



ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL EN EL CORREDOR ECOLÓGICO DE VILLAVICENCIO MEDIANTE EL USO DE IMÁGENES SATELITALES

RECIBIDO: 19/07/2023 ACEPTADO: 23/08/2023 ÚLTIMA VERSIÓN: 10/10/2023

ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL IMPACT IN THE VILLAVICENCIO ECOLOGICAL CORRIDOR THROUGH THE USE OF SATELLITE IMAGES

Daymer Arley García Galindo ¹

Profesor Programa Tecnología en Desarrollo de Software

Andrea Marisela Ruiz Páez ²

Profesor Programa Ingeniería Agroecológica

Tahnne Saleh Noriega ³

Profesor Programa Ingeniería Agroecológica

Johanna Cruz Fernández ⁴

Profesor Programa Ingeniería Agroecológica

Leyder Hernán López Díaz ⁵

Profesor de la Unidad de Ingeniería y Ciencias Básicas

RESUMEN

Este proyecto analiza el impacto ambiental en el corredor ecológico de Villavicencio, mediante la utilización de imágenes satelitales, lo que permite el levantamiento de información del medio biofísico para identificar las afectaciones generadas en el ecosistema por los asentamientos humanos en los últimos cinco años. Se identifican coberturas vegetales y cuerpos de agua, apoyándose en información cartográfica, así como en factores geográficos y ambientales a través de técnicas de teledetección, y el uso de sistemas de información geográfica (SIG). Así mismo, se obtienen registros fotográficos mediante el uso de cámaras trampa para determinar la fauna silvestre asociada. La información levantada se socializa mediante el desarrollo de un sitio web como herramienta de divulgación y consulta del impacto ambiental de la zona de estudio. Esta herramienta digital es importante como fuente de investigación ya que supone un insumo para la toma de decisiones en el uso y manejo de estrategias de conservación en el corredor ecológico.

PALABRAS CLAVE: impacto ambiental, imágenes satelitales, cámaras trampa, conservación, Sistemas de Información Geográfica, corredor ecológico.

¹ Profesor Programa Tecnología en Desarrollo de Software - Unidad de Ingeniería y Ciencias Básicas - Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO - Villavicencio, Colombia

² Profesor Programa Ingeniería Agroecológica Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO - Villavicencio, Colombia

³ Profesor Programa Ingeniería Agroecológica - Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO - Villavicencio, Colombia

⁴ Profesor Programa Ingeniería Agroecológica - Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO - Villavicencio, Colombia

⁵ Profesor de la Unidad de Ingeniería y Ciencias Básicas - Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO - Colombia

ABSTRACT

This project analyzed the environmental impact in the ecological corridor of Villavicencio. By using satellite images for the collection of information on the biophysical environment, it was possible to identify the effects generated by human settlements in the ecosystem within the last five years. Based on cartographic information, vegetation cover and bodies of water were identified, as well as geographic and environmental factors through remote sensing techniques and the use of geographic information systems (GIS). Photographic records were also obtained using camera traps to determine the associated wildlife. The collected information was socialized through the development of a website as a broadcasting and consultation resource of the environmental impact of the ecological corridor area. This digital resource is important for research because it is an input for decision making in the use and management of conservation strategies in the ecological corridor.

KEYWORDS: environmental impact, satellite images, camera traps, conservation, Geographic Information Systems, ecological corridor.

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto de investigación realiza una exploración del corredor ecológico de la ciudad de Villavicencio en el departamento del Meta, abordando los componentes bióticos, suelo y recursos hídricos para determinar el efecto de las actividades humanas sobre el estado general de los recursos naturales. Este estudio tiene como propósito principal analizar las interrelaciones entre la cobertura vegetal, la salud del suelo y los cuerpos de agua en este corredor, reconociendo su papel crítico en la diversidad biológica regional y la provisión de servicios ecosistémicos esenciales. Al enfocarse en evaluar las transformaciones en la cobertura vegetal y su conexión con la salud del suelo y la dinámica acuática, se busca participar en el reconocimiento de la estructura ecológica principal combinando información primaria y secundaria con herramientas novedosas, como la teledetección y los sensores de cámaras trampa para hacer trazabilidad en los datos obtenidos, también, se pretende reportar las amenazas que enfrentan estos ecosistemas.

La relevancia de esta investigación destaca por la necesidad de conocer los factores que impactan el corredor ecológico. La pérdida de cobertura vegetal, la degradación del suelo y las alteraciones en los cuerpos de agua representan desafíos significativos que requieren una comprensión profunda. A través de una revisión crítica de investigaciones anteriores, se sitúa el estudio como un aporte en el estado del desarrollo sostenible y la conservación, subrayando la oportunidad de contribuir con nuevas perspectivas y fundamentar estrategias de conservación en ecosistemas de Villavicencio.

2. MÉTODO**2.1. ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS**

El método utilizado en esta investigación se basa en estrategias metodológicas que permitan abordar de manera integral el análisis del impacto ambiental en el corredor ecológico de Villavicencio, centrándose en los componentes de coberturas vegetales, suelos y recurso hídrico mediante muestras recolectadas.

La metodología seleccionada para la investigación se fundamenta en un enfoque mixto que integra aspectos cualitativos y cuantitativos. Este enfoque permite la combinación de alcances exploratorios, descriptivos y correlacionales, con el propósito de obtener una visión completa y profunda del

estado actual del corredor ecológico de Villavicencio. De esta manera, se implementan técnicas cualitativas, como la observación directa y la foto trampeo, para la recolección de información primaria en el terreno, permitiendo una comprensión contextualizada de la realidad del ecosistema.

Se realiza un análisis de datos secundarios obtenidos de estudios de impacto ambiental, planes de manejo ambiental e imágenes satelitales disponibles en repositorios como Open Access Hub y Landsat.

El enfoque facilitó una evaluación integral de las características ambientales y las influencias antrópicas en el área de estudio.

El análisis de tipo estructurado no experimental se empleó en la manipulación de variables dependientes para describir el entorno e identificar posibles correlaciones. Este diseño metodológico contribuirá a obtener una comprensión holística y fundamentada del corredor ecológico, brindando información valiosa para la toma de decisiones y la planificación sostenible.

2.1.1. INSTRUMENTOS DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN

En el marco de esta investigación, se utilizan varios instrumentos como herramientas clave para la recopilación de datos. La elección de cada instrumento se basa en el cumplimiento de los objetivos propuestos.

Para el análisis de coberturas vegetales, suelos y cuerpos de agua, se emplearán imágenes satelitales provenientes de Open Access Hub y Landsat, seleccionadas por su capacidad para ofrecer una visión detallada y amplia del área de estudio.

La técnica de fototrampeo implementada para la obtención de imágenes de fauna silvestre, aprovechando su eficacia en la observación no invasiva de la biodiversidad local. Asimismo, se integrará la matriz de Leopold como un instrumento eficiente para la valoración multicriterio de impactos ambientales, considerando su capacidad para conciliar diferentes perspectivas e integrar aspectos sociodemográficos, culturales, físicos y bióticos.

Cada uno de estos instrumentos ha sido seleccionado cuidadosamente para asegurar su pertinencia en el marco de la investigación.

2.1.2. PROCEDIMIENTO

Durante el desarrollo de la investigación se parte de la identificación del área y la delimitación de subáreas de interés, seguido por la recopilación de información secundaria, incluyendo estudios de impacto ambiental, planes de manejo ambiental y estudios ecológicos previos.

Seguidamente, se analizan los impactos ambientales mediante una valoración multicriterio, utilizando la matriz de Leopold. Esta matriz facilita la integración de diversos puntos de vista, como intereses económicos, sociales, éticos, políticos, físicos y bióticos donde se facilite la elaboración de criterios para que una iniciativa tenga posibilidad de ser aceptada o modificada para una transformación efectiva del medio y se asegure el bienestar de los ciudadanos (García, 2004). Por esto, se considera la matriz de Leopold como la valoración más efectiva ya que resulta una relación de componentes versus etapas del proyecto donde se le asigna un valor. Así, una vez se obtiene una cifra ponderada dentro de dimensiones, se puede cuantificar hasta el punto de otorgar pesos específicos, para considerar hechos y realizar ajustes antes de llegar a pérdidas o perjuicios dentro de la viabilidad del proyecto. De esta forma, dentro del proyecto solo se asigna valoraciones por dimensión sociodemográfica, cultural, física y biótica frente al criterios como: movilidad, comercio, infraestructura educativa, agroecosistemas y desarrollo como ejes de la actividad antrópica durante la ejecución del proyecto Corredor Ecológico en Villavicencio en los últimos años.

Para abordar el componente de cobertura vegetal se realiza una descripción general de los estratos verticales por transectos en cada zona de estudio. Se proyectan lugares de observación de vegetación o transectos de 50 x 2 m a través de un eje o línea base de 225 m en cada zona de estudio de acuerdo con los inventarios de vegetación propuestos por Mendoza (2008). Asimismo, se consideran estratos vegetales a las zonas donde las copas de los individuos presentan una altura similar y consolidan una capa horizontal (Villareal et al., 2004). De esta manera la distribución vertical de la vegetación contempla los siguientes estratos: rasante (mayor a 0,3 m), herbáceo (0,3-1,5 m), arbustivo (1,5-5 m), subarbóreo o de arbolitos (5-12 m), arbóreo inferior (12-25 m) y arbóreo superior (mayor a 25 m). Así se registran las especies vegetales más representativas de los estratos en cada zona donde se realiza la observación.

En el caso de la valoración del suelo, se consideran parámetros físicos como densidad aparente. El cálculo de densidad aparente se refiere a una relación de peso por volumen del suelo, donde las partículas favorecen un espacio poroso con macro o microporos. Al reconocer ese espacio poroso se puede comprender la circulación de agua y aire además de la acumulación de nutrientes (FAO, 2023) que soportan los ciclos de vida de numerosos organismos en específico de las plantas quienes toman estos recursos para su mantenimiento. Entonces, al valorar la densidad aparente se puede determinar la presencia de agua y nutrientes en los suelos estudiados o algún grado de afectación en la estructura física que favorece el drenaje o ausencia de nutrientes con consecuencias no solo a la productividad primaria sino a toda la red trófica y autorregulación de ésta.

El procedimiento continúa con la adquisición y procesamiento de imágenes satelitales para el análisis de coberturas vegetales, suelos y cuerpos de agua. Simultáneamente, se implementa el fototrampeo para la captura de imágenes de fauna silvestre. Posteriormente, se lleva a cabo el análisis de datos, identificando puntos críticos por afectaciones antrópicas y construyendo una línea base ambiental.

Para la presentación de los resultados se desarrolló una aplicación web para la divulgación de resultados de la recopilación de datos y el análisis de las condiciones ambientales en el corredor ecológico.

3. RESULTADOS

Los resultados de la investigación ofrecen una perspectiva detallada y relevante del corredor ecológico de Villavicencio. El análisis de imágenes satelitales ha proporcionado una comprensión de las coberturas vegetales, destacando patrones y cambios en la vegetación a lo largo del tiempo. La evaluación de los estratos verticales de la vegetación, la valoración del suelo mediante parámetros físicos y el análisis integral de cuerpos de agua con la matriz de Leopold han revelado la influencia antrópica en estos elementos. La aplicación del foto trampeo ha enriquecido la investigación al proporcionar imágenes detalladas de la fauna silvestre, contribuyendo así a la comprensión de la biodiversidad local. A continuación, se presentarán los resultados parciales de la investigación.

3.1. RESULTADOS COBERTURA VEGETAL

Se visitaron dos zonas de bosque en el Corredor Ecológico. En cada zona se realizaron muestreos oportunistas dentro de transectos de 50 x 2 m (Villareal, 2004), donde se encontraron plantas de porte bajo, medio y alto. Se reconocieron grupos taxonómicos con referencias bibliográficas y seguimiento fotográfico.

En la zona Caracolí se encontraron especies como *Piper* sp, *Culcita macrocarpa* y *Spathiphyllum* sp dominando el estrato rasante y herbáceo, mientras otras plantas como *Annona purpurea* sobresalían alrededor de los 10 metros. En la zona San Carlos se encontró mayor riqueza de especies en cada estrato vegetal, dado por la presencia de *Selaginella kraissiana*, *Calcita macrocapa*, *Clidemia hirta* sp, *Rhodospatha olongata*, *Couropita guianensis*, y, más allá de los 12 metros la *Socratea exorrhiza*.

Tabla 1. Vegetación caracterizada en las zonas de estudio del Humedal Caracolí y Humedal La Zuria

LUGAR	NOMBRE COMÚN	ESPECIE	FAMILIA
Caracolí	Cordoncillo Cuna Moises helecho	Piper sp, Spathiphyllum sp, Annona purpurea, Culcita macrocarpa	Piperaceae, Araceae Annonaceae, Culcitaceae
San Carlos	Musgo, Helecho Palma Choapo Macaco	Selaginella Kraissiana, Calcita macrocarpa, Clidemia hirta sp. Rhodospatha alongata, Socratea exorrhiza, Couropita guianensis.	Anacardiaceae, phyllanthaceae, Lamiaceae, Arecaceae.

Nota. Elaboración propia a partir de la información recolectada. (2023)

Se observa mayor abundancia de especies vegetales en la zona San Carlos que en Caracolí. Por un lado, hay más individuos en el porte bajo y alto debido a una extensión más amplia del bosque, además de una estructura de suelo con mayor proporción de macro y microporos que facilitan la retención de agua y nutrientes. En este sentido, las características de San Carlos crean un hábitat donde el dosel es cerrado generando un microclima en el que la temperatura y la humedad están en promedio sobre los 25 grados centígrados y 80%, respectivamente.

En el caso de Caracolí hay menos extensión de bosque donde permanecen pocas familias de los estratos subarbóreos. En este sentido, hay mayor ingreso de radiación solar por un dosel abierto donde domina el porte bajo con estrato rasante y herbáceo. Asimismo, el suelo presenta mayor proporción de arcilla y con ello microporos en comparación de materia orgánica que determinan un microclima con temperatura de 30 grados centígrados y humedad de 75 % en promedio.

Por otro lado, los cuerpos de agua en cada zona son diferentes, así como la vegetación acuática. En San Carlos, el caño presenta más sectores con agua en circulación como sistema lótico y solo algunos sectores con agua estancada mientras en Caracolí ocurre lo contrario. En este caso también influye la dimensión de los cuerpos de agua, haciendo que en San Carlos la profundidad oscile entre 60 a 140 cm donde la vegetación arraigada y sumergida es dominante con la presencia de *Spathiphyllum wallisii*, *Heteranthera dubia*. Para el sector de Caracolí se registra una profundidad de 40 a 80 cm donde la vegetación arraigada, sumergida y flotante hace presencia con las especies *Sagittaria guayanensis*, *Blyxa aubertii*, *Lemna turionifera* en sectores donde domina el sistema léntico que el sistema lótico.

3.2. RESULTADOS ANÁLISIS DE SUELOS

Las condiciones físicas de los suelos son determinantes para el desarrollo de las plantas y cualquier obra ingenieril o asentamiento que se quiera desarrollar. Las condiciones físicas regulan las relaciones aire-agua-planta; por lo cual es necesario considerar el medio físico como condición prioritaria en los programas de manejo y conservación de suelos.

La caracterización de los suelos predominantes en el área de influencia del proyecto se realizó a través de la determinación de la densidad aparente; propiedad física, mediante la toma de dos muestras de los puntos seleccionados; punto 1. Humedal Caracolí y punto 2. Parcelación San Carlos. Para el muestreo del suelo se usó la técnica de terrón parafinado en el epipedón (horizonte superficial del suelo). El terrón se colectó a una profundidad de 20cm, se empaco de acuerdo con las instrucciones de embalaje y se envió al laboratorio de suelos de la Universidad de los Llanos para el análisis de laboratorio como se indica en la siguiente tabla.

Tabla 2. Resultados de densidad aparente en dos puntos del corredor ecológico de Villavicencio

MUESTRA DE LABORATORIO NO.	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	DENSIDAD APARENTE GR/CC (CM3)	VALORACIÓN
1038	Humedal Caracolí (Bosque de galería)	1.35	NIVEL NORMAL (MEDIO)
1039	Parcelación San Carlos	1.15	NIVEL NORMAL (MEDIO)

Nota. Elaboración propia a partir de la información recolectada. (2023)

Como se observa en la tabla, la valoración de la densidad aparente de las dos muestras analizadas está en nivel normal (medio); no obstante, el resultado de densidad del humedal Caracolí se encuentra cercano al límite de compactación. La densidad aparente (Da) de los suelos varía ampliamente desde cerca de 0,1 g/cm³ en suelos orgánicos hasta valores muy altos como 1,8 – 1,9 g/cm³ en suelos minerales compactados (Garavito, 2023). La densidad aparente viene dada por la porosidad del suelo y por lo tanto es una medida del grado de compactación y facilidad para la penetración radicular, encontrándose en valores mayores a 1.4 g/cm³ limitantes para el desarrollo y crecimiento del sistema radicular de las plantas.

3.3. RESULTADOS CÁMARAS TRAMPA

Entre los resultados de los registros de fototrampeo sobresalen grupos biológicos de aves, roedores y primates. En los registros por video de mayor duración mediante el uso de cámaras trampa se logra identificar *Aramides cajaneus*, *Mesembrinibis cayennensis*, *Cyanocorax violaceus* en todas las zonas donde fueron instaladas, es decir en tres zonas que corresponden a humedales y bosques de galería del corredor ecológico. Del mismo modo, se presentan *Sapajus apella* y *Cuniculus paca* llevando a cabo comportamientos de marcha y forrajeo.

En menor medida, se encuentran comportamientos de socialización y mantenimiento entre las especies mencionadas. Estos hallazgos son determinantes para comprender que existe una frecuencia de registro sostenido entre diferentes organismos, asimismo, permite reportar hábitos e interacciones de los organismos con los recursos abundantes o escasos en las zonas de Caracolí y San Carlos.

Tabla 3. Resultados cámaras trampa

GRUPO BIOLÓGICO	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	COMPORTAMIENTOS EN REGISTROS FT
Aves	Chilacoa, Corocoro negro, pollo de monte	<i>Aramides cajaneus</i> , <i>Mesembrinibis cayennensis</i> , <i>Cyanocorax violaceus</i>	Forrajeo
Primates	Mono maicero	<i>Sapajus apella</i>	Forrajeo braquiación
Roedores	Lapa	<i>Cuniculus paca</i>	Forrajeo marcha
Mamíferos placentarios	Oso palmero, oso perezoso	<i>Myrmecophaga tridactyla</i> , <i>Bradypus variegatus</i>	Forrajeo marcha

Nota. Elaboración propia a partir de la información recolectada. (2023)

Otro hallazgo destacado es la marcha continua de ocelotes en las zonas de estudio. Se identifican varios individuos de *Leopardus pardalis* en los humedales, lo cual supone el desplazamiento por fragmentos de bosques por todo el corredor ecológico. Teniendo en cuenta el comportamiento solitario de este felino, se supone que realiza largas trayectorias por los humedales mientras las condiciones le favorecen para llevar a cabo la caza de recursos alimenticios. Se resalta este hallazgo ya que representa una especie bandera o sombrilla que sirve de canal de reconocimiento y conservación de todo el ecosistema de humedal en la llanura aluvial de la Orinoquía; dentro de su papel en el ecosistema permite regular las poblaciones de otros animales al ser el máximo depredador en las zonas de estudio (WWF, 2023).

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. DISCUSIÓN DE RESULTADOS VEGETACIÓN

Se presentan especies vegetales similares en la zona de San Carlos y Caracolí mientras que se mantiene la diferencia en los estratos vegetales. Se observan ejemplares de palma choapo, cordoncillos, helechos en los dos sectores demostrando que se ha dado un tiempo prolongado de sucesión y madurez del ecosistema; sin embargo, sobresalen árboles y musgos en el sector San Carlos generando un indicador importante de humedad y estabilidad en el microclima. Esta diversidad de estratos arbóreos corresponde con los estudios de Lasso (2014) sobre especies y familias vegetales en humedales de Orinoquía.

En el sector Caracolí sobresalen los sectores con cuerpos de agua lénticos al margen de zonas de pastoreo con vegetación introducida. El sistema de agua léntico se encuentra en diferentes momentos de eutroficación de acuerdo con la limitada entrada de luz solar y la presencia de vegetación arraigada y flotante; por otro lado, ocurre compactación del suelo por sobrepastoreo e introducción de pasturas dejando un paisaje con impactos similares al estudiado por Castro (2020) sobre la flora vascular asociada al Humedal La Madrid siendo la familia Poaceae principalmente representada con cuatro especies.

El contexto del Sector Caracolí es un parque ecológico humedal que presenta los mismos síntomas de Madrid y la ronda hídrica del caño Zuria. Son ecosistemas actualmente distinguidos como áreas protegidas señaladas en el Decreto No.2372 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial-MAVDT donde se establece su área, delimitación y se dictan disposiciones como categorización de áreas protegidas de preservación y restauración (Cormacarena, 2004). Pero, aun así, son ecosistemas afectados por una alta tasa de deforestación, implementación de cultivos y pastos para ganadería extensiva que ha disminuido el caudal del caño, y también afecta la posibilidad de mantener los hábitats tanto de organismos acuáticos como terrestres. Las condiciones de los humedales son críticas ya que carecen de supervisión frente al crecimiento acelerado de las actividades humanas que afectan todo tipo de sistemas naturales durante su expansión y genera un conflicto con las iniciativas de estudio y conservación (Castro, 2020).

Una de las amenazas latentes de estos ecosistemas de humedal y bosque de galería es la ausencia de estudios donde se pueda partir de una información base para determinar qué especies permanecen, además del papel ecológico y las relaciones con los factores ambientales, así como la repercusión en los servicios ecosistémicos. Las limitaciones del estudio de Caracolí también se evidencian con el estudio de la reserva forestal Caño Remache o Balmoral donde la vegetación introducida empieza a dominar

sin reconocer del todo comunidades vegetales nativas. Entre los resultados del Balmoral, el dosel del bosque está dominado por melastomataceas y poáceas arbóreas. El estrato herbáceo es dominado por melastomataceas, rubiáceas y aráceas, también se presentan otras monocotiledóneas (Ortiz, 2018).

Con base en la información satelital del periodo 2017-2021 se identifica aumento en actividades humanas que conllevan al desarrollo del territorio mientras disminuye la cobertura boscosa (bosques y humedales). A través del contenido de los mapas, se observa una reducción de la extensión de bosques y humedales en más de 20m² año tras año a pesar de un contexto de pandemia como el COVID19. Por su parte, ocurre deforestación e implementación de agroecosistemas, así como expansión de infraestructura de vivienda y de movilidad en más de 10m² que afectan las redes ecológicas dentro de las coberturas boscosas (Tabla 1). De esta manera, se afecta la conectividad estructural y funcional de los bosques y humedales porque no hay interconexión efectiva sino parches o fragmentos aislados en un área. Así, entre más distancia se tiene entre los humedales, hay menor interconexión y flujo de nutrientes lo que determina en mayor impacto del suelo y de los cuerpos de agua por vertimientos (Cormacarena, 2004), disminución de flora y fauna y contaminación no solo de áreas periurbanas sino también urbanas.

Tabla 4. Área dispuesta para cobertura boscosa, infraestructura y cultivos en el sector San Carlos desde el 2017 al 2021

COMPONENTE (M2)	2017	2018	2019	2020	2021
COBERTURA BOSCOSA	372,1	372,1	365,4	351,7	346,1
INFRAESTRUCTURA	11,9	10,1	12,7	12,7	15,5
CULTIVOS	23,3	23,7	19,3	20,3	33,2

Nota. Elaboración propia a partir de la información recolectada. (2023)

El desarrollo del territorio en zona periurbana es una afectación general para las áreas protegidas. Teniendo en cuenta los principios de plan de ordenamiento territorial o declaración del Consejo Directivo del MAVDT y Alcaldía de Villavicencio, los ecosistemas asociados a los humedales urbanos y periurbanos son reconocidos como áreas objeto de conservación por todos los ciudadanos, pero la realidad es que son los ecosistemas más vulnerables en el departamento. Las zonas de cobertura boscosa delimitadas por CORMACARENA (CORMACARENA, 2004) no se respetan como zona de humedal ni como zona de protección para preservación o restauración, el motivo es la dificultad de conciliar estrategias con dueños o privados que ocupan los predios para implementación de agroecosistemas rudimentarios con escasa planeación e infraestructura; por otro lado, los principios de ordenamiento territorial son ambiguos y favorecen más el crecimiento urbanístico que la protección de los ecosistemas naturales.

Aunque los instrumentos legales carecen de eficacia en la regulación de la deforestación y conservación de las coberturas boscosas, las actividades culturales también ejercen cambios a corto y mediano plazo. El aumento del área de cultivos en 13 m2 durante los últimos años (Tabla 4), da cuenta del cambio de uso de las coberturas boscosas por actividades relacionadas con monocultivos y sistemas pecuarios con poca planeación donde los animales de producción buscan diferentes condiciones de descanso y recursos alimenticios que se ubican en los humedales, afectando las plantas nativas, así como las condiciones del suelo. Del mismo modo, las actividades humanas incluyen la presencia de perros domésticos que vigilan los predios; sin embargo, estos animales terminan cazando herbívoros, omnívoros o cualquier organismo dispersor de semillas en los ecosistemas, o bien contribuyen con la inadecuada disposición de residuos de las actividades humanas.

En el presente estudio se hace un aporte a la composición de la vegetación, seguimiento de algunos de los factores del ambiente y una revisión general de la distribución reciente de la vegetación, pero es necesario ampliar este tipo de estudios no solo para predecir cambios en la distribución vegetal sino para comprender y predecir el comportamiento de las unidades vegetales con los factores ambientales en Colombia. En este sentido para transitar en el reconocimiento de la vegetación de una extensión en metros a una escala local y regional, hace falta homogenizar y describir fuentes de información en una base de datos y en un sistema de información geográfico; también hace falta analizar gradientes de la vegetación respecto a los aspectos ambientales. Asimismo, es necesario validar las relaciones vegetación-ambiente en un comportamiento geográfico que logre integrar niveles de organización y escalas (Bernal, 2016).

4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS SUELOS

Los poros del suelo representan aproximadamente el 50% de su volumen y son los responsables del movimiento del agua y aire en el suelo, así como de la retención de humedad. La porosidad de los suelos está constituida por macro, meso y microporos, el mantenimiento de estos se logra mediante su distribución equilibrada y el manejo de la estructura. Cuando la estructura se degrada por efectos del mal manejo de los suelos se afecta no solo esta propiedad física, sino además la abundancia y riqueza de biota en el suelo, el movimiento y distribución del agua y aire, por ende, el adecuado desarrollo del sistema radicular de las plantas. De este modo, los poros del suelo están vinculados estrechamente con la disponibilidad de agua limpia y potable para las necesidades de la humanidad (Garavito, 2023), y el desarrollo y mantenimiento de la cobertura vegetal presente en los ecosistemas.

Los resultados obtenidos de la densidad aparente del suelo muestran que los valores para el área del humedal Caracolí; 1.35 g/cm³ son mayores en comparación con los valores hallados en la parcelación San Carlos, condición que puede estar asociada a una mayor intervención antrópica en el área por asentamientos urbanos, reducción del bosque de galería por ampliación de la frontera agrícola para potrerización de los predios, uso de los cuerpos de agua y sombrío por los semovientes. Del mismo modo, este resultado cercano a los valores reportados en la literatura como compactación, señala la necesidad de mejorar los manejos y usos que actualmente se desarrollan en esta zona para evitar la degradación del recurso edáfico.

De acuerdo con los cambios de uso del suelo y coberturas durante la temporalidad del 2017 al 2021, se evidencia una pérdida de la cobertura boscosa del 7%; pasando de 372,1 ha en el año 2017 a 346,1 ha en el año 2021, asociado al crecimiento de construcciones para vivienda y aumento del área de sistemas productivos.

Las plantas favorecen la agregación del suelo, la presencia de macro, meso y microfauna y la conservación de la porosidad y humedad del suelo. La alteración de los componentes bióticos del sistema hace que los suelos presenten mayor peligro de erosión al ser degradados fácilmente por acción de los principales agentes erosivos (agua y aire), lo que generara con el tiempo procesos de escorrentía superficial y posteriormente la pérdida de la capa arable o en el peor de los casos la formación de cárcavas.

Bajo este escenario, la pérdida del 7% de la cobertura boscosa en tan solo 4 años, muestra como los demás elementos asociados al ecosistema, en este caso puntual el suelo, esta mostrando una alteración estructural asociada a los manejos actuales y los cambios de uso, los cuales, aunque se encuentran dentro de los niveles normales, son altamente susceptibles a degradarse; lo que traería consigo la alteración del equilibrio de los demás componentes presentes empezando por la biota edáfica y el agua.

Con base en lo anterior, se concluye que el proyecto revela una interdependencia vital entre la cobertura vegetal y la salud del suelo en el corredor ecológico de Villavicencio. Las alteraciones en la cobertura boscosa impactan directamente en la estructura y calidad del suelo, comprometiendo su capacidad para sustentar la biodiversidad y proporcionar servicios ecosistémicos esenciales. Los humedales de San Carlos y Caracolí enfrentan amenazas persistentes, incluyendo la deforestación, expansión urbana y actividades humanas no reguladas. La falta de estudios detallados y regulación efectiva compromete la conservación de estos ecosistemas críticos, destacando la necesidad urgente de medidas de protección y supervisión.

Asimismo, la disminución del 7% en la cobertura boscosa entre 2017 y 2021 evidencia el impacto directo de actividades humanas, como la expansión de construcciones y sistemas productivos en el cambio de uso del suelo. La rápida pérdida de áreas verdes subraya la urgencia de implementar estrategias de conservación que involucren estrategias para el manejo del ordenamiento territorial, donde se equilibre el desarrollo urbano con la conservación ambiental. La falta de regulación efectiva y la ambigüedad en los principios de ordenamiento territorial contribuyen significativamente a la vulnerabilidad de los ecosistemas estudiados. Se destaca la necesidad imperante de fortalecer la regulación ambiental, especialmente en zonas periurbanas, para garantizar la conservación de áreas protegidas y la sostenibilidad de los recursos naturales.



REFERENCIAS



- Agendas Regionales UNIMINUTO. (2021). Agenda regional I+D+i+C: Corredor ecológico de Villavicencio. <https://agendasregionales.uniminuto.edu/corredor-ecologico-de-villavicencio/>
- Alcaldía de Villavicencio. (2020). Plan de desarrollo: Villavicencio cambia contigo 2020–2023.
- Calvachi, B. (2013). Estado del conocimiento de los humedales en la Orinoquía colombiana. Fundación Humedales; Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Candia A, Oscar. (2018). Evaluación de Impacto Ambiental. Documento Base para la Asignatura: Evaluación de Impacto Ambiental. Universidad Arturo Prat.
- Castro G., Cruz, J. y Ortiz-Moreno (2020). Flora vascular y vivienda de interés social en Villavicencio: Conflictos con la conservación de la biodiversidad Revista de Investigación Agraria y Ambiental.
- CIAT, & CORMACARENA. (2018). Plan regional integral de cambio climático para la Orinoquía: Departamento del Meta (Publicación No. 464). Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Cormacarena (2004) Acuerdo del Consejo Directivo. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial-MAVDT. Alcaldía de Villavicencio.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2018). Censo nacional de población y vivienda.
- Dirección de Ordenamiento Territorial (DOT). (2021). Documento de evaluación y seguimiento del Acuerdo 287 de 2015: Plan de ordenamiento territorial de Villavicencio.
- Garavito Neira, F. (2023). La madre tierra: Suelos, plantas, ambiente. Sociedad Geográfica de Colombia.
- IDEAM. (2010). Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Jaime, B. (2016). Análisis entre las relaciones vegetación-ambiente: Un estudio general para Colombia. Universidad Nacional de Colombia.
- Lasso, C. A., A. Rial, G. Colonnello, A. Machado-Allison y F. Trujillo (2014). Humedales de la Orinoquía (Colombia- Venezuela). Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C., Colombia
- Ortiz-Moreno, M., Cándida, J., & Garay, J. (2018). Caracterización biológica preliminar reserva forestal Balmoral, sector Ocoa, Villavicencio, Meta.
- Plan de Ordenamiento Territorial Villavicencio. (2015). Plan de ordenamiento territorial de Villavicencio. <https://www.concejodevillavicencio.gov.co/normograma/category/152-plan-de-ordenamiento-territorial>
- Plan de Ordenamiento Territorial Villavicencio. (2015a). Plano de zonificación de áreas con condición de amenaza y riesgo por inundación suelo rural. <https://www.concejodevillavicencio.gov.co/normograma/category/152-plan-de-ordenamiento-territorial>
- Plan de Ordenamiento Territorial Villavicencio. (2015b). Plano de áreas de actividad suelo rural. <https://www.concejodevillavicencio.gov.co/normograma/category/152-plan-de-ordenamiento-territorial>
- Prüssmann J., Rincón S. A., Tavera H. A., Suárez C. F. (2020). Estructura ecológica principal de la Orinoquía colombiana – Actualización metodológica mapa Sulu. 88 p., Cali (Colombia).



REFERENCIAS



- Sguerra Dávila, M.F. (2020). Material didáctico curso virtual de Imágenes Satelitales. Uniminuto, Sede Principal
- Villarreal, H., Álvarez, S., Córdoba, F., Escobar, F., Fagua, F., & Mendoza, M. (2004). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.