado* y de los recursos hídricos en Brasil. En las últimas cuatro décadas se ha convertido en el principal foco del intenso proceso de transformación asociado al avance de la frontera agrícola y a los cambios en el uso y cobertura de la tierra (Castro, Xavier y Barbalho 2004; Castro 2011).

Dicho proceso fue promovido inicialmente por programas gubernamentales, como el *II Plano de Desenvolvimento* (Brasil 1974) y el *Programa de Desenvolvimento do Cerrado – Polocentro*, implementado en 1975 (Castro 2011; Faria y Santos 2016).

La cuenca hidrográfica del río Araguaia, anteriormente ocupada por áreas de cultivo de soja, pastos y algodón, ha experimentado en los últimos años importantes cambios en su matriz agrícola con la introducción de la caña de azúcar y el eucalipto (Ponciano et ál. 2015). De acuerdo a la *Encuesta sobre Agricultura de Riego con pivote central en Brasil* (1985-2017), la región hidrográfica Tocantins-Araguaia destaca por poseer una de las mayores extensiones equipadas con el sistema de riego por pivote central del país (140.000 ha). En ella sobresalen tres polos emergentes: (i) río Das Almas (subcuenca formadora del río Tocantins); (ii) Alto Araguaia (nacientes del río Araguaia); y (iii) río Das Mortes (subcuenca afluente del Araguaia), con un crecimiento entre 2000 y 2017 de 84 %, 96 % y 146 %, respectivamente, (ANA 2019).

Actualmente, esta cuenca se considera un área estratégica para el desarrollo económico de Brasil y proyecta un fortalecimiento en las próximas décadas, impulsado por la demanda nacional e internacional de *commodities* (ANA 2009; Bayer et ál. 2020). Sus características han favorecido un acelerado proceso de uso y ocupación de la tierra de la cuenca del río Araguaia, promoviendo así diversos impactos ambientales (Castro, Xavier y Barbalho 2004; Castro 2011).

Entre otros efectos negativos se destacan la intensificación de la supresión de la vegetación nativa —asociada a la expansión de las actividades agropecuarias y al aumento del consumo de agua, energía y fertilizantes—, la pérdida significativa de biodiversidad, la contaminación de fuentes superficiales y subterráneas, la erosión de los suelos y los impactos sobre la regularidad climática y la calidad del aire (Albernaz 2003; Foley et ál. 2005; Mendes 2005; Castro 2011; Coe et ál. 2011; Silva 2020). A ello se suma la sedimentación del terreno y la aparición de procesos erosivos en toda la cuenca (Castro 2011).

Otro aspecto de las acciones humanas en la cuenca hidrográfica do río Araguaia —ubicada en el bioma *Cerrado*— es la proliferación de focos de incendios o quemas. En este bioma, el uso del fuego como técnica de manejo de pastos y la apertura de nuevas áreas es una práctica recurrente (Coutinho 1990; Klink y Machado 2005). Los registros paleo ambientales evidencian la ocurrencia de incendios desde el Pleistoceno en las áreas del *Cerrado* (Salgado-Labouriau et ál. 1997; 1998). Sin

embargo, se considera que en la actualidad la mayoría de los incendios o quemas son de origen antrópico (Coutinho 1982; 1990; Hoffmann y Moreira 2002), una práctica que ha alterado significativamente el régimen natural de los incendios en este bioma (Fidelis et ál. 2018).

Así, el fuego, al ser un factor recurrente en el bioma, ha generado adaptaciones en la vegetación y otros cambios ambientales de carácter biótico y abiótico (Eiten 1972; Coutinho 1990). Cuando ocurre un incendio, normalmente se produce una pérdida de nutrientes del suelo, compactación y aceleración de los procesos erosivos (Klink y Machado 2005), además de promover alteraciones generalizadas en el ecosistema (Hoffmann y Moreira 2002).

En este contexto, y frente al escenario ambiental brasileño actual, existe una profunda preocupación por el rumbo de la política ambiental, marcada por el desmantelamiento de leyes ambientales y políticas públicas construidas en las últimas décadas. Esta situación ha generado los mayores índices de deforestación y focos de incendio de los biomas amazónico y pantanal en los últimos años.

El bioma Cerrado brasileño también sufrió numerosos focos de incendio en 2020. Durante los primeros 22 días de octubre se registró un incremento de aproximadamente 97 % en comparación al mismo periodo del año anterior (Greenpeace 2020). Históricamente, el Cerrado ha perdido cerca del 60 % de su vegetación endémica debido a la expansión de la frontera agrícola, lo que lo convierte en uno de los biomas más devastados en las últimas décadas (Latrubesse et ál 2009).

Ante este escenario de transformaciones intensas en el bioma Cerrado, donde se localiza la cuenca hidrográfica del río Araguaia, y reconociendo que el fuego constituye uno de los principales agentes en la apertura de nuevas áreas agrícolas (Klink y Machado 2005), este estudio tiene como objetivo analizar el proceso histórico de uso y ocupación de la tierra, así como la dinámica de los focos de incendios en dicha cuenca. Para ello, se emplearon herramientas de teledetección remota y sistemas de información geográfica (SIG) con el fin de identificar la dinámica espacial generada por los incendios, partiendo del supuesto de que su principal causa es de origen antrópico (Coutinho 1982).

La relevancia de este estudio para la cuenca hidrográfica del río Araguaia es múltiple. En primer lugar, el análisis detallado del uso y ocupación de la tierra, junto con la dinámica de los focos de incendios, proporciona datos fundamentales para la formulación de políticas públicas y estrategias de manejo sostenible, esenciales para

mitigar los impactos ambientales negativos. Asimismo, comprender la influencia de las actividades humanas en la propagación del fuego permitirá el desarrollo de programas de prevención y control más eficaces, contribuyendo a la conservación de esta cuenca hidrográfica, clave para la sostenibilidad del Cerrado.

Metodología

Los datos utilizados para el análisis del uso y cobertura de la tierra en la cuenca hidrográfica do río Araguaia se obtuvieron a través del *Proyecto MapBiomass*, una iniciativa colaborativa que reúne a especialistas en diferentes biomas, tipos de usos y coberturas de la tierra, técnicas de teledetección remota y procesamiento de datos en la nube, con el fin de producir mapeos históricos del uso y cobertura de Brasil (MapBiomass Brasil 2020).

El procesamiento de los datos se realizó inicialmente en la plataforma *Google Earth Engine*, donde se seleccionaron los datos de uso y cobertura en la plataforma del *MapBiomass*, Colección 4.1, correspondiente a los años 1985, 1995, 2005, 2015 y 2018, disponibles hasta el momento del análisis. Se recomienda que esta información sea trabajada hasta la escala 1:100.000.

Los datos de la colección 4.1 del *MapBiomass* presentan un historial anual de uso y cobertura para todo Brasil entre 1985 y 2018, clasificados por clases de uso (Souza et ál. 2020). Dichos datos fueron generados a partir de mosaicos anuales de imágenes Landsat sin nubosidad, procesadas mediante algoritmos de la *machine learning* (por ejemplo, *Random Forest*) en la plataforma *Google Earth Engine*, y posteriormente clasificadas según el tipo de uso y las características de la vegetación (Souza et ál. 2020).

Con esta información se efectuó el procesamiento cartográfico con el software *QGIS* 2.14, realizando transformaciones de los datos (raster-shapefile) mediante automatización con un *script* en Python basado en el algoritmo de vectorización *GDAL polygonize*. Este procedimiento fue necesario para la elaboración de los mapas temáticos.

Los cálculos de área de las distintas clases de uso se obtuvieron directamente de la plataforma de *MapBiomass* para toda el área de la cuenca, convirtiéndose posteriormente de hectáreas a kilómetros cuadrados. Con base en estos datos, se consideraron las siguientes clases de uso y cobertura de la tierra: formación forestal, formación natural no forestal, bosque plantado, pastizales, agricultura, infraestructura urbana, minería, agua y otras áreas sin vegetación.

También se utilizaron datos vectoriales del Instituto Brasileiro de Geografía e Estatística (IBGE) en una escala de 1:250.000, así como registros de puntos de incendio correspondientes al periodo 2002-2019, proporcionados por el INPE, entidad responsable del desarrollo de tecnologías en las áreas de ciencias espaciales y atmosféricas en el territorio brasileño.

Los datos sobre los pastizales degradados suministrados por el *Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento* (LAPIG-UFG), se emplearon para complementar el mapa de uso y cobertura de la tierra correspondiente al año 2018. Otras bases de datos vectoriales utilizadas en esta investigación se encuentran disponibles en el *Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima* (MMA) y en la *Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico* (ANA).

Todos los datos fueron procesados en el sistema de referencia SIRGAS 2000 y trabajados con el software ArcGIS 10.3, lo que permitió analizar los procesos del uso y cobertura de la tierra en la cuenca del río Araguaia y comprender la dinámica espacial de los focos de incendios en este territorio.

Los datos específicos sobre los focos de incendio se obtuvieron en Banco de Datos de Quemadas (BDQueimadas), una aplicación WebGIS que utiliza datos geográficos gestionados por PostgreSQL. Mantenida por el INPE Programa Quemadas (2025), esta plataforma tiene como objetivo facilitar el acceso y la utilización del acervo histórico de focos de quema de vegetación detectados por satélite, que actualmente comprende alrededor de 250 millones de puntos desde 1998.

El sistema BDQueimadas permite realizar consultas históricas en formato de mapas, tablas y gráficos, además de exportar la información en diversos formatos. Todas sus versiones fueron desarrolladas con geotecnologías abiertas creadas en el INPE. El sistema almacena datos geográficos relacionados con quemas, accesibles tanto para instituciones públicas como para la sociedad civil. La plataforma WebGIS ofrece herramientas de filtrado, capas cartográficas y opciones de navegación, y permite la exportación de los focos de incendio en varios formatos, incluidos csv, GeoJSON, KML y Shapefile.

Finalmente, los datos de incendios fueron recortados según los límites de la cuenca del río Araguaia y,

posteriormente, con base en su localización, se recolectaron las muestras correspondientes al tipo de uso y cobertura del suelo donde se registraron los focos de incendio, utilizando los datos del *MapBiomas–Colección 5* para el periodo 2002-2019.

Estos datos, en formato csv, fueron procesados en *Google Colab* mediante las bibliotecas *Pandas* y *Matplotlib*, lo que permitió manipular y analizar la distribución de los focos de incendio según cada tipo de uso y cobertura de la tierra dentro de la cuenca hidrográfica.

Área de estudio

La cuenca hidrográfica del río Araguaia (Figura 1), abordada como área de estudio en esta investigación, comprende un área de aproximadamente 386.000 km² y genera un caudal promedio de 6.420 m³/s. Sus nacientes se localizan en la Serra do Caiapó, entre Goiás y Mato Grosso, a una altitud de 850 m. El río recorre cerca de 2.100 km hasta la confluencia con el río Tocantins.

Entre los principales afluentes del río Araguaia se encuentran, en su margen derecha, los ríos Babilônia, Diamantino, Peixe, Caiapó, Claro, Vermelho, Crixás-Açu y Formoso; y, en la margen izquierda, los ríos Cristalino y das Mortes, este último considerado el afluente principal, con una longitud de 1.100 km.

El río Araguaia atraviesa 52 municipios: once municipios en el estado de Pará, once en Goiás, diecinueve en Tocantins y once en Mato Grosso. La cuenca hidrográfica alberga una población total de 1.562.848 habitantes, de los cuales 385.357 residen en áreas rurales y 1.177.491 en áreas urbanas (IBGE 2010).

La cuenca del río Araguaia se ubica en una región de clima tropical, clasificado Aw (tropical con invierno seco), caracterizado por una estación lluviosa —de octubre a abril— y una estación seca —de mayo a setiembre—. La temperatura media anual oscila entre 22 °C y 26 °C, mientras que la precipitación anual varía de 1.300 mm a 2.000 mm en toda la cuenca, concentrándose cerca del 95 % de las lluvias durante la estación lluviosa (Irion et al. 2016; Lininger y Latrubesse 2016).

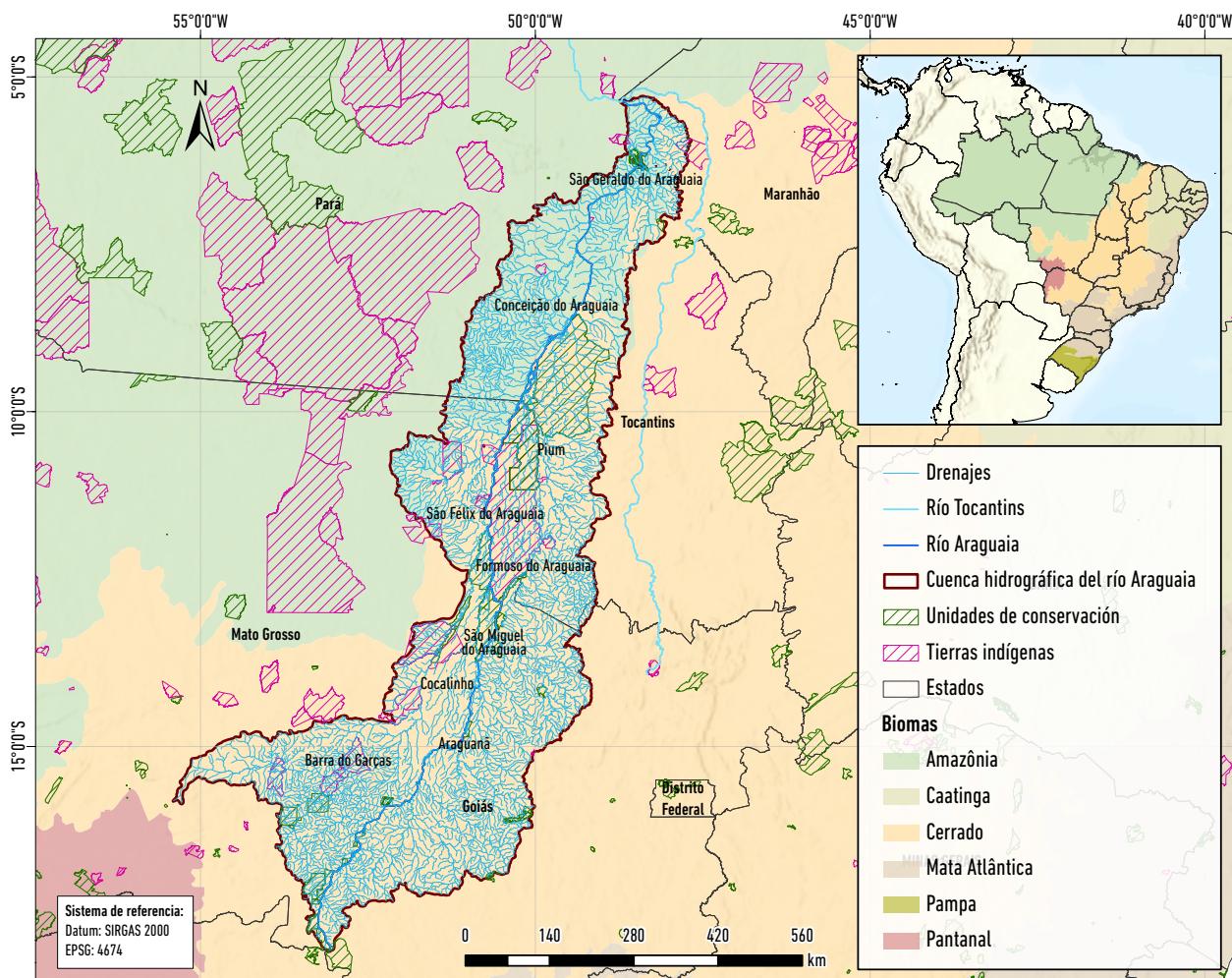


Figura 1. Cuenca hidrográfica del río Araguaia.

Datos: IBGE (2023), MMA (2023), SIEG (2023), MPOG-IBGE-DGC-CCAR (2015); ANA (2018); Assis, Faria y Bayer (2021).

Resultados y discusiones

Con base en los datos obtenidos a través del Proyecto *MapBiomass*, se observa un considerable aumento de las áreas vinculadas al sector agropecuario, que comprende tanto las zonas de cultivo (agricultura) como las de cría de animales (ganadería). En 1985, estas áreas representaban aproximadamente 91.333,14 km², equivalente al 23,66 % de la cuenca hidrográfica. Para 2018, alcanzaron 189.531,67 km², es decir, cerca del 49,10 % de la cuenca, lo que implica un crecimiento de aproximadamente 107 % en los 33 años analizados.

Estos cambios en el uso y cobertura de la tierra tuvieron un impacto significativo sobre la vegetación natural de la región. El bioma Cerrado se caracteriza por ser una sabana con una alta diversidad estructural, que incluye

especies arbóreas, herbáceas, arbustivas y trepadoras, lo que le confiere una gran heterogeneidad fisionómica. Considerando esta complejidad, se establecieron diferentes clases de vegetación para el análisis en la cuenca hidrográfica del río Araguaia.

La formación forestal agrupa la vegetación con predominio de especies arbóreas y un dosel continuo, entre las que se incluyen las fitofisionomías de bosque ribereño, bosque de galería, bosque seco y cerrado. Este último corresponde a un tipo de bosque denso con árboles de entre 7 m y 16 m de altura, localizado en áreas de campos secos con características esclerófilas y xerófilas (Ribeiro y Walter 2008). En esta clase se constató una reducción de 243.558,44 km² en 1985 a 151.413,85 km² en 2018, lo que representa una disminución del 37,8 % en el periodo de análisis.

Por su parte, la formación natural no forestal agrupa fitofisionomías de tipo sabana y campestre, que incluyen la vegetación típica del cerrado en sentido estricto, el sotobosque, el campo limpio y el campo rupestre. Estos ecosistemas se desarrollan principalmente en las cimas de montañas y mesetas a más de 900 m de altitud, donde predominan los afloramientos rocosos, las hierbas,

los pastos y los arbustos, con árboles de menor porte y un estrato arbustivo-herbáceo bien definido (Ribeiro y Walter 2008). En 1985, esta clase ocupaba 45.883,83 km², mientras que en 2018 se redujo a 39.737,43 km², lo que representa una disminución del 13,3 % en el periodo analizado.

Tabla 1. Uso y cobertura de la tierra en la cuenca hidrográfica do río Araguaia, 1985-2018

Clases	Unidad de medida: km ²				
	1985	1995	2005	2015	2018
Formación forestal	243.558,44	201.789,87	166.234,67	156.798,84	151.413,85
Formación natural no forestal	45.883,83	43.969,84	44.778,75	42.682,12	39.737,43
Agricultura y pastoreo	91.333,14	135.458,24	170.141,71	181.685,42	189.531,67
Área sin vegetación	1.067,72	645,12	686,85	704,36	1.008,39
Aqua	3.158,29	3.138,36	3.159,45	3.130,68	3.310,09

Datos: MapBiomas Brasil (2020).

Como se observa en la Figura 2, la cuenca hidrográfica ha experimentado un acelerado proceso de transformación en el uso y cobertura durante las últimas décadas. La reducción de las áreas de formación forestal ha ocurrido de manera paralela al aumento de las zonas ocupadas por la actividad agrícola y ganadera, especialmente aquellas destinadas a monocultivos de soja, maíz, sorgo y pasturas.

Este incremento de las áreas agropecuarias y la consecuente disminución de la vegetación natural reflejan una expansión intensiva de las actividades productivas sobre los ecosistemas del bioma cerrado, lo que ha generado impactos significativos como la fragmentación del paisaje, la pérdida de biodiversidad, la introducción de especies invasoras y la intensificación de los procesos erosivos (Klink y Machado 2005).

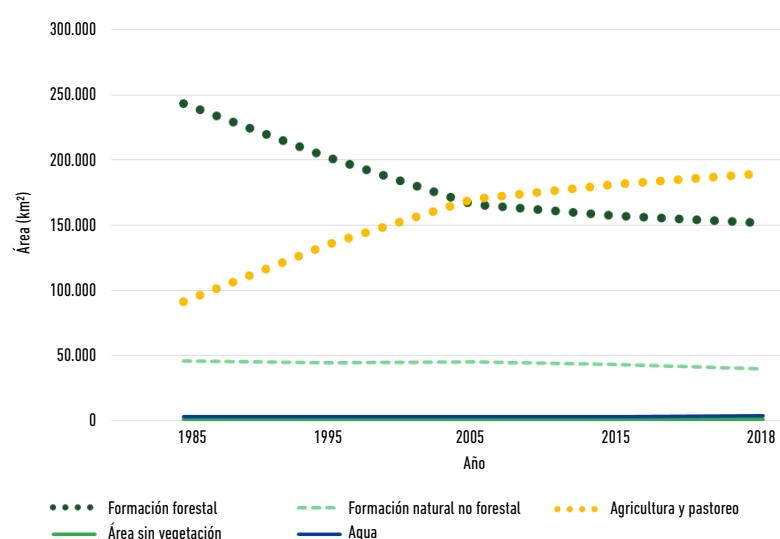


Figura 2. Uso y ocupación de la tierra en la cuenca hidrográfica del río Araguaia de 1985 a 2018.

Como se observa en la Figura 3, las principales alteraciones en el uso y cobertura de la tierra entre 1985 y 1995 se registraron en las clases de agricultura y pastoreo, así como en la de formación forestal. Las áreas destinadas a la agricultura y el pastoreo pasaron de 91.333,14 km² en 1985 a 135.458,24 km² en 1995, lo que representa un incremento del 48,3 % en tan solo una década.

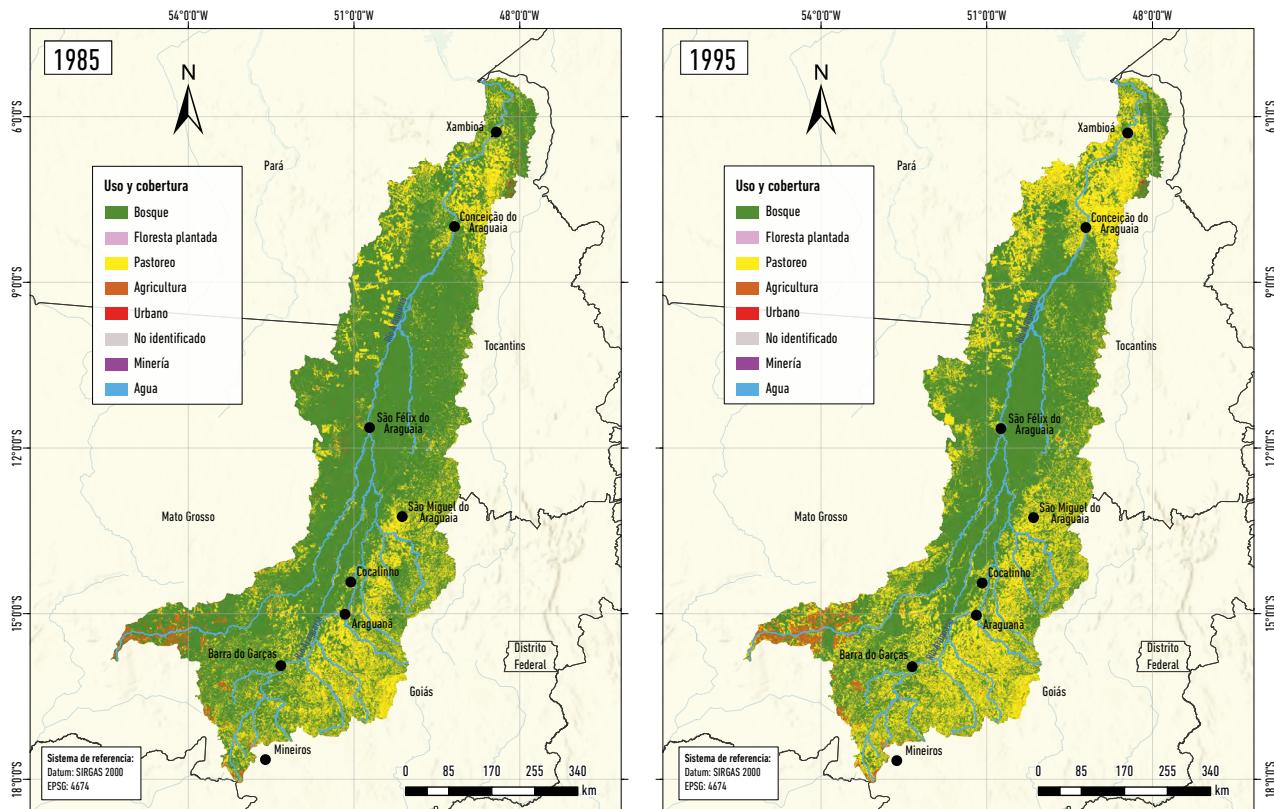


Figura 3. Uso y ocupación de la tierra en la cuenca hidrográfica del río Araguaia de 1985 y 1995.

Entre 2005 y 2015 (Figura 4), los cambios más significativos en el uso y ocupación se registraron en las clases de formación forestal y en las áreas de agricultura y pastizal. En cuanto a la formación forestal, se observó una reducción del 5,6 %, pasando de 166.234,67 km² en 2005 a 156.798,84 km² en 2015.

En cuanto a la formación forestal, la cuenca hidrográfica del río Araguaia presentaba en 1985 un área de 243.558,44 km², que disminuyó a 201.789,87 km² en 1995, reflejando una reducción del 17,1 % en ese mismo periodo.

Por su parte, la clase correspondiente a agricultura y pastizal experimentó un incremento del 6,7 % en el mismo periodo, pasando de 170.141,75 km² en 2005 a 181.685,42 km² en 2015.

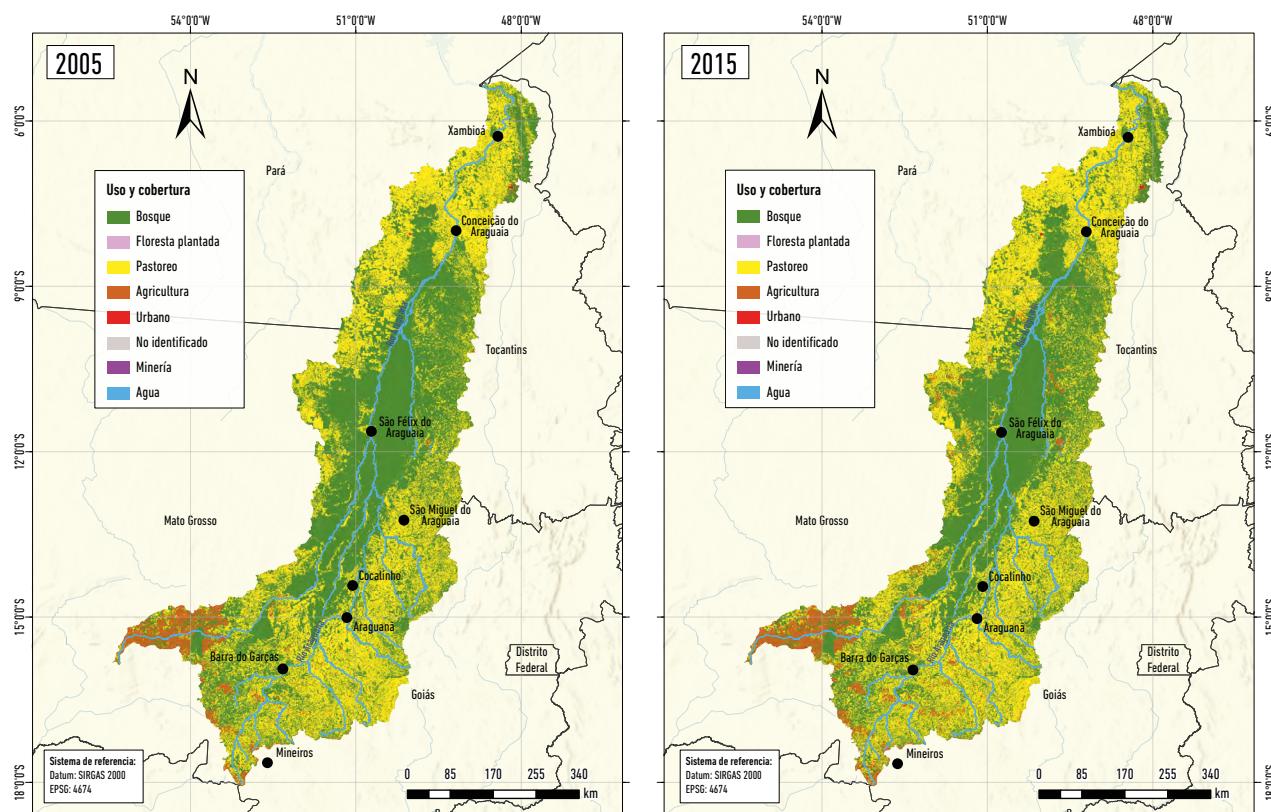


Figura 4. Uso y ocupación de la tierra en la cuenca hidrográfica del río Araguaia de 2005 y 2015.

Según el mapeo del *MapBiomas*, Colección 4.1, las clases de uso y ocupación de la tierra en la cuenca hidrográfica del río Araguaia en 2018 (Figura 5) se distribuyen de la siguiente manera: la formación forestal abarca aproximadamente el 18,5 % ($71.339,4 \text{ km}^2$); la formación savánica, el 20,7 % ($79.804,4 \text{ km}^2$); el bosque plantado, 275,0 km^2 ; la formación campestre, cerca del 10,3 % ($39.667,5 \text{ km}^2$); y otras formaciones naturales no forestales, 50,9 km^2 . El pastizal representa el 44,3 % ($171.145,3 \text{ km}^2$); el cultivo anual y perenne, el 4,6 % ($17.886,7 \text{ km}^2$); el cultivo semiperenne, 541,6 km^2 ; la infraestructura urbana, 397,2 km^2 ; otras áreas sin vegetación, 603,1 km^2 ; la minería, 8,9 km^2 ; y los cuerpos de agua, 3.309,3 km^2 .

Las clases de “otras áreas sin vegetación” incluyen bancos de arena (playas fluviales) dentro del canal del río, superficies no permeables como infraestructura,

carreteras y caminos, así como suelos expuestos y áreas degradadas.

Asimismo, de acuerdo con el *Atlas Digital de Pastizales Brasileños*, elaborado por el Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento–Universidade Federal de Goiás (LAPIG-UFG) mediante análisis píxel a píxel con datos satelitales del Landsat (2018), la cuenca hidrográfica del río Araguaia presenta un área de pastizales degradados de $67.121,05 \text{ km}^2$, clasificada en niveles leve ($18.491,4 \text{ km}^2$), moderado ($17.695,55 \text{ km}^2$) y severo ($30.934,1 \text{ km}^2$). Esta superficie representa aproximadamente el 40 % de toda el área de pastizales en la cuenca.

Comprender el grado de degradación de los pastizales es de suma importancia, ya que existen indicios de que estas áreas facilitan la aparición de procesos erosivos y otros impactos ambientales (Dias-Filho 2017).

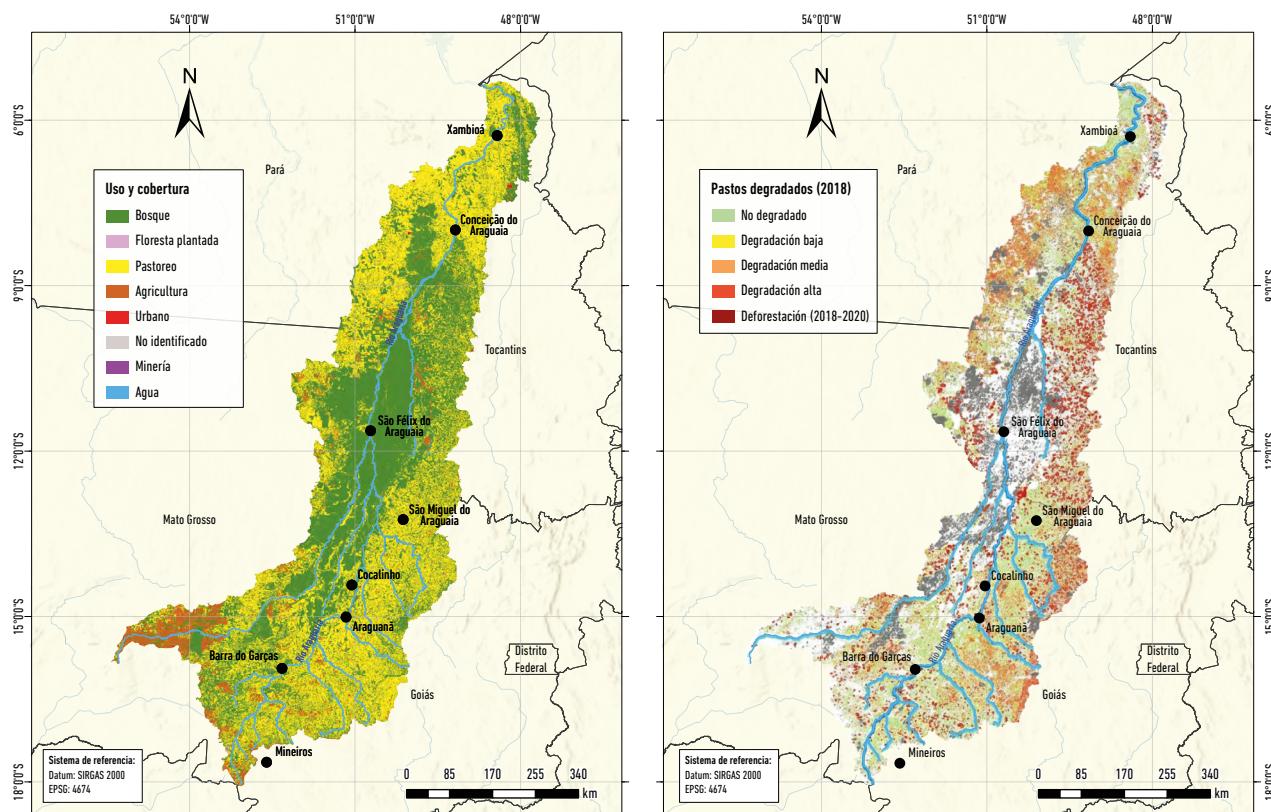


Figura 5. Uso y ocupación del suelo en la cuenca hidrográfica del río Araguaia.
Datos: MapBiomas Brasil (2020) y LAPIG-UFG (2024).

Como resultado de esta dinámica de uso y ocupación de la tierra, el sistema fluvial de la cuenca hidrográfica del río Araguaia atraviesa un proceso intenso de sedimentación, provocado principalmente por los emprendimientos agrícolas y ganaderos —especialmente los cultivos de soja y la ganadería—. En las últimas décadas, estas actividades han incrementado la carga de sedimentos en el cauce del río (Bayer 2002; Latrubesse et ál. 2009; Bayer 2010; Bayer y Zancopé 2014; Bayer et ál. 2020), lo que compromete tanto la biodiversidad asociada al sistema fluvial (Albernaz 2003; Mendes 2005) como las actividades económicas que dependen de su integridad ecológica (Angelo 2010).

Otra consecuencia del proceso de antropización de la cuenca del río Araguaia, señalada por Coe et ál. (2011), son los cambios en el régimen hidrológico, especialmente en sectores de la alta cuenca, derivados de transformaciones tanto climáticas como antrópicas ocurridas a lo largo del tiempo.

De acuerdo con el *Proyecto Brasil das Águas* (Moss 2007), se recolectaron muestras de agua a lo largo de toda la extensión del río Araguaia. El análisis químico

y biológico de dichas muestras evidenció alteraciones en la composición natural del agua en varios puntos del río, atribuibles a las acciones humanas en sus márgenes (Moss 2007). Estas alteraciones se ven intensificadas por la ausencia de Áreas de Protección Permanente (APP) a lo largo del curso del Araguaia, en especial en los tramos alto y medio (Mascarenhas et ál. 2009).

Otras consecuencias asociadas fueron identificadas como respuesta al cambio en el uso y cobertura de la tierra, entre ellas el desencadenamiento de procesos erosivos en toda la cuenca (Latrubesse et ál. 2009; Faria 2011; Siqueira 2012; Carneiro 2012), así como altos índices de antropización, degradación ambiental y un bajo porcentaje de vegetación remanente en la cuenca del río Caiapó (Faria y Castro 2007; Faria y Santos 2016).

Otro impacto relevante en la cuenca hidrográfica del río Araguaia son los focos de incendio. La presencia del fuego en el bioma cerrado, y consecuentemente en la cuenca, se remonta al Pleistoceno (Salgado-Labouriau et ál. 1997, 1998), lo que convierte al fuego en un factor estructurante que ha influido en diversos aspectos bióticos y abióticos del ecosistema (Coutinho 1982, 1990).

Si bien se reconoce que la acción del fuego en el cerrado antecede a la presencia humana y que su frecuencia natural permitió la adaptación de la vegetación (Eiten 1972), se considera que, en las últimas décadas, la actividad humana constituye la principal causa de los incendios en este bioma (Coutinho 1982, 1990; Hoffmann y Moreira 2002). Estos incendios de origen antrópico, ya sea para la renovación de pastizales o la apertura de nuevas áreas de cultivo, generan efectos deletéreos sobre los suelos, tanto en sus propiedades físicas como en su composición nutricional (Klink y Machado 2005).

Dado que el bioma cerrado se ha convertido en un ambiente propicio para la expansión de la frontera agrícola y para satisfacer la creciente demanda de alimentos en los últimos años, la apertura de nuevas áreas suele realizarse mediante el uso del fuego al final de la estación seca, práctica que constituye actualmente la segunda causa principal de incendios en el cerrado (Coutinho 1990). En este contexto, la vegetación endémica del bioma experimenta procesos más frecuentes e intensos de incendios, lo que afecta diversos parámetros de supervivencia de las especies vegetales y modifica la estructura y composición de sus poblaciones y comunidades (Hoffmann y Moreira 2002).

Los brotes de incendio en el bioma cerrado comienzan generalmente en mayo, alcanzan su máxima frecuencia

entre junio y agosto, y disminuyen en septiembre y octubre con la llegada de la estación lluviosa (Coutinho 1990). El periodo de transición entre agosto y septiembre es especialmente crítico, ya que las condiciones climáticas favorecen la propagación del fuego (Coutinho 1990). Un estudio sobre la dinámica del fuego en el cerrado demostró que la cantidad de biomasa muerta y de gramíneas varía a lo largo de los años, siendo estos factores determinantes para la intensidad y altura de las llamas, independientemente de la estación del año (Rissi et ál. 2017).

En Brasil, según el INPE, desde el año 2002 el satélite de referencia utilizado para la detección de focos de incendio y quemas es el AQUA_M-T, equipado con el sensor MODIS, que posee una resolución espacial de 1 km y la capacidad de detectar focos con un área mínima de 30 metros de largo por 1 metro de ancho (INPE 2020).

De acuerdo con el Programa de Monitoreo de Incendios del INPE, entre 2002 y 2020 se registraron 299.476 focos de incendio y quemas forestales en la cuenca hidrográfica del río Araguaia. En cuanto a la distribución anual de los focos, a lo largo de la serie histórica destacan los años 2007 y 2010, en los cuales se observaron los mayores registros de incendios en la cuenca; por el contrario, los años con menor número de focos fueron 2009, 2011 y 2018 (Figura 6).

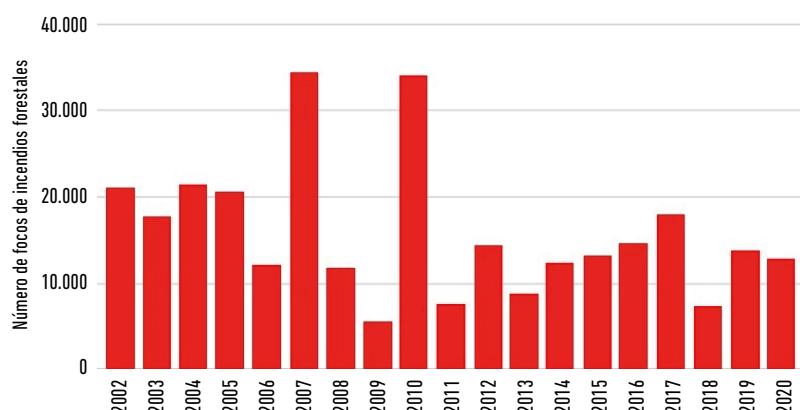


Figura 6. Cantidad de focos de incendios forestales en la cuenca hidrográfica del río Araguaia, 2002-2020.
Datos: INPE Programa Queimadas (2025).

Como puede observarse en la Figura 7, los focos de incendios se concentraron principalmente en las tierras indígenas y en las unidades de conservación —Parque Indígena del Araguaia, Tierras Indígenas Ináwébohona, Tierras Indígenas Pimentel Barbosa, Tierras Indígenas Areões, Tierras Indígenas

São Marcos, Tierras Indígenas Merure, Tierras Indígenas Sangradouro/Volta Grande—, lo que corrobora el estudio de Assis, Faria y Bayer (2021), que demuestra que estas áreas fueron las más afectadas en la cuenca hidrográfica del río Araguaia, en el periodo 2012 a 2020.

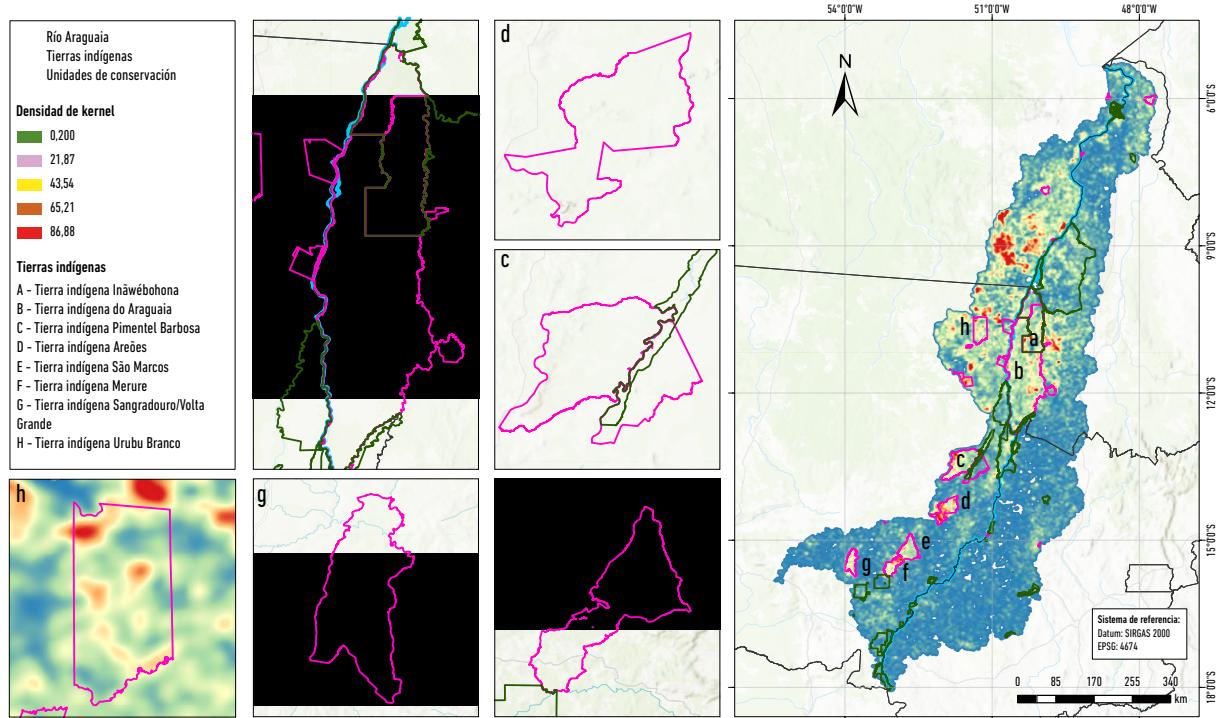


Figura 7. Mapa de Kernel para focos de incendios en las unidades de conservación de la cuenca del río Araguaia, 2002-2020.

Datos: INPE Programa Queimadas (2025).

Los focos de incendio en tierras indígenas y unidades de conservación son inducidos por diversos factores. Estas áreas enfrentan significativas presiones socioeconómicas, entre ellas las invasiones ilegales para actividades de deforestación, agricultura no autorizada y explotación de recursos naturales, siendo el fuego la principal herramienta utilizada para la apertura e invasión de estas tierras. Es crucial considerar que las consecuencias de los incendios forestales y quemas son numerosas y de gran magnitud para las unidades de conservación (Bontempo 2011). Entre ellas se encuentran la destrucción de bosques, la pérdida de biodiversidad, la contaminación atmosférica, la disminución en la calidad y cantidad de los recursos hídricos, la pérdida de fertilidad y el aumento de la compactación de los suelos, así como la aceleración de los procesos erosivos y cambios generalizados en los ecosistemas (Nascimento 2001; Hoffmann y Moreira 2002; Klink y Machado 2005).

Con base en la visualización de los datos de incendios en la cuenca del río Araguaia durante el periodo comprendido entre 2002 y 2020, se observa que los focos se concentraron principalmente en el estado de Mato Grosso (107.559 focos), que representó aproximadamente el 35,88 % del total de registros; seguido por Tocantins

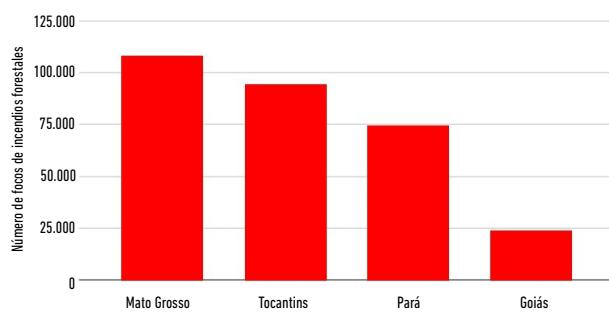


Figura 8. Cantidad de focos de incendios forestales por estado en la cuenca hidrográfica del río Araguaia, 2002-2020.

Datos: INPE Programa Queimadas (2025).

Los estados de Mato Grosso, Tocantins, Pará y Goiás son frecuentemente los más afectados por los focos de incendios forestales en la cuenca del río Araguaia, debido a una combinación de factores socioeconómicos y ambientales. Estas regiones cuentan con extensas áreas de cobertura vegetal, que incluyen partes de la Amazonía y el cerrado, ecosistemas propensos a sequías intensas durante determinadas épocas del año. Dichas condiciones climáticas, junto con las altas temperaturas y la baja humedad relativa del aire, crean un ambiente propicio para la ocurrencia y propagación de incendios.

Además, existen presiones significativas relacionadas con el uso de la tierra, como la expansión de la frontera agrícola, el aumento de los pastizales para la ganadería y la deforestación. Estas actividades suelen implicar prácticas de quema no controladas para la limpieza de áreas destinadas a la agricultura y la cría de ganado, lo que incrementa el riesgo de incendios forestales que pueden escapar al control.

El estado de Tocantins, el segundo con mayor cantidad de focos de incendio en la cuenca, se encuentra en la región conocida como Matopiba, que abarca también partes de los estados de Maranhão, Piauí y Bahía. En las últimas décadas, esta área ha emergido como una zona prioritaria para la expansión agrícola. La producción agropecuaria en Matopiba se caracteriza por grandes cosechas de granos, especialmente soja, maíz y algodón.

La Figura 9 muestra la distribución y la intensidad de los focos de incendios forestales en los municipios de la

cuenca hidrográfica del río Araguaia. Los datos indican que los municipios de Santana do Araguaia y Santa Maria das Barreiras son los más afectados por incendios forestales en la cuenca, con más de 20.000 focos registrados cada uno. Formoso do Araguaia y Lagoa da Confusão también son dos áreas que presentan cifras elevadas, mientras que otros municipios, como Santa Terezinha, Cocalinho, Pium, Conceição do Araguaia, São Félix do Araguaia y Nova Nazaré, registran valores igualmente significativos.

Entre los diez municipios con mayor número de focos, los cuatro primeros se localizan en la región Norte de Brasil: dos en Pará (Santana do Araguaia, con 23.342 focos, y Santa Maria das Barreiras, con 21.337) y dos en Tocantins (Formoso do Araguaia, con 18.813, y Lagoa da Confusão, con 18.689). En conjunto, representan más de una cuarta parte de todos los focos registrados en la serie histórica de la cuenca del río Araguaia (Figura 9).

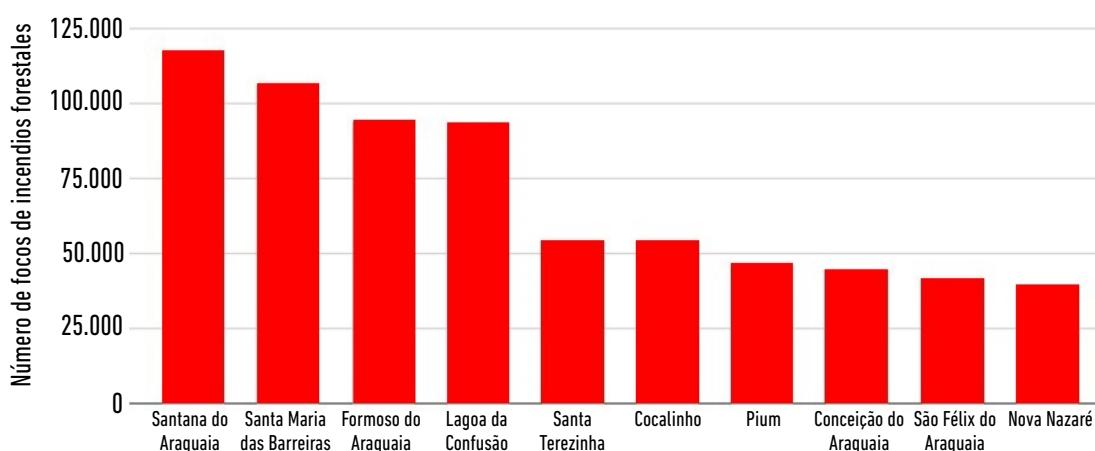


Figura 9. Cantidad de focos de incendios forestales por municipios en la cuenca hidrográfica del río Araguaia, 2002-2020.
Datos: INPE Programa Queimadas (2025).

En la Figura 10 se presenta la distribución detallada de los focos de incendio según el tipo de uso y cobertura de la tierra en la cuenca hidrográfica del río Araguaia. Los datos revelan que las áreas de pastizales concentran la mayoría de los focos de incendio, con un 35,5 % del

total registrado en la cuenca. A continuación, las áreas de formación sabánica representan el 27,3 % de los focos, seguidas por las formaciones forestales con un 19,4 % y las formaciones campestres con un 15,1 %.

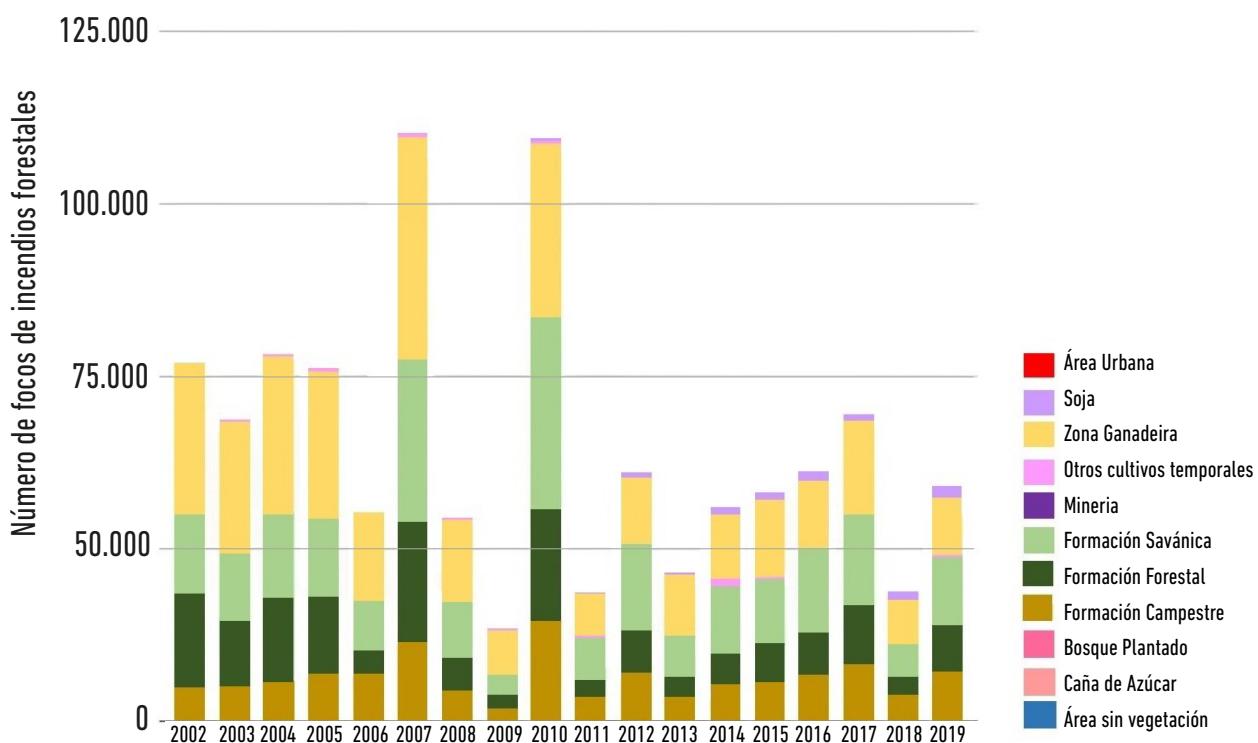


Figura 10. Cantidad de focos de incendio por tipo de uso y cobertura, 2002-2019.
Datos: INPE Programa Queimadas (2025). y MapBiomas–Colección 5 (2020).

Los datos de incendios del INPE, correspondientes al periodo 2002-2019 (Tabla 2), al ser cruzados con la información de *MapBiomas*, sugieren que las áreas de vegetación natural (formaciones forestales, campestres y sabánicas) concentraron en conjunto el 61,8 % de los focos de calor durante dicho periodo. Este porcentaje, que presenta variaciones a lo largo de la serie histórica, indica una expansión progresiva de las actividades antrópicas hacia las áreas de vegetación natural del bioma cerrado.

Tabla 2. Cantidad de focos de incendio por tipo de uso y cobertura de la tierra, 2002-2019

Uso y cobertura de la tierra	Cantidad de focos	%
Pastos	10.1727	35,5
Formación savánica	78.236	27,3
Formación forestal	55.503	19,4
Formación campestre	43.373	15,1
Soja	4.305	1,5
Otros cultivos temporales	2.069	0,7
Ríos y lagos	810	0,3
Área sin vegetación	326	0,1

Urbano	175	0,06
Caña	77	0,03
Bosque plantado	20	0,01
Minería	5	0,01
Total	286.626	100

Datos: MapBiomas–Colección 5 (2020) e INPE Programa Queimadas (2025).

A pesar de que entre 2002 y 2019 los pastizales fueron la clase con mayor cantidad de focos de incendio cuando se consideran individualmente, se observa que en los últimos ocho años ha ocurrido una reducción anual en el número de focos en estas áreas, mientras que ha habido un aumento en las zonas de vegetación natural, especialmente en las fitofisionomías de formación savánica, forestal y campestre. Destaca que, en este mismo periodo, las formaciones savánicas del bioma cerrado registran la mayor cantidad de brotes de incendio, lo cual sugiere una creciente presión antrópica sobre estos ambientes.

Un factor adicional que puede influir en la cantidad registrada de focos de incendio es la limitación del sistema de monitoreo. Segundo el INPE (2020), dicho sistema

no detecta focos menores a treinta metros de extensión, ni aquellos que ocurren dentro de bosques densos donde las copas no resultan afectadas, ni los que se presentan fuera del período de adquisición de imágenes, en laderas montañosas o en zonas nubladas durante el paso satelital. Por ello, es posible que el número real de incendios que afectan la cuenca del Araguaia sea considerablemente mayor.

Además, la falta de recursos adecuados para el monitoreo, la prevención y el combate de incendios en muchas de estas áreas contribuye a la rápida propagación de eventos originados por causas naturales o humanas. Los cambios de gobierno suelen implicar modificaciones en las políticas ambientales y en los recursos asignados a la gestión territorial, así como variaciones en la percepción social sobre la importancia de las unidades de conservación y las tierras indígenas.

Durante el periodo analizado (2002-2020), Brasil fue gobernado por cuatro presidentes. En los últimos años de este intervalo, especialmente en 2019 y 2020, el gobierno vigente mostró una ausencia significativa de políticas públicas orientadas al monitoreo y mitigación de los impactos de los incendios forestales. Un ejemplo emblemático de esta carencia fue el denominado “Día del Fuego”, ocurrido el 10 de agosto de 2019, cuando productores rurales se organizaron para incendiar, de forma deliberada y criminal, extensas áreas de vegetación natural (Fernandes 2020; Imaflora e ISA 2020; Oliveira Neto 2022; EcoDebate 2022; Losekann y Paiva 2024). Esta laguna en la gestión pública dificultó la obtención de datos precisos sobre la verdadera magnitud de los incendios registrados en la cuenca hidrográfica del río Araguaia durante esos años.

Durante este gobierno se produjo un desmantelamiento significativo de las políticas ambientales brasileñas, rompiendo con la tradición institucional de protección ambiental (Losekann y Paiva 2024). Se implementaron cambios estructurales profundos en el Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), el Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) y el Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Estas transformaciones incluyeron modificaciones en la legislación vigente y restricciones en la actuación y gestión de los recursos públicos destinados a los principales organismos ambientales del país (Fernandes 2020; Imaflora e ISA 2020; Oliveira Neto 2022; EcoDebate 2022; Losekann y Paiva 2024).

En este contexto, y considerando las implicaciones económicas y ambientales derivadas de dicho escenario, se ha observado un intenso proceso de uso y ocupación

de tierras en la cuenca del río Araguaia durante las últimas décadas, lo cual ha generado múltiples impactos ambientales (Castro, Xavier y Barbalho 2004; Castro 2011).

Entre los efectos adversos destacan el acelerado desmonte de la vegetación nativa y los impactos asociados a la expansión de las actividades agropecuarias, que han provocado fragmentación del hábitat y pérdida significativa de biodiversidad (Faria y Castro 2007; Faria 2011; Siqueira 2012; Carneiro 2012; Faria y Santos 2016; Gomes et ál. 2022). Asimismo, se evidencian altos niveles de consumo de agua, energía y fertilizantes, contaminación de recursos hídricos superficiales y subterráneos, introducción de especies exóticas invasoras, erosión del suelo (Latrubesse et ál. 2009), alteraciones en la regulación climática y en la calidad del aire, así como cambios en el régimen hidrológico (Albernaz 2003; Mendes 2005; Foley et ál. 2005; Castro 2011; Coe et ál. 2011; Silva 2020).

Como resultado de esta dinámica de uso y ocupación de la tierra, la cuenca hidrográfica del río Araguaia ha enfrentado un intenso proceso de sedimentación en sus cauces fluviales, atribuido principalmente a las actividades agropecuarias, especialmente la producción de soja y la ganadería (Castro, Xavier y Barbalho 2004; Castro 2011; Bayer et ál. 2020; Gomes et ál. 2022). Este proceso ha provocado una acumulación progresiva de sedimentos en los cauces a lo largo de las últimas décadas (Bayer 2002; Latrubesse et ál. 2009; Bayer 2010; Bayer y Zancopé 2014; Zancopé et ál. 2015; Bayer et ál. 2020; Suizu et ál. 2022), afectando de manera negativa la biodiversidad asociada a estos ecosistemas fluviales (Albernaz 2003; Mendes 2005).

Consideraciones finales

El presente estudio evidencia que la cuenca del río Araguaia ha experimentado un acelerado proceso de transformación en el uso y cobertura de la tierra durante las últimas décadas. En este periodo, se registró una disminución significativa de la vegetación natural, acompañada por un notable incremento de las áreas destinadas a actividades agrícolas y ganaderas, especialmente cultivos de soja, maíz, sorgo y algodón, así como amplias zonas de pastoreo.

Los principales cambios observados en el uso y cobertura de la tierra a lo largo de los 33 años de análisis muestran un aumento considerable de las áreas agropecuarias, que pasaron de aproximadamente 91.333,14 km² en 1985 a 189.531,67 km² en 2018, lo que representa un crecimiento del 107 %. En contraste, las áreas de

formación forestal —que comprenden bosque de ribera, bosque de galería, bosque seco y cerrado— registraron una reducción del 37,8 %, mientras que la formación natural no forestal —que incluye el bioma cerrado en sentido restringido, subbosque, bosque claro y bosque rupestre— disminuyó en un 13,3 %.

Asimismo, los datos de focos de incendios del INPE muestran que, históricamente, las áreas de pastoreo han concentrado la mayor incidencia de incendios. No obstante, al considerar las fitofisionomías del bioma cerrado, estas representan en conjunto el 61,8 % de los focos registrados entre 2002 y 2020, lo cual sugiere una expansión del fuego sobre áreas de vegetación natural.

Es importante destacar que ciertos incendios no son registrados debido a limitaciones técnicas de los sistemas de monitoreo satelital, lo que implica que el número real de eventos podría ser mayor que el actualmente reportado. Entre las principales limitaciones se encuentran la baja resolución espacial y temporal de algunos sensores, la presencia de nubes o humo denso, y la dificultad para detectar incendios bajo el dosel forestal, lo que conlleva una subestimación del impacto real de los incendios en la región.

Para mitigar estos impactos y garantizar una respuesta efectiva ante los incendios forestales, resulta esencial fortalecer las estrategias de monitoreo, prevención y conservación. Esto implica el desarrollo de sistemas integrados de detección temprana, mediante el uso combinado de tecnologías satelitales y drones, así como el fortalecimiento de las capacidades locales para una respuesta rápida y eficiente que involucre a comunidades locales, brigadistas y organismos ambientales. De forma paralela, deben impulsarse programas de educación ambiental y sensibilización pública, orientados a fomentar prácticas sostenibles de manejo del fuego y de uso responsable del suelo y la vegetación.

La coordinación interinstitucional entre los distintos niveles de gobierno, organizaciones no gubernamentales e instituciones de investigación desempeña un papel decisivo en la implementación efectiva de estas estrategias de gestión y mitigación.

En síntesis, las estrategias de manejo sostenible y conservación que integren la dinámica del uso y cobertura de la tierra, junto con el control efectivo de los focos de incendio, resultan fundamentales para la gestión territorial de la cuenca hidrográfica del río Araguaia. Medidas como la restauración de áreas degradadas, la promoción de prácticas agrícolas sostenibles y la protección estricta de las APP son esenciales para mitigar

los impactos ambientales y garantizar la preservación de los recursos naturales.

La cuenca del río Araguaia no solo cumple un papel clave en la conservación del bioma cerrado, sino que también posee una relevancia social, cultural y económica estratégica. Su preservación resulta indispensable para mantener la integridad ecológica y la disponibilidad de los recursos hídricos que sustentan buena parte del territorio brasileño.

Agradecimientos

Los autores de este estudio expresan su más sincero agradecimiento por el apoyo financiero brindado por la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), al Laboratório de Geomorfologia, Pedología e Geografía Física (LABOGEF) del Instituto de Estudos Socioambientais (IESA) de la Universidade Federal de Goiás (UFG), así como a los programas de posgrado en Geografía y Ciencias Ambientales de la misma universidad, cuyo respaldo fue fundamental para la realización de esta investigación.

Referencias

- Albernaz, Carlos. 2003. "Araguaia, caminho de pura beleza: ocupação econômica". *Safra* 44: 01-31.
- ANA (Agência Nacional de Águas). 2009. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil*. Brasília: ANA, Ministério do Meio Ambiente. Consultado el 18 de septiembre de 2020. https://www.snhr.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conj2009_rel.pdf
- ANA (Agência Nacional de Águas). 2015. *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: informe 2015*. Brasília: ANA, Ministério do Meio Ambiente. Consultado el 18 de septiembre de 2020. https://www.snhr.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura_informe_2015.pdf
- ANA (Agência Nacional de Águas). 2018. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual*. Brasília: ANA, Ministério do Meio Ambiente. Consultado el 18 de septiembre de 2020. https://www.snhr.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/informe_conjuntura_2018.pdf
- ANA (Agência Nacional de Águas). 2019. "Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil". Consultado el 18 de septiembre de 2020. <https://www.snhr.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/central-de-publicacoes/levantamento-da-agricultura-irrigada-por-pivos-centrais-2019/view>

- Angelo, Priscila Garcia y Adriana Rosa Carvalho. 2008. "Valor recreativo do rio Araguaia, região de Aruanã, estimado pelo método do custo de viagem". *Acta Scientiarum. Biological Sciences* 29 (4): 421-428. <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v29i4.886>
- Angelo, Priscila Garcia. 2010. "Estimativa do valor econômico-ecológico da planície de inundação do Rio Araguaia e influência do público-alvo na valoração ambiental". Tesis de maestría en Ciencias Ambientales, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- Assis, Pâmela, Karla Maria Silva Faria y Maximiliano Bayer. 2021. "Conservation Units and Its Effectiveness in Protecting Water Resources in the Araguaia River Basin". *Sociedade & Natureza* 34 (1). <https://doi.org/10.14393/SN-v34-2022-60335>
- Bayer, Maximiliano y Márcio Henrique de Campos Zancopé. 2014. "Ambientes sedimentares da planície aluvial do rio Araguaia". *Revista Brasileira de Geomorfologia* 15 (2): 203-220. <https://doi.org/10.20502/rbg.v15i2.414>
- Bayer, Maximiliano, Pamela Camila Assis, Taina Medeiros Suízu y Matheus Cardoso Gomes. 2020. "Mudança no uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Araguaia e seus reflexos nos recursos hídricos, o trecho médio do rio Araguaia em Goiás". *Revista Confins*, no. 48, 1-14. <https://doi.org/10.4000/confins.33972>
- Bayer, Maximiliano. 2002. "Diagnóstico dos processos de erosão/assoreamento na planície aluvial do rio Araguaia: entre Barra do Garças e Cocalinho". Tesis de maestría en Geografía, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- Bayer, Maximiliano. 2010. "Dinâmica do transporte, composição e estratigrafia dos sedimentos da planície aluvial do Rio Araguaia". Tesis de doctorado en Ciencias Ambientales, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- Bontempo, Gínia César. 2011. "Wildfire Impacts and Situation in Protected Areas in Brazil". Tesis de doctorado en Ciencia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Brasil, 1974. *II Plano Nacional de Desenvolvimento 1975-1979*. Rio de Janeiro: SERGRAF do IBGE.
- Carneiro, Gabriel Tenaglia. 2012. "Processo de fragmentação e caracterização dos remanescentes de cerrado: análise ecológica da paisagem da bacia do rio dos Peixes (GO)". Tesis de doctorado en Ciencias Ambientales, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- Castro, Selma Simões de, Luciano de Souza Xavier y Maria Gonçalves da Silva Barbalho. 2004. *Atlas geoambiental das nascentes dos rios Araguaia e Araguainha: condicionantes dos processos erosivos lineares*. Goiânia: Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Goiás.
- Castro, Selma Simões. 2011. "Erosão hídrica na alta bacia do rio Araguaia: distribuição, condicionantes, origem e dinâmica atual". *Revista do Departamento de Geografia* 17: 38-60. <https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0017.0004>
- Coe, Michael, Edgardo Manuel Latrubesse, Luiz A. M. Ferreira y Milton L. Amsler. 2011. "The Effects of Deforestation and Climate Variability on the Streamflow of the Araguaia River, Brazil". *Biogeochemistry* 105 (1-3): 119-131. <https://doi.org/10.1007/s10533-011-9582-2>
- Costa, M. A. 2005. "Materiais utilizados na estrutura dos acampamentos de turistas, no rio Araguaia". Proyecto final de la asignatura de Biología. Universidade Católica de Goiás, Goiânia.
- Coutinho, Leopoldo Magno. 1982. "Ecological Effects of Fire in Brazilian Cerrado". En *Ecology of tropical savannas*, editado por Brian J. Huntley y Brian H. Walker, 273-291. Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-68786-0_13
- Coutinho, Leopoldo Magno. 1990. "Fire in the Ecology of the Brazilian Cerrado". En *Fire in the tropical biota. Ecosystem Processes and Global Challenges*, editado por Johann Georg Goldammer, 82-105. Berlin: Springer.
- Dagosta, Fernando Cesar Paiva y Mario César Cardoso de Pinna 2017. "Biogeography of Amazonian Fishes: Deconstructing River Basins as Biogeographic Units". *Neotropical Ichthyology* 15 (3). <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20170034>
- Dias-Filho, Moacyr Bernardino. 2017. *Degradação de pastagens: o que é e como evitar*. Brasília, D.F.: Embrapa. Consultado el 03 de Julio de 2024. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1070416/1/TC1117Cartilha-PastagemVo4.pdf>
- EcoDebate. 2022. "O desmonte geral da política ambiental brasileira e seus reflexos". 4 de mayo, 2022. <https://www.ecodebate.com.br/2022/05/04/o-desmonte-geral-da-politica-ambiental-brasileira-e-seus-reflexos/>
- Eiten, George. 1972. "The Cerrado Vegetation of Brazil". *The Botanical Review* 38: 201-341. <https://doi.org/10.1007/BF02859158>
- Faria, Karla Maria Silva de y Selma Simões de Castro. 2007. "Uso da terra e sua relação com os remanescentes de cerrado na alta bacia do rio Araguaia (GO, MT e MS)". *Geografia* 32 (3): 657-668.
- Faria, Karla Maria Silva y Rodrigo Antônio dos Santos. 2016. "Análise espacial da densidade de fragmentos remanescentes e da estrutura da paisagem na sub-bacia do rio Caiapó-GO". *Ateliê Geográfico* 10 (2): 115-127. <https://doi.org/10.5216/ag.v10i2.38627>
- Faria, Karla Maria Silva. 2011. "paisagens fragmentadas e viabilidades de recuperação para a sub-bacia do rio Claro

- (GO)”. Tesis de doctorado en Geografía, Universidad Federal de Goiás, Goiânia.
- Fernandes, Alana Raissa. 2020. “A necropolítica sob a perspectiva da política ambiental no governo Bolsonaro (2019-2020)”. Proyecto final de la carrera de derecho, Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNIRN), Natal.
- Fidelis, Alessandra, Alvarado T. Swanni, Ana Carolina Barandas y Vânia R. Pivello. 2018. “The Year 2017: Megafires and Management in the Cerrado”. *Fire* 1 (3): 49. <https://doi.org/10.3390/fire1030049>
- Foley, Jonathan A., Ruth DeFries, Gregory P. Asner, Carol Barford, Gordon Bonan, Stephen R. Carpenter, F. Stuart Chapin, Michael T. Coe, Gretchen C. Daily, Holly K. Gibbs, Joseph H. Helkowski, Tracey Holloway, Erica A. Howard, Christopher J. Kucharik, Chad Monfreda, Jonathan A. Patz, I. Colin Prentice, Navin Ramankutty y Peter K. Snyder. 2005. “Global Consequences of Land Use”. *Science* 309 (5734): 570-574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- Geogoiás. 2002. *Geogoiás 2002: estado ambiental de Goiás 2002*. Goiânia: Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos (SEMARH), Agência Ambiental de Goiás.
- Gomes, Matheus Cardoso, Ana Caroline Rodrigues Cassiano de Sousa, Maximiliano Bayer y Karla Maria Silva de Faria. 2022. “Degradação da vegetação nativa e implicações sobre o regime hidrológico na bacia hidrográfica do rio Claro, sub-bacia do rio Araguaia (GO)”. *Geociências* 41 (3): 559-568. <https://doi.org/10.5016/geociencias.v41i03.15579>
- Greenpeace. 2020. “Incêndios no Pantanal, Amazônia e Cerrado têm forte alta em outubro”. *Greenpeace Brasil*, 22 de octubre, 2020. <https://www.greenpeace.org/brasil/blog/incendios-no-pantanal-amazonia-e-cerrado-tem-forte-alta-em-outubro/>
- Hoffmann, William A. y Adriana G. Moreira. 2002. “The Role of Fire in Population Dynamics of Woody Plants”. En *The Cerrados of Brazil: Ecology and natural history of a neotropical savanna*, editado por Paulo Oliveira, Robert Marquis, 159-177. Nueva York: Columbia University Press.
- IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). 1997. *Rio Araguaia: A temporada da consciência*. Brasília D.F.: Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, Centro Nacional dos Quelônios da Amazônia.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2023. “Bases cartográficas e informações geoespaciais do território brasileiro. Rio de Janeiro: IBGE”. Consultado el 18 de septiembre de 2020. <https://www.ibge.gov.br/>
- Imaflora e ISA (Instituto Socioambiental). 2020. *Mapeamento dos retrocessos de transparéncia e participação social na política ambiental brasileira*. Consultado el 03 de Julio de 2024. https://www.imaflora.org/public/media/biblioteca/mapeamento_dos_retrocessos_de_transparencia_e_participacao_social_na_politica_ambiental_.pdf
- INPE Programa Queimadas (Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales Programa Queimadas). 2025. BDQueimadas. Consultado el 03 de julio de 2025. <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>
- Irion, Georg, Gustavo Manzon Nunes, Catia Nunes-da-Cunha, Erica Cezarine de Arruda, Maitê Santos-Tambelini, André Pereira Dias, Jader Onofre Morais y Wolfgang Johannes Junk. 2016. “Araguaia River Floodplain: Size, Age, and Mineral Composition of a Large Tropical Savanna Wetland”. *Wetlands* 36: 945-956. <https://doi.org/10.1007/s13157-016-0807-y>
- Klink, Carlos A. y Ricardo B. Machado. 2005. “A conservação do Cerrado brasileiro”. *Megadiversidade* 1 (1): 147-155.
- LAPIG (Laboratorio de Sensoriamento Remoto e Geoprocессamento). 2024. “Lapig”. Consultado el 16 de octubre de 2024. <https://lapig.iesa.ufg.br/>
- LAPIG-UFG (Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento-Universidade Federal de Goiás). 2024. “Atlas das Pastagens”. Consultado el 10 de octubre de 2024. <https://atlasdaspastagens.ufg.br/>
- Latrubesse, Edgardo Manuel, Mario Luis Amsler, Roberto Prado de Moraes y Samia Aquino. 2009. “The Geomorphologic Response of a Large Pristine Alluvial River to Tremendous Deforestation in the South American Tropics: The case of the Araguaia River”. *Geomorphology* 113 (3-4): 239-252. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.03.014>
- Lininger, Katherine B. y Edgardo Manuel Latrubesse. 2016. “Flooding Hydrology and Peak Discharge Attenuation Along the Middle Araguaia River in Central Brazil”. *Catena* 143: 90-101. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.03.043>
- Losekann, Cristiana y Raquel Lucena Paiva. 2024. “Política ambiental brasileira: responsabilidade compartilhada e desmantelamento”. *Ambiente & Sociedade* 27: e01764. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoco176r4vu27L1AO>
- MMA (Ministério do Meio Ambiente). 2023. “Bases de dados ambientais e informações territoriais”. Consultado el 18 de septiembre de 2020. <https://www.gov.br/mma>
- MapBiomass Brasil. 2020. “Coleção [4.1] da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil”. Consultado el 20 de julio de 2020 <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org>
- Mascarenhas, Luciane Martins de Araújo, Laerte Guimarães Ferreira y Manuel Eduardo Ferreira. 2009. “Remote Sensing as a Law Enforcement and Environmental Protection Tool: Remnant Vegetation Analysis in the Araguaia River Basin”. *Sociedade & Natureza* 21 (1): 5-18. <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadenatureza/article/view/9450>

- Mendes, Anderson Braga. 2005. "Análise sinérgica da vida útil de um complexo hidrelétrico: caso do Rio Araguaia, Brasil". Tesis de maestría en Ingeniería Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Moss, Gérard e Margi. 2007. *Relatório Projeto Brasil Das Águas: Sete Rios*. Araguaia. Brasília.
- MPOG – IBGE – DGC – CCAR (Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão–Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística–Diretoria de Geociências–Coordenação de Cartografia). 2015. "Base cartográfica contínua do Brasil ao milionésimo". Consultado el 18 de septiembre de 2020. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15759-brasil.html>
- Myers, Norman, Russell A. Mittermeier, Cristina G. Mittermeier, Gustavo A. B. da Fonseca y Jennifer Kent. 2000. "Biodiversity Hotspots for Conservation Priorities". *Nature* 403 (6772): 853-858. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Nascimento, Itaborai Velasco. 2001. "Cerrado: o fogo como agente ecológico". *Territorium*, no. 8, 25-35. https://doi.org/10.14195/1647-7723_8_3
- Oliveira Neto, Barnabé Lucas de. 2022. "Da lama ao caos: o retrocesso da política e liderança ambiental do Brasil sob o governo Bolsonaro". *Novos Cadernos NAEA* 25 (2): 59-80. <https://doi.org/10.18542/ncn.v25i2.9937>
- Ponciano, Tássia Andrielle, Karla Maria Faria, Mariana Nascimento Siqueira y Selma Simões de Castro. 2015. "Fragmentação da cobertura vegetal e estado das Áreas de Preservação Permanente de canais de drenagem no Município de Mineiros, Estado de Goiás". *Ambiência* 11 (3): 545-561.
- Ribeiro, José Felipe y Bruno Machado Teles Walter. 2008. "As principais fitofisionomias do bioma Cerrado". En *Cerrado: ecología e flora*, editado por Sueli Matiko Sano, Semíramis Pedrosa de Almeida y José Felipe Ribeiro, 151-212. Brasília D.F.: EMBRAPA-CERRADOS.
- Rissi, Mariana Ninno, M. Jaime Baeza, Elizabeth Gorgone-Barbosa, Talita Zupo y Alessandra Fidelis. 2017. "Does Season Affect Fire Behaviour in the Cerrado?". *International Journal of Wildland Fire* 26 (5): 427-433. <https://doi.org/10.1071/WF14210>
- Salgado-Labouriau, Maria Léa, Maira Barberi, K. R. Ferraz-Vicentini y Maria. G. Parizzi. 1998. "A Dry Climatic Event during the Late Quaternary of Tropical Brazil". *Review of Palaeobotany and Palynology* 99 (2): 115-129. [https://doi.org/10.1016/s0034-6667\(97\)00045-6](https://doi.org/10.1016/s0034-6667(97)00045-6)
- Salgado-Labouriau, Maria Léa, V Cassetti, K. R. Ferraz-Vicentini, L. Martin, F. Soubiès, K. Suguio y B. Turcq. 1997. "Late Quaternary Vegetational and Climatic Changes in Cerrado and Palm Swamp from Central Brazil". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 128 (1): 215-226. [https://doi.org/10.1016/s0031-0182\(96\)00018-1](https://doi.org/10.1016/s0031-0182(96)00018-1)
- SIEG (Sistema Estadual de Geoinformação). 2023. "Base de dados geoespaciais do Estado de Goiás". Consultado el 18 de septiembre de 2020. <https://goias.gov.br/imb/sieg>
- Silva, Paulo Renato de Freitas da. 2020. "A expansão agrícola no cerrado e seus impactos no ciclo hidrológico: estudo de caso na região do Matopiba". Tesis de Maestría en Desarrollo Sostenible, Universidade de Brasília, Brasília.
- Siqueira, Mariana Nascimento. 2012. "Avaliação geoecológica do processo de fragmentação dos remanescentes de cerrado na sub-bacia do rio das Garças (MT)". Tesis de Maestría en Geografía, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- Souza, Carlos M., Jr., Julia Z. Shimbo, Marcos R. Rosa, Leandro L. Parente, Ane A. Alencar, Bernardo F. T. Rudorff, Heinrich Hasenack, Marcelo Matsumoto, Laerte G. Ferreira, Pedro W. M. Souza-Filho, Sergio W. de Oliveira, Washington F. Rocha, Antônio V. Fonseca, Camila B. Marques, Cesar G. Diniz, Diego Costa, Dyeden Monteiro, Eduardo R. Rosa, Eduardo Vélez-Martin, Eliseu J. Weber, Felipe E. B. Lenti, Fernando F. Paternost, Frans G. C. Pareyn, João V. Siqueira, José L. Viera, Luiz C. Ferreira Neto, Marciano M. Saraiva, Marcio H. Sales, Moises P. G. Salgado, Rodrigo Vasconcelos, Soltan Galano, Vinicius V. Mesquita y Tasso Azevedo. 2020. "Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine". *Remote Sensing* 12 (17): 2735. <https://doi.org/10.3390/rs12172735>
- Suizu, Tainá Medeiros, Edgardo Manuel Latrubesse, Stevaux José Cândido y Maximiliano Bayer. 2022. "Resposta da morfología do médio-curso superior do Rio Araguaia às mudanças no regime hidrossedimentar no período 2001-2018". *Revista Brasileira de Geomorfología* 23 (2): 420-1434. <https://doi.org/10.20502/rbg.v23i2.2088>

Pâmela Camila Assis

Doctoranda en Ciencias Ambientales de la Universidad Federal de Goiás (2022-2026). Maestría em Geografía por la Universidad Federal de Goiás (UFG). Bachillerato en Ciencias Ambientales por la Universidad Federal de Goiás (UFG). Sus líneas de investigación incluyen hidrografía, geomorfología fluvial, geoprocесamiento y teledetección. Actualmente se desempeña como técnica del Laboratorio de Geotecnologías (LABGEO) del Instituto de Geografía de la Universidad Federal de Catalão (UFCAT).

Maximiliano Bayer

Doctor en Ciencias Ambientales por la Universidad Federal de Goiás UFG (beca CNPq). Maestría en Geografía por la Universidad Federal de Goiás (2002) con beca CAPES (Convenio PEC-PG, para estudiantes extranjeros). Geólogo por la Universidad Nacional de San Luis, Argentina (1994). Profesor asociado en el Instituto de Estudios Socioambientales (IESA-UFG) e investigador del Laboratorio de Geomorfología, Geografía Física y Suelos (LABOGEF-UFG). Está vinculado a los programas de posgrado en Ciencias Ambientales (CIAMB) y en Geografía (PPGEO) de la UFG. Su experiencia se centra en geociencias, con énfasis en geología ambiental, geomorfología, geomorfología fluvial y recursos hídricos.

Matheus Cardoso Gomes

Máster en Ciencias Ambientales por la Universidad Federal de Goiás (UFG). Bachillerato en Ciencias Ambientales por la Universidad Federal de Goiás (2018).