Universidad de La Salle
Ciencia Unisalle

Ingeniería Ambiental y Sanitaria | Facultad de Ingeniería

2023

Análisis del impacto a los ecosistemas de la subcuenca del Caño Yamus, Bajo Ariari, por el cambio en el uso del suelo entre 2002 y 2020

Dolly Johanna Layton Arenas
Universidad de La Salle, Bogotá, dlayton00@unisalle.edu.co

María José Ruiz Ayazo
Universidad de La Salle, Bogotá, mruiz63@unisalle.edu.co

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria

Part of the Environmental Engineering Commons

Citación recomendada

Layton Arenas, D. J., & Ruiz Ayazo, M. J. (2023). Análisis del impacto a los ecosistemas de la subcuenca del Caño Yamus, Bajo Ariari, por el cambio en el uso del suelo entre 2002 y 2020. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/2026

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Ambiental y Sanitaria by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

ANÁLISIS DEL IMPACTO A LOS ECOSISTEMAS DE LA SUBCUENCA DEL CAÑO YAMUS, BAJO ARIARI, POR EL CAMBIO EN EL USO DEL SUELO ENTRE 2002 Y 2020

MARÍA JOSÉ RUIZ AYAZO

DOLLY LAYTON ARENAS

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

BOGOTÁ D.C

2023

ANÁLISIS DEL IMPACTO A LOS ECOSISTEMAS DE LA SUBCUENCA DEL CAÑO YAMUS, BAJO ARIARI, POR EL CAMBIO EN EL USO DEL SUELO ENTRE 2002 Y 2020

MARÍA JOSÉ RUIZ AYAZO

DOLLY LAYTON ARENAS

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniera Ambiental y Sanitaria

Director

GUILLERMO BRICEÑO VANEGAS

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

BOGOTÁ D.C

2023

Contenido

Resumen ***8***

Abstract ***9***

Introducción ***10***

Planteamiento del problema ***11***

Objetivos ***13***

Objetivo general **13**

Objetivos específicos **13**

Alcance y Justificación ***14***

Marco de referencia ***15***

Marco conceptual **15**

Marco teórico **17**

Paisaje 17

Ecología del paisaje 17

Estructura y organización del paisaje 19

Función del paisaje 21

Conectividad 21

Métricas del paisaje 22

Estudio multitemporal 23

Intervenciones antrópicas en el paisaje 24

Marco legal **25**

Área de estudio ***27***

Localización geográfica del área de estudio **27**

Aspectos abióticos **28**

Geomorfología y geología 29

Aspectos bióticos **31**

Ecosistemas 31

Fauna 32

Flora 33

Antecedentes del área de estudio ***35***

Metodología ***36***

Fase I o preliminar **36**

Revisión de información secundaria 36

Búsqueda y selección de imágenes satelitales y delimitación de la zona de estudio 37
Fase II o fase de ejecución 37
Gestión y procesamiento de información geográfica e imágenes satelitales.....37
Cálculo de métricas del paisaje 37
Fase III o fase final.....37
Análisis multitemporal del cambio de coberturas en el área de interés entre 2010 y 2020 37
Definición y análisis de los impactos ambientales asociados a las variaciones evidenciadas usando métricas del paisaje.....38
Resultados y análisis de resultados 39
Zonificación ambiental 39
Análisis de cambio en las coberturas ecosistémicas 42
Determinación del régimen de usos del suelo 47
Identificación de las actividades antrópicas desarrolladas en la subcuenca.....51
Conclusiones 56
Bibliografía.....58

Listado de figuras

Figura ***Página***

Figura 1. *Representación de la estructura del paisaje* *19*
Figura 2. *Cultivo de palma de aceite en Colombia, en el período comprendido entre 1970 y 2012* *25*
Figura 3. *Localización del área de estudio* *27*
Figura 4. *Hidrología del área de estudio* *28*
Figura 5. *Geomorfología (a) y Litología (b) del área de estudio* *29*
Figura 6. *Ecosistemas del área de estudio* *32*
Figura 7. *Delimitación del área de estudio, imagen año 2020* *39*
Figura 8. *Zonificación ambiental año 2002* *40*
Figura 9. *Zonificación ambiental año 2020* *41*
Figura 10. *Unidades paisajísticas identificadas en los años 2002 y 2020* *44*
Figura 11. *Distribución porcentual de las coberturas en 2002 y 2020* *45*
Figura 12. *Usos del suelo y porcentaje de ocupación en la subcuenca para 2002 y 2020* ... *48*
Figura 13. *Observación de cambios paisajísticos en un área determinada de la subcuenca. (Imagen superior derecha corresponde al año 2002, imagen inferior derecha corresponde al año 2020)* *53*
Figura 14. *Cultivos palma de aceite año 2020* *54*

Listado de ecuaciones

Ecuación **Página**

Ecuación 1. Índice de dominancia.....*22*
Ecuación 2. Índice de equitatividad.....*23*

Listado de tablas

Tabla **Página**

Tabla 1. *Marco legal.....25*

Tabla 2. *Características generales de los paisajes encontrados en la subcuenca 30*

Tabla 3. *Área de las unidades paisajísticas identificadas en los años 2002 y 2020.....43*

Tabla 4. *Datos de las unidades paisajísticas correspondientes al año 2002.....49*

Tabla 5. *Datos de las unidades paisajísticas correspondientes al año 2020.....50*

Tabla 6. *Valores de dominancia y equitatividad para los años 2002 y 2020.....51*

Tabla 7. *Valor proyectado de demanda hídrica por cultivo permanente de palma de aceite.55*

Resumen

La pérdida acelerada de coberturas naturales de los ecosistemas es un tema que genera gran controversia y preocupación, los monocultivos, el pastoreo y la industrialización, son actividades económicas cuyo desarrollo e implementación ha conseguido desplazar áreas bastante significativas de coberturas naturales, ocasionando en muchos casos afectar la capacidad de los ecosistemas de reponerse a perturbaciones consiguiendo así afectar por completo su funcionalidad, estructura y dinámica. Efectos y consecuencias que empiezan a pasar factura no solo a los ecosistemas sino a quienes dependemos de sus servicios de abastecimiento, de regulación, de apoyo y culturales.

Actualmente contamos con muchas herramientas que nos permiten identificar de manera remota las alteraciones y la fragmentación ecosistémica asociada a lugares específicos de interés, permitiendo la recopilación de información de una forma completa y eficiente, para el desarrollo de este proyecto de investigación, se tendrán en cuenta herramientas de información geográfica que nos permitan obtener características de la subcuenca del caño Yamus en el Bajo Ariari. La zonificación ambiental realizada en el área expone que para 2002, en la subcuenca del caño Yamus, el 83,3% de las coberturas correspondían a coberturas naturales y el 16,7% a coberturas no naturales; mientras que los resultados de la zonificación para el año 2020 indican que las coberturas naturales ocupan el 52, 4% de la totalidad de la subcuenca, mientras que las no naturales ocupan el 47,6%, destacándose los cultivos de palma que ocupan un 24%. Principalmente los cultivos y actividades económicas según la investigación se ubican en ecosistemas de sabana, no hay evidencia de que se genere afectación directa en el bosque de galería en la subcuenca. Se espera que la frontera agrícola continúe expandiéndose y desplazando ecosistemas naturales como las sabanas en la Orinoquía Colombiana.

Palabras clave: sabanas, coberturas, zonificación ambiental, palma de aceite

Abstract

The accelerated loss of natural coverage of ecosystems is an issue that generates great controversy and concern. Monocultures, grazing, and industrialization are economic activities whose development and implementation have managed to displace quite significant areas of natural coverage, causing in many cases affect the ability of ecosystems to recover from disturbances, thus completely affecting their functionality, structure and dynamics. Effects and consequences that are beginning to take their toll not only on ecosystems but on those of us who depend on their supply, regulation, support and cultural services.

We currently have many tools that allow us to remotely identify the alterations and ecosystem fragmentation associated with specific places of interest, allowing the collection of information in a complete and efficient way, for the development of this research project, will be taken into account Geographic information tools that allow us to obtain characteristics of the Yamus channel sub-basin in Bajo Ariari. The environmental zoning carried out in the area shows that for 2002, in the Yamus channel sub-basin, 83.3% of the covers corresponded to natural covers and 16.7% to non-natural covers; while the results of the zoning for the year 2020 indicate that the natural coverages occupy 52.4% of the entire sub-basin, while the non-natural ones occupy 47.6%, highlighting the palm crops that occupy 24 %. Mainly the crops and economic activities according to the research are located in savannah ecosystems, there is no evidence that direct affectation is generated in the gallery forests in the sub-basin. The agricultural frontier is expected to continue expanding and displacing natural ecosystems such as the savannahs in the Colombian Orinoquía.

Keywords: savannahs, covers, environmental zoning, oil palm

Introducción

Las dinámicas de cambio en el uso de la tierra y las coberturas naturales son el fruto de las presiones que ejercen en los territorios los diferentes procesos antrópicos, estos cambios conllevan también a la alteración de la calidad de los bienes y servicios ambientales que ofrecen los ecosistemas. Una manera de monitorear estas dinámicas es a través de análisis temporales que permiten estudiar y modelar el comportamiento y evolución del uso de la tierra y ocupación del territorio a lo largo del tiempo, en este caso teniendo en cuenta las actividades que perturban la conservación y preservación de las coberturas naturales, logrando identificar las zonas más susceptibles a procesos de transformación. A partir de los análisis temporales se obtiene información que permite generar propuestas y estrategias que consideren los escenarios problema que se identifican en el diagnóstico de la estructura ecológica y su afectación a través del tiempo, contribuyendo a la prevención del avance de la fragmentación de los ecosistemas. (Pineda, 2019)

Desde la perspectiva del ordenamiento territorial se busca que exista armonía en la distribución espacial del territorio, teniendo en cuenta las comunidades humanas y su desarrollo, la conservación de los espacios naturales y su biodiversidad, y la implementación de políticas eficaces. La zonificación ambiental resulta ser de gran importancia en la organización del territorio, debido a que permite la identificación de procesos y actividades humanas y también la identificación de coberturas, para posteriormente brindar un diagnóstico en aspectos biofísicos y socioeconómicos del territorio, orientando los planes y políticas que permitan garantizar la sostenibilidad del ambiente y por ende la capacidad de soporte para el desarrollo de las poblaciones. (Villegas et al., 2015)

La formulación de Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas requieren del pleno conocimiento de las condiciones naturales que posee la cuenca, sin embargo para el caso del área de investigación existen vacíos de conocimiento puntualmente

en las características del suelo y en la gestión inherente al mismo, la formulación y/o propuestas de uso y ordenación del suelo basado en la falta de información solo impacta negativamente la composición y el manejo sostenible del suelo y los recursos relacionados. La creciente intervención humana en las cuencas ejerce presión en áreas que finalmente son la base de la biodiversidad, del sostenimiento humano, de la preservación y conservación de recursos naturales.

Planteamiento del problema

El cambio de coberturas y el uso del suelo en el territorio está sometido a diferentes factores asociados a la acción del hombre, tales como el crecimiento poblacional, el incremento de actividades económicas y el incremento de las necesidades humanas. Los procesos de cambio son evidentes en las cuencas hidrográficas, la continua y creciente intervención del hombre ha generado impactos en los componentes bióticos, abióticos y socioeconómicos de las cuencas, reflejándose en la disminución en aspectos de cantidad y calidad del agua y suelo, la alteración en la distribución de especies de flora y fauna, y la pérdida de cobertura boscosa y vegetación original. (Acosta & Casallas, 2019).

El área de estudio seleccionada para el proyecto de investigación es la subcuenca del caño Yamus perteneciente a la cuenca hidrográfica del río Ariari en el departamento del Meta. La cuenca se caracteriza por presentar gran riqueza en cuanto a paisajes geomorfológicos, coberturas naturales y servicios ecosistémicos. Según el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Medio y Bajo Ariari del año 2018, en la cuenca se pueden identificar al menos 65 unidades de coberturas y se evidencia la presión a la cual ha sido sometida, principalmente por actividades del sector agrícola y pecuario. (Cormacarena, 2018).

Al menos en una tercera parte del área de la cuenca Ariari predominan las coberturas transformadas, como pastos limpios, dedicados principalmente a la ganadería extensiva y mosaico de pastos y cultivos, siendo los más representativos los cultivos de arroz y palma de aceite. Precisamente son estos dos sectores, el agrícola y pecuario, los que en el año 2014 representaron aproximadamente el 50% de la demanda hídrica de toda la cuenca, cerca de 150 millones de m^3 de agua por año. (ANLA, s.f).

Las intervenciones y transformaciones del paisaje en la cuenca del río Ariari, han generado una alta fragmentación que se manifiesta en la pérdida de la conectividad estructural de los ecosistemas y la división progresiva de las coberturas, ocasionando en algunos casos la inadecuada ocupación y utilización del territorio, llevando a la generación de conflictos por uso del suelo. La finalidad del proyecto de investigación es identificar cuál ha sido el cambio de las coberturas naturales y usos del suelo en la subcuenca del caño Yamus, ubicada en el municipio de Puerto Rico, Meta, a través de la zonificación ambiental y un análisis multitemporal de la zona para los años 2002 y 2020, los resultados del proyecto podrían servir de apoyo a futuros planes y políticas asociadas al manejo y ordenamiento del territorio.

Objetivos

Objetivo general

Analizar el impacto a los ecosistemas de la subcuenca del caño Yamus, Bajo Ariari, por el cambio en el uso del suelo entre los años 2002 y 2020.

Objetivos específicos

- Determinar el régimen de usos del suelo del área de estudio para el período 2002-2020 por medio del cálculo de métricas del paisaje.
- Realizar el análisis del cambio de coberturas ecosistémicas en el área de estudio entre los años 2002 y 2020.
- Identificar las actividades antrópicas responsables de la pérdida de coberturas naturales en el área de estudio.

Alcance y Justificación

El propósito de la investigación es presentar un análisis comparativo multitemporal de zonificación ambiental de la subcuenca Yamus del río Ariari, en el que se exponga la dinámica de cambio en las diferentes coberturas de la tierra y usos del suelo en la zona de estudio para un período de 18 años, entre los años 2002 y 2020. La zonificación ambiental de la subcuenca Yamus en diferentes períodos de tiempo permitirá la identificación de intervenciones y presiones antrópicas tales como la deforestación y la expansión de cultivos.

La zona de estudio delimitada se encuentra en el municipio de Puerto Rico, en el departamento del Meta, en la zona perteneciente a la cuenca del Bajo Ariari, en el área se desarrollan diferentes actividades económicas, como por ejemplo la ganadería que en las últimas décadas ha contribuido al incremento de las coberturas de pastos por ser la base principal de la producción ganadera, la transformación de las coberturas han convertido al departamento del Meta en uno de los principales núcleos de deforestación y praderización a nivel nacional, permitiendo la ampliación de la frontera agrícola y el crecimiento de la ganadería extensiva. La importancia del análisis multitemporal en el área de la subcuenca Yamus, radica en que la investigación permite establecer las posibles dinámicas y tendencias del cambio en las coberturas y usos del suelo, siendo la base para posibles estrategias de conservación y preservación de los ecosistemas. (Guerrero & Moreno, 2015)

Marco de referencia

Marco conceptual

Capacidad de uso del suelo: Este término presenta la agrupación de suelos, de acuerdo con las características que presenten en aspectos de limitaciones y riesgos. Dicha agrupación reúne tres grandes grupos, de la siguiente manera: los suelos categorizados desde la clase 1 a la clase 4 son aquellos con capacidad para ser utilizados en actividades agrícolas y pecuarias de tipo intensivo y semi intensivo; los categorizados desde la clase 5 a la clase 7 son aquellos con capacidad para ser utilizados también en actividades agrícolas, pecuarias, agroforestales y/o forestales pero de forma restringida; por último, los categorizados como clase 8, son suelos destinados a la preservación, conservación y ecoturismo. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2014).

Cuenca hidrográfica: Este es un concepto también asociado al enfoque de la ecología del paisaje, definida como una porción de la superficie terrestre drenada por una corriente de agua y sus tributarios, que forman una unidad desde el punto de vista hidrológico funcional. Las cuencas forman parte de un paisaje o contienen varios paisajes según su superficie, pudiendo sus límites divisorios de agua coincidir o no coincidir con los de las unidades del paisaje. Es siempre una unidad geográfica funcional" (Etter, 1991).

Ecología del paisaje: El término se refiere a la integración de los patrones de distribución y procesos ecológicos del espacio, analizando las causas y consecuencias de dichos patrones y procesos a partir de gradientes naturales, tales como la topografía, la temperatura, los tipos de suelo, entre otros; permitiendo establecer el funcionamiento de la estructura espacial y la descripción de las interacciones y flujos de energía en los elementos que componen el territorio. (Durán et al., 2002).

Estructura ecológica principal: Se puede entender como un componente importante en el ordenamiento del territorio, la estructura ecológica principal hace referencia a un conjunto de

aspectos y características determinantes de los ecosistemas estratégicos que garantizan la conservación y provisión de servicios ecosistémicos en el tiempo, asegurando la capacidad de soporte para el desarrollo socioeconómico de las poblaciones. (Villegas et al., 2015).

Microcuenca: Corresponde a una red hidrográfica natural, de caudal continuo o intermitente que confluyen en un curso de agua mayor, que a su vez, puede desembocar en un río principal. Dentro de esta clasificación se encuentran la red cuya red de drenaje es menor a 500 Km^2. (Minambiente, 2016)

Ordenamiento territorial: Este concepto se asocia a la armonización del territorio, la población y el gobierno entorno a la sostenibilidad medioambiental garantizando el desarrollo de la población y la gestión de políticas eficaces, el ordenamiento territorial se enfoca en "la distribución espacial sobre el territorio de un país, teniendo en cuenta las configuraciones geográficas, las comunidades humanas, las unidades político-administrativas y los usos del suelo, urbanos y rurales, existentes y propuestos" (Villegas et al., 2015).

Uso del suelo: Es la ocupación del territorio de acuerdo con sus características, su potencial de desarrollo y su capacidad agroforestal para el desarrollo de cualquier actividad. (Procuraduría ambiental y del ordenamiento territorial del D.F, 2003)

Zonificación ambiental: Es el término asociado a la identificación de las unidades paisajísticas del territorio, es útil para el manejo de los espacios, teniendo en cuenta las características y criterios ambientales y orientación en términos de intervención para garantizar la sostenibilidad en el territorio en aspectos ambientales, socioeconómicos y culturales. La zonificación ambiental y el ordenamiento del territorio son aplicaciones con estrecha relación en la formulación de Planes de Desarrollo (PD) y Planes de Ordenamiento Territorial (POT). (Villegas et al., 2015).

Marco teórico

Paisaje

Existen diferentes enfoques hacia la definición de este concepto, múltiples disciplinas han acogido el término y lo han definido de acuerdo con las técnicas y principios propios de cada una. Para el desarrollo de este proyecto investigativo, la unidad de espacio temporal y funcional constituida por un conjunto de ecosistemas interrelacionados es lo que se denomina paisaje, el estudio de dicha unidad requiere inicialmente de identificar tres aspectos fundamentales que la componen, el primero de ellos es la estructura del paisaje, es decir, las relaciones espaciales o patrones de distribución entre los ecosistemas que lo componen, respecto a este aspecto se han identificado diferentes elementos que configuran el paisaje, tales como parches, matriz y corredores biológicos, estos elementos constituyen las unidades mínimas de análisis del modelo paisajístico. El segundo aspecto corresponde a la función del paisaje, que se refiere a la dinámica en general, es decir, a las interacciones de flujos de energía, materiales y especies de los ecosistemas y el tercer aspecto es la evolución o cambio del paisaje, se refiere a las diferentes alteraciones que ha sufrido a lo largo del tiempo el paisaje en su estructura y función, en este aspecto pueden resaltarse términos puntuales como la homogeneidad y heterogeneidad. (Romero, 2005)

Ecología del paisaje

La ecología del paisaje puede entenderse como la ciencia cuyo objetivo de estudio es principalmente los procesos y dinámicas que causan los patrones y procesos espaciales, que dan lugar a la heterogeneidad manifestada en el paisaje, abarcando su caracterización y sus cambios a través del tiempo. (Moyano & Rusinque, 2020).

El término de ecología del paisaje se encuentra ligado a la ordenación del territorio, teniendo en cuenta que esta última debe plantearse en torno al análisis de la estructura territorial, de manera que el territorio se organice y administre adecuada y racionalmente teniendo en cuenta aspectos sociales, económicos, técnicos, ambientales y políticos. Irastorza et al. (2010) sugieren que "el uso racional de los recursos naturales y la conservación y protección del medio ambiente aparecen intrínsecamente unidos a la ordenación del territorio". Garantizar la protección de los ecosistemas del territorio es asegurar en el tiempo la diversidad biológica y oferta de servicios ecosistémicos en áreas de alta significancia para el desarrollo y sustento de las próximas generaciones.

Sumado a la ecología del paisaje se encuentra el concepto de Estructura Ecológica Principal, considerada como una herramienta principal en el ordenamiento del territorio y en procesos de monitoreo, gestión y planificación, el Decreto 3600 de 2007 define el término como "conjunto de elementos bióticos y abióticos que dan sustento a los procesos ecológicos esenciales del territorio, cuya finalidad principal es la preservación, conservación, restauración, uso y manejo sostenible de los recursos naturales renovables, los cuales brindan la capacidad de soporte para el desarrollo socioeconómico de las poblaciones". Incluir la Estructura Ecológica Principal como determinante ambiental para las autoridades ambientales ofrece múltiples ventajas como la identificación de elementos estructurales y estratégicos que permitan orientar la ocupación del territorio hacia un uso más sostenible o la definición de directrices para los modelos de ocupación del territorio teniendo en cuenta los elementos que requieren mayor grado de restricción en su uso o un manejo especial por las características y servicios que provee. En Colombia, hay 33 Corporaciones Autónomas Regionales y solo en 9 de ellas, se ha incorporado la Estructura Ecológica Principal como determinante ambiental. (Morales et al., 2019)

Estructura y organización del paisaje

Son tres elementos principales los que conforman el paisaje, son elementos observables y cartografiables: matriz, corredores y parches. La agrupación de estos influye en diferentes características del mosaico paisajístico, tales como la dominancia, heterogeneidad y dinámica continua y efectiva del paisaje. Estos elementos estructurales a lo largo del tiempo han permitido la descripción del paisaje de una manera simple y práctica; también han permitido la evaluación cuantitativa de la configuración del paisaje y su diversidad constituyente (Lausch et al., 2015). En la figura 1 se pueden observar dichos elementos y a continuación una breve descripción de estos.

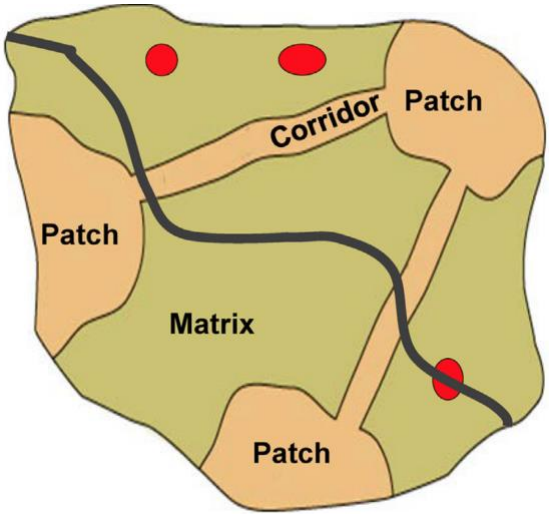

Figura 1. Representación de la estructura del paisaje

Fuente: (Lausch et al., 2015)

- Matriz: En ella se encuentra la vegetación predominante del paisaje, generalmente es el espacio de mayor ocupación y conexión del territorio. En la matriz encajan los demás elementos estructurales. En el caso del área de estudio la matriz corresponde al ecosistema de Sabana. Según Morláns, (2013) las interacciones naturales del paisaje se ven estrechamente influenciadas por el estado y las características propias de la matriz, cuando menos intervenciones presenta es más común que los procesos internos fluyan sin impedimentos.

- Parches: Son áreas relativamente homogéneas en cuanto a la estructura y a la edad vegetativa, comúnmente también son llamadas parcelas o fragmentos, poseen la característica de auto sostenimiento que garantiza el mantenimiento de las funciones ecológicas y son hábitats que contienen biodiversidad importante, generalmente estos parches representan núcleos boscosos del paisaje. (Mateus & Caicedo, 2016)

- Corredores: Se identifican como elementos lineales de hábitat que permiten establecer una conexión entre parches facilitando el flujo de organismos, nutrientes y energía, pueden considerarse atenuantes ante la fragmentación que afecta la conectividad paisajística y poseen variedad respecto a su longitud y anchura. Estos elementos tienen también el papel de ser proveedores de acceso y escape para diferentes especies, permitiendo la presencia de estas hasta en los fragmentos más aislados de la matriz, garantizando espacios biodiversos estructural y funcionalmente. (Mateus & Caicedo, 2016)

El modelo que comprende los elementos de parches, matriz y corredores, se desarrolló en la década de 1980 y fue tomando fuerza debido a los avances en la detección remota y en los sistemas de información geográfica con el fin de evaluar la configuración y composición

del paisaje de manera no solo de manera descriptiva y conceptual sino también cuantitativa. (Lausch et al., 2015)

Función del paisaje

La composición del paisaje permite involucrar múltiples flujos de interacción entre los elementos que lo componen, esto le otorga funciones importantes tales como proveer el entorno para el desarrollo de diferentes especies y actuar como barrera de protección de la biodiversidad.

La interrupción de la conectividad genera fragmentación en el hábitat y pone en peligro la conservación de la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas, de esta manera tiene sentido el análisis en el tiempo de la conservación estructural del paisaje desde diferentes enfoques, en este particularmente para cuestionamientos acerca de las decisiones de planificación y gestión del territorio y también para la identificación de los efectos de actividades e intervenciones humanas en los ecosistemas. Los paisajes, su estructura y funcionamiento, están sujetos a cambios climáticos, cambios en el uso de la tierra, cambios en las coberturas naturales y cambios en las actividades humanas. (Gökyer, 2013)

Conectividad

El concepto de la conectividad puede entenderse en el ámbito de la ecología del paisaje como la característica o la capacidad que tiene el mosaico para facilitar el desplazamiento de organismos en el territorio. Este es un aspecto importante que permite asociar la ordenación espacial del territorio con el comportamiento o dinámica de los sistemas ecológicos, permite también la comprensión acerca de la conservación y preservación de la biodiversidad al interior de los ecosistemas, entre muchos otros aspectos. Cuando más intervenciones se realizan en el paisaje es más común que se expresen efectos

negativos en el mismo, en términos no solo de aislamiento entre sus elementos, sino también de fragmentación.

Métricas del paisaje

Las métricas del paisaje proveen información útil acerca de las relaciones espaciales del paisaje como por ejemplo las aproximaciones, la agregación y el aislamiento entre fragmentos que conforman un tipo de cobertura en particular

Índice de dominancia

El índice de dominancia mide el grado de dominancia o de extensión de varias clases de usos de suelo sobre los demás que dominan el paisaje. Se puede calcular como:

$$D = \frac{\ln(S) + \sum_i [p_i * \ln(p_i)]}{\ln(S)}$$

Ecuación 1. Índice de dominancia

Donde, S es el número de tipos de cobertura, pi, es la proporción del i-ésimo tipo de cobertura. Los valores van de 0 a 1; los cercanos a 1 indican un paisaje dominado por uno o varios tipos de cobertura, mientras que los cercanos a 0 indican que las proporciones de cada tipo de cobertura son casi iguales. (M. H. & Landeros, 2006)

Índice de equitatividad

El índice de equitatividad de Shannon considera no sólo el número de especies, también considera la representación de cuantos individuos por especie, la equitatividad de Shannon mide la relación entre la diversidad observada y la diversidad máxima.

Puede calcularse donde:

$$SHEI = \frac{-\sum_{i}[p_i * \ln(p_i)]}{\ln(S)}$$

Ecuación 2. Índice de equitatividad

Donde S, es el número de tipos de cobertura, pi, es la proporción del tipo de cobertura i-ésimo. Sus valores van desde o a 1; aquellos cercanos a 1 indican que las proporciones de cada tipo de cobertura son casi iguales, mientras que los cercanos a 0 indican que el paisaje se encuentra dominado por uno o más tipos de cobertura. (M. H. & Landeros, 2006)

Estudio multitemporal

Barrera & Chaparro, (2021), sugieren que este tipo de análisis espacial permite la comparación de las coberturas de un mismo lugar a través del uso de imágenes satelitales o mapas, en fechas distintas, mediante este análisis se exponen los cambios en las coberturas naturales que han sido clasificadas, también el progreso o avance de las intervenciones humanas en el espacio. De esta manera se puede considerar la evolución temporal de la composición paisajística del territorio, identificando elementos como parches, corredores y matriz y determinando el estado de estos a través del uso de métricas del paisaje, mencionadas anteriormente. Adicionalmente los estudios multitemporales proveen a las autoridades competentes de recursos que permitan implementar las medidas apropiadas para el mantenimiento de la conectividad física y funcional de los entornos intervenidos por el hombre, llevando al manejo apropiado del paisaje a través de estrategias de conservación.

Los estudios multitemporales destacan principalmente porque permiten tanto el análisis de los cambios en los usos pasados del territorio como la estrategia de conservación para prevenir la tendencia hacia la homogeneización a raíz de la pérdida de biodiversidad y de la pérdida de la dinámica natural. (Sánchez et al., 2021)

Intervenciones antrópicas en el paisaje

La intervención del paisaje genera un proceso de alteración en el que se generan cambios totales o parciales en aspectos estructurales y funcionales del paisaje, estos cambios se deben a múltiples factores vinculados a procesos biofísicos como la geomorfología, el desarrollo del sustrato edáfico, las perturbaciones naturales y principalmente las actividades humanas. Este último da lugar a la disminución de especies altamente sensibles a cualquier cambio en el entorno, alterando así los procesos de dispersión y reproducción de las especies, también genera perturbaciones en los mecanismos de regulación y/o conservación asociados a la redistribución de nutrientes y flujos de energía en los ecosistemas. Dentro de estos procesos de cambio puede resaltarse que los ecosistemas poseen la capacidad y habilidad de absorber, amortiguar y resistir los cambios abióticos y bióticos que ocurren después de las perturbaciones naturales o antropogénicas, sin embargo el incremento desmedido de perturbaciones ambientales han reducido drásticamente la biodiversidad y han llevado al colapso de los recursos naturales, esto se relaciona directamente con la pérdida de dicha habilidad, conocida como resiliencia biológica. (Cuevas, 2010).

El auge de la palma de aceite en Colombia

El cultivo de palma de aceite comenzó a consolidarse en la década de 1960 y presentó un aumento paulatino en área cultivada, fue en el período entre 2000 y 2010 que los cultivos se duplicaron con creces como se observa en la figura a continuación (Marin-Burgos & Clancy, 2017). La expansión acelerada de este agroecosistema fue estimulada en 2001, cuando se reconoció como uno de los sectores económicos más importantes en el país y se incrementó la demanda diversificada del aceite a nivel mundial. El incremento en la demanda de cultivo y producción significa también mayor demanda de los recursos naturales, por ende mayor alteración de los ecosistemas. (Reyes & Rodríguez, 2017)

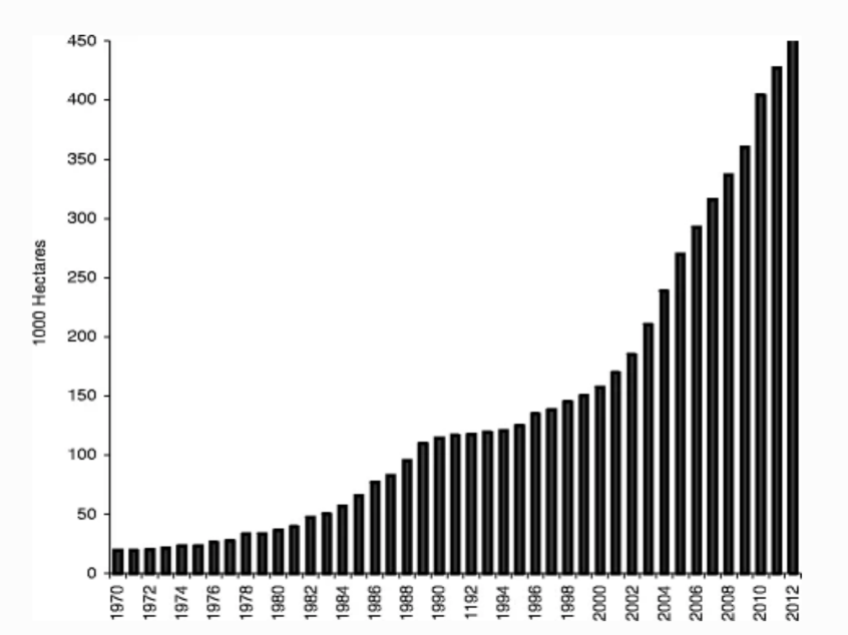

Figura 2. Cultivo de palma de aceite en Colombia, en el período comprendido entre 1970 y 2012.

Fuente: (Marin-Burgos & Clancy, 2017)

En Colombia se distinguen cuatro zonas palmeras en las cuales se distribuyen 58 núcleos palmeros; la zona norte, con 15 núcleos; la zona central con 13 núcleos; la zona oriental con 25 núcleos y la zona suroccidente con 5 núcleos. El departamento del Meta se ubica en la Zona Oriental y a 2016 ocupó la posición 1 en hectáreas sembradas con palma de aceite o palma africana, con un total de 141068 hectáreas, los cultivos se han ubicado principalmente en el piedemonte llanero y en la altillanura plana.

Marco legal

A continuación, en la tabla 1 se presentan algunas de las normativas nacionales que presentan relevancia con la investigación

Tabla 1. Marco legal

Tipo	Descripción	Relación con el proyecto

Decreto 1729 de 2002	Por la cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto-ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas	Presenta las directrices y finalidades de la ordenación de cuencas hidrográficas
Ley 138 de 1994	Por la cual se establece la cuota para el fomento de la agroindustria de la palma de aceite y se crea el Fondo de Fomento Palmero	Establece los objetivos o propósitos fijados a lo que se destinarán los ingresos de la cuota de fomento de la agroindustria de la palma de aceite
Decreto 2811 de 1974	Por la cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de protección al medio ambiente	Establece normas generales de política ambiental enfocadas en la preservación, restauración y conservación de los recursos naturales y su gestión.
Resolución 128 de 2017	Por la cual se adoptan las Bases para la Gestión del Territorio para usos agropecuarios y los Lineamientos de su estrategia de planificación sectorial agropecuaria	Establece lineamientos que promuevan y contribuyan al uso eficiente del suelo direccionando la planificación y desarrollo rural agropecuario
Decreto 2372 de 2010	Por el cual se reglamenta el Decreto-ley 2811 de 1974, la Ley 99 de 1993, la Ley 165 de 1994 y el Decreto-ley 216 de 2003, en relación con el SINAP, las categorías de manejo que lo conforman y se dictan otras disposiciones	Reglamenta el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, las categorías de manejo que lo conforman y los procedimientos asociados a este, fundamentado en principios como garantizar la conservación del patrimonio natural del país.

Área de estudio

Localización geográfica del área de estudio

El área de estudio comprende la microcuenca del caño Yamus, está ubicada en el municipio de Puerto Rico, en el departamento del Meta, como se muestra en la figura 3. Puntualmente el caño se localiza en las veredas de La Lindosa, Guacamayas, Sausalito, La Venada y La Ye.

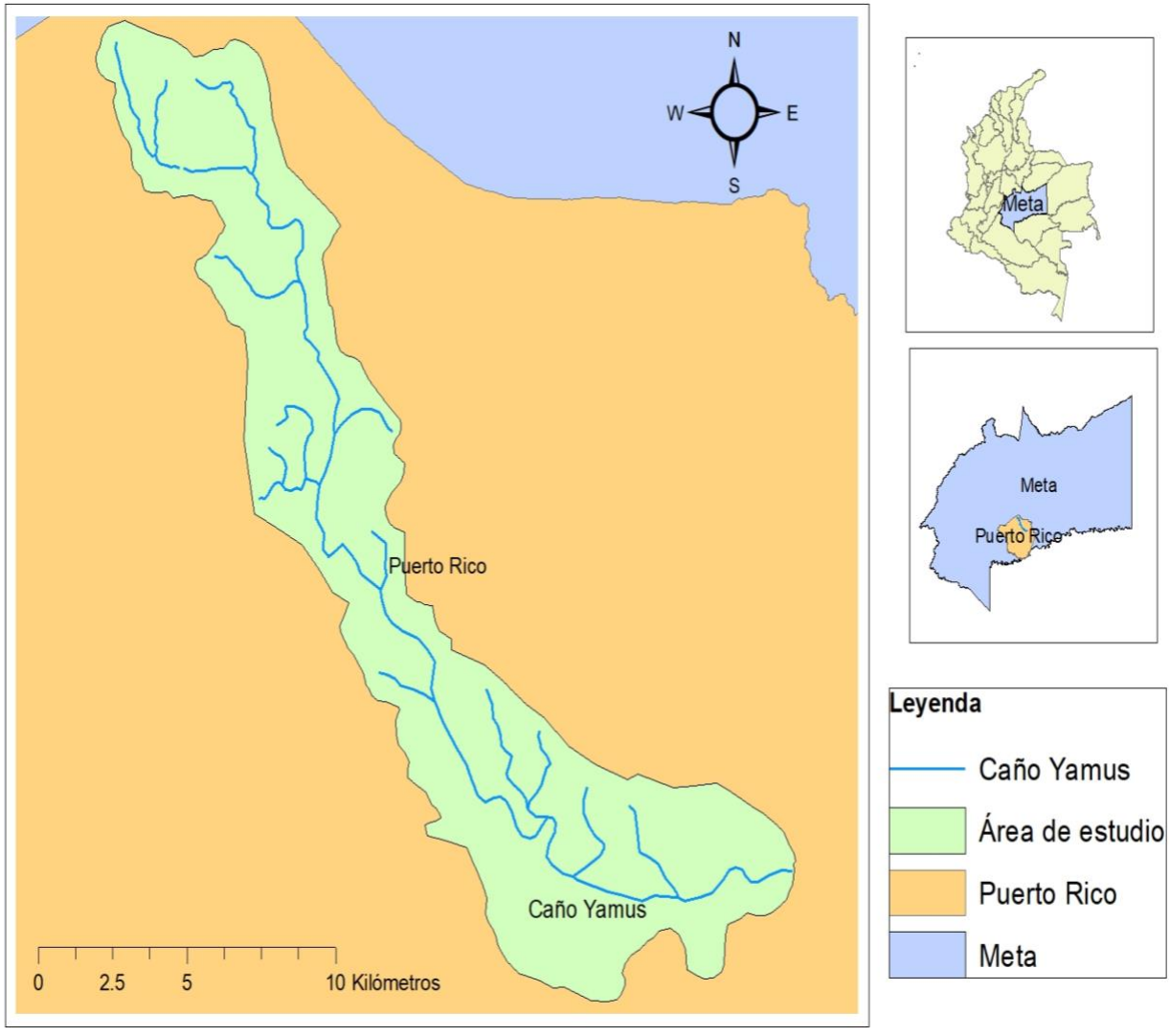

Figura 3. Localización del área de estudio

Fuente: Elaboración propia con base en cartografía del IDEAM 2017

Aspectos abióticos

Hidrología

La zona de estudio es una de las 36 subcuencas identificadas en la Subzona Hidrográfica Río Ariari en la Zona Hidrográfica del Orinoco. La Subzona hidrográfica del Ariari se caracteriza por presentar ecosistemas estratégicos que prestan servicios de aprovisionamiento y regulación hídrica, en general se presenta la percepción de un alto uso del recurso hídrico que puede alterar su calidad y disponibilidad. (ANLA, s.f)

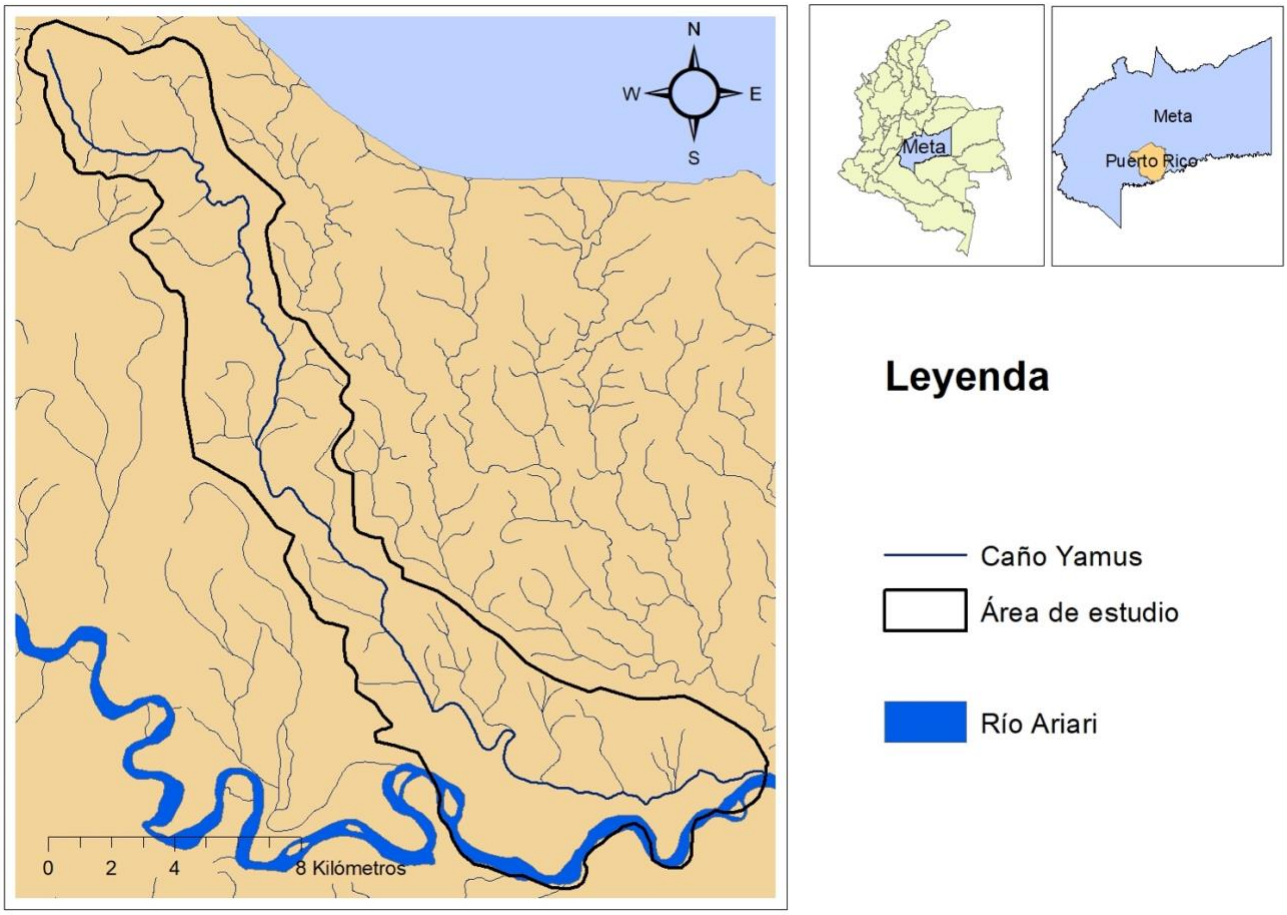

Figura 4. Hidrología del área de estudio

Fuente: Elaboración propia con base en cartografía del IDEAM 2017

Geomorfología y geología

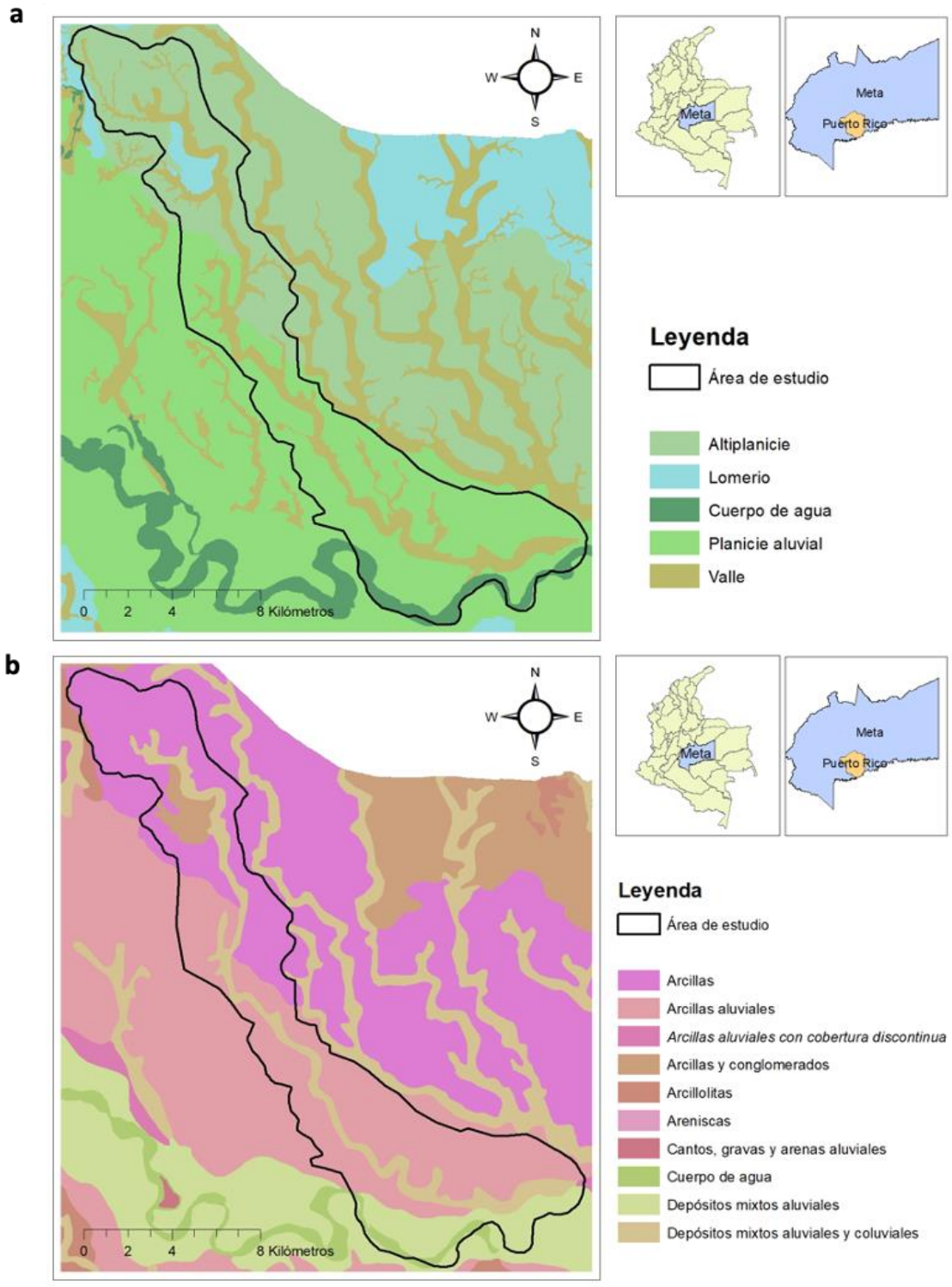

Figura 5. Geomorfología (a) y Litología (b) del área de estudio

Fuente: Elaboración propia con base en cartografía del IDEAM 2017

La mayor parte de la subcuenca obedece a paisajes de planicie aluvial, geológicamente compuestos por depósitos aluviales, principalmente arcillas y por altiplanicie estructural compuesto por arcillas, estos últimos tienden a ser suelos con fertilidad natural muy baja y con altos contenidos de aluminio. (Figura 4-b). (ANLA, s.f)

Tabla 2. Características generales de los paisajes encontrados en la subcuenca

	PAISAJE SUBCUENCA CAÑO YAMUS			
	Altiplanicie	Lomerío	Planicie Aluvial	Valle
Tipos de suelo	Oxisoles e Inceptisoles, derivados arcillosos	Oxisoles y Ultisoles, derivados de arcillolitas y conglomerados	Entisol, Inceptisoles, Oxisoles y Ultisoles, Limo Arcillosos y arenas	Inceptisoles, Entisoles, con propiedades acuícolas y fluvénticas
Textura	Fina a moderadamente gruesa y arenosos	Fina, drenaje excesivo, gruesas con drenaje moderado	Fina, mezclados con materiales orgánicos	Fina, son mal drenados y muy superficiales
Cobertura	Herbazales densos de Tierra Firme y en menor proporción los Bosques de galería y Pastos limpios	Herbazales densos de Tierra firme en las zonas altas y Bosques de galería	Vegetación exuberante y riqueza faunística, transformadas y compuestas por mosaicos de pastos y cultivos, cultivos limpios, arroz cuenca media y palma de aceite cuenca baja y pastos limpios.	Coberturas naturales y seminaturales boscosas y no boscosas, el 75% son de Bosque de Galería, Bosque denso inundable y Herbazales densos de tierras firmes e inundables

Servicios Ecosistémicos	Las coberturas vegetales se asocian a una alta prestación de servicios de regulación y de aprovisionamiento, las coberturas transformadas presentan una baja calificación de regulación, pero alta en aprovisionamiento.	Servicios de regulación y aprovisionamiento, las coberturas transformadas relacionadas con pastos limpios dedicados a la ganadería extensiva presentan baja calificación de regulación, pero alta en aprovisionamiento.	Servicios de regulación, se encuentran coberturas naturales boscosas y no boscosas, restricción para fines agronómicos y cultivos selectivos	Servicios ecosistémicos de aprovisionamiento, el 20% del paisaje presenta coberturas transformadas dedicadas a la agricultura con cultivos limpios y ganadería.

Fuente: (ANLA, s.f)

Aspectos bióticos

Ecosistemas

Se puede atribuir la diversidad de ecosistemas a factores, tales como, el clima, que se asocia a elementos como la precipitación y la altitud, el paisaje y la distribución de la flora y fauna, la figura 5 presenta de manera general la distribución de ecosistemas en la subcuenca, se asocian a ellos servicios ecosistémicos de regulación y aprovisionamiento principalmente. De manera general. La región de la Orinoquía está compuesta principalmente por sabanas y corredores de vegetación riparia (bosques de galería), es ampliamente intervenida a causa de la agricultura y de la ganadería tecnificada. (Ideam, 2001)

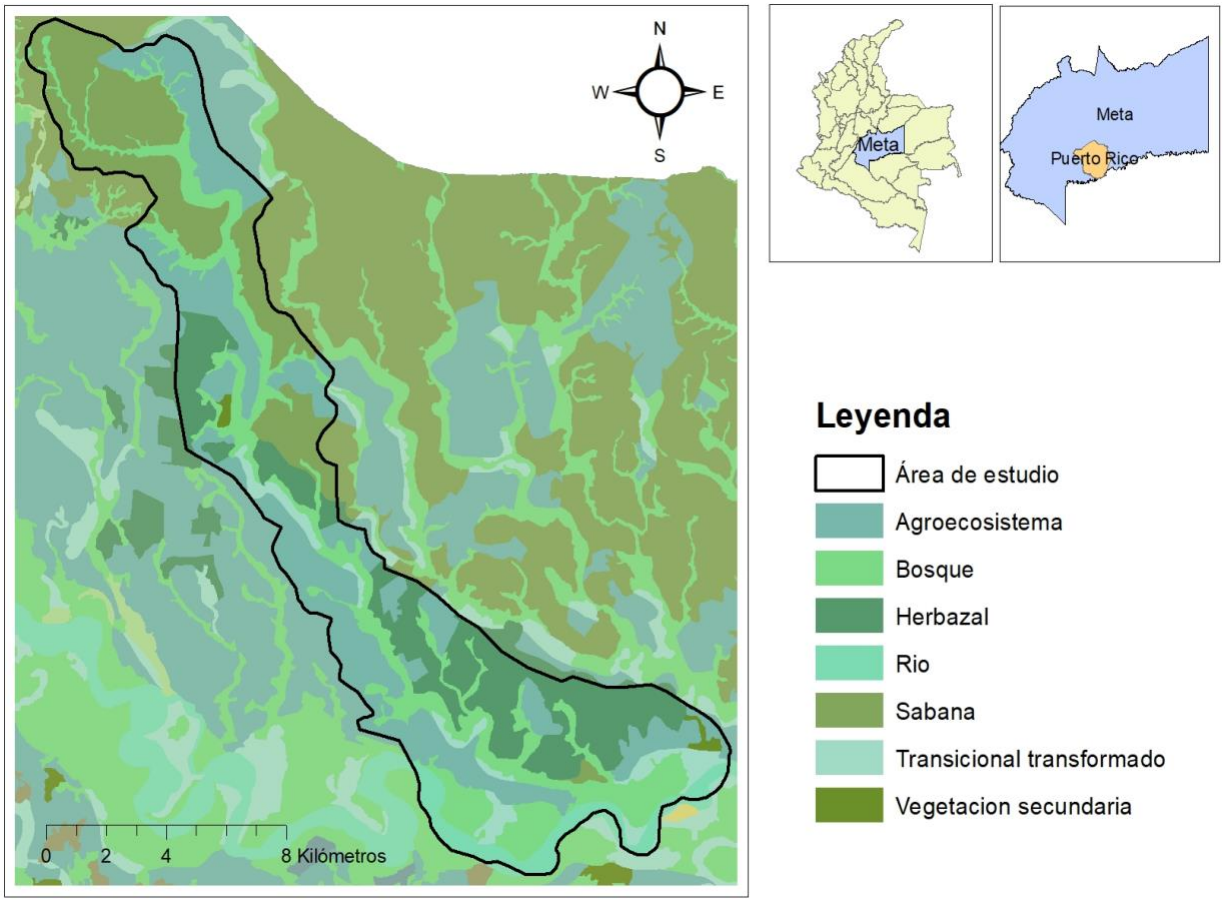

Figura 6. Ecosistemas del área de estudio

Fuente: Elaboración propia con base en cartografía del IDEAM 2017

El municipio de Puerto Rico se encuentra dentro de la jurisdicción del Distrito de Manejo Integrado de los Recursos Naturales Renovables del Ariari- Guayabero (DMI Ariari-Guayabero), el área de la subcuenca integra la zona de producción del DMI.

Fauna

No hay documentados inventarios de la fauna propiamente dicha de la subcuenca del caño Yamus, por lo tanto, a continuación, se describe brevemente la fauna asociada a la región de la Orinoquía.

De acuerdo con Cormacarena, (2016), hay registradas un total de 352 especies de aves en la zona del medio y bajo Ariari, de las cuales se reportan cuatro especies endémicas o casi

endémicas. Las siguientes especies se encuentran en el listado de aves endémicas o casi endémicas de Colombia: *Turdus obsoletus, Synallaxis moesta y Forpus conspicillatus.* En cuanto a mamíferos, se tienen reportadas 155 especies en 31 familias de 10 órdenes. Dentro de la lista de especies amenazadas por el Libro Rojo de los Mamíferos de Colombia, se encuentran en estado crítico (CR): *Tapirus terrestris y Ateles hybridus.*

Cormacarena, (2016), reporta 59 especies de reptiles de 17 familias y 3 órdenes. Se encuentra reportada en peligro crítico (CR) la especie *Podocnemis expansa* y en peligro (EN) la especie *Podocnemis unifilis.*

Flora

La flora asociada a la Orinoquía Colombiana sufrido una gran transformación en las últimas décadas debido al incremento de la agricultura, pastizales para ganadería, desarrollo de infraestructura vial y la explotación petrolera, estos tipos de cambios en la matriz del paisaje puede disminuir la diversidad florística, la fragmentación que generan estas actividades puede llegar a la extinción de algunas especies. (Trujillo et al., 2016).

Arbustal abierto:

Identificados un total de 75 individuos y 44 especies. Las especies con mayor número de individuos son *Clidemia hirta y Miconia* sp1 con un total de 5 individuos cada una. Vegetación arbustiva como los mortiños de la familia Melastomataceae de los géneros *Miconia* sp. y *Clidemia* sp. Se evidencian algunas especies leñosas de poco porte y arbóreas nativas como el chaparro *Curatella americana* y especies de yarumo *Cecropia peltata* y *Cecropia* sp. (Cormacarena, 2016)

Arbustal denso:

Coberturas consideradas “matas de monte” de menor tamaño, predominan especies herbáceas como *Andropogon bicornis, Andropogon gayanus.* En total se registraron 30 individuos de 22 especies para este tipo de cobertura. Las especies de mayor abundancia son *Clidemia hirta y Miconia* sp1 con tres individuos cada una. (Cormacarena, 2016)

Bosque de Galería o Ripario:

Se registraron 61 individuos, correspondientes a 30 especies, correspondientes a zonas boscosas con especies arbóreas, con una intervención antrópica la cual es la ganadería por actividades industriales y agropecuarias, las especies predominantes corresponden a Botoncillo *Casearia* sp2, *Miconia trinervia* con 6 individuos, *Myrcia bracteata* con 5 individuos y *Schefflera morototoni* con 4 individuos. (Cormacarena, 2016)

Bosque denso alto Inundable:

Los reportes e inventarios corresponden a 85 individuos, pertenecientes a 30 especies arbóreas, comprenden zonas boscosas madura con un estrato que sobrepasa 18 m de altura, sobresalen los balsos *Pseudobombax septenatum*, los hobos *Spondias mombin* y el Palo de Lacandón *Dialium guianense* especie maderable de gran uso. Sin embargo, las especies con mayor abundancia son *Spondias mombin* con 12 individuos, seguida por *Casearia* sp2 con 11 individuos y *Phenakospermum guyanense* y *Tapirira guianensis* con 6 individuos cada una. (Cormacarena, 2016)

Antecedentes del área de estudio

Según el POMCA del Río Medio y Bajo Ariari del 2016, en el análisis situacional, el caño Yamus se encuentra catalogado como medianamente transformado y de sostenibilidad media baja debido a la tasa de cambio anual de cobertura natural cuyo porcentaje es del 59%. La microcuenca del caño Yamus representa el 2,47% del área de la cuenca del Río Ariari y presenta un índice de fragmentación moderada para el año 2016.

La microcuenca del caño Yamus se encuentra ubicada en el municipio de Puerto Rico, Meta, este es uno de los municipios con bajo índice de presión demográfica que ha presentado un cambio bastante significativo en sus coberturas naturales, generalmente reemplazadas por pastos limpios y cultivos de palma de aceite. En el municipio se identificaron para 2016 pérdidas principalmente de herbazal denso de tierra firme, seguido por bosque denso alto inundable y bosque de galería, las microcuencas con mayor grado de transformación son los caños Arena, Yamus, Guacamayas y El Paujil.

El área que corresponde al municipio de Puerto Rico pertenece a diferentes áreas de interés para la conservación y preservación de los recursos naturales renovables, como lo son el Distrito de Manejo Integrado de los Recursos Naturales y Renovables La Macarena y el Distrito de Manejo Integrado Ariari - Guayabero, sin embargo, presenta una fuerte presión debido al uso agrícola y ganadero. Las áreas protegidas ofrecen el mantenimiento de ecosistemas, conservación de fauna y flora, regulación hídrica y múltiples servicios ecosistémicos importantes para la sostenibilidad del área. (Cormacarena, 2016)

En el análisis participativo de la situación inicial de la Cuenca en el municipio de Puerto Rico, se identificaron fortalezas en el ámbito ambiental que estaban relacionadas con la riqueza hídrica de la zona, representadas por la presencia de ríos, humedales, lagunas y la riqueza en cuanto a la fauna, flora, y otros ecosistemas. Se considera que las tierras del municipio son ricas y de una alta productividad, la presencia de instituciones y la legalización

de las actividades en el municipio muestran aspectos positivos para el posible desarrollo del municipio y de políticas ambientales. Sin embargo, en el municipio sobresalen deficiencias en la planeación, por ejemplo, respecto a la falta de planes de manejo ambiental y la adaptación al cambio climático. Uno de los mayores conflictos relacionados con el recurso hídrico en el municipio de Puerto Rico, tiene que ver con los palmicultores y las empresas de exploración y explotación petrolera, aunque la información respecto a los impactos ambientales es escasa. (Cormacarena, 2016)

Metodología

Para llevar a cabo el proyecto investigativo, se plantean tres fases de desarrollo metodológico para dar cumplimiento a los objetivos específicos, se desarrollarán las siguientes fases; la fase I o preliminar, la fase II o de ejecución y la fase III o fase final. A continuación, se describen cada una de ellas:

Fase I o preliminar

Revisión de información secundaria

Inicialmente se busca definir la línea base del objeto de estudio con el fin de identificar las características principales del área. A partir de esta revisión también se desarrolló una descripción de las estructuras principales que componen el paisaje y que son vitales para el entendimiento de la conectividad ecológica y su cambio a través de los años. También fue posible en esta fase tener conocimiento acerca de los instrumentos de planificación y manejo de las cuencas hidrográficas y el territorio y el estado actual de dichos instrumentos.

Búsqueda y selección de imágenes satelitales y delimitación de la zona de estudio

Teniendo conocimiento acerca de las características principales del área general, en este caso, la cuenca del Río Ariari, se identifica el área definitiva de estudio, es decir, la microcuenca del caño Yamus, este proceso se lleva a cabo mediante el uso del explorador de imágenes por satélite Google Earth Pro y el software ArcGIS.

Fase II o fase de ejecución

Gestión y procesamiento de información geográfica e imágenes satelitales

Con el área ya delimitada, el siguiente paso es iniciar el reconocimiento de las unidades naturales y culturales del paisaje, a través del trazo de polígonos con la herramienta Google Earth Pro, para los diferentes períodos de tiempo a analizar.

Cálculo de métricas del paisaje

Partiendo del reconocimiento y la zonificación ambiental donde ya se tienen los polígonos por unidades del paisaje, lo siguiente es la determinación del régimen de usos del suelo a través del cálculo del índice de dominancia de O'Neill y el índice de equitatividad Shannon, para estos cálculos se hace uso nuevamente de la información que ofrece Google Earth Pro y del procesamiento de datos en hojas de cálculo de Excel.

Fase III o fase final

Análisis multitemporal del cambio de coberturas en el área de interés entre 2010 y 2020

Teniendo los datos y cálculos de las métricas del paisaje para los dos períodos a comparar, se procede a la organización de los resultados obtenidos en la fase anterior para determinar cuál ha sido la evolución o cambio en la estructura paisajística en un período de 10 años, teniendo en cuenta las categorías naturales y no naturales estipuladas para el análisis.

Definición y análisis de los impactos ambientales asociados a las variaciones evidenciadas usando métricas del paisaje

Al realizar la comparación y evaluación de los cambios en el área de estudio se identifican las actividades, procesos o intervenciones que han generado los cambios en los ecosistemas

Resultados y análisis de resultados

Zonificación ambiental

La delimitación del área de estudio se muestra a continuación, el área seleccionada se procesó para dos diferentes años, 2002 y 2020, en la figura 6, se observa la imagen satelital que corresponde al año 2020.

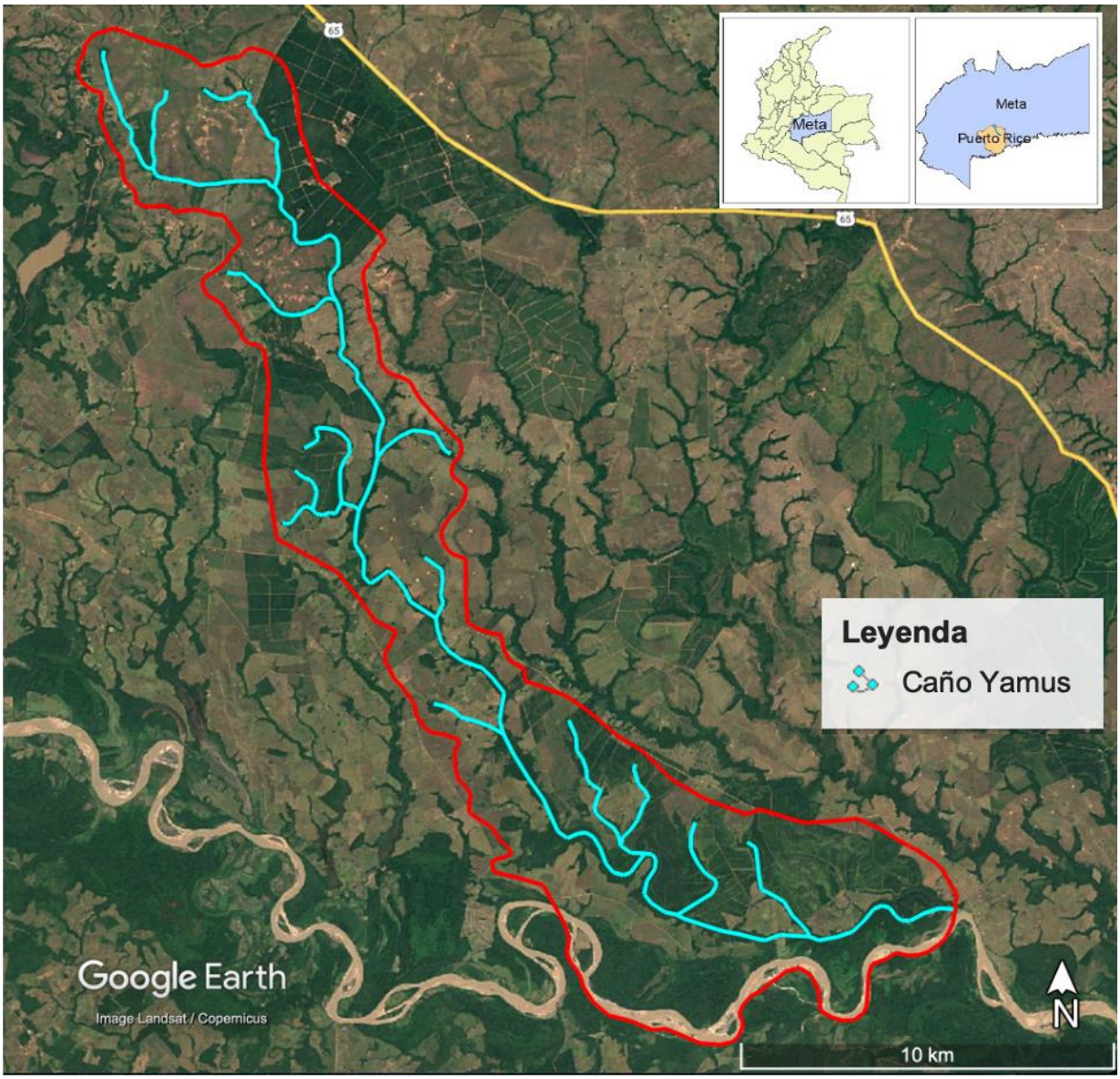

Figura 7. Delimitación del área de estudio, imagen año 2020

Fuente: Elaboración propia con base en Google Earth Pro

La zonificación se construyó a partir de un ejercicio de identificación y clasificación de las coberturas vegetales mediante sensores remotos (Imágenes de satélite, tipo LandSat), el procesamiento de la información llevó a la identificación de 7 unidades paisajísticas: Bosque de galería, bosque inundable, sabana, agroecosistema (esta categoría incluye cultivos, mosaicos de pastos y cultivos transitorios), agroecosistema palmero, área transformada (esta categoría incluye las áreas donde se ha removido la capa vegetal, donde hay indicios de intervención, donde se observa parcelación, potreros, etc.) y cuerpo de agua.

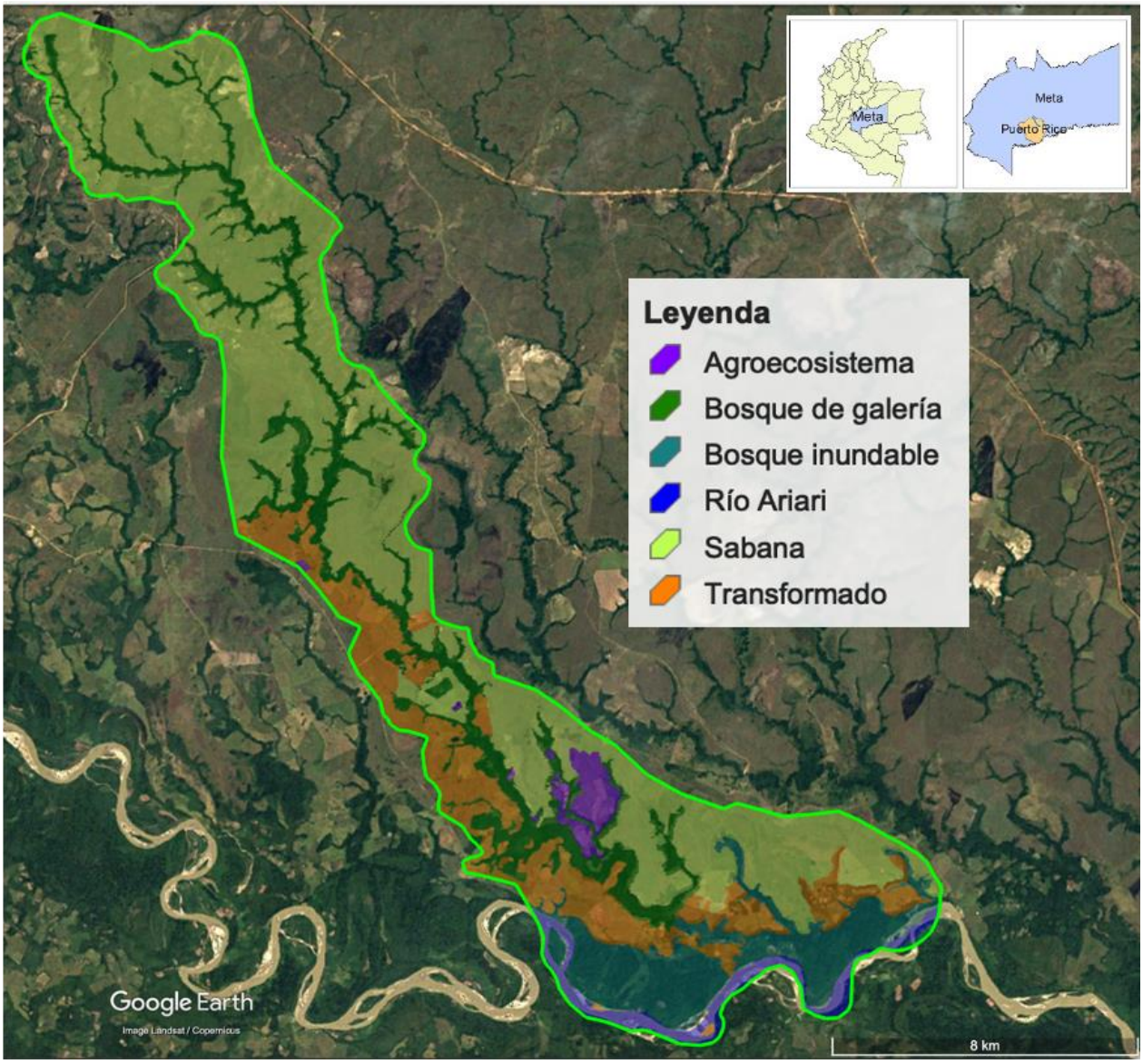

Figura 8. Zonificación ambiental año 2002

Fuente: Elaboración propia con base en Google Earth Pro

En la figura 7 se pueden apreciar dichas unidades y la manera en la que están distribuidas en el área de estudio para el año 2002, sobresale por un lado la cobertura de sabana, ocupando la mayor cantidad de área y por otro, la estructura continua del bosque de galería, las dos coberturas naturales más representativas en la subcuenca Caño Yamus.

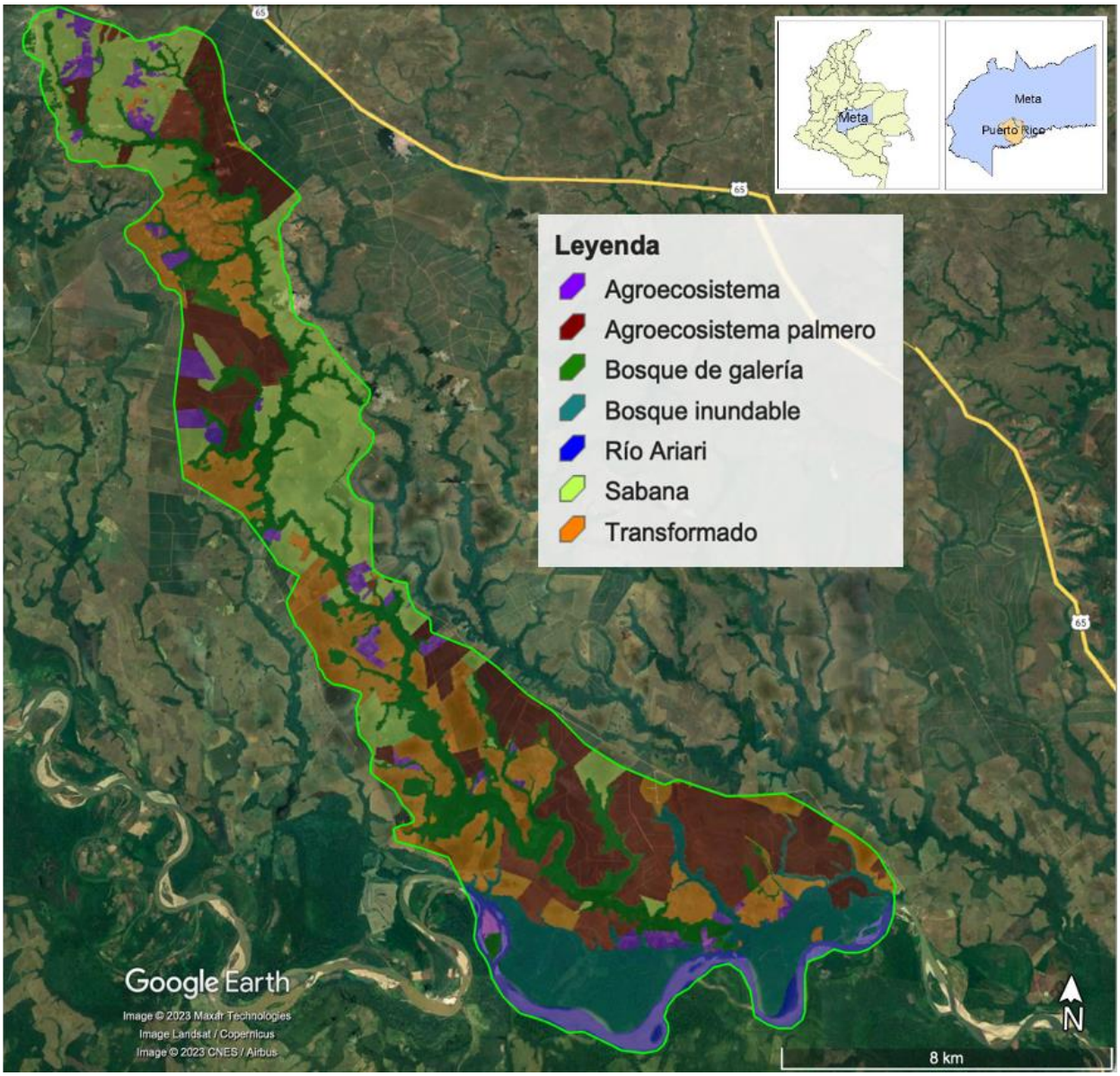

Figura 9. Zonificación ambiental año 2020

Fuente: Elaboración propia con base en Google Earth Pro

En cuanto a la zonificación de 2020, se observa la categoría de agroecosistema palmero, ubicándose en lo que inicialmente, es decir, en el 2002, se reconocía como sabana.

Figura (8). Cabe resaltar que la categoría de agroecosistema palmero solo aparece en el procesamiento de la imagen satelital correspondiente al año 2020, es decir este tipo de cobertura se estableció posterior al año 2002.

Si bien es cierto que el índice de presión demográfico en el municipio de Puerto Rico es bajo es importante tener en cuenta que la transformación de coberturas naturales en la subcuenca de estudio es bastante significativa. A partir de las zonificaciones ambientales se puede apreciar el cambio de ecosistema de sabana a áreas transformadas y plantaciones de palma de aceite. Lo anterior nos permite inferir la naturaleza de la presión ejercida en los ecosistemas, de esta manera, en el área de estudio se determina que el impacto no se genera debido a factores demográficos o de expansión urbana, sino principalmente debido a factores comerciales, la tenencia de la tierra en el municipio, indica que predomina la propiedad privada, facilitando la expansión de monocultivos en este caso de palma de aceite que fomentan la continua ampliación de la frontera agrícola en el área, de manera general, para Romero-Ruiz et al., (2012), los cambios en la cobertura del suelo en la Orinoquía están relacionados con el crecimiento económico y orientado hacia el mercado desde 1970 hasta la actualidad. Respecto a la palma de aceite en la Orinoquía, Moreno (2022) y Torres, (2020) coinciden en que la expansión de estos monocultivos se relacionan con fenómenos de despojo y concentración de tierras, teniendo en cuenta tres variables: la violencia, el Estado y el uso de la tierra, afirmando que, inicialmente el contexto de la violencia dio paso al ingreso de grandes capitales y la apertura de la frontera agrícola en los Llanos Orientales, mientras que por parte del Estado, los modelos agrarios y la influencia de empresarios en políticas para el fomento de la agroindustria, permitieron que en el año 2005 se iniciara el acaparamiento de las tierras que fueron abandonadas en el marco del conflicto armado , por ello la tendencia es que la propiedad privada predomine, finalmente la transición de cultivos a pequeña escala a monocultivos de grandes extensiones han limitado el acceso a la tierra a los campesinos de

las regiones donde se ha desarrollado esta agroindustria. Por otro lado, Rojas & Castiblanco., (2018) asocian la expansión de la palma de aceite como respuesta a satisfacer la creciente demanda de exportación de la materia prima que se obtiene en las plantaciones y que actualmente es ampliamente usada en diversos productos como alimentos procesados, cosméticos, detergentes, biodiesel, entre otros, además considera que la expansión está condicionada también por el fortalecimiento de la política agraria que considera a este monocultivo como motor de desarrollo y crecimiento económico en el país.

Análisis de cambio en las coberturas ecosistémicas

Objetivo específico: Realizar el análisis del cambio de coberturas ecosistémicas en el área de estudio entre los años 2002 y 2020.

En la tabla 3 se recopiló información del área de cada una de las unidades paisajísticas que componen la subcuenca Caño Yamus para los períodos de interés.

Tabla 3. Área de las unidades paisajísticas identificadas en los años 2002 y 2020.

	Área total: 14393 ha	2002	2020
	Unidades del paisaje	Área (hectáreas)	Área (hectáreas)
Unidades naturales	Sabana	7738	3094
	Bosque de galería	2158	2509
	Bosque inundable	1514	1379
	Cuerpos de agua	578	558
Unidades culturales	Agroecosistema palmero	0	3458
	Agroecosistemas	284	635
	Transformado	2121	2760

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar el área correspondiente a cada una de las unidades zonificadas en el área de estudio, en el año 2002 se destacan los ecosistemas de sabana con 7738 hectáreas y los bosques de galería con 2158 hectáreas, estos datos variaron a 2020, donde la mayor área es ocupada por cultivos de palma de aceite o palma africana *(Elaeis guineensis)* con 3458 hectáreas, seguido de sabanas con 3094 hectáreas y bosques de galería con 2509 hectáreas.

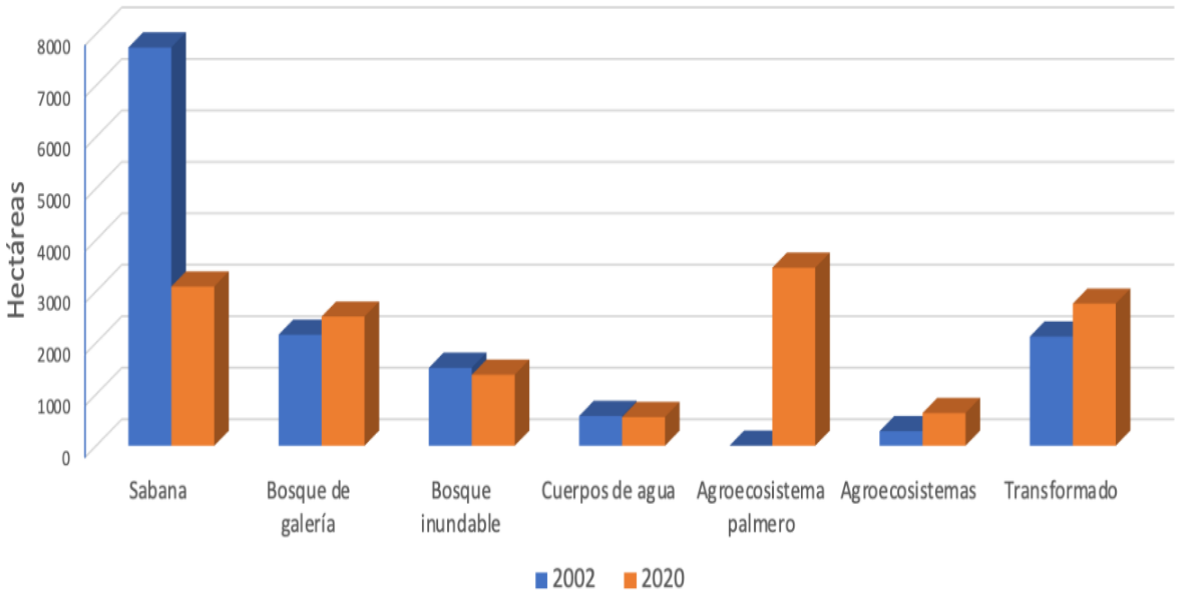

Figura 10. Unidades paisajísticas identificadas en los años 2002 y 2020

Fuente: Elaboración propia

El diagrama de barras anterior permite observar en términos de proporción el cambio de las coberturas en la subcuenca, nos lleva a dimensionar más fácilmente la reducción drástica de cobertura de sabana en al menos el 50% del 2002 al 2020, para Romero-Ruiz et al. (2012), las sabanas son uno de los ecosistemas más amenazados del país por la intensificación en el uso del suelo, sin embargo la atención y los esfuerzos por la conservación de las sabanas Colombianas son limitados y poco documentado, en nuestro país, considerado esencialmente forestal, “ecosistemas como las sabanas o los páramos suelen ser subvalorados en términos de biodiversidad” (Amaya et al., 2015)

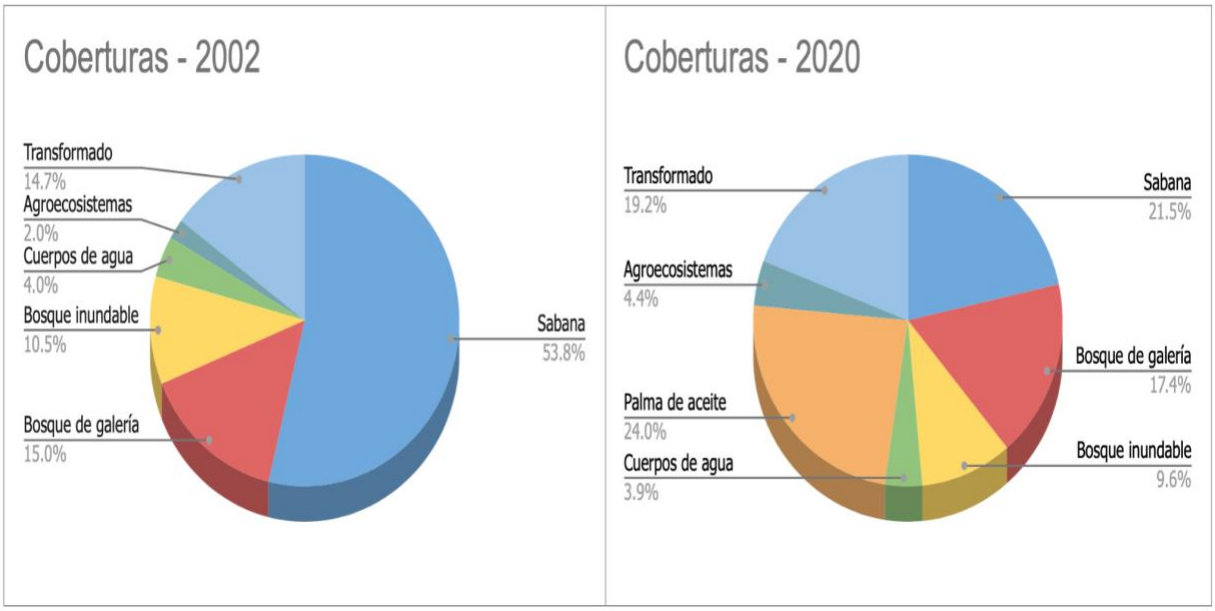

Figura 11. Distribución porcentual de las coberturas en 2002 y 2020

Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje representado por cada categoría en el año 2002 se muestra en la figura 10, el 83,3 % del área todavía estaba cubierta por categorías naturales. De ellas, el 53.8% corresponden a sabanas, seguidos por bosque de galería con un 15%, el bosque inundable ocupando el 10.5% del área de la subcuenca y finalmente los cuerpos de agua con un 4%. El área restante, es decir, el 16.7% lo constituyen categorías no naturales o culturales, siendo la más representativa las áreas transformadas (esta categoría incluye las áreas donde se ha removido la capa vegetal, donde hay indicios de intervención, donde se observa parcelación, potreros, etc) con un 14,7% y los agroecosistemas (esta categoría incluye cultivos, mosaicos de pastos y cultivos transitorios) con un 2%.

Para 2020, las coberturas naturales cubrían el 52.4% del área, de este porcentaje, la sabana ocupa un 21.5%, el bosque de galería un 17.4% y finalmente el bosque inundable un 9.6%. En cuanto a las categorías culturales, en general, estas ocupan el 47.6% restante; el denominado ecosistema palmero tiene una participación del 24%, seguido por las áreas transformadas con un 19.2% y los agroecosistemas con un 4.4%.

Lo anterior refleja que la intervención recae fuertemente en porciones de coberturas naturales de sabana, contrario a la expectativa que se tenía respecto a la fragmentación y pérdida de conectividad en la cobertura boscosa, reafirmando lo hallado en el estudio de Castiblanco et al., (2013) donde su modelo de expansión tenía previsto que a 2020 la expansión de palma aceitera se diera en un 12.7% en áreas de vegetación natural, principalmente en sabanas en la zona oriental del país, sin embargo este estudio también determinó que las expansiones agrícolas para establecimiento de este monocultivo a nivel nacional ocurrirá principalmente en áreas que ya han sido transformadas para otros cultivos o para ganadería y no en áreas boscosas o de sabana.

Según la cuantificación que se muestra en la tabla 3 respecto al área de bosque de galería para los períodos de 2002 y 2020, las áreas corresponden a 2158 y 2509 hectáreas, respectivamente, lo que indica que no solo el ecosistema se mantiene, sino que tuvo un leve incremento en su área, esto evidencia entonces que las intervenciones en el área no se contemplan como un factor de deforestación lo que significa la continuidad en la prestación de servicios ecosistémicos y la conservación de la biodiversidad asociada a los márgenes de los cuerpos lóticos, donde se ubican los bosques de galería; sin embargo el incremento de coberturas transformadas (para desarrollar actividades agrícolas o pecuarias) que desplazan cobertura boscosa o no boscosa se constituyen como agentes tensionantes que pueden propiciar condiciones de susceptibilidad y otros efectos negativos asociados al suelo, al agua, a la fauna, flora y por supuesto al bosque en la subcuenca (ANLA, s.f.). Al respecto, Rozo et al., (2021) señala que en la región de la Orinoquía, el segundo uso productivo, después de la ganadería, es el agrícola, esto ha llevado al establecimiento de cultivos permanentes y transitorios principalmente en los departamentos del Meta y Vichada convirtiendo los bosques nativos en pasturas degradadas y cultivos permanentes de palma de aceite, aunque no es el caso en la subcuenca del caño Yamus, pues el bosque de galería se mantiene, una

posible explicación a esto es que como lo menciona Castiblanco et al., (2013), la intervención del bosque para llevar a cabo las plantaciones requeriría del aumento de costos de establecimiento y de infraestructura como por ejemplo las vías principales de acceso. Aunque se evite por diferentes factores la perturbación directa el área boscosa, el estudio de Sánchez., (2019) evidencia que los bosques de galería son el hábitat de múltiples especies que generalmente no llegan a adaptarse a los cultivos de palma adyacentes a su entorno lo que genera un estado de vulnerabilidad en términos de permanencia y existencia de las especies y del equilibrio del ecosistema. En la Orinoquía colombiana, el aumento de extensiones de tierra dedicadas a los monocultivos se ha convertido en la amenaza de aves endémicas que habitan en pastizales y que contribuyen a la restauración ecológica de la zona, Tamaris et al., (2017) recalca que los cultivos de palma de aceite pueden funcionar como un hábitat favorable para un grupo reducido de especies debido a las barreras en cuanto a movimiento por la altura de las plantaciones.

Determinación del régimen de usos del suelo

Objetivo específico: Determinar el régimen de usos del suelo del área de estudio para el período 2002-2020 por medio del cálculo de métricas del paisaje.

Según el Ideam, (2012), el uso del suelo se refiere a la utilidad que presta un tipo de cobertura, está relacionado con las actividades humanas que pueden desarrollarse en una porción específica del territorio.

De acuerdo con la categorización de unidades culturales en el área, se establecieron dos usos principalmente, el pecuario y el agrícola, teniendo en cuenta que son las actividades económicas más representativas en el área. Figura 12.

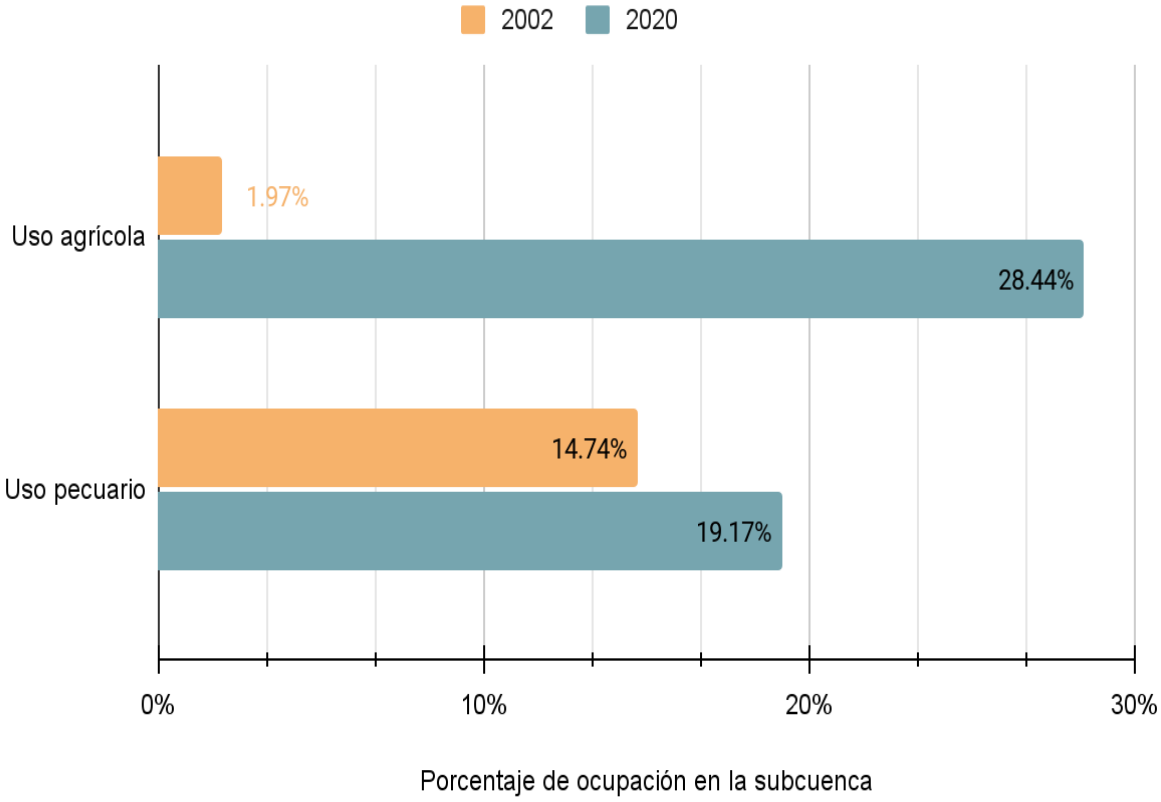

Figura 12. Usos del suelo y porcentaje de ocupación en la subcuenca para 2002 y 2020

Fuente: Elaboración propia.

En 2002, los suelos utilizados para el desarrollo de actividades agrícolas representaban el 1,97% del área total y los utilizados para actividades pecuarias el 14.74%, la evolución en un período de 18 años es claramente más notoria en los suelos de uso agrícola, llegando a representar en 2020 el 28, 44% del área de la subcuenca, mientras que el incremento en las actividades pecuarias no es tan significativo.

En el área de la subcuenca del caño Yamus, como lo indica la zonificación, la actividad agrícola que ha acaparado la zona corresponde a las plantaciones de palma de aceite, Colombia ocupa el cuarto lugar a nivel mundial en la producción de Aceite de palma y el primer lugar en Latinoamérica (Minagricultura, 2020), el departamento del Meta se ha consolidado como el primer productor de palma aceite en el país, contribuyendo con el 31, 76% de la producción nacional, con una productividad de 3,4 toneladas de aceite de palma

crudo por hectárea en 2020 (FEDEPALMA, 2021), se tenía previsto que al año 2020 el área sembrada de palma de aceite alcanzara las 3 millones de hectáreas, sin embargo la cifra fue de 590.189 hectáreas. Se espera que la producción y la expansión de estos cultivos continúe y tome más fuerza en los próximos años y que el departamento del Meta siga liderando como primer productor nacional, respecto a esta situación el IGAC., (s.f) sostiene que el departamento del Meta es un territorio más para conservar que para producir, contrario al concepto que normalmente se tiene del territorio ideal para la ganadería y agricultura, pues el 21,9% de su territorio se considera con capacidad para agropecuaria y el 77% se considera como zonas de protección ambiental o desarrollo forestal, los usos actuales han llevado a que el 43,9% de los suelos presenten un uso inadecuado; el 8,6% por sobreutilización y el 35,3% por subutilización.

Para entender a dinámica de distribución de las coberturas naturales y culturales en el área de estudio se realizó el cálculo de los índices de dominancia y de equitatividad, con las ecuaciones 1 y 2.

Para el año 2002, se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 4. Datos de las unidades paisajísticas correspondientes al año 2002

	2002				
	Unidades del paisaje	Área (hectáreas)	Proporción del Paisaje (pi)	ln(pi)	pi * ln(pi)
Unidades naturales	Sabana	7738	0.54	-0.62	-0.33
	Bosque de galería	2158	0.15	-1.90	-0.28
	Bosque inundable	1514	0.11	-2.25	-0.24
	Cuerpos de agua	578	0.04	-3.21	-0.13
Unidades culturales	Agroecosistema palmero	0	0.00	0.00	0.00
	Agroecosistemas	284	0.02	-3.93	-0.08
	Transformado	2121	0.15	-1.91	-0.28
	Total	14393	1.00	0	-1.34

ln(S)	S (número de coberturas)
1.95	7

Fuente: Elaboración propia

Para la dominancia:

$$D = \frac{ln(S) + \Sigma[p_i * ln(p_i)]}{ln(S)}$$

$$D = \frac{1.95 + (-1.34)}{1.95}$$

$$\boldsymbol{D = 0.31}$$

Para la equitatividad:

$$SHEI = \frac{-\Sigma[p_i * ln(p_i)]}{ln(S)}$$

$$SHEI = \frac{-(-1.34)}{1.95}$$

$$SHEI = 0.69$$

Para el 2020, se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 5. Datos de las unidades paisajísticas correspondientes al año 2020

	2020				
	Unidades del paisaje	Área (hectáreas)	Proporción del Paisaje (pi)	ln(pi)	pi * ln(pi)
Unidades naturales	Sabana	3094	0.21	-1.54	-0.33
	Bosque de galería	2509	0.17	-1.75	-0.30
	Bosque inundable	1379	0.10	-2.35	-0.22
	Cuerpos de agua	558	0.04	-3.25	-0.13
Unidades culturales	Agroecosistema palmero	3458	0.24	-1.43	-0.34
	Agroecosistemas	635	0.04	-3.12	-0.14
	Transformado	2760	0.19	-1.65	-0.32

Total	14393	1.00	0	-1.78
		ln(S)	S (número de coberturas)	
		1.95	7	

Fuente: Elaboración propia

Para la dominancia:

$$D = \frac{ln(S) + \Sigma[p_i * ln(p_i)]}{ln(S)}$$

$$D = \frac{1.95 + (-1.78)}{1.95}$$

$$\boldsymbol{D = 0.08}$$

Para la equitatividad:

$$SHEI = \frac{-\Sigma[p_i * ln(p_i)]}{ln(S)}$$

$$SHEI = \frac{-(-1.78)}{1.95}$$

$$SHEI = 0.92$$

De esta manera, los valores de dominancia y equitatividad se resumen a continuación

Tabla 6. Valores de dominancia y equitatividad para los años 2002 y 2020

	Dominancia (D) O´Neill	Equitatividad de Shannon (SHEI)
2002	0.31	0.69
2020	0.08	0.92

Fuente: Elaboración propia

La dominancia en 2002, fue de 0.31 y la equitatividad de 0.69, mientras que en 2020, la dominancia arrojó un valor de 0.08 y la equitatividad de 0.92, esto nos indica que la composición o configuración del paisaje ha sufrido modificaciones, se puede inferir que la tendencia en el área de

estudio es que las coberturas se distribuyan proporcionalmente de manera similar en el transcurso del tiempo, por lo tanto la dominancia del paisaje en 2020 no se asocia a ninguna cobertura en particular, sin embargo cabe resaltar que lo ideal entorno a la protección y conservación de los recursos naturales sería que las coberturas naturales superen en ocupación a las coberturas culturales, con el fin de garantizar la continuidad de múltiples servicios ecosistémico y el desarrollo sostenible de las comunidades, sin embargo, la transformación ecosistémica es un fenómeno que va en aumento, actualmente más del 15 % de las sabanas de la Orinoquía Colombiana ha sido reemplazadas por pastos introducidos y cultivos (Amaya et al., 2015). La disminución en el valor de la dominancia para 2020 se atribuye al incremento de las áreas ocupadas por coberturas culturales, es decir, agroecosistema, agroecosistema palmero y áreas transformadas que ejercieron presión en la cobertura dominante y además cobertura natural del área en 2002, es decir, las sabanas. La disminución en la dominancia de las coberturas en la composición paisajística sugiere un aumento en la equitatividad, donde se empiezan a distribuir de manera similar las coberturas en términos de proporción.

Identificación de las actividades antrópicas desarrolladas en la subcuenca

Objetivo específico: Identificar las actividades antrópicas responsables de la pérdida de coberturas naturales en el área de estudio.

Expansión agrícola y ganadería semi-intensiva

La revisión de información secundaria y la zonificación nos permite identificar que las principales perturbaciones al paisaje se presentan por la expansión de cultivos y ganadería. Al menos la mitad del área intervenida para 2020, corresponde a cultivos de palma de aceite, las actividades productivas relacionadas con el aprovechamiento y transformación de los recursos naturales son la base principal del sistema económico en la Cuenca Río Medio y Bajo Ariari, es decir, está enfocado en el sector económico primario. En la figura 14 se observa más a detalle cómo ha cambiado la configuración del paisaje en una porción del área de estudio.

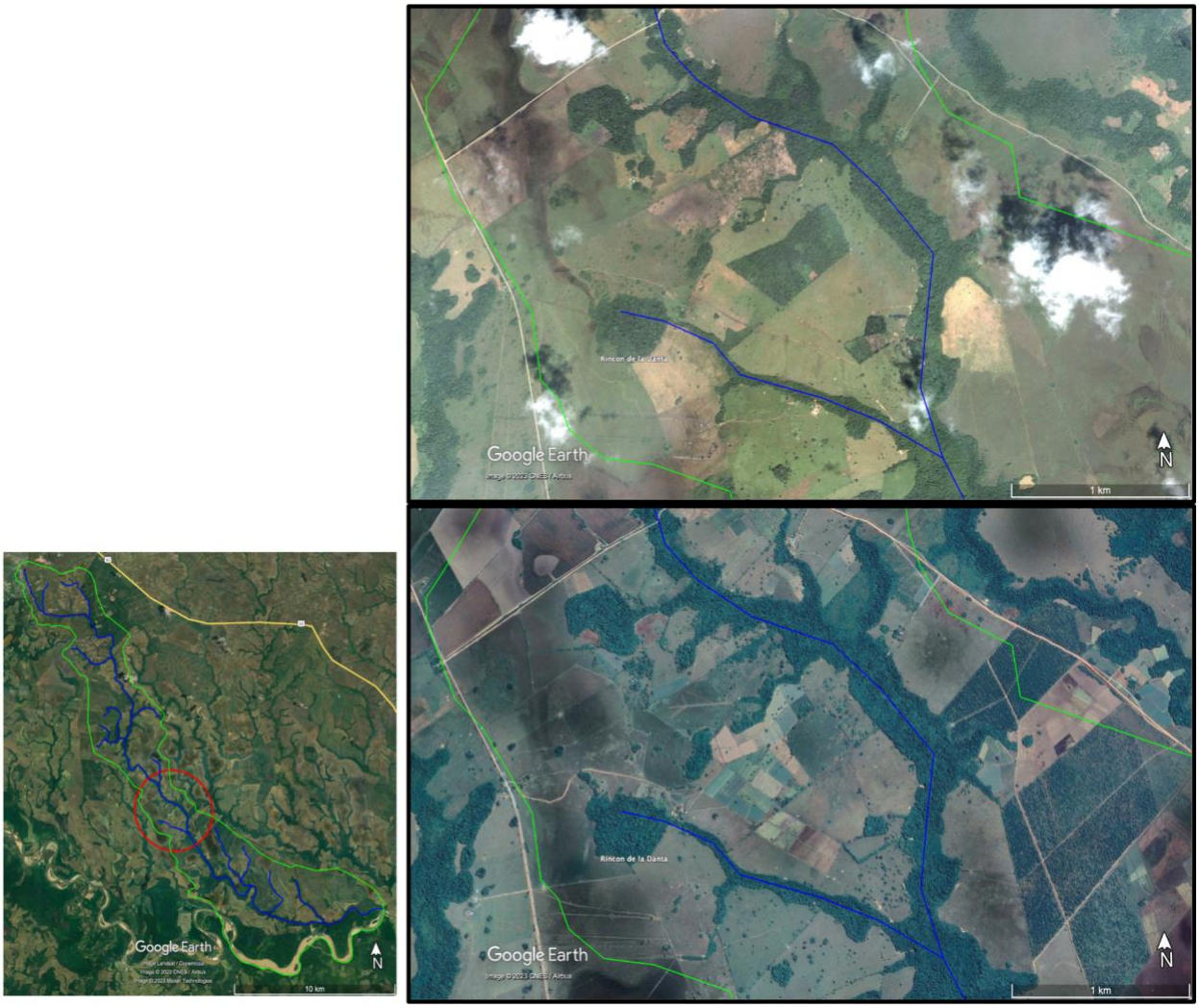

Figura 13. Observación de cambios paisajísticos en un área determinada de la subcuenca. (Imagen superior derecha corresponde al año 2002, imagen inferior derecha corresponde al año 2020)

Fuente: Elaboración propia con base en Google Earth Pro

La expansión de cultivos de palma de aceite en el área de la subcuenca del caño Yamus en un período de 18 años, dio como resultado la intervención de 3458 hectáreas, representando el 24% de las coberturas identificadas en la subcuenca en el año 2020, superando el área ocupada por las sabanas y los bosques de galería, esto evidencia la tendencia hacia el cambio de las coberturas y uso del suelo. La Orinoquía Colombiana es una región dominada por sabanas inundables y estacionales, destinadas en su mayoría a actividades de producción agrícola, ganadera y de uso sostenible de los recursos naturales. La

ampliación de la frontera agrícola es preocupante, más aún cuando solo el 5% del ecosistema de sabana en los Llanos Orientales Colombianos está contemplado como área nacional protegida (Romero-Ruiz et al., 2012).

El crecimiento y establecimiento de grandes empresas dedicadas a la producción agrícola (figura 15) y pecuaria han ido generando cambios en la tenencia de la tierra, en el desplazamiento de las actividades económicas tradicionales campesinas, en la ocupación del territorio, entre otros aspectos (ANLA, s.f).

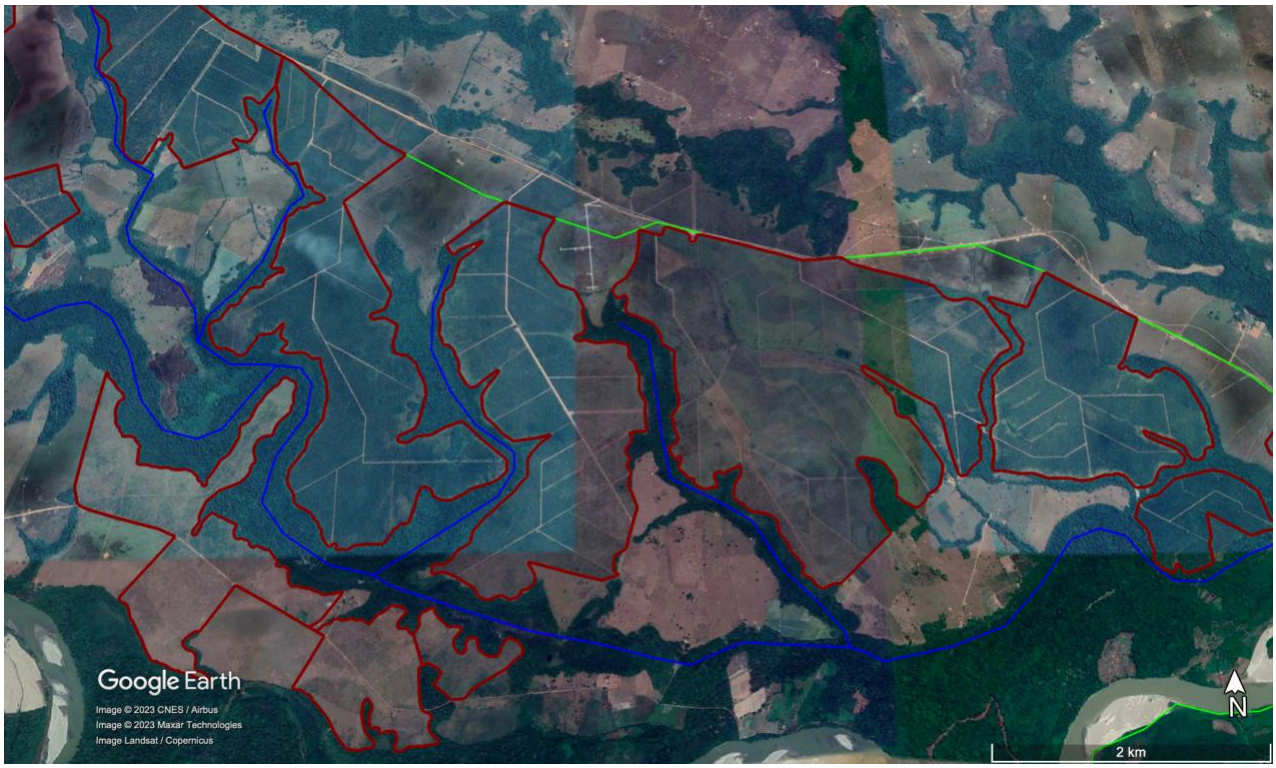

Figura 14. Cultivos palma de aceite año 2020

Fuente: Elaboración propia con base en Google Earth Pro

Cormacarena, (2018), señala algunos conflictos que fueron priorizados para el Río Medio y Bajo Ariari y que podrían relacionarse con las principales actividades económicas mencionadas anteriormente, como por ejemplo, la baja fertilidad natural de los suelos, la susceptibilidad a la erosión, el uso inadecuado de las tierras, la pérdida de la calidad del agua,

la alta vulnerabilidad al desabastecimiento, la posible afectación a la calidad fisicoquímica del agua subterránea y la pérdida de hábitats naturales para especies de flora y fauna.

Podemos sugerir que la mayor presión antrópica se ejerce sobre el recurso hídrico y el recurso suelo. La presión al recurso hídrico a los requerimientos ambientales que son indispensables para obtener resultados óptimos en las plantaciones, por ejemplo, las actividades de riego, según el POMCA Río Medio y Bajo Ariari, en la sección "Prospectiva" en la formulación de Escenarios Tendenciales, las proyecciones del Índice del Uso del Agua (IUA) para 2027, indican que la presión sobre el recurso hídrico aumentará debido principalmente a la expansión de cobertura de palma de aceite, por lo tanto se espera que también aumenten los conflictos por el uso del agua y aumente el Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento (IVH) generando así dificultades en el mantenimiento no solo de los agroecosistemas palmeros, sino en los demás sectores productivos que se desarrollan en la Cuenca del Río Ariari (Cormacarena, 2017) . En el Estudio Nacional del Agua 2022, se identifica al departamento del Meta como el departamento con mayor demanda hídrica agrícola con un 9,9% del total, en este sector se destacan los cultivos de palma de aceite, que corresponden a cultivos permanentes debido a su ciclo vegetativo y de cosecha, estos representan el 8,9% de la demanda hídrica total y se estima según las proyecciones para 2040 un incremento en la demanda de +49%, en la tabla 4 a continuación, se muestra el valor proyectado para el cultivo de palma de aceite a nivel nacional (Ideam, 2023)

Tabla 7. Valor proyectado de demanda hídrica por cultivo permanente de palma de aceite

Cultivo	Valor proyectado quinquenal de demanda hídrica por cultivo permanente (millones de m3/año)	
	Año 2020	Año 2040
Palma de aceite	2891	4309

Fuente: Adaptado de Ideam, (2023).

Gálvez., (2016) indica que sumado al incremento de la demanda hídrica, el uso de fertilizantes para adecuar las propiedades del suelo también afectará de manera directa al recurso hídrico, por el arrastre de fertilizantes a zonas de ríos o cuerpos de aguas superficiales que sufren procesos de eutrofización por los nutrientes transportados que generalmente son nitrógeno, fósforo y potasio, este autor también señala que el recurso suelo se ve afectado inicialmente por un uso equívoco que no corresponde a las características que presentan, teniendo en cuenta que son suelos poco fértiles, con poca materia orgánica disponible, con poca capacidad de retención de nutrientes que dificultad el establecimiento de cualquier cultivo, esto ocasionó que al inicio de la intensificación de los monocultivos las grandes empresas según Devia & Piñeros., (2022) financiaran investigaciones para el mejoramiento de los suelos con el fin de establecer la producción agroindustrial en tierras planas y accesibles.

Algunos estudios como el de Olmos., (2014) sugieren que, con prácticas adecuadas, algunos cultivos de palma dependiendo de las características agroecológicas, edafoclimáticas y socioculturales de los lugares donde se ubican podrían no impactar tan drásticamente los recursos, sin embargo también sugiere pero no dejarían de representar un riesgo a los ecosistemas estratégicos.

Conclusiones

- Los resultados indican que la totalidad de las categorías no naturales identificadas en el área de estudio en un período de 18 años tuvieron incrementos en sus áreas de ocupación, destacándose los agroecosistemas palmero, se identificó además que el aumento de dichas coberturas significó para la subcuenca del caño Yamus el desplazamiento y pérdida de ecosistemas de sabana, que constituyen la matriz paisajística

principal. Las tendencias pasadas que han llevado a constituir a la Orinoquía como la región con más producción de aceite de palma en Colombia indican que el agroecosistema seguirá expandiéndose en la región en los próximos años.

- A 2020, los corredores biológicos, es decir, los bosques de galería se mantienen en términos de área, es decir que al menos en el área que corresponde a la subcuenca del Caño Yamus, no hay deforestación asociada al incremento de sistemas productivos, sin embargo, el fácil acceso a estos ecosistemas permite que sean altamente vulnerables, de alguna forma, la ubicación de los cultivos, rodeando los bosques de galería, entorpece y limita las dinámicas ambientales y ecológicas. Con el proyecto de investigación se esperaba encontrar pérdidas de bosque, debido a que, según la revisión bibliográfica, una de los impactos más marcados y preocupantes de las plantaciones de cultivo de palma se relaciona con la afectación/ alteración de la cobertura boscosa.
- Los estudios relacionados con impactos a los ecosistemas de sabanas son escasos, diversos autores señalan que a lo largo del tiempo las sabanas han sido subvaloradas por sus servicios ecosistémicos, no hay información suficiente, ni estudios estructurados que se enfoquen en los ecosistemas de sabana o sus coberturas, a pesar de corresponder a los ecosistemas dominantes en la Orinoquía. La deficiente atención ha permitido la intervención progresiva en estos ecosistemas, los resultados de la presente investigación indican que en 18 años, se convirtió más del 50% de la cobertura de sabana a cultivos permanentes de palma de aceite, cultivos transitorios o pastos limpios destinados a la ganadería
- Las métricas del paisaje aplicadas a estudios ambientales juegan un papel importante para la identificación de áreas susceptibles o cambios en las dinámicas de las coberturas, cuantificar y poder definir a través de índices ecológicos la distribución de las coberturas, la fragmentación de los bosques, las pérdidas de conectividad, nos permite o

ayuda a comprender los patrones del paisaje que son moldeados y alterados por procesos ecológicos y antropogénicos.

- Evaluar e identificar puntos de cambios inesperados en la naturaleza, en ecosistemas estratégicos se ha convertido en un determinante ambiental importante para definir estrategias y planes encaminados a comprender el diseño y funcionalidad del paisaje y su relación con el desarrollo humano, permitiendo identificar sistemas de producción sostenibles que no atenten contra la conservación o preservación de los recursos naturales

- La conversión de los ecosistemas de sabana, no solo significan la pérdida de cobertura vegetal, es un complejo ecosistema en el que se alteran las propiedades de los suelos, favoreciendo la erosión, la compactación, la pérdida de nutrientes o la capacidad de resiliencia ante la implementación de cultivos que por su ciclo vegetativo y de producción son de carácter permanente, las actividades de riego y de fertilización generan presión sobre los cuerpos de agua, por la demanda hídrica y el riesgo a la contaminación por productos químicos que hagan rentable la producción de monocultivos como la palma de aceite.

- La tenencia de la tierra y la presión demográfica son también factores importantes, la subcuenca del caño Yamus se caracteriza por presentar en casi la totalidad de su área la propiedad privada y un índice de presión demográfica bajo, esto supone que la presencia de los cultivos de palma de aceite obedece a sistemas productivos empresariales, definiendo así que la presión que se ejerce sobre los ecosistemas que conforman la subcuenca es de naturaleza comercial y no de naturaleza demográfica

Bibliografía

Acosta, W., & Casallas, E. (2019). Evaluación del cambio de coberturas de la tierra y efecto de la expansión de la palma de aceite en el municipio de San Carlos de Guaroa, Meta. https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/24604/CasallasGarzonErikaNaileth2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Alfonso García, K. S. (2022). ACCIONES PARA LA CONSERVACIÓN DE ESPECIES DE FAUNA RARAS, AMENAZADAS Y PROTEGIDAS EN UN SISTEMA PRODUCTIVO DE PALMA DE ACEITE EN SAN MARTIN, META, COLOMBIA. Retrieved 4 7, 2023, from https://repositorio.unillanos.edu.co/bitstream/handle/001/2825/Trabajo%20de%20grado%2c%20Acciones%20para%20la%20conservaci%c3%b3n%20de%20especies%20de%20fauna%20raras%2c%20amenazadas%20y%20protegidas%20en%20un%20sistema%20productivo%20de%20palma%20de%20ace

Amaya, P., Etter, A., & Arévalo, P. (2015). Bosques, sabanas y páramos. http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2015/cap2/207/#seccion1

ANLA. (s.f). Reporte sobre Subzona Hidrográfica del río Ariari. anla. https://www.anla.gov.co/documentos/biblioteca/szh_rio_ariari.pdf

Barrera, D., & Chaparro, J. (2021). ANÁLISIS DEL CAMBIO DE LAS COBERTURAS VEGETALES Y SU RELACIÓN CON LAS VARIABLES HIDROLÓGICAS EN EL RÍO MORRO, UBICADO EN EL MUNICIPIO DE MONGUÍ DEPARTAMENTO DE BOYACÁ. Universidad Santo Tomás. Retrieved February 21, 2023, from https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/46087/2022dianabarrera.pdf?sequence=1

Castiblanco, C., Etter, A., & Aide, M. (2013). Oil palm plantations in Colombia: a model of future expansion. http://www.econ.uiuc.edu/~hrtdmrt2/Teaching/SE_2016_19/Papers/Environment/Oil%20palm%20plantation%20in%20Colombia.pdf

Cormacarena. (2016). Capítulo 13. Caracterización de fauna. https://drive.google.com/drive/folders/1sZUFIDRpVpMB_F20Fy2h3KBJHvuN_MoQ

Cormacarena. (2016). Capitulo 22. Síntesis Ambiental. https://drive.google.com/drive/folders/1sZUFIDRpVpMB_F20Fy2h3KBJHvuN_MoQ

Cormacarena. (2016). Diagnóstico. Capitulo 12. Caracterización de vegetación y flora. POMCA Río Medio y Bajo Ariari. Retrieved 4, 2023, from https://drive.google.com/drive/folders/1sZUFIDRpVpMB_F20Fy2h3KBJHvuN_MoQ

Cormacarena. (2016). Diagnóstico. Capitulo 13. Caracterización de Fauna. Retrieved 4 5, 2023, from https://historico.cormacarena.gov.co/gestion-de-planificacion/pomcas/pomca-rio-medio-y-bajo-ariari/

Cormacarena. (2017). Capítulo 2. Escenarios Tendenciales. https://drive.google.com/drive/folders/1O4jhbxBAFg56_5k8o9vz9uog3BivhbOd

Cormacarena. (2018). PLAN DE ORDENACION Y MANEJO DE CUENCA HIDROGRAFICA DEL RÍO MEDIO Y BAJO ARIARI (CODIGO 3206-02) LOCALIZADA EN EL DEPARTAMENTO DEL META EN JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL AREA DE MANEJO ESPECIAL DE LA MACARENA (CORMACARENA). https://drive.google.com/drive/folders/1Is3wUkh2OuaFCpyE9mODVyN4s_2gLvvr

Cuevas, P. (2010). Importancia de la resiliencia biológica como posible indicador del estado de conservación de los ecosistemas: implicaciones en los planes de manejo y conservación de la biodiversidad. Importancia de la resiliencia biológica como posible indicador del estado de conservación de los ecosistemas. Retrieved February 21, 2023, from https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-10/SEMANA5/Lectura_4Semana5.pdf

Decreto 1729 de 2002. (s.f.). https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=5534

Decreto 3600 de 2007 - Gestor Normativo. (s.f). Función Pública. Retrieved February 20, 2023, from https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=26993

FEDEPALMA. (2021). La palma de aceite en el departamento del Meta. https://repositorio.fedepalma.org/bitstream/handle/123456789/141260/Infograf%C3%ADa%20Meta.pdf?sequence=6&isAllowed=y

Gálvez, I. (2016). DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL OCASIONADO POR EL AVANCE DE LOS CULTIVOS DE PALMA ÁFRICANA EN LOS DEPARTAMENTOS DE META Y CASANARE ENTRE 1988 Y 2011. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1155&context=ing_ambiental_sanitaria

Gökyer, E. (2013). Understanding Landscape Structure Using Landscape Metrics. Retrieved February 20, 2023, from https://pdfs.semanticscholar.org/e4e6/09f1e91187dcdb8cd9e018b5d1bfbe8d2352.pdf?_gl=1*1nig1lw*_ga*NTY4NzU2Ny4xNjc2OTUxMzM5*_ga_H7P4ZT52H5*MTY3Njk1MTMzOC4xLjAuMTY3Njk1MTM1OS4wLjAuMA..

Guerrero, D., & Moreno, F. (2015). Estudio multitemporal del uso del suelo y la cobertura forestal en el municipio de Puerto Rico (Meta) y su proyección para el año 2020 - hdl:11349/2561. RIUD. Retrieved February 21, 2023, from https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/2561

Ideam. (2001). Ecosistemas. http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000001/cap7.pdf

Ideam. (2012). Coberturas de la tierra. http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/coberturas-tierra

IDEAM. (2017). ECOSISTEMAS CONTINENTALES, MARINOS Y COSTEROS DE COLOMBIA. https://www.colombiaenmapas.gov.co

Ideam. (2023). Estudio Nacional del Agua 2022. https://www.andi.com.co/Uploads/ENA%202022_compressed.pdf

IGAC. (s.f). Meta: un territorio más para conservar que para producir. https://igac.gov.co/es/noticias/meta-un-territorio-mas-para-conservar-que-para-producir

Irastorza, P., Martín, M., Velñazquez, J., Mauro, F., Romero-Toro, I., & García, A. (2010). Incorporación de la ecología del paisaje a la planificación física y ordenación del territorio. AEIPRO. https://www.aeipro.com/files/congresos/2010madrid/ciip10_0835_0841.2809.pdf

Lausch, A., Haase, D., Blaschke, T., & Herzog, F. (2015). Understanding and quantifying landscape structure – A review on relevant process characteristics, data models and landscape metrics. https://www.researchgate.net/publication/266081058_Understanding_and_quantifying_landscape_structure_-_A_review_on_relevant_process_characteristics_data_models_and_landscape_metrics

Marin-Burgos, V., & Clancy, J. (2017). Understanding the expansion of energy crops beyond the global biofuel boom: evidence from oil palm expansion in Colombia. https://link.springer.com/article/10.1186/s13705-017-0123-2

Mateus, F., & Caicedo, Y. (2016). EFECTO DE LA TRANSFORMACIÓN DEL PAISAJE SOBRE LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE PROVISIÓN DE HÁBITAT DEL HUMEDAL "EL TUNJO" (BOGOTÁ- COLOMBIA), DE 1940 A 2014. Retrieved February 20, 2023, from https://core.ac.uk/download/pdf/326431054.pdf

M. H., B., & Landeros, J. (2006, Octubre). Cuantificación de la fragmentación del paisaje y su relación con Sustentabilidad. International Journal of Good Conscience. Retrieved Febrero, 2023, from http://www.spentamexico.org/v2-n1/2(1)%2026-38.pdf

Minagricultura. (2020). Cadena de Palma de Aceite. https://sioc.minagricultura.gov.co/Palma/Documentos/2020-03-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf

Minambiente. (2016). Microcuencas. https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/microcuencas/

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016, August 10). Capitulo 21. Análisis Situacional. Retrieved February 21, 2023, from https://drive.google.com/drive/folders/1sZUFIDRpVpMB_F20Fy2h3KBJHvuN_MoQ

Morales, P., Cardona, D., Álvarez, C., & Corredor, D. (2019). Estructura ecológica principal para el ordenamiento territorial | Biodiversidad 2019. Humboldt. Retrieved February 20, 2023, from http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2019/cap4/404/#seccion1

Moreno, L. (2022). Palma de aceite: balance sobre los fenómenos de despojo y concentración de tierras ligados a su expansión en Colombia.

https://repository.urosario.edu.co/server/api/core/bitstreams/34990b37-52a2-4224-8f09-dd429e3358ba/content

Morláns, M. (2013). ESTRUCTURA DEL PAISAJE (MATRIZ, PARCHES, BORDES, CORREDORES) SUS FUNCIONES FRAGMENTACION DEL HABITAT Y SU EFECTO BORDE. Retrieved February 20, 2023, from http://www.editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/Ecologia/imagenes/pdf/004-estructuradepaisaje.pdf

Moyano, A., & Rusinque, L. (2020). CONECTIVIDAD DE LAS ÁREAS PROTEGIDAS A TRAVÉS DEL PAISAJE DEL DEPARTAMENTO DE CAQUETÁ. Repositorio Institucional UDCA. Retrieved February 20, 2023, from https://repository.udca.edu.co/bitstream/handle/11158/3373/Conectividad%20de%20%C3%A1reas%20protegidas%20a%20trav%C3%A9s%20del%20paisaje%20del%20departamento%20de%20Caquet%C3%A1.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Olmos, A. (2014). Conflictos ambientales asociados al aprovisionamiento y regulación hídrica, generados por la expansión de cultivos de palma africana: zona oriental colombiana. https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/51640/52536364.2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pardo, L. E., Roque, F. d. O., Campbell, M. J., Younes, N., Edwards, W., & Laurance, W. F. (n.d.). Identifying critical limits in oil palm cover for the conservation of terrestrial mammals in Colombia. ELSEVIER. Retrieved Abril 9, 2023, from https://www.lasalle.edu.co/biblioteca

Pineda, H. (2019). Dinámica de cambio de las coberturas vegetales pertenecientes a la microcuenca del Río Soacha para el periodo de 1999 a 2040 - hdl:11349/23800. RIUD. Retrieved February 20, 2023, from https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/23800

Ramirez-Contreras, N. E., Fontanilla-Díaz, C. A., Pardo, L. E., Delgado, T., Munar-Florez, D., Wicke, B., Riz-Delgado, J., Hilst, F. V. d., Garcia-Nuñez, J. A., Mosquera-Montoya, M., & C. Faaij, A. P. (2021, Marzo 11). Integral analysis of environmental and economic performance of combined agricultural intensification & bioenergy production in the Orinoquia region. Revista de Gestión Ambiental. https://www.lasalle.edu.co/biblioteca

Reyes, L., & Rodríguez, A. (2017). Monografía de estudio sobre los impactos ambientales que generan el cultivo y producción de palma de aceite africana (Elaeis Guineensis jacq.) en el departamento del Meta. https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/13482/1121911388.pdf?sequence=7

Rojas, J., & Castiblanco, C. (2018). Variabilidad espacial y análisis multitemporal sobre los cambios en las coberturas de la tierra ocasionados por la expansión del cultivo de la palma de aceite en los años 1985, 2000 y 2016 en el municipio de San Carlos de Guaroa (Colombia). https://www.researchgate.net/publication/327351364_Variabilidad_espacial_y_analisis_multitemporal_sobre_los_cambios_en_las_coberturas_de_la_tierra_ocasionados_por_la_expansion_del_cultivo_de_la_palma_de_aceite_en_los_anos_1985_2000_y_2016_en_el_munici

Romero, M. (2005). Cambios en la estructura del paisaje del Alt Empordà en el período 1957-2001. https://eds.s.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=9a56028e-df16-45c0-b0e8-d968c083fa37%40redis&bdata=JkF1dGhUeXBlPWlwLHVybCx1aWQmbGFuZz1lcyZzaXRlPWVkcy1saXZl#AN=edstdx.10803.7898&db=edstdx

Romero-Ruiz, M.H., Flantua, S.G.A., Tansey, K., & Berrio, J.C. (2012). Landscape transformations in savannas of northern South America: Land use/ cover changes since 1987 in the Llanos Orientales of Colombia. https://www.researchgate.net/publication/234117927_Landscape_transformations_in_savannas_of_northern_South_America_Land_usecover_changes_since_1987_in_the_Llanos_Orientales_of_Colombia

Rozo, D., Carmona, M., Vallejo, H., Chala, D., Cárdenas, W., Hincapié, D., Pachón, P., & Hernández, M. (2021). INFORME DEFORESTACIÓN Y VULNERABILIDAD CLIMÁTICA DE LA REGIÓN ORINOQUIA. https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/52721

Sánchez, D. (2019). EFECTO DEL CULTIVO DE PALMA AFRICANA SOBRE LA FAUNA Y SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LA ORINOQUÍA COLOMBIANA. https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/26348/Sánchez%20Diana%20Carolina.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sánchez, Y., Martínez, A., Santos, F., Reyes, J., & Criado, M. (2021). Multitemporal Analysis of Land Use Changes and Their Effect on the Landscape of the Jerte Valley (Spain) by Remote Sensing. MDPI. Retrieved February 21, 2023, from https://www.mdpi.com/2073-4395/11/8/1470

Torres, Á. (2020). Acumulación primitiva y acaparamiento de tierras en Colombia. Dinámicas del desarrollo. https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/papelpol/article/view/24686

Trujillo, F., Antelo, R., & Usma, S. (2016). BIODIVERSIDAD DE LA CUENCA BAJA Y MEDIA DEL RÍO META. Retrieved 4, 2023, from https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/biodiversidad_cuenca_baja_media_rio_meta_compressed.pdf

UPRA. (2018). Metodología para la identificación general de la frontera agrícola en Colombia. MINAGRICULTURA. Retrieved Abril 3, 2023, from https://www.andi.com.co/Uploads/METODOLOG%C3%8DA%20PARA%20LA%20IDENTIFICACI%C3%93N%20DE%20LA%20FRONTERA%20AGR%C3%8DCOLA.pdf

Villegas, E., Contreras, D., Cifuentes, A., & Fernández, L. (2015). Ordenamiento territorial como instrumento, para la zonificación ambiental a traves de la Estructura Ecologica Principal, como apoyo a la formulación de los POTs y los POMCAS en Colombia. https://www.researchgate.net/publication/316732246_Ordenamiento_territorial_como_instrumento_para_la_zonificacion_ambiental_a_traves_de_la_Estructura_Ecologica_Principal_como_apoyo_a_la_formulacion_de_los_POTs_y_los_POMCAS_en_Colombia