Novum Ambiens

Revista Científica | ISSN Digital: 2981-3069 | Febrero -Julio 2024 | Volumen 2 No. 1 D.L. | Bogotá, D.C. - Colombia

Publicación Oficial de la Universidad
de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A,
Institución con Acreditación de Alta Calidad

UDCA
Universidad de Ciencias
Aplicadas y Ambientales

Novum Ambiens

ISSN en línea: 2981-3069
Volumen 2 Número 1 - febrero - julio 2024
https://doi.org/10.31910/novamb.v2.n1.2024

ENFOQUE Y ALCANCE

Novum Ambiens es una revista científica interdisciplinaria, en la que se publican temas de interés de las ciencias ambientales, entre los que se incluyen, la relación sociedad-ambiente, la sustentabilidad, la educación y la tecnología ambiental, los estudios económicos y legales relacionados con el ambiente, los diagnósticos y la gestión ambiental. Su público objetivo son los investigadores, profesionales, estudiantes y administrativos de la ciencia, así como otros actores sociales, interesados en conocer los resultados más recientes de la investigación científica en las ciencias ambientales, de la región iberoamericana.

Novum Ambiens, como publicación seriada es arbitrada, por lo que adopta la revisión por pares de doble ciego, excepto para los Dossier y las reseñas de libros; es de acceso abierto –vía diamante-, de producción semestral y con convocatoria permanente (Hacer click aquí para enviar un artículo).

Para facilitar el acceso y la apropiación, se aceptan manuscritos en idiomas español e inglés. En Novum Ambiens, se publican, prioritariamente, artículos derivados de investigación científica, en las tipologías de artículos científicos, artículos de reflexión, de revisión, reporte de casos y notas técnicas; sin embargo, también se publican Dossier y Reseñas de Libros.

La gratuidad para el autor y para el lector obedece a la financiación de la revista por parte de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A y a la colaboración desinteresada de los evaluadores externos.

FOCUS AND SCOPE

Novum ambiens is an interdisciplinary scientific journal that publishes topics of interest in environmental sciences, including the relationship society-environment, sustainability, environmental education, environmental technology, economic and legal studies related to the environment, environmental diagnoses, and environmental management. Its target audience are researchers, professionals, students and science administrators, as well as other social actors interested in knowing the most recent results of scientific research in environmental sciences of the Ibero-American region.

Novum Ambiens is a serial, refereed publication that adopts double-blind peer review except for Dossiers and book reviews, with diamond open access, semi-annual production, and with permanent call of paper (Click here to submit an article).

To extend the dissemination of articles and facilitate access and appropriation, manuscripts in Spanish or English are accepted. In Novum Ambiens, articles derived from scientific research in the typologies of scientific articles, reflection articles, review articles, case reports and technical notes are published, however, Dossiers and Book reviews are also published.

The not charges for the publication to the authors and the free access to the readers obey to the financing of the Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales and the disinterested collaboration of the peer reviewers.

Equipo editorial

Editor

Oscar Luis Pyszczek
Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A
Bogotá, Colombia

Comité Editorial

Orlando Sáenz Zapata
Alianza de Redes Iberoamericanas de Universidades por la Sustentabilidad y el Ambiente, ARIUSA
Bogotá, Colombia

Jhon Fredy López Pérez
Universidad de Medellín,
Medellín, Colombia

Helber Adrián Arévalo Maldonado
Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A,
Bogotá, Colombia

Cristina Teresa Carballo
Universidad Nacional de Quilmes,
Buenos Aires, Argentina

Luz Piedad Romero Duque
Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A,
Bogotá, Colombia

Comité Científico

Patricia Perla Snaider
Universidad Nacional del Nordeste,
Chaco, Argentina

Vidal Sáez Sáez
Universidad Central de Venezuela,
Caracas, Venezuela

Álvaro Javier Ávila
Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A,
Bogotá, Colombia

María Teresa Holguín
Universidad Libre,
Bogotá, Colombia

Félix Ignacio Contreras
Universidad Nacional del Nordeste,
Chaco, Argentina

Michele Sato
Universidade Federal de Mato Grosso,
Cuiabá, Brasil

Diana Marcela Fúquene Yate
Universidad Piloto de Colombia,
Bogotá, Colombia

Franz Gutiérrez Rey
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia,
Tunja, Colombia

Enrique Leff
Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México

Pares evaluadores

Claudia Patricia Gómez Rendón
Ejército Nacional de Colombia,
Bogotá, Colombia

Anny Bonilla Dueñas
Ejército Nacional de Colombia,
Bogotá, Colombia

Juan Pablo Álvarez Orias
Universidad Mayor Real y Pontificia San Francisco Javier de Chuquisaca
República de Bolivia

Oscar Luis Pyszczek
Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales - U.D.C.A
Bogotá, Colombia

Efraín Tovar Sánchez
Universidad Autónoma del Estado de Morelos
México, México

Equipo Colaborador

Correctora de estilo y ortográfica
Norella Castro Rojas

Diseño y Diagramación
Fabian Ernesto Ramírez Cardenas

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A
Calle 222 No. 55 – 30, Bogotá, D.C., Colombia
https://www.udca.edu.co/

CONTENIDO
NOVUM AMBIENS

Volumen 2 Número 1 - febrero - julio, 2024
https://doi.org/10.31910/novamb.v2.n1.2024

EDITORIAL

La salud ambiental
Oscar Luis Pyszczek.....e2545
http://doi.org/10.31910/novamb.v2.n1.2024.2545

ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

Evaluación cualitativa de servicios ecosistémicos, estudio de caso, Reserva Natural Palma de Cera
Natalia Andrea Parrado-Guatavita; Oscar Eduardo Serrato-Suárez; Wendy Alexandra Matallana-Laguna ……..…….. ……..…...e2748
https://doi.org/10.31910/nov.amb.v2.n1.2024.2748

Evaluación de la eficiencia de Pontederia crassipes en la remoción de cianuro de aguas residuales de la industria termoquímica
Yeraldin Bermúdez-Ramírez; Luis Eduardo Beltrán-García; Diana Fúquene-Yate ……...……...……...……...……...……....e2490
https://doi.org/10.31910/nov.amb.v2.n1.2024.2490

ARTÍCULOS DE REFLEXIÓN

Incidencia del crecimiento urbano de la localidad de Suba en el Humedal Juan Amarillo
Valentina Corredor; Henny Santiago……...……...……...……...……...……e2383
https://doi.org/10.31910/nov.amb.v2.n1.2024.2383

Novum Ambiens
Febrero-Julio 2024-Volumen 2 No. 1:e2545
ISSN Digital: 2981-3069 (En línea)

Editorial

http://doi.org/10.31910/novamb.v2.n1.2024.2545

La salud ambiental

Oscar Luis Pyszczek[1]

[1]Editor de la Revista Novum Ambiens, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A; Bogotá D.C., Colombia.

Como citar: Pyszczek, O.L. 2024. La salud ambiental. Novum Ambiens. 2(1):e2545. http://doi.org/10.31910/novamb.v2.n1.2024.2545

Artículo de acceso abierto publicado por Novum Ambiens, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

En el tercer número de la Revista Novum Ambiens se propone reflexionar acerca de una temática clave para la Sostenibilidad: Indicadores ambientales como descriptores de la Salud Ambiental.

El paradigma de la sostenibilidad, tal como se mencionaba en el editorial de la edición anterior, requiere que se mantenga, a lo largo del tiempo, la estabilidad de los procesos evolutivos internos de la ecósfera, tal como lo mencionan Spangenberg & Bonniot (1998). En tal sentido, y desde esta perspectiva, la Salud Ambiental constituye un área de las ciencias, que trata la interacción y los efectos que, para la salud humana, representa el medio en el que habitan las personas (Conpes, 2008). Esta definición supone las afectaciones directas del ambiente a la salud humana, lo que se puede percibir como parcial, estableciéndose una relación causa-efecto; no obstante, esta definición ha evolucionado, convirtiéndose en un término mucho más amplio.

En la actualidad, la salud Ambiental puede ser definida de manera distinta, entendiéndose, como la armonía evidenciada y transmitida por los diferentes sistemas socioecológicos, no restringiéndose a la afectación de los determinantes ambientales a la salud humana, sino constituyéndose, *per se,* en un estado en sí mismo.

La Salud Ambiental se concibe como un estado de equilibrio pleno entre los factores físicos, biológicos y humanos de un espacio determinado (Minambiente, 2023). Este equilibrio es propenso a sufrir desbalances, que generan impactos indeseados en el entorno, entendiendo, con ello, la necesidad de establecer la armonía de cada uno de los elementos, cuyas variables se convierten en bioindicadores de un espacio geográfico.

Las variables ambientales que describen el comportamiento y la calidad ambiental se traducen en indicadores concretos, como la contaminación del aire, el agua y el saneamiento básico, los agentes químicos, la radiación, el ruido ambiental y los cambios en el entorno en general, que nos llevan a configurar un estado *in situ* de lo expresado en la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, como Objetivos de Desarrollo Sostenible.

La Salud Ambiental, en los últimos lustros, ha adquirido una relevancia singular, fundamentalmente, desde el sector político, que repercutió hacia el interior de las instituciones públicas y privadas. En Colombia, el Instituto Nacional de Salud ha desarrollado estudios relacionados con la Salud Ambiental y estima que el 8 % de las muertes (cerca de 17.549) estuvieron relacionadas con factores ambientales para el 2016. Los costos indirectos concernientes con la pérdida de productividad por las muertes ocurridas antes de cumplir la expectativa de vida, representaron 585.476 millones pesos; de estos, cerca de 451.862 millones son por calidad del aire, especialmente, por la exposición a material particulado 2.5, seguida de agua y otros factores de riesgo ambiental.

En tal sentido, en el presente volumen se propone indagar sobre los descriptores de la salud ambiental en diferentes espacios geográficos, con especial sentido crítico sobre la ontología y su alcance.

REFERENCIAS

CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL, CONPES 2008. Documento Conpes 3550 DNP de 2008. Lineamientos para la formulación de la política integral de salud ambiental con énfasis en los componentes de calidad de aire, calidad de agua y seguridad química. Disponible desde Internet en: https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/conpes_dnp_3550_2008.htm

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINAMBIENTE. 2023. Salud Ambiental. Disponible desde Internet en: https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/salud-ambiental/

SPANGENBERG, J.H.; BONNIOT, O. 1998. Sustainability Indicators: A Compass on the Road towards Sustainability. Wuppertal Paper No. 81.

Novum Ambiens
Febrero-Julio 2024-Volumen 2 No. 1:e2748
ISSN Digital: 2981-3069 (En línea)

Artículo Científico

http://doi.org/10.31910/novamb.v2.n1.2024.2748

Evaluación cualitativa de servicios ecosistémicos, estudio de caso, Reserva Natural Palma de Cera
Qualitative evaluation of ecosystem services, case study Palma de Cera Natural Reserve

Natalia Andrea Parrado-Guatavita[1]; Oscar Eduardo Serrato-Suárez[2]; Wendy Alexandra Matallana-Laguna[3]*

[1]Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia; e-mail: naparradog@udistrital.edu.co; oscarserratosuarez@gmail.com, wamatallanal@udistrital.edu.co
*autor de correspondencia: wamatallanal@udistrital.edu.co

Cómo citar: Parrado-Guatavita, N.A.; Serrato-Suárez, O.E.; Matallana-Laguna, W.A. 2024. Evaluación cualitativa de servicios ecosistémicos, estudio de caso, Reserva Natural Palma de Cera. Novum Ambiens. 2(1):e2748. http://doi.org/10.31910/novamb.v2.n1.2024.2748

Artículo de acceso abierto publicado por Novum Ambiens, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

Los Servicios Ecosistémicos (SSEE) se pueden entender como el vínculo entre el sistema social y ecológico, donde, el primero, se considera como aquel que goza de estos servicios y, el segundo, referido a la capacidad de los ecosistemas de proveer estos beneficios. Esta investigación, a través de una metodología cualitativa, evalúa los SSEE, clasificados en tres categorías: regulación, abastecimiento y culturales, derivados de la Reserva Natural Palma de Cera, ubicada en La Vega, Cundinamarca, usufructuados por grupos de interés, identificados y caracterizados, quienes mantienen una relación con el área de estudio. Para ello, inicialmente, se identificó, por medio de herramientas GIS, el ecosistema que corresponde a agroecosistema campesino mixto; las coberturas presentes, como bosque fragmentado con pastos y cultivos, Bosque fragmentado con vegetación secundaria y plantación de coníferas y, posteriormente, para mayor detalle, se catalogaron los usos de suelo para el 2023, entre los cuales, se encuentran bosque en recuperación y sistema agroforestal (SAF), que representan la mayor extensión. Es así, como su evaluación, empleando el Análisis Multicriterio, deja entrever que el conocimiento y la percepción de la comunidad define el grado de importancia de cada servicio, tanto así, que los actores locales atribuyeron mayor grado de importancia a los beneficios tangibles y de uso directo, es decir, SSEE de abastecimiento; por otro lado, profesionales ambientales y ecoturistas priorizan los servicios de regulación por encima de los demás.

Palabras clave: Bosque en recuperación; Servicios culturales; Servicios de abastecimiento; Servicios de regulación; Sistema agroforestal.

ABSTRACT

Ecosystem Services (ESs) can be understood as the link between the social and ecological systems, where the former is considered as the one that enjoys these services, and the second, the ecological one, refers to the capacity of ecosystems to provide these benefits. This research, through a qualitative methodology, evaluates the ESs classified in three categories: regulation, supply, and cultural, derived from the Reserva Natural Palma de Cera, located in La Vega, Cundinamarca; enjoyed by identified and characterized interest groups that maintain a relationship with the study area. For this purpose, initially, the ecosystem corresponding to the mixed peasant agroecosystem was identified by means of GIS tools, the coverages present as fragmented forest with pastures and crops, fragmented forest with secondary vegetation and coniferous plantation; and later, for greater detail, the land uses for the year 2023 were cataloged, among which are, Forest in recovery and Agroforestry System AFS, which represent the largest extension. Thus, its evaluation, using the Multicriteria Analysis, reveals that the knowledge and perception of the community define the degree of importance of each service, so much so that local stakeholders attributed greater importance to tangible benefits and direct use, i.e. supply ESs, on the other hand, environmental professionals and ecotourists, prioritize the regulation services above the others.

Keywords: Agroforestry System; Cultural services; Forest in recovery; Regulation services; Supply services.

INTRODUCCIÓN

El bienestar humano está estrechamente vinculado con el estado de los ecosistemas, por lo que los servicios que se derivan cobran un enfoque antropocéntrico, orientado a satisfacer las necesidades humanas, a partir del uso directo e indirecto de la capacidad de los ecosistemas (De Groot *et al.* 2002), beneficios que están relacionados con la estructura y con las funciones de éstos, según Fisher *et al.* (2009), relación de la que depende su bienestar y calidad de vida (Costanza *et al.* 1997).

La clasificación de los servicios ecosistémicos (SSEE), de acuerdo con la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (MEA, por sus siglas en inglés), corresponde a servicios de abastecimiento, de regulación y los culturales. Los SSEE de abastecimiento se refieren al conjunto de bienes y productos obtenidos de los ecosistemas, como alimentos, fibras, maderas, agua, medicinas, entre otros (Minambiente, 2012); por otro lado, los SSEE de regulación son aquellos que se derivan de procesos ecosistémicos y su funcionamiento, tales como la captura y almacenamiento de carbono, la regulación climática e hídrica (ONU, 2005). Finalmente, los servicios de carácter cultural no son beneficios tangibles, ya que involucran el enriquecimiento espiritual, la belleza escénica, el desarrollo cognitivo, la recreación y las experiencias estéticas (ONU, 2005).

La identificación de estos SSEE y su evaluación, en el caso específico de un área protegida, se convierte en una herramienta útil para fortalecer procesos educativos y estimular acciones de conservación o restauración de los ecosistemas (Ferrer *et al.* 2012), puesto que no se reducen a límites administrativos instaurados, sino que trascienden dichas áreas, exigiendo ser considerados desde una visión más integral y conectada (SERNANP & WWF, 2016). La conectividad ecológica de estas áreas, de acuerdo con Pérez Tovar & Valderrama Rojas (2022), garantiza la prestación y la sostenibilidad de los SSEE, a la vez, que mitiga los efectos negativos de origen antrópico sobre la biodiversidad.

Esta investigación pretende dar a conocer una metodología cualitativa, denominada análisis multicriterio, para evaluar los SSEE derivados de un área protegida, bajo la figura de Reserva Natural de la Sociedad Civil (RNSC). El área de estudio se ubica en la vereda San Antonio, en el municipio de La Vega, Cundinamarca, registrada con el nombre de Reserva Natural Palma de Cera, debido a que alberga especies objeto de conservación, como la especie endémica Palma de Cera (*Ceroxylon sasaimae*), característica de los bosques andinos y declarada en peligro crítico (CR), según las categorías de la lista roja de UICN de 2001 (Rodríguez Eraso, 2016).

Posee una extensión de 5,59 ha, creada en el 2007, por el Ingeniero forestal Oscar Eduardo Serrato, quien junto a su familia, la administran desde su inicio, orientándola a la conservación; a la vez, posee sistemas productivos asociados con un manejo agroecológico. De acuerdo con Holdridge (1967) pertenece a la zona de vida a Muy húmedo Montano Bajo (bmh-mb), con una temperatura entre 12 – 18 °C y una precipitación anual entre 2.000 a 4.000 mm (Municipio de La Vega, 2000), con una altitud que entre 1.900 – 2.900 m s.n.m.

Se evidencia el rol ecológico que adquieren las áreas protegidas, a nivel local, albergando especies, tanto de flora como de fauna, que coexisten e interactúan y que, junto con condiciones biofísicas específicas, proveen innumerables beneficios al sistema social que lo habita, por ende, la importancia de esta aproximación a la percepción sobre los SSEE por parte de los actores involucrados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para identificar los SSEE que son usufructuados por los actores involucrados y su correspondiente caracterización, se implementó la metodología planteada en la valoración integral de la biodiversidad y los SSEE (Rincón Ruiz *et al.* 2014), por tanto, el desarrollo del estudio se aborda en tres fases metodológicas.

Fase 1: Establecer los SSEE. Inicialmente, se determinó la cobertura y ecosistema para el área estudiada y los SSEE asociados, empleando el software ArcGIS 10.8, usando como insumos los mapas de cobertura de la tierra, metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, escala 1:100 000 (IDEAM, 2018) y Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia, escala 1:100.000 V 2.1 (IDEAM *et al.* 2017). Se efectuó una revisión documental sobre éstos, siguiendo la clasificación estipulada en la MEA (ONU, 2005), Martín-López *et al.* (2012) y Vásquez Uribe & Matallana Tobón (2016).

Posteriormente, haciendo uso de una fotografía aérea capturada por un dron, en el 2019 (Daza, 2020), se digitalizaron de manera manual, mediante la fotointerpretación de imágenes en el software ArcGIS 10.8, las unidades de cobertura detalladas a nivel cuatro, de la metodología de CORINE Land Cover, anteriormente mencionada. De igual forma, se desarrolló un análisis multitemporal, haciendo uso de una imagen satelital capturada en el 2004, obtenida de Google Earth, para luego ser digitalizada y analizada, de acuerdo con los valores de área obtenidos para cada unidad de cobertura, siguiendo la metodología de CORINE Land Cover, adaptada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. Los productos cartográficos se generaron a escala 1:2.000, debido a la extensión del área de estudio (5,59 ha). La proyección utilizada para procesar la información es la estipulada por el IGAC (2020), bajo el sistema de coordenadas MAGNA-SIRGAS Origen Nacional.

Fase 2: Caracterización SSEE. Basados en datos recolectados en campo y referenciados geográficamente, se mapificaron los usos actuales del suelo presentes en la reserva; una vez se construyó el producto cartográfico, se consultó sobre los SSEE proveídos por cada uno, con base en información primaria y secundaria.

Fase 3: Aplicación de la metodología de Análisis Multicriterio. Esta metodología posibilita analizar diferentes perspectivas en función de la importancia relativa en términos cuantitativos, atribuidos a los criterios involucrados (SSEE) (Mendoza *et al.* 1999), para lo cual, se elaboraron entrevistas semiestructuradas, siguiendo la metodología de Martín-López *et al.* (2012), así como la propuesta de Rincón-Ruiz *et al.* (2014).

El muestreo empleado fue no probabilístico, bajo la técnica de muestreo de bola nieve; para el presente caso, la persona con la que se inició esta fase de entrevistas fue el ingeniero forestal Oscar Serrato, quien aportó las referencias iniciales.

Siendo un estudio de carácter cualitativo, el tamaño de la muestra no adquiere gran relevancia desde una perspectiva probabilística, ya que los resultados buscados son específicos para el estudio de caso, tal y como lo plantean López & Benavidez (2021), en la valoración social y económica de los SSEE que realizan para una RNSC, ubicada en Cundinamarca, en donde el tamaño de muestra es similar.

Las encuestas fueron aplicadas de forma personalizada durante el trabajo de campo a 48 personas, con preguntas encaminadas a la identificación y evaluación de los SSEE, de los cuales, perciben un beneficio, clasificándolos de 1 a 5 y de 0 a 100, para ser posteriormente categorizados. Además, se disgregaron los actores en tres categorías, según Martín-López *et al.* (2012), diferenciando entre: actores locales, con algún grado de dependencia e influencia sobre los SSEE; profesionales ambientales, con conocimientos técnicos y distinto grado de implicación en la toma de decisiones y, por último, visitantes o turistas. Los tamaños de las muestras equivalen a 30, 3 y 15 personas, respectivamente.

Jerarquización. Se asignó a cada servicio un rango que representa su grado de importancia de 1 a 5, modificado de Mendoza *et al.* (1999), en donde, el menor valor, refiere a una importancia débil; el segundo valor, se asocia a un grado menos importante; el tercero corresponde a moderadamente importante y los valores cuatro y cinco, a muy y extremadamente importante, respectivamente (Muñoz-López *et al.* 2017; Méndez Pedroza *et al.* 2019). Los SSEE que comprenden abastecimiento son: alimento, agua dulce, materias primas y medicinas naturales; de regulación: regulación climática, calidad del aire, regulación hídrica, formación de suelo, polinización, mantenimiento de hábitat para especies singulares y, por último, de servicios culturales: educación ambiental, conocimiento científico y ecológico local, identidad cultural y sentido de pertenencia, además de disfrute espiritual y estético y actividades recreativas y turismo de naturaleza.

Calificación. La técnica de calificación asigna para cada servicio una puntuación porcentual, entre 0 y 100 %, a partir del rango y calificación otorgada por cada actor; se calculó el peso relativo (importancia) de cada servicio, en donde se sumaron los puntajes de cada uno, obteniendo el peso total asignado, tanto para jerarquización como para calificación. Posteriormente, se determinó la participación porcentual de cada criterio, dividiendo su peso real entre el total de todos los pesos arrojados para ambas técnicas; luego, se calculó el peso combinado, que consiste en promediar los pesos relativos para ambas técnicas, alcanzando un valor final para los SSEE, de manera independiente (Mendoza *et al.* 1999; Méndez Pedroza *et al.* 2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fase 1: establecer los SSEE

Coberturas y ecosistemas. La cobertura identificada, de acuerdo con el Mapa de Cobertura de la Tierra, construido en el 2018, por el IDEAM, señala que el área en su totalidad responde a mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales; además, el ecosistema se denomina agroecosistema campesino mixto (IDEAM *et al.* 2017), que corresponde a un sistema agrícola, en el que ocurre una sinergia entre factores naturales bióticos, abióticos y elementos construidos (IDEAM *et al.* 2017).

Servicios ecosistémicos. A partir de información de carácter secundario e implementando la clasificación propuesta por la MEA (ONU, 2005), posteriormente organizados, de acuerdo con Martín-López *et al.* (2012) y Vásquez Uribe & Matallana Tobón (2016), se obtuvo que, para SSEE de abastecimiento, se relacionan alimentos, agua dulce, materias primas y medicinas naturales; por otro lado, los servicios de regulación comprenden la regulación climática, calidad del aire, regulación hídrica, formación de suelo, polinización y mantenimiento de hábitat para especies singulares y, por último, los SSEE culturales, se asocian a la educación ambiental, el conocimiento científico, conocimiento ecológico local, la identidad cultural y sentido de pertenencia, disfrute espiritual y estético, además de actividades recreativas y turismo de naturaleza.

Análisis multitemporal

Coberturas del 2004. Las imágenes analizadas corresponden al 2004 y 2019 (Figuras 1 y 2), siguiendo la Metodología CORINE Land Cover, escala 1:100.000 (IDEAM, 2010). El área para el 2004 correspondía a mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en donde existe una distribución, en la cual, cultivos y pastos ocupaban un 50,72 % del área total, seguido de espacios naturales, con el 49,28 %.

Coberturas del 2019. Para este año, se evidencia un notable cambio en las coberturas que cubren la reserva, puesto que, una vez digitalizada la fotografía aérea tomada por Daza (2020), entre 2018 y 2019, usando una aeronave no tripulada tipo Drone, se obtuvieron las coberturas de la tierra, siguiendo la metodología CORINE Land Cover al cuarto nivel (Figura 2) y se identifican las unidades: bosque fragmentado con pastos y cultivos, bosque fragmentado con vegetación secundaria y plantación de coníferas, que hacen parte del nivel 1, denominado Bosques y áreas seminaturales; además, cultivos y árboles plantados y pastos y árboles plantados, ambos pertenecientes al nivel 1, llamado territorios agrícolas.

El área ocupada por los bosques en estado fragmentado tiene una participación aproximada de 68,25 %, es decir, 3,81 ha, relacionada con beneficios esencialmente de regulación y culturales, como disfrute espiritual y estético y conocimiento ecológico local. En contraste con el área destinada para cultivos y pastos con árboles plantados, que ocupan un área de 1,73 ha, es decir, 30,97 % del área total, ofrecen beneficios adicionales a los de regulación y culturales, mencionados en la cobertura anterior, puesto que se encuentran los SSEE de abastecimiento, como provisión de alimento y materia prima.

Fase 2: caracterización SSEE

Uso actual del suelo. Actualmente, el uso del suelo de la reserva está dividido en actividades agroforestales, de conservación e infraestructura, su distribución espacial se presenta en la figura 3, siendo el área de Bosque en recuperación el que mayor extensión posee, con 2,25 ha, seguido del SAF, con 1,39 ha y sucesión natural, con 0,85 ha, que ocupan, respectivamente, el 40,20; 24,96 y 15,11 % del área total.

Se identificó una participación más baja por parte de usos, como Vivero forestal, con 0,35 ha; Guadual, con 0,33 ha e Infraestructura y uso público, con 0,25 ha. El mapa presentado en la figura 3 responde a la actualización cartográfica de los usos del suelo en la reserva.

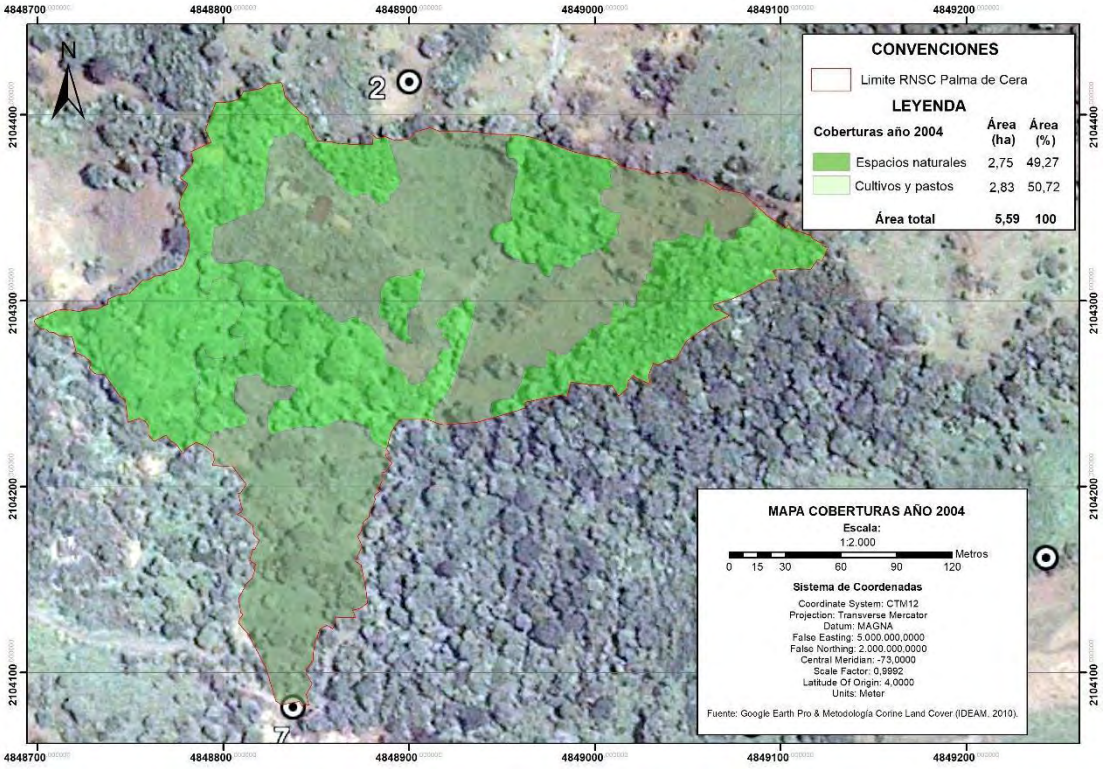

Figura 1. Mapa de coberturas presentes en la Reserva Natural de la Sociedad Civil Palma de Cera, año 2004.

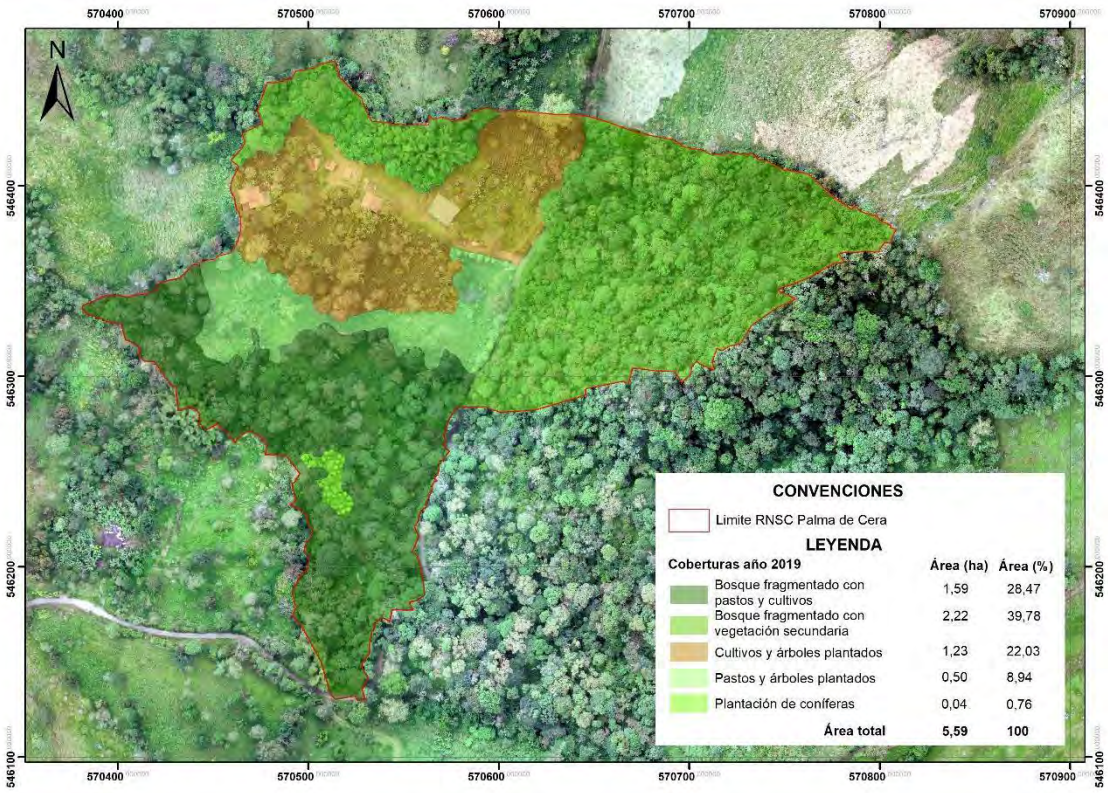

Figura 2. Mapa de coberturas presentes en la Reserva Natural de la Sociedad Civil Palma de Cera, año 2019.

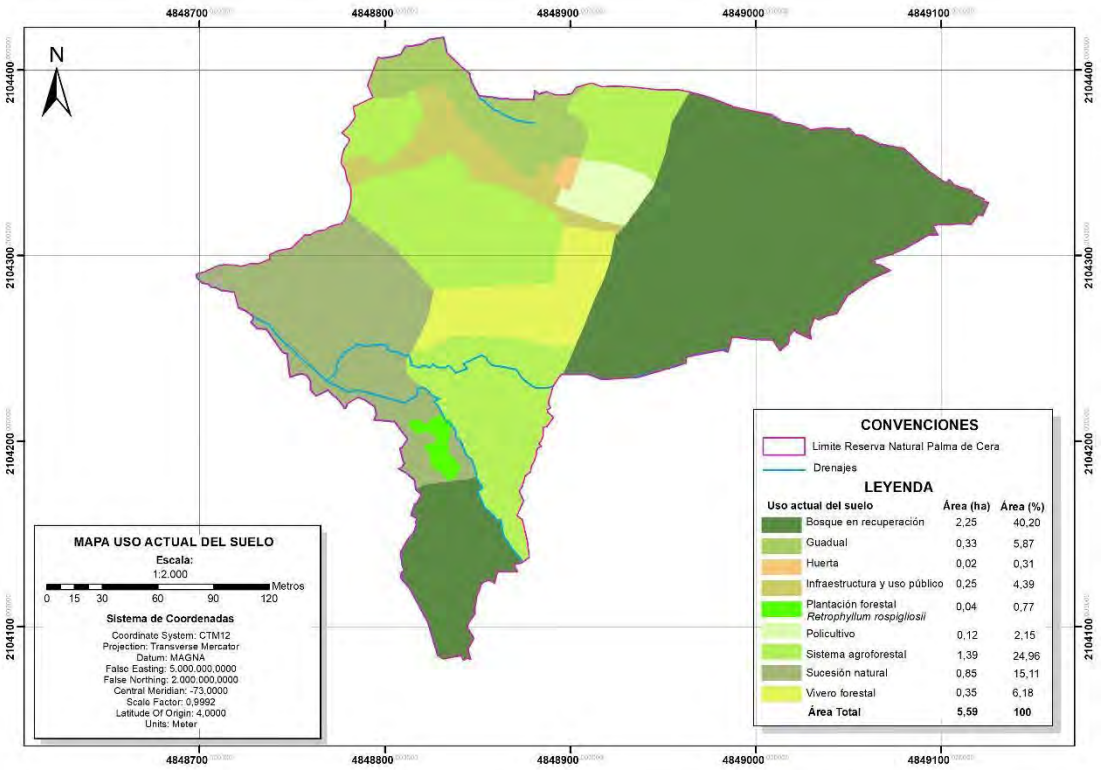

Figura 3. Mapa uso actual del suelo Reserva Natural de la Sociedad Civil Palma de Cera.

Bosque en recuperación. Área destinada al proceso de recuperación, dado por la sucesión vegetal, de acuerdo con Alarcón & Amaya (2014), con relación a SSEE, Oyarzún *et al.* (2005) advierten que el abastecimiento de agua en cantidad y calidad se convierte en una de las principales funciones ecosistémicas de los bosques, bajo un escenario de cambio climático. Para el presente caso, la demanda directa la ejercen las familias que habitan aguas abajo y que la emplean, en consumo directo, riego y otras actividades domésticas y agrícolas.

Respecto a los SSEE de regulación, se identificaron: regulación de la calidad del aire, debido, principalmente, a la captura de gases de efecto invernadero (GEI); según Anderson-Teixeira *et al.* (2012), durante la fotosíntesis, ocurren intercambios de energía y de humedad relativa, que contribuyen a la reducción de temperatura y así, aporta a la regulación climática. La regulación hídrica, también se recibe como beneficio, al igual que la formación del suelo, proporcionando estructura al mismo y controlando la erosión (Lieberman *et al.* 1996). Finalmente, los SSEE culturales que se derivan de este uso, se encuentran ligados a las poblaciones que en ellos habitan y a las personas que eventualmente los visitan (Castillo *et al.* 2005); se identifican el disfrute paisajístico y estético, conocimiento científico y ecológico local.

Guadual. Alberga principalmente la guadua (*Guadua angustifolia* Kunth*)* y otras especies nativas, como el nacedero (*Trichanthera gigantea*), el bore (*Alocasia macrorrhizos)* y las palmas *C. sasaimae* y *Geonoma orbignyana.*

Entre los SSEE que oferta este ecosistema, se encuentra el abastecimiento de materias primas, siendo la *Guadua* el género de bambú más importante en el país, según la Universidad Nacional de Colombia *et al.* (2014), que posee gran potencial para ser usado en la bioconstrucción. Respecto a los servicios de regulación, el guadual tiene protagonismo en la conservación del suelo y el control de la erosión, además de la regulación del caudal hídrico (Universidad Nacional de Colombia *et al.* 2014). El guadual, al ser el hábitat de diversa flora y fauna, contribuye al mantenimiento de la biodiversidad y cobra también importancia ecosistémica, al capturar y almacenar CO_2. Por último, los servicios culturales se derivan de los recorridos guiados ofrecidos en la reserva, lo que impulsa el turismo de naturaleza y la educación ambiental.

Huerta. Este espacio da lugar a que se cultiven diferentes alimentos destinados, mayoritariamente, para el autoconsumo, vinculado, entonces, con SSEE de abastecimiento, ya que contribuye con la seguridad y la soberanía alimentaria; actualmente, la huerta alberga especies de hortalizas, condimentarías, frutales y aromáticas, estas últimas, por sus propiedades, brindan el servicio de provisión de medicinas naturales.

Por otro lado, al incorporar compost al suelo se nutre con macronutrientes, como nitrógeno, fósforo y potasio y se aporta fertilidad, mejorando sus condiciones físicas y químicas, aumentando la capacidad de retención de humedad del suelo. Los SSEE culturales asociados incluyen conocimiento ecológico local, debido a que su implementación requirió de saberes populares que, a su vez, son transmitidos a los turistas, dando lugar a la educación ambiental.

Infraestructura y uso público. Son 0,25 ha, en donde se encuentran ubicadas la vivienda principal y dos cabañas, destinadas para el hospedaje familiar y de voluntarios o turistas; también, se cuenta con el beneficiadero de café, cosechado en la reserva. Esta zona está destinada al uso público, ya que brinda espacio para actividades culturales, por medio de talleres académicos y actividades turísticas.

En este espacio convergen diferentes SSEE, los de abastecimiento, tienen lugar por la provisión del café (*Coffea arabica*); los culturales, se enfocan en la educación ambiental y las actividades recreativas o turismo de naturaleza, además, fomenta la contemplación, el disfrute espiritual, estético y el conocimiento del medio natural. Finalmente, se identificó el SSEE de regulación, asociado con el mantenimiento de hábitat para especies singulares, debido a la presencia de individuos de la palma de cera (*C. sasaimae*) y de pino colombiano (*Retrophyllum rospigliosii*), especies nativas y en estado de amenaza.

En la reserva se encuentran cuatro colmenas artificiales, en donde residen abejas meliponas; su función ecológica es, principalmente, la polinización del cafetal ubicado en el SAF, así como la protección de la biodiversidad y la producción de miel para autoconsumo.

Plantación forestal (*R. Rospigliosii)*. Posee una extensión de 0,04 ha, en donde se plantaron 700 individuos, en el 2012 y cuya venta se proyecta hacia el 2030. De esta cobertura se obtiene, especialmente, el suministro de materia prima.

En cuanto a *R. rospigliosii*, Arévalo Fuentes & Londoño Arango (2005) indican que su madera es de fácil manipulación en carpintería. Cenicafé (2011) referencia a *R. rospigliosii* como una especie utilizada en conservación de suelos, control de la erosión y protección de rondas hídricas, como parte de la estabilización del balance hídrico. Se trata de una especie nativa que se distribuye en Colombia; esta plantación contribuye a mantener el hábitat para especies singulares, como individuos juveniles de Palma de Cera, puesto que, según Cueva *et al.* (2013), por la forma de su copa, su tronco y su abundante follaje, es una especie que brinda sombrío, generando un microclima. La regulación climática se percibe como un servicio a causa de la captura y el almacenamiento de CO_2, realizado por las plantaciones arbóreas.

La construcción de identidad cultural y sentido de pertenencia se percibe como compatible con la cultura tradicional, al tratarse de una especie autóctona; esto para Cueva *et al.* (2013), genera arraigo al territorio rural por parte de sus habitantes.

Policultivo. El policultivo alberga diferentes cultivos permanentes y transitorios; para el primer grupo, se tienen herbáceos, arbustivos y arbóreos, como lo son plátano, banano, mora, lulo, gulupa y guayaba; entre los transitorios, se tienen cereales, hortalizas y tubérculos, como maíz, fríjol, chachafruto, tomate, calabaza y yuca.

El principal servicio obtenido es el abastecimiento, motivando a una diversificación de alimentos, como lo cita Altieri (2002); en cuanto a regulación, influye también en la formación del suelo y el control de la erosión (Hawker *et al.* 2020); alberga a la lombriz roja californiana *Eisenia foetida,* organismo que representa grandes beneficios al suelo (Briceño & Pérez, 2017) y, según Martínez-Rodríguez *et al*. (2017), se pueden adaptar a efectos del cambio climático. Entre los SSEE culturales se reconocen: el conocimiento ecológico local, la educación ambiental y el turismo de naturaleza, aproximándose a lo expresado por Altieri & Toledo (2010).

Sistema Agroforestal – SAF. Ocupa un 24,96 % del área total y está compuesto por cultivos de café (*Coffea arabica*), plátano (*Musa paradisiaca)*, banano (*Musa acuminata)* palma de cera (*C. sasaimae*), nogal cafetero (*Cordia alliodora*), cedro (*Cedrela montana*), Guarea (*Guarea* sp.), entre otros.

En este sentido, son los SSEE de abastecimiento y de regulación los que representan un mayor beneficio; los primeros, por el suministro directo de las especies agrícolas cultivadas y, los segundos, por la cobertura multiestrato, así como por las coberturas con residuos vegetales, creando condiciones para la actividad biológica en el suelo (Peñuela, 2021). Según Ruiz Agudelo *et al.* (2019), su presencia reduce la necesidad de fertilizantes nitrogenados, promueve el ciclado de nutrientes y aporta gran cantidad de materia orgánica (Beer, 1987), a la vez, que aumentan las reservas de carbono en el sistema suelo–planta, otorgando beneficios relacionados con la regulación climática (Andrade & Segura, 2016).

Beneficios culturales, como, educación ambiental, conocimiento ecológico local, identidad cultural y sentido de pertenencia, van de la mano con adoptar principios ecológicos y sociales a la gestión de los sistemas alimentarios (FAO, 2018).

Sucesión natural. Ocupa el 15,11 % del área total; Mora Parada *et al.* (2020), la consideran como una secuencia natural de conjuntos de poblaciones, en un lugar y tiempo determinado, en este caso, el proceso se evidencia con especies, como el yarumo (*Cecropia telenitida)*, una especie pionera, debido a su abundancia y su capacidad de respuesta a los cambios ambientales, por lo que es idónea en procesos de sucesión (Castrillón Cortés, 2020). El yarumo es una especie empleada para la protección de cauces de agua, recuperación y protección de áreas degradadas (Mora Parada *et al.* 2020).

Por lo anterior, los SSEE asociados son principalmente de regulación, debido al mantenimiento de especies nativas (Hobbs & Cramer, 2008), además de la captura de carbono, la regulación climática y la regulación hídrica. Este espacio ofrece la oportunidad de ejercer la educación ambiental y generar conocimiento ecológico local.

Vivero forestal. Cuenta con una extensión de 0,35 ha, en donde se busca producir material vegetal para la arborización urbana, con especies típicas de bosque andino y subandino; entre las especies incluidas en el vivero están: pino colombiano (*R. rospigliosii*), guayacán (*Lafoensia punicifolia*), alcaparro (*Senna silvestris*), dos especies de palma de cera (*Ceroxylon quindiuense* y *C. sasaimae)*, nogal de altura (*Juglans neotropica*), cedro (*Cedrela montana*), nogal cafetero (*Cordia alliodora*), roble (*Quercus humboldtii*).

Entre los SSEE, se encuentran la formación del suelo y la calidad de aire, este último, a razón de la purificación del aire, que se obtiene por los procesos fisiológicos desarrollados. Por otro lado, los SSEE de tipo cultural son diversos; Walter & Gallo, (2022) asocian, para viveros de plantas nativas, la posibilidad para que los actores involucrados puedan aportar sus conocimientos sobre el cultivo de especies nativas, a la vez, que se puede convertir en un destino ecoturístico.

Fase 3: aplicación de la metodología de análisis multicriterio

Considerando que esta metodología es un instrumento útil para la toma de decisiones en cuanto a la selección, clasificación y priorización de las opciones analizadas por parte de los diferentes actores en cada contexto en particular (Etxano & Pelenc, 2020), se partió de la información primaria recolectada en campo, se obtuvieron los valores asignados por los actores entrevistados; asimismo, los valores de jerarquización y de calificación, se determinaron simultáneamente, siguiendo la secuencia metodológica.

Jerarquización y calificación de los SSEE. En la tabla 1, se muestra que los valores totales para calificación de los tres grupos de actores establecidos indican mayor importancia, en contraste con los valores atribuidos por los actores a la jerarquización; este comportamiento es similar al registrado en el estudio de Muñoz-López *et al.* (2017) y Méndez Pedroza *et al.* (2019), en donde la calificación sobrepasó a la jerarquización.

Pesos relativos para la jerarquización y calificación de los SSEE. En cuanto a la jerarquización, para los actores locales, los resultados expuestos en la tabla 1, arrojan una mayor importancia a los servicios de abastecimiento, con un porcentaje de 41,4 %, sobre los de índole cultural y de regulación, comportamiento similar a la calificación.

Para los profesionales ambientales se evidenció que valoran como más relevante los SSEE de regulación, con porcentajes de 38,36 y 46,7%, en jerarquización y calificación, respectivamente; por la misma línea, los ecoturistas asignaron a los servicios de regulación la puntuación más alta, en contraste con los servicios de abastecimiento y culturales, con cifras de 38,46 y 39,33%, respectivamente (Tabla 1).

Peso combinado SSEE. Con base en lo obtenido en esta parte del estudio, se evidencia la relación entre los actores y los vínculos construidos en el área, a lo largo del tiempo, notando una marcada diferenciación entre los propietarios nativos (actores locales), ya que las actividades que realizan en sus predios consisten en el uso directo de los recursos naturales y los propietarios no residentes, cuya permanencia en la vereda San Antonio es más reciente y, en su mayoría, con fines de disfrute y de habitabilidad ocasional.

Tabla 1. Cálculo de peso relativo y combinado para el análisis multicriterio de los Servicios ecosistémicos SSEE en la Reserva Natural de la Sociedad Civil Palma de Cera, según tipo de actor.

SEE	Actores locales					Profesionales ambientales					Ecoturistas				
	Suma total de J*	Suma total de C**	Peso relativo (%) de J	Peso relativo (%) de C	Peso combinado (%)	Suma total de J	Suma total de C	Peso relativo (%) de J	Peso relativo (%) de C	Peso combinado (%)	Suma total de J	Suma total de C	Peso relativo (%) de J	Peso relativo (%) de C	Peso combinado (%)
Abastecimiento	143	1285	41,4	44,1	42,8	9,5	60	26	20	23	58	515	34,32	34,33	34,33
Regulación	85	620	24,6	21,3	23	14	140	38,36	46,7	43	65	590	38,46	39,33	38,9
Culturales	117	1010	33,9	34,6	34,3	13	100	35,6	33,3	34	46	395	27,22	26,33	26,78
TOTAL	345	2915	100	100	100	36,5	300	100	100	100	169	1500	100	100	100

Para los actores locales, los SSEE con mayor peso combinado (42,8 %) son los de abastecimiento, puesto que pueden ser usados directamente, ya que al ser tangibles, viabilizan sus actividades productivas y representan, a la vez, el sustento económico que mejora su calidad de vida, gracias a actividades, como el cultivo de alimentos y su cosecha y el abastecimiento directo y cotidiano del recurso hídrico, que proveen las quebradas que atraviesan la reserva y bañan la vereda. Así, pues, valoran en menor grado los servicios culturales y de regulación, adquiriendo pesos del 34,3 y 23 %, respectivamente; este último no es priorizado en la valoración, debido a que, desde su visión, no significa beneficios directos; esto se puede asociar al conocimiento propio construido sobre las funciones ecosistémicas del territorio, que hace que su evaluación tenga un enfoque particular.

Los SSEE culturales han cobrado relevancia en este grupo, a causa de iniciativas que impulsan el turismo de naturaleza, que pueden llegar a ser claves en su economía, promovidas por figuras, como la reserva, que es un punto de encuentro socioambiental; como lo manifiesta Karimi *et al.* (2020) es relevante ahondar en estas percepciones que varían según el contexto geográfico y que construyen la identidad y el sentido de pertenencia de la comunidad por el territorio.

Los profesionales ambientales y los ecoturistas, por su parte, valoran más los servicios de regulación ecosistémica, alcanzando pesos combinados respectivos de 43 y 38,9% (Tabla 1), ya que, aunque intangibles, permiten el goce y el disfrute de los demás servicios, lo que sugiere que, debido a sus conocimientos acerca del funcionamiento de los ecosistemas y a los flujos de energía y materia sucedidos allí, perciben los sistemas naturales con un enfoque integral. De acuerdo con Menceyra (2021) es posible que se privilegien aspectos ecológicos por sobre los económicos o culturales.

Para los profesionales, el componente cultural obtiene un peso del 34 %, en donde la educación ambiental es el principal motor junto con la investigación, para crear y fortalecer la conciencia ambiental, exponiendo una apreciación importante de los ecosistemas, desde aristas recreativas, contemplativas y espirituales. En este caso, los SSEE de abastecimiento obtuvieron el menor valor, al no significar beneficios relacionados directamente con sus necesidades básicas, como la seguridad alimentaria, a causa de no residir permanentemente en la vereda y contar con otros medios de sustento, panorama que marca la diferencia con respecto a los actores locales.

Por último, los ecoturistas fueron el único grupo de individuos, para los cuales, los SSEE culturales tienen el menor grado de importancia, un comportamiento poco usual, pues es el servicio ecosistémico que usufructúan en mayor medida, reflejando cómo este tipo de valoración cualitativa es una consecuencia de un espacio y tiempo específico, viéndose influenciada por el contexto socioeconómico y cultural de los visitantes (Menceyra, 2021). Esta especificidad, en el estudio de caso, se asocia con la composición de la muestra (estudiantes de Ingeniería Ambiental, en su mayoría), que analizan, de forma diferente, el área de estudio; además, al ser visitantes ocasionales, no desarrollan un sentido de apropiación al mismo nivel de los locales, factor que influye en la valoración.

Este análisis cualitativo se puede convertir en un instrumento para la gestión de la reserva natural y toma de decisiones (Menceyra, 2021), en donde se involucre, en mayor medida, a los demás actores, promoviendo el intercambio de saberes, de conocimientos y de experiencias, construyendo un tejido social participativo (González *et al*. 2022), promoviendo, así, ampliar el enfoque hacia una comprensión integral del territorio y equitativa sobre los tres tipos de SSEE.

CONCLUSIONES

Las áreas protegidas con iniciativa privada, como lo son las Reservas Naturales de la Sociedad Civil, constituyen un rol importante en el cuidado de los ecosistemas del país, puesto que ayudan a salvaguardar la biodiversidad y las condiciones del medio natural, a nivel local, gracias a prácticas de manejo, bajo principios de sustentabilidad, que proponen sus propietarios.

Para cada grupo de actores, la percepción frente a los SSEE es variable y depende, en gran medida, de la forma de usufructuarios, la formación académica y el entorno social; asimismo, el ejercicio desarrollado permite comprender la importancia de todas las posiciones y cómo, en conjunto, esta lectura holística del territorio puede ser útil para la toma de decisiones respecto a los SSEE, provenientes de un área protegida.

Si bien es cierto, que aunque el tamaño de la muestra es pequeño, es característico de estudios cualitativos; el tipo de muestreo elegido fue el que más se adecuó al contexto en el que se desarrolló la investigación; dicho esto, los resultados son representativos para esta área en particular, por lo tanto, al replicar esta metodología en otro escenario, con condiciones que fluctúan y son propias del lugar, las percepciones y los resultados obtenidos, indudablemente, serán diferentes.

La evaluación adelantada por los actores locales reflejó que los beneficios tangibles y de uso directo, como lo son los SSEE de abastecimiento, tienen una mayor importancia para ellos, lo que tiene mucho sentido, puesto que sus actividades productivas y económicas giran en torno a estos servicios. Por otro lado, los profesionales ambientales junto con los ecoturistas, que tienen una relación distinta y comprenden de otra forma estos SSEE, priorizan los servicios de regulación por encima de los demás, ya que, aunque intangibles, gracias a su interacción compleja, permiten el goce y el disfrute de los demás SSEE.

Los SSEE culturales, reflejan cómo cada vez más el conocimiento ecológico local y la educación ambiental se convierten en herramientas para valorar, preservar, proteger y restaurar los ecosistemas presentes en el territorio, generando que el sentido de pertenencia en la comunidad aumente, por lo que estos beneficios adquieren un valor agregado, relacionado con los efectos positivos, que proporcionan bienestar humano.

RECOMENDACIONES

Involucrar, en mayor medida, a la comunidad de la vereda San Antonio, fortaleciendo la comunicación y aumentando la interacción, con el fin de articular las acciones de manejo implementadas por la reserva con los actores que poseen un rol activo en la vereda y que presentan una inherente dependencia de los SSEE, como lo son la JAC, la escuela veredal y los proyectos de hospedaje ecológicos que habitan en el área, ampliando el campo de acción, a un nivel local.

La creación de un corredor biológico, a través de diferentes predios de la vereda San Antonio, lograría generar una conectividad entre las áreas naturales, actualmente fragmentadas, las cuales, mediante sus funciones ecosistémicas, proveen servicios de regulación, claves para la conservación de la flora y la fauna, mitigando la presión antrópica, a la vez, que garantiza la continuidad del suministro de los SSEE.

REFERENCIAS

ALARCÓN, N.; AMAYA, S. 2014. Formulación del plan de manejo de la Reserva Natural "Palma de Cera", ubicada en La Vega Cundinamarca, para su registro como Reserva Natural de la Sociedad Civil. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

ALTIERI, M. 2002. Agroecología: principios y estrategias para diseñar una agricultura que conserva recursos naturales y asegura la soberanía alimentaria. 192p.

ALTIERI, M.; TOLEDO, V. 2010. La revolución agroecológica de América Latina: Rescatar la naturaleza, asegurar la soberanía alimentaria y empoderar al campesino. Revista El Otro Derecho. 42:164-202.

ANDERSON-TEIXEIRA, K.J.; SNYDER, P.K.; TWINE, T.E.; CUADRA, S.V.; COSTA, M.H.; DELUCIA, E.H. 2012. Climate-regulation services of natural and agricultural ecoregions of the Americas. Nature Climate Change. 2:177-181. https://doi.org/10.1038/nclimate1346

ANDRADE, H.J.; SEGURA, M.A. 2016. Dinámica de la sombra de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales con café en Tolima, Colombia. Agronomía Costarricense. 40(2):77-86. https://doi.org/10.15517/rac.v40i2.27387

ARÉVALO FUENTES, R.; LONDOÑO ARANGO, A. 2005. Manual para la identificación de maderas que se comercializan en el Departamento del Tolima. Primera edición. Corporación Autónoma Regional del Tolima & Universidad del Tolima. 152p.

BEER, J.W. 1987. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. Agroforestry Systems. 5(1):3-13. https://doi.org/10.1007/BF00046410

BRICEÑO, A.; PÉREZ, A. 2017. Utilización del humus lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) como alternativa amigable al medio ambiente para el cultivo del café, finca Santa Dolores, Municipio el Crucero. Trabajo de Grado. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. 45p. Disponible desde Internet en: https://core.ac.uk/download/pdf/84460624.pdf

CASTILLO, A.; MAGAÑA, A.; PUJADAS, A.; MARTÍNEZ, L.; GODÍNEZ, C. 2005. Understanding the interaction of rural people with ecosystems: A case study in a tropical dry forest of Mexico. Ecosystems. 8:630-643. https://doi.org/10.1007/s10021-005-0127-1

CASTRILLÓN CORTÉS, L.R. 2020. Guía ilustrada de especies vegetales con interés de conservación del bosque húmedo montano bajo, en la cuenca media de la quebrada Manizales, ciudad de Manizales, Caldas. Trabajo de Grado. Universidad Santo Tomás. 129p. Disponible desde Internet en: http://hdl.handle.net/11634/30835

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ, CENICAFÉ. 2011. Construyendo el modelo para la gestión integrada del recurso hídrico en la caficultura colombiana. Cenicafé. 10p. Disponible desde Internet en: https://www.cenicafe.org/es/documents/PROPUESTA__P_A_CENICAFE_ABRIL13.pdf

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R.V.; PARUELO, J.; RASKIN, R.G.; SUTTON, P.; BELT, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature. 387:253-260. https://doi.org/10.1038/387253a0

CUEVA, M.N.; VÉLEZ, D.F.; NIETO, R.V. 2013. Pino romerón [*Retrophyllum rospigliosii* (Pilger) C.N. Page], especie nativa potencial para la reforestación en zonas altoandinas de Colombia. Colegio Integrado Nacional Oriente de Caldas (CINOC). 47p. Disponible desde Internet: https://iescinoc.edu.co/wp-content/uploads/Silvicultura-del-pino-romeron-CINOC.pdf

DAZA, X. 2020. Apropiación humana de la producción primaria neta en sistemas de agricultura ecológica y convencional. Trabajo de Grado. Universidad Nacional de Colombia. 159p. Disponible desde Internet en: https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/77670

DE GROOT, R.S.; WILSON, M.A.; BOUMANS, R.M.J. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. Ecological Economics. 41(3):393-408. https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7

ETXANO, I.; PELENC, J. 2020. Evaluación del desarrollo humano y la sostenibilidad en el territorio: integración del enfoque de las capacidades, los servicios ecosistémicos y la sostenibilidad fuerte. Lan-Koadernoak cuadernos de trabajo. 84:4-66.

FERRER, G.; LA ROCA, F.; GUAL, M. 2012. Servicios ecosistémicos: ¿Una herramienta útil para la protección o para la mercantilización de la naturaleza? XIII Jornadas de Economía Crítica. Sevilla.

FISHER, B.; TURNER, K.; MORLING, P. 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. Ecological Economics. 68:643-653. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.09.014

GONZÁLEZ, H.; TRILLERAS, J.; PYSZCZEK, O.; ROMERO, L. 2022. Restauración ecológica participativa y servicios ecosistémicos culturales: una relación necesaria. Acta Botánica Mexicana. 129:e1929. https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1929

HAWKER, J.; SMITH, M.; BELL, G.; PARKER, J. 2020. La Gestión del Suelo y los Servicios Ecosistémicos. EO4cultivar. Proyecto Guía de Gestión de Colombia. UK Space Agency International Partnership Programme, Project No 417000001416. 16p. Disponible desde Internet en: https://data.jncc.gov.uk/data/b996fb94-b5e9-4367-b3bd-34281eb2828b/eo4c-colombia-gestion-del-suelo-es.pdf

HOBBS, R.J.; CRAMER, V.A. 2008. Restoration ecology: Interventionist approaches for restoring and maintaining ecosystem function in the face of rapid environmental change. Annual Review of Environment and Resources. 33:39-61. http://dx.doi.org/10.1146/annurev.environ.33.020107.113631

HOLDRIDGE, L.R. 1967. Life Zone Ecology. Tropical Science Center. San José, Costa Rica. 206p.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. 2018. Mapa de Cobertura de la Tierra. Adaptación Corine Land Cover. República de Colombia. Escala 1:100.000.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, 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. Bogotá, D. C. 72p

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM; INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS BIOLÓGICOS ALEXANDER VON HUMBOLDT, INSTITUTO HUMBOLDT; INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS JOSÉ BENITO VIVES DE ANDRÉIS, INVEMAR; INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, IGAC. 2017. Memoria técnica. Mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia (MEC), escala 1:100.000. 169p.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, IGAC. 2020. Resolución 471 de 2020 "Por medio de la cual se establecen las especificaciones técnicas mínimas que deben tener los productos de la cartografía básica oficial de Colombia". Disponible desde Internet en: https://www.igac.gov.co/transparencia-y-acceso-a-la-informacion-publica/normograma/resolucion-no-471-de-2020

KARIMI, A.; YAZDANDAD, H.; FAGERHOLM, N. 2020. Evaluating social perceptions of ecosystem services, biodiversity, and land management: Trade-offs, synergies and implications for landscape planning and management. Ecosystem Services. 45:101188. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101188

LIEBERMAN, D.; LIEBERMAN, M.; PERALTA, R.; HARTSHORN, G. 1996. Tropical forest structure and composition on a large-scale altitudinal gradient in Costa Rica. Journal of Ecology. 84:137-152. https://doi.org/10.2307/2261350

LÓPEZ, J.A.; BENAVIDES, M.A. 2021. Valoración Social y Económica de Servicios Ecosistémicos de soporte generados a partir del proceso de Restauración Ecológica de la Reserva Natural de la Sociedad Civil "Ecoparque Sabana". Universidad Distrital Francisco José de Caldas].

MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, M.R.; VIGUERA, B.; DONATTI, C.; HARVEY, C.A.; ALPÍZAR, F. 2017. La importancia de los servicios ecosistémicos para la agricultura. Materiales de fortalecimiento de capacidades técnicas del proyecto CASCADA (Conservación Internacional-CATIE). 40p. Disponible desde Internet en: https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/9550

MARTÍN-LÓPEZ, B.; GONZÁLEZ, J.A.; VILARDY, S. 2012. Ciencias de la sostenibilidad: guía docente. Universidad del Magdalena, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Laboratorio de Socioecosistemas, Universidad Autónoma de Madrid, Grupo Santander. 145p. Disponible desde Internet en: https://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/32937

MENCEYRA, F. 2021. Valoración sociocultural de servicios ecosistémicos en áreas urbanas chilenas. Trabajo de grado. Universidad de Chile. Chile. 136p. Disponible desde Internet en: https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/181202

MÉNDEZ PEDROZA, N.M.; VINASCO GUZMÁN, M.C.; MONTEALEGRE TORRE, W.I.; MÉNDEZ PEDROZA, N.M.; RAMÍREZ CÓRDOBA, G.A.; NORIEGA OME, M.A.; VALBUENA CALDERÓN, O.E. 2019. La guadua, una apuesta al cumplimiento de los objetivos del desarrollo sostenible. Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD. 124p. https://doi.org/10.22490/9789586517195

MENDOZA, G.; MACOUN, P.; PRABHU, R.; SUKADRI, D.; PURNOMO, H.; HARTANO, H. 1999. Guidelines for applying multi-criteria analysis to the assessment of criteria and indicators. Center for International Forestry Research-CIFOR. 85p. https://www.cifor.org/publications/pdf_files/Books/toolbox9.pdf

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINAMBIENTE. 2012. Política Nacional para la Gestión integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE). Colombia. Disponible desde Internet en: https://www.minambiente.gov.co/direccion-de-bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistemicos/politica-nacional-para-la-gestion-integral-de-la-biodiversidad-y-sus-servicios-ecosistemicos/

MORA PARADA, A.R.; VARGAS RÍOS, O.; GALVIS RUEDA, M. 2020. Sucesión y restauración ecológica en claros experimentales de plantaciones de *Cupressus lusitanica* (Mill).UPTC. Disponible desde Internet en: https://librosaccesoabierto.uptc.edu.co/index.php/editorial-uptc/catalog/book/138

MUNICIPIO DE LA VEGA. 2000. Plan Básico de Ordenamiento Territorial Municipio de La Vega – Cundinamarca. Documento Técnico. Disponible desde Internet en: https://www.lavega-cundinamarca.gov.co/Transparencia/PBOT/PBOT%20%20Acuerdo%20No.%20035%20DE%202000.pdf

MUÑOZ-LÓPEZ, J.; CAMARGO-GARCÍA, J.C.; ROMERO-LADINO, C. 2017. Beneficios de los bosques de guadua desde la "Jerarquización y Calificación "como una aproximación a la valoración de servicios ecosistémicos. Gestión y Ambiente. 2(20):222-231.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, FAO. 2018. Los 10 elementos de la agroecología, guía para la transición hacia sistemas alimentarios y agrícolas sostenibles. 13p. Disponible desde Internet en: https://www.fao.org/3/i9037es/i9037es.pdf

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS, ONU. 2005. Evaluación de los ecosistemas del milenio. Informe de síntesis. Disponible desde Internet en: https://www.millenniumassessment.org/documents/document.439.aspx.pdf

OYARZÚN, C.; NAHUELHUAL, L.; NÚÑEZ, D. 2005. Los servicios ecosistémicos del bosque templado lluvioso: producción de agua y su valoración económica. Revista Ambiente y Desarrollo de CIPMA. 20(3):88-95.

PEÑUELA, A. 2021. Sistemas agroforestales y servicios ecosistémicos. El caso de siete agricultores familiares del municipio de Ventaquemada en Boyacá. Trabajo de Grado. Pontificia Universidad Javeriana. Disponible desde internet en: http://hdl.handle.net/10554/58377

PÉREZ TOVAR, L.J.; VALDERRAMA ROJAS, M.A. 2022. Inventario ambiental de los elementos flora, fauna y agua, que permita establecer el grado de conservación y los servicios ecosistémicos ofrecidos por la Reserva los Robles del Municipio de Palestina – Huila. Trabajo de Grado. Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD. Disponible desde Internet: https://repository.unad.edu.co/handle/10596/44933

RINCÓN-RUIZ, A.; ECHEVERRY-DUQUE, M.A.; PIÑEROS QUICENO, A.M.; TAPIA CAICEDO, C.H.; DAVID, A.; ARIAS-ARÉVALO, P.; ZULUAGA GUERRA, P.A. 2014. Valoración integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos: aspectos conceptuales y metodológicos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt-IAvH). Bogotá, D.C. Colombia. 151p.

RODRÍGUEZ ERASO, N. 2016. Plan de conservación y manejo de la Palma *Ceroxylon sasaimae* en la jurisdicción CAR. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR. 35p. Disponible desde Internet en: https://sie.car.gov.co/bitstream/handle/20.500.11786/35920/29336_V3.pdf?sequence=3&isAllowed=y

RUIZ AGUDELO, C.A.; HURTADO BUSTOS, S.L.; CARRILLO CORTES, Y.P.; PARRADO MORENO, C.A. 2019. Lo que sabemos y no sabemos sobre los sistemas agroforestales tropicales y la provisión de múltiples servicios ecosistémicos. Una revisión. Ecosistemas. 3(28):26-35. https://doi.org/10.7818/ECOS.1697

SERVICIO NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS POR EL ESTADO, SERNANP & WORLD WILDLIFE FUND, WWF. 2016. Servicios Ecosistémicos que brindan las Áreas Naturales Protegidas. COBI. 59p. Disponible desde Internet en: https://cobi.org.mx/wp-content/uploads/2017/06/SERVICIOS-ECOSISTEMICOS-DE-ANP.pdf

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA; CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA, CORPOICA. 2014. Memorias II Simposio Internacional Guadua y Bambú "Consolidando el sector con Innovación y Sostenibilidad". Disponible desde Internet en: https://simposioguaduabambu2014.files.wordpress.com/2014/09/memorias-ii-simposio-internacional-de-guadua-y-bambc3ba-bogotc3a1-agosto-3-a-6-2014.pdf

VÁSQUEZ URIBE, L.C.; MATALLANA TOBÓN, C.L. 2016. Identificación de los servicios ecosistémicos que proveen las diferentes áreas protegidas en la Orinoquia colombiana. Biodiversidad en la práctica. 1(1):77-127.

WALTER, P.; GALLO, G. 2022. Biocorredores y turismo de cercanía: memoria de seminarios realizados en 2021. Universidad Provincial de Ezeiza. 126p. Disponible desde Internet en: https://web.upe.edu.ar/wp-content/uploads/2022/11/Libro-Biocorredores-y-turismo-de-cercania.pdf

Novum Ambiens
Febrero-Julio 2024-Volumen 2 No. 1:e2490
ISSN Digital: 2981-3069 (En línea)

Artículo Científico

http://doi.org/10.31910/novamb.v2.n1.2024.2490

Evaluación de la eficiencia de *Pontederia crassipes* en la remoción de cianuro de aguas residuales de la industria termoquímica

Evaluation of the efficiency of *Pontederia crassipes* in the removal of wastewater cyanide from the thermochemical industry

Yeraldin Bermúdez-Ramírez[1]; Luis Eduardo Beltrán-García[2*]; Diana Fúquene-Yate[3]

[1]Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Bogotá, Colombia; e-mail: ybermudez@udca.edu.co
[2]Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Facultad de Ciencias Ambientales y de la Sostenibilidad. Bogotá, Colombia; e-mail: luis.ebeltran@udca.edu.co
[3]Universidad Piloto de Colombia, Facultad de Ciencias Ambientales. Bogotá, Colombia; e-mail: diana-fuquene@unipiloto.edu.co
*autor de correspondencia. e-mail: luis.ebeltran@udca.edu.co

Cómo citar: Bermúdez-Ramírez, Y.; Beltrán-García, L.E.; Fúquene-Yate, D. 2024. Evaluación de la eficiencia de *Pontederia crassipes* en la remoción de cianuro de aguas residuales de la industria termoquímica. Novum Ambiens. 2(1):e2490. http://doi.org/10.31910/novamb.v2.n1.2024.2490

Artículo de acceso abierto publicado por Novum Ambiens, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: 26 de junio de 2023 **Aceptado:** 5 de junio de 2024 **Editado por:** Oscar Luis Pyszczek

RESUMEN

La industria termoquímica es una de las actividades antrópicas que más genera aguas residuales cianuradas, constituyéndose en un riesgo para la salud de poblaciones y de los ecosistemas aledaños, debido a la alta toxicidad y efectos nocivos de este residuo. Por ello, estas industrias se valen de procesos físicos y químicos para tratar sus aguas residuales antes de disponerlas nuevamente al ambiente; sin embargo, dichos procesos se consideran, muchas veces, invasivos para los ecosistemas. En este contexto, la fitorremediación es una alternativa ecológica para el tratamiento de dichos efluentes, por lo que la presente investigación busca evaluar la eficiencia de remoción de cianuro por el buchón de agua *Pontederia crassipes*, para tratar aguas residuales de la industria termoquímica, a través de ensayos experimentales con distintas condiciones. Los resultados arrojaron eficiencias de remoción de cianuro hasta del 70 %, transcurrido 5 días, usando sistemas cerrados; también, se obtuvo una remoción total de cianuro de hasta 13 mg/L. Estos resultados demuestran que la fitorremediación con *Pontederia crassipes* podría ser una alternativa eficiente para el tratamiento de aguas residuales de la industria termoquímica.

Palabras clave: Buchón de agua; Contaminantes del agua; Ecotecnología; Fitorremediación; Tratamiento de aguas residuales.

ABSTRACT

The thermochemical industry is one of the anthropogenic activities that generate the most cyanide wastewater, constituting a risk to the health of populations and surrounding ecosystems due to the high toxicity and harmful effects of this waste. Therefore, these industries use physical and chemical processes to treat their wastewater before disposing of it back into the environment; however, such processes are often considered invasive to ecosystems. In this context, phytoremediation is an ecological alternative for the treatment of such effluents. Therefore, this research seeks to evaluate the efficiency of cyanide removal by *Pontederia crassipes* to treat wastewater from the thermochemical industry through experimental tests with different conditions. The results showed cyanide removal efficiencies of up to 70% after five days and using closed systems. Also, a total cyanide removal of up to 13mg/L was obtained. These results show that phytoremediation with *Pontederia crassipes* could be an efficient alternative for wastewater treatment in the thermochemical industry.

Keywords: Common water hyacinth; Ecotechnology; Phytoremediation; Water Pollutants; Wastewater treatment.

INTRODUCCIÓN

La fitorremediación se considera una ecotecnología capaz de remover sustancias tóxicas del suelo, agua y aire, por medio del uso de especies vegetales, capaces de bioacumular dichas sustancias en sus estructuras biológicas, lo que la convierte en una práctica más sostenible y rentable (Farraji *et al.* 2016). El buchón de agua *Pontederia crassipes* Mart. es una de las especies vegetales más estudiada para dichos fines, gracias a sus características biológicas, entre las que resaltan, rápida reproducción, capacidad adaptativa, amplio rango de tolerancia y biomasa (Carreño Sayago, 2020), convirtiéndola en candidata para tratamientos biológicos de aguas residuales.

En la revisión documental de Martelo & Lara (2012), se evidencia que las primeras exploraciones con plantas se realizaron en la década de los 70, para tratar las aguas residuales de viajes espaciales, a cargo de la NASA. A partir de este momento, diversos autores comenzaron a experimentar la depuración de aguas residuales con macrófitas flotantes, para bajar los niveles de materia orgánica y remover nutrientes, como el nitrógeno y fósforo; posteriormente, se iniciaron los ensayos con metales pesados.

En Colombia, el primer documento registrado sobre procesos de fitorremediación data de 1996, donde se evaluó la efectividad de la especie *P. crassipes* para depurar hierro de aguas residuales, en el valle Sinuano, en Montería y se encontró que, a mayores concentraciones, la remoción disminuye (Martelo & Lara 2012).

A nivel mundial, se han realizado pruebas piloto en laboratorios y a escalas macro con humedales artificiales, para tratar diversas sustancias tóxicas del agua, tales como metales pesados, entre ellos, plomo, cromo, mercurio, hierro y compuestos de cianuro, donde se han obtenido porcentajes de remoción hasta del 98 %. Ejemplo de lo anterior, son estudios, como los de Ebel *et al.* (2007), quienes evaluaron la tolerancia y la capacidad de eliminación de cianuro de sodio por *P. crassipes*, a través de la medición de la transpiración relativa y ensayos en cámaras ambientales (tipo de sistema cerrado), encontrando, que la especie es capaz de eliminar hasta el 100 % de la concentración inicial (5,8 mg/L) de cianuro, transcurridas 32 horas; también, hallaron que el cianuro se volatiliza y que a partir de concentraciones de 10 mg/L de CN, las plantas comienzan a desecarse y morir.

Kumar *et al.* (2016), se centraron en los métodos naturales usados para remediar aguas producidas por la minería con presencia de cianuro, obteniendo que las especies capaces de producir biomasa en menor tiempo pueden ser las más eficientes en procesos de reducción del cianuro. Saha *et al.* (2018) realizaron ensayos experimentales con *Pontederia crassipes*, simulando humedales artificiales (tipo de sistema abierto), con recipientes plásticos, para remover cianuro de aguas residuales producidas por las industrias de acero, en donde concluyeron, que esta especie puede eliminar hasta el 95 % de cianuro del agua, luego de 3 días, a concentraciones de 5 mg/L; además, encontraron que esta especie también es capaz de reducir la demanda biológica de oxígeno DBO, la demanda química de oxígeno DQO, el amoniaco, sólidos totales disueltos STD y la dureza del agua.

Según Srivastava & Duvvuru (2010) existen más de 500 géneros y 100 familias de especies de plantas cianogénicas, que tienen la capacidad de convertir aminoácidos en glucósidos cianogénicos, que son una forma de azúcar simple unido a una molécula de cianuro, cuando ocurre una lesión en la planta, como mecanismo de defensa; estos glucósidos cianogénicos son usados por la planta como fuente de nitrógeno y precursor para la síntesis de aminoácidos y proteínas durante el crecimiento. Asimismo, los autores mencionan que, en los casos de fitorremediación, la adsorción de cianuro no siempre está relacionada con la asimilación, que es un es un proceso metabólico complejo, en el que actúan enzimas que catabolizan o degradan los contaminantes a un compuesto capaz de ser almacenado por la planta; sino que, también, ocurren procesos de acumulación.

Los autores Herrera *et al.* (2019), encontraron que ciertas macrófitas fueron capaces de adaptarse a ambientes contaminados por actividades de origen antrópico, desarrollando la capacidad de absorber y acumular sustancias tóxicas, como hidrocarburos, herbicidas, pesticidas y hasta metales pesados, a través de transportadores específicos, que están presentes en las raíces. Los mecanismos usados para ello son: la filtración, la sedimentación de sólidos, la incorporación de nutrientes a la planta y para el caso específico de los metales pesados, la formación de un complejo entre el metal y los aminoácidos presentes en las células.

Conforme a estos resultados, la presente investigación pretende evaluar la eficiencia de remoción de cianuro del buchón de agua para tratar aguas residuales de la industria termoquímica. Este estudio permitirá que las industrias, tanto termoquímicas como mineras, metalúrgicas, químicas, farmacéuticas y agroindustriales, tengan una alternativa más sustentable y ecológica para tratar sus aguas residuales con contenidos de cianuro y así disminuir los riesgos de intoxicación humana y garantizar la protección de los ecosistemas acuáticos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Programa de monitoreo. Se dejó una muestra de agua residual previamente recolectada en observación, por un periodo de tres días, en los que se midieron parámetros fisicoquímicos de pH, temperatura y concentración de cianuro, para identificar posibles cambios físicos en el agua residual y posibles pérdidas o disminución de la concentración de cianuro, no atribuibles a la especie. Para ello, la muestra puntual recolectada se depositó en un beaker de 1.000 ml de capacidad, midiendo a diario la concentración de cianuro, mediante el método titulación 4500-CN -. D. Durante este mismo periodo de observación, se realizaron las curvas de calibración del método, utilizando KCN (cianuro de potasio) a distintas concentraciones y se estableció el patrón de color. De la misma manera, se obtuvo el valor del blanco, promediando los valores de titulante, empleado para hacer virar de color agua destilada.

Determinación de la concentración de cianuro por el método titulación 4500-CN -. D. Para determinar la concentración de cianuro por el método de titulación 4500-CN - .D del estándar métodos, se replicó la metodología de Nava-Alonso *et al.* (2007); para ello, se tomaron muestras de agua de cada uno de los ensayos, incluyendo réplicas y controles (0,08 L aprox. por cada beaker) y se destilaron, para obtener muestras transparentes, que facilitaron la lectura del punto de viraje de color. Para hacer las lecturas de la concentración de cianuro por este método, se adicionó a una bureta una solución volumétrica de titulante con una concentración conocida (en este caso, nitrato de plata AgNO3 al 0,6%) y debajo de esta, se colocó un vaso de precipitado con la muestra a analizar (el agua residual), mezclada con ocho gotas de indicador yoduro de potasio (al 5 %). Para titular, se adicionó AgNO3 por goteo a la muestra, hasta que viró su color (de transparente a amarillo claro opaco) y luego se empleó la ecuación:

$$[\,]\,CN\frac{Mg}{L} = (A - B) \times 20$$

En donde, A son los mL de AgNO3 usados para titular 10 mL de la muestra de agua a medir y, B los mL de AgNO3 empleados para titular 10 mL de agua destilada (blanco); basado en el documento de Nava-Alonso *et al.* (2007).

Recolección de especie vegetal y acondicionamiento para montajes. La especie *Pontederia crassipes* se recolectó en el humedal Juan Amarillo (Tibabuyes), ubicado entre las localidades de Suba y Engativá de Bogotá; se recolectaron especies en etapa de crecimiento y de reproducción, es decir, individuos con presencia entre 4 y 7 hojas, entre 4 y 7 peciolos y algunos con un estolón, ya que, según Carreño Sayago (2020), durante esta etapa, la especie puede asimilar y absorber contaminantes inorgánicos del agua y obtener nutrientes de ellos. La recolección de los individuos se realizó manualmente con ayuda de un balde; posteriormente, se transportaron en el mismo recipiente hasta el laboratorio ambiental de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, donde se realizó el proceso de acondicionamiento, sumergiendo los individuos en agua limpia dentro de recipientes plásticos, por un periodo de 15 días, con las siguientes condiciones: dos recipientes con 5 L de agua y de 6 a 8 individuos de la especie por cada uno, reposados sobre un mesón del laboratorio cercano a una ventana con algunas limitaciones de entrada directa de luz solar, sin adición de nutrientes ni de agua.

Muestreo de agua. Para la recolección del agua residual se empleó el muestreo puntual, siguiendo el manual para la toma, la preservación y el transporte de muestras de agua para análisis de laboratorio, del Instituto Nacional de Salud (2020), en la industria. Allí, se midieron parámetros fisicoquímicos al agua y ambientales, para, posteriormente, compararlos con los del laboratorio y así evaluar posibles efectos.

Montaje experimental 1. Se realizó el primer montaje experimental con plantas dentro de beakers, que simulaban un humedal artificial con sistema abierto, replicando la metodología de Saha *et al.* (2018). Para este montaje se evaluaron dos ensayos; el primero, usando el agua residual diluida al 30 % (560 ml de agua residual y 240 ml de agua destilada) (esta dilución teniendo en cuenta la mínima concentración de cianuro detectable por el método de titulación 4500-CN .- D (1 mg/L)) y, el segundo, agua residual al 100 % (800 ml de agua residual). El agua residual al 100 % y diluida se depositó en beakers de 1 L de capacidad y a cada uno se le adicionó un individuo de la especie; por cada ensayo, se montaron tres réplicas y un control, que contenía agua residual en las mismas proporciones de dilución, pero sin especie vegetal, para evaluar si se presentaban pérdidas de cianuro no atribuibles al buchón de agua. Este montaje se dejó sobre el mesón cerca a la ventana (donde se acondicionaron los individuos), por 3 días consecutivos, que fue el tiempo reportado por los autores Ebel *et al*. (2007), como de mayor porcentaje de remoción de la especie *P. crassipes* y, posteriormente, se midió la concentración de cianuro, por el método de titulación 4500-CN -. D.

Montaje experimental 2. Para este montaje experimental se tomó como referencia la metodología de Wachirawongsakorn *et al*. (2015). Para ello, se recolectaron más individuos del buchón de agua y se usó agua destilada contaminada con KCN (cianuro de potasio), en sistemas abiertos y ajustando el pH, con NaOH (hidróxido de sodio), con el fin de intentar disminuir el porcentaje de volatilización de cianuro, atribuido por los autores Ebel *et al.* (2007), a un pH por debajo de 11. Para este, se usó agua destilada (800 ml), contaminada con 20 mg/L de KCN y se ajustó el pH del agua, con NaOH hasta 12, tanto para el ensayo como para el control; estas soluciones preparadas se depositaron en beakers de 1 L de capacidad y se dejaron sobre el mesón cerca a la ventana (donde se acondicionaron los individuos); al ensayo se adicionó un individuo del buchón de agua y al control, no. Este montaje se monitoreó por tres días consecutivos y a diario se evaluaban cambios físicos en la planta y se medían las concentraciones de cianuro, por el método de titulación 4500-CN -. D.

Montaje experimental 3. Para este montaje se recolectaron más individuos de buchón de agua y se modificaron las variables: cantidad de agua residual a tratar (más agua), cantidad de individuos vegetales (más individuos), tiempo (un día más de montaje) y concentración de cianuro (con distintas diluciones), para intentar aumentar el porcentaje de remoción de cianuro por la especie; asimismo, se probaron sistemas cerrados, como en la metodología de Ebel *et al.* (2007). En él, se evaluaron tres ensayos: el primero, contenía agua residual diluida al 50 % (2,5 L de agua residual y 2,5 L de agua destilada); el segundo, al 20 % (1 L de agua residual y 4 L de agua destilada) y, el tercero, al 10 % (500 ml de agua residual y 4,5 L de agua destilada). Las diluciones de los ensayos se depositaron en recipientes plásticos de 6 L de capacidad; a cada uno se le adicionó tres individuos del buchón de agua y se sellaron con papel vinipel. Para los controles negativos de este montaje se efectuó una relación volumétrica, en la que se usó, para el control del ensayo 1: 500 ml de agua destilada y 500 ml de agua residual; control del ensayo 2: 800 ml de agua destilada y 200 ml de agua residual y ,control del ensayo 3: 900 ml de agua destilada y 100 ml de agua residual; estas diluciones se depositaron en beakers de 1 L de capacidad y se sellaron con papel vinipel. Las concentraciones de cianuro fueron medidas una vez al día, por el método titulación 4500-CN -.D, durante 4 días consecutivos.

Reproducción de especies vegetales para montaje 4. Para este montaje se usaron individuos reproducidos en el proceso de acondicionamiento de la especie para el montaje 3. Durante la fase de crecimiento (12 días aprox.), se le añadieron al agua 0,4 mg/100 ml de macronutrientes, con la intención de acelerar su crecimiento.

Montaje experimental 4 – Metodología con sistema cerrado. En este montaje se modificaron las variables: estado de la planta (se usaron individuos más jóvenes reproducidos en el laboratorio), cantidad de agua (3 L menos que en el anterior montaje), cantidad de individuos (uno más que en el montaje anterior) y tiempo (5 días en total), en sistemas cerrados, para intentar aumentar el porcentaje de remoción, replicando las condiciones de ensayo de Saha *et al.* (2018). Para este, se empleó una dilución de agua residual al 20 % (que fue la dilución con mayor porcentaje de remoción de cianuro en el montaje anterior), que contenía 400 ml de agua residual y 1,6 L de agua destilada; se pasó a un recipiente plástico con capacidad para 3 L; se agregaron 4 individuos de la especie al recipiente y se selló con papel vinipel. Para el control se empleó una relación volumétrica y se usó 200 ml de agua residual y 800 ml de agua destilada, que se depositaron en un beaker de 1 L de capacidad y se selló con papel vinipel. Las concentraciones de cianuro fueron medidas por el método de titulación 4500-CN -.D, una vez al día.

Montaje experimental 5 – Metodología con sistema cerrado. Para el último montaje se replicó la metodología de sistema cerrado de Ebel *et al.* (2007) y se modificaron las variables de la concentración de cianuro (mayor dilución), usando la que mejor resultado arrojó en los ensayos de los autores referentes: más individuos de la especie (5 en total por ensayo), más agua residual a tratar (3 L en total) y tiempo (un día menos que en el montaje anterior), con la intención de continuar buscando las condiciones (variables), que favorezcan una mayor remoción de cianuro. Para ello, se usó una dilución de agua residual al 15 %, que contenía 450 ml de agua residual y 2.550 ml de agua destilada; se agregó a un recipiente plástico con capacidad para 3 L; se adicionaron 5 individuos de la especie al recipiente y se selló con papel vinipel. Para el control se empleó la relación volumétrica y se usó 150 ml de agua residual y 850 ml de agua destilada, que se depositaron en un beaker de 1 L y se selló con papel vinipel. Las concentraciones de cianuro se leyeron una vez por día, por el método titulación 4500-CN -.D, durante 4 días consecutivos.

Obtención de porcentajes de remoción de cianuro por la especie *P. crassipes*. Se elaboró una tabla (Tabla 5), en donde se registraron los valores en mg/L de la concentración inicial y final, obtenida en cada uno de los ensayos y montajes, junto con la concentración inicial y final, de sus respectivos controles; adicionalmente, se registró el porcentaje correspondiente a la remoción de cianuro que realizó la especie al finalizar los experimentos; para obtener este último valor se empleó el siguiente cálculo:

$$\frac{([\,]deCNabsorbidaporlaespecie \times 100)}{[\,]\,inicial\ de\ CN\ en\ el\ ensayo}$$

Para garantizar que se tomará solo la concentración de cianuro removida por la especie, a la concentración de cianuro removida en total, se le restó la concentración de cianuro total, que evidenció una posible pérdida o volatilización en los controles respectivos.

Obtención de concentraciones máximas de absorción de cianuro por *P. crassipes*. Se elaboró una segunda tabla, donde se registraron los valores de la concentración de cianuro absorbida por *P. crassipesen* en mg/L, por rangos de horas, durante la diferencia de tiempo en los muestreos y lecturas; para ello se realizó el cálculo matemático:

$$\frac{mg}{L} CN\ absorbido\ por\ la\ planta$$
$$\equiv ([\,]inicial\ de\ CN\ en\ la\ muestra - [\,]final\ de\ lamuestra)$$
$$- ([\,]inicial\ de\ CN\ control - [\,]final\ de\ CN\ control)$$

Para cada ensayo y distintos montajes, con la intención de identificar la concentración experimental de cianuro que absorbió la especie *P. crassipes*, sin las posibles volatilizaciones o pérdidas durante el muestreo.

Eficiencias de remoción. Con los resultados obtenidos en el apartado anterior se procedió aplicar la fórmula matemática:

$$E = \frac{(So - S)}{So} \times 100$$

Usada por Malacatus *et al.* (2017), en su trabajo, para determinar la eficiencia de remoción de cianuro en cada uno de los tratamientos y ensayos; donde E, es la eficiencia de remoción (%); So, la carga contaminante de entrada (Kg/L) y S, la carga contaminante de salida (Kg/L). Para el análisis de datos y análisis gráfico de los resultados se usaron funciones de Excel.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Programa de monitoreo. La primera muestra de agua residual recolectada para los análisis y evaluación del comportamiento de la concentración de cianuro presentó una disminución o pérdida total de 6 mg/L CN (Tabla 1), transcurridos los 3 días de monitoreo establecidos. El valor de SST (Sólidos Sedimentales Totales) compilado en la tabla 1 (0,4 Kg/L), indicó una alta concentración de residuos sólidos en el agua residual que, según Roto (s.f.), se pudo deber a partículas de polvo adheridas a las piezas de acero que se lavaron en estas aguas y, las cuales, se pudieron desprender.

Respecto a los parámetros ambientales medidos en la empresa donde se encontraba el agua recolectada (Tabla 1) y del laboratorio donde se realizaron los distintos ensayos, no se evidenció una diferencia significativa que pudiera afectar o influir en los resultados.

Frente a las observaciones físicas realizadas a la muestra de agua residual durante los tres días que fue sometida al programa de monitoreo, se observó la formación de sales o cristales en el agua, las cuales, incrementaban cuando el agua se secaba, producto de la exposición directa al aire; según Capote *et al.* (2015), esta formación de sales o cristales se debe a la precipitación por incremento de CO_3.

Para el blanco (necesario en la ecuación, que permite obtener el valor de la concentración de cianuro), se estableció como valor 0,3 mL y este se usó como patrón de color de viraje.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos de la primera muestra de agua residual recolectada para programa de monitoreo.

pH	SST	Temperatura	[ ] inicial de CN en la muestra	[ ] final de CN en la muestra
10,5	400 ml/L	15,9 °C	34 ml/L	28 mg/L

Condiciones de individuos vegetales y acondicionamiento. Todos los individuos de buchón de agua recolectados en el humedal, para los montajes 1 (simulación de humedales artificiales con sistema abierto), 2 (simulación de humedal artificial con sistema abierto), 3 (simulación de humedales artificiales con sistema cerrado) y 5 (simulación de humedal artificial con sistema cerrado) poseían entre 4 y 7 hojas, entre 5 y 7 peciolos y raíces de, aproximadamente, 0,4 – 0,6 m (Figura 1). Adicionalmente, todos los individuos de buchón de agua presentaban signos de clorosis en algunas hojas (color amarillo), producto de las condiciones donde fueron recolectados. La temperatura ambiente promedio del laboratorio durante este periodo de acondicionamiento fue 17,6 °C, con una humedad del 58 %.

Figura 1. Condiciones de individuos de buchón de agua *Pontederia crassipes* recolectados para los montajes 1, 2, 3 y 5.

Las plantas reproducidas en el laboratorio, usadas en el montaje 4 (simulación de humedal artificial con sistema cerrado), poseían entre 4 y 5 hojas y entre 3 y 4 peciolos y sus raíces median entre 0,1 y 0,16 m. Los macronutrientes que se añadieron para que crecieran más rápido no funcionaron y, por el contrario, generaron signos de marchitez en algunas hojas y peciolos. Esto se puede deber, según Novoa *et al.* (2018), a que, aunque se evidencie un aumento exponencial en el crecimiento y acumulación de nutrientes en las plantas fertilizadas, la concentración interna de nutrientes disminuye, debido a la dilución por el crecimiento, lo que sugiere un estrés ocasionado por un exceso de nutrientes.

Caracterización del agua residual recolectada para los distintos montajes. El agua residual que se recolectó durante el primer muestreo se usaba para el lavado de las piezas de acero luego de la cementación y durante el temple; esta llevaba 1 mes, aproximadamente, conservada en un recipiente abierto, ya que estaba destinada a su disposición final (secado), luego de usarse por un año. Los parámetros fisicoquímicos que presentaba el agua de este primer muestreo (Tabla 2), incluyeron una turbidez mayor a (1000 NTU), por encima del valor máximo detectable por el equipo (turbidimetro), pese a que, a simple vista, el agua presentaba un color gris oscuro; un pH de 10, indicando una alta alcalinidad, que puede ocasionar la formación de las sales o cristales y un valor de sólidos suspendidos totales de 350 mg/L.

El agua residual recolectada durante el segundo muestreo había sido reemplazada hacía dos meses, aproximadamente, por lo que, a diferencia de la primera muestra que se tomó, la turbidez y los sólidos en suspensión, era menor; también, se conservaba en un recipiente abierto y era usada aún para lavar las piezas. Las características más relevantes del agua de este segundo muestreo (Tabla 2), incluían una concentración de cianuro inicial de 107 mg/L, más alta que la del primer muestreo, que era de 34 mg/L; un pH más alcalino y una conductividad menor, que es directamente proporcional a la concentración de SST que, también, fue menor que la del primer muestreo. En cuanto a la dureza del agua de ambos muestreos está clasificada en la escala de Merck, como un tipo de agua muy dura.

Porcentajes de remoción de cianuro por *P. crassipes* en los distintos ensayos y montajes experimentales. Los resultados plasmados en la tabla 3 revelaron en el montaje 4, las siguientes condiciones: 2 L de agua residual diluida al 20 %, 4 individuos de la especie reproducidos en el laboratorio para tratar el agua y simulación de humedales artificiales, con sistema cerrado por 5 días, presentó el mayor porcentaje de remoción de cianuro por parte de la especie *P. crassipes*, con un 70 % de remoción; seguido a este, el segundo montaje con mayor porcentaje de remoción fue el 5, que poseía las siguientes condiciones: 3 L de agua a tratar, en una dilución de agua residual al 15 % y 5 individuos del buchón de agua, en

un montaje cerrado por 4 días y arrojó un 57 % de remoción; por último, el tercer montaje con mayor porcentaje de remoción fue el ensayo 2 del montaje 3, en las siguientes condiciones: 5 L de agua a tratar diluida al 20 %, 3 individuos de la especie, en simulación de humedal artificial con sistema cerrado por 4 días, que arrojó un 55 % de remoción de cianuro. En cuanto a los montajes con sistema abierto (montaje 1 y 2), el ensayo 1 del montaje 2, presentó el mayor porcentaje de remoción de cianuro, con un 23 %, a diferencia de los ensayos 1 y 2 del primer montaje, que también se usaron sistemas abiertos y solo se obtuvo hasta un 6 % de remoción; en el ensayo 2 se estabilizó el pH para evitar la volatilización de cianuro, por lo que se logró aumentar el porcentaje de remoción, por parte de la especie.

Tabla 2. Caracterización del agua residual recolectada en los muestreos 1 y 2.

Muestreo	Turbidez	Conductividad	pH	SST	Dureza	[ ] de cianuro
1	> 1000 NTU	160,9 mS/cm	10,17	350 mg/L	>600 mg/L $CaCO_3$	34 mg/L
2	68,3 NTU	152,7 mS/cm	11,16	1,5 mg/L	>500 mg/L $CaCO_3$	107 mg/L

Tabla 3. Compilación de resultados para los distintos montajes y porcentajes de remoción de cianuro por buchón de agua *Pontederia crassipes*.

Montaje	Ensayo	09 agosto		12 agosto		% de remoción de cianuro
		[ ] inicial CN Muestra	[ ] final CN Muestra	[ ] inicial CN Control	[ ] final CN Control	
1	1	19,2 mg/L	18 mg/L	19,2 mg/L	19,4 mg/L	6,25
	2	27,4 mg/L	23 mg/L	27,4 mg/L	24,4 mg/L	5,1
		21 septiembre		23 septiembre		
2	1	20 mg/L	8 mg/L	20 mg/L	12,6 mg/L	23
		11 octubre		14 octubre		
3	1	40,6 mg/L	30 mg/L	40 mg/L	38,6 mg/L	23
	2	19,4 mg/L	6 mg/L	20 mg/L	17,4 mg/L	55
	3	11 mg/L	2,6 mg/L	10,6 mg/L	8 mg/L	53
		25 octubre		29 octubre		
4	1	19,4 mg/L	4,6 mg/L	18,6 mg/L	17,4 mg/L	70
		16 noviembre		19 noviembre		
5	1	14 mg/L	3,4 mg/l	14 mg/L	11,4 mg/L	57

Nota. Las diferencias entre las concentraciones iniciales de los controles y las muestras de algunos ensayos se deben a la relación volumétrica que se empleó para los controles; sin embargo, con la fórmula matemática descrita en la metodología, se resta el valor total volatilizado de cianuro de los controles al valor total de remoción de cada muestra/ensayo, para obtener el porcentaje de remoción de la especie.

En cuanto al porcentaje de cianuro volatilizado, los resultados arrojaron que en los montajes donde se manejaron sistemas abiertos (montaje 1 y 2), las pérdidas por volatilización alcanzaban hasta el 68 % del total de cianuro removido y, pese a estabilizarse el pH de la muestra (montaje 2), como indicaban los autores Ebel *et al.* (2007), para evitarlo, la volatilización solo disminuyó hasta un 7 %; por otra parte, los montajes que se manejaron con sistemas cerrados (montaje 3, 4 y 5), evidenciaron una disminución en la volatilización, de hasta un 80 % (Tabla 4).

Se observó que, adicionalmente, los montajes con sistema cerrado (montaje 3, 4 y 5), en los que se realizaron los ensayos por uno y dos días más que los ensayos con sistema abierto (montajes 1 y 2), la remoción de cianuro por parte de la especie fue mayor, hasta un 31 % en promedio.

Concentraciones de cianuro absorbidas por *Pontederia crassipes* en los distintos ensayos y montajes experimentales. En cuanto a los resultados de la concentración máxima de cianuro, que fue capaz de absorber la especie en los distintos ensayos y condiciones que se probaron, se encontró que *Pontederia crassipes* fue capaz de absorber y/o retener hasta 13,6 mg/L del cianuro total, presente en el agua residual tratada; esta concentración se logró con las condiciones del ensayo del montaje 4: 2 L de agua residual diluida al 20%, 4 individuos de la especie, reproducidos en el laboratorio, para tratar el agua y simulación de humedales artificiales con sistema cerrado por 5 días.

El segundo ensayo con mayor concentración de cianuro removido fue el ensayo 2 del montaje 3, que poseía las siguientes características de montaje: 5 L de agua a tratar diluida al 20 %, 3 individuos de la especie, en simulación de humedal artificial con sistema cerrado por 4 días y logró absorber/retener 10,8 mg/L CN. El tercer ensayo con mejores resultados fue el primero del montaje 5, con las siguientes características: 3 L de agua a tratar, en una dilución de agua residual al 15 % y 5 individuos de la especie en un montaje cerrado por 4 días, que logró remover 8 mg/L de cianuro (Tabla 4).

Tabla 4. Concentración de cianuro absorbida por el buchón de agua *Pontederia crassipes* en los distintos montajes por rangos de tiempo.

Montaje	Ensayo	24 h	48 h	72 h	96 h	Total
1	1		1,2 mg/L CN			1,2 mg/L CN
	2		1,4 mg/L CN			1,4 mg/L CN
2	1	3,4 mg/L CN	1,2 mg/L CN			4,6 mg/L CN
3	1	6,6 mg/L CN	2,8 mg/L CN	0,6 mg/L CN*		10 mg/L CN
	2	5,4 mg/L CN	4 mg/L CN	1,4 mg/L CN		10,8 mg/L CN
	3	3,8 mg/L CN	3,2 mg/L CN	0,8 mg/L CN*		7,8 mg/L CN
4	1	6,2 mg/L CN	2,6 mg/L CN	4,6 mg/L CN	0,2 mg/L CN	13,6 mg/L CN
5	1	6 mg/L CN	0,4 mg/L CN	1,6 mg/L CN		8 mg/L CN

Nota. Las casillas que contienen un asterisco (*) indican que durante ese rango de tiempo los controles volatilizaron mayor concentración de cianuro que la removida por la especie.

Los resultados de la tabla 4 también revelaron que *P. crassipes* realiza la mayor absorción/remoción de cianuro del agua dentro de las primeras 24 horas y a partir de, aproximadamente, el tercer día de experimento (montajes 3, 4 y 5), comienza a disminuir, de manera radical; simultáneo, se observó que luego de los mismos tres días de experimento, las plantas de todos los ensayos y montajes presentaban un deterioro extremo y se cree ya habían alcanzado su límite máximo de absorción o acumulación de este contaminante, razón por la cual, la concentración de cianuro removida, luego de este tiempo, era baja.

Eficiencias de remoción de cianuro por *Pontederia crassipes* de los distintos ensayos y montajes experimentales. Los resultados de los porcentajes de eficiencia de remoción que alcanzó la especie con los distintos ensayos y condiciones probadas evidencian que *P. crassipes* fue eficiente en la remoción de hasta un 70 % del cianuro total presente en el agua, bajo las siguientes condiciones de montaje: 2 L de agua residual diluida al 20 %, 4 individuos del buchón de agua reproducidos en el laboratorio para tratar el agua y simulación de humedales artificiales con sistema cerrado por 5 días.

Según los resultados de la tabla 5, se observa que los ensayos que presentaron mayores eficiencias de remoción de cianuro, seguidas del montaje 4, fueron el ensayo 1 del montaje 5 y el ensayo 2 del montaje 3, con 57 y 56 %, respectivamente, que se realizaron simulando humedales artificiales con sistema cerrado, por lo cual, se puede inferir, que el buchón de agua es más eficiente cuando se somete a condiciones que le exigen tomar los nutrientes necesarios del ambiente donde se encuentra (en este caso, del agua residual).

En cuanto a los montajes 1 y 2 que se realizaron simulando humedales artificiales con sistema abierto, las plantas alcanzaron una eficiencia de remoción hasta del 23 %, menor que la de los sistemas cerrados.

Se evidenció una mayor eficiencia de remoción de cianuro por parte del buchón de agua en los ensayos con sistema cerrado (3, 4 y 5), que los ensayos con sistema abierto (1 y 2); esto, pese a que la especie, al no poseer una fuente de alimento externa (como en los sistemas abiertos), debía recurrir a metabolizar los compuestos del agua en la que se encontraba (caso de los sistemas cerrados – montajes 3, 4 y 5).

Tabla 5. Eficiencias de remoción de cianuro por *Pontederia crassipes* en los distintos montajes.

Montaje	Ensayo	So	S	Eficiencia de remoción de cianuro
1	Ensayo 1	19,2 mg/L CN	18 mg/L CN	6,25%
	Ensayo 2	27,4 mg/L CN	26 mg/L CN	5,40%
2	Ensayo 1	20 mg/L CN	15,4 mg/l CN	23%
3	Ensayo 1	40,6 mg/L CN	31,4 mg/L CN	22,66%
	Ensayo 2	19,4 mg/L CN	8,6 mg/L CN	55,67%
	Ensayo 3	11 mg/L CN	5,2 mg/L CN	52,73%
4	Ensayo 1	19,4 mg/L CN	5,8 mg/L CN	70,10%
5	Ensayo 1	14 mg/L CN	6 mg/L CN	57,14%

Al finalizar todos los distintos montajes y ensayos, el agua residual tratada con las plantas para disminuir la concentración de cianuro adquirió un color púrpura, que se atribuye a la oxidación de nitratos a nitritos, ocasionada por la presencia de la especie y sus posibles mecanismos de supervivencia natural. Adicional a esto, también se evidenció un olor característico a almendras amargas, que era mucho más fuerte en los montajes con sistema cerrado. Los controles de los distintos ensayos no presentaron cambios significativos, mayores a una disminución en la turbidez (color del agua), ocasionada por la precipitación de sólidos suspendidos. Las plantas, por el contrario, en todos los montajes y ensayos presentaron una fuerte degradación, que incluyó un cambio de color, de verde a negro, en hojas y en peciolos y una disminución en su biomasa. Este color fue adquirido a partir de las primeras 24 horas de experimento y era más notorio en las plantas expuestas a mayores concentraciones de cianuro en el agua.

CONCLUSIONES

Las aguas residuales de la industria termoquímica presentaron una alta carga de cianuro, que se identificó durante el análisis de los muestreos que se realizaron (muestreo 1 y muestreo 2), la cual, proviene del lavado de las piezas de acero, luego de que pasan por un proceso llamado temple, en donde se usa el cianuro para el recubrimiento y reforzamiento de la dureza de las piezas de acero; durante este proceso, las piezas pueden desprender partículas de suciedad adheridas a ellas y residuos que contienen el compuesto químico que no se integró durante el proceso y que, luego, se van acumulando en las aguas residuales contenidas en el recipiente, donde fueron recolectadas las muestras.

La primera muestra de agua residual recolectada para el programa de monitoreo arrojó 0,4 Kg/L de sólidos sedimentados totales, los cuales, demuestran la presencia de posibles partículas de suciedad desprendidas de las piezas y disueltas o suspendidas en el agua. Se observó, adicionalmente, que en este tipo de agua residual produce una formación de sales o cristales, que se puede deber, según Julián-Soto (2010) y Condorchem (s.f.), a la transformación de compuestos carbonatados en cristales, ocasionada por la elevación de temperatura y posterior enfriamiento (procesos propios de tratamientos termoquímicos). Estas formaciones, también están relacionadas con la dureza del agua y explicaría por qué las dos primeras muestras arrojaron valores que clasifican el agua residual como muy dura, recordando que estas muestras corresponden al agua que se usó durante un año. El agua del segundo muestreo, a diferencia del primero, poseía una dureza y formación de sales o cristales mucho menor, debido a que esta solo llevaba 2 meses de uso.

Pese a la gran diferencia de la concentración inicial de cianuro entre el muestreo 1 y 2 que se presentó, se infiere que, durante el mes que estuvo reposada el agua del primer muestreo, se pudo haber volatilizado una importante concentración de cianuro y, por ello, era mucho menor que la del segundo muestreo, ya que, según Ebel *et al.* (2007), cuando el agua con cianuro posee un pH inferior a 11, se tiende a volatilizar y el pH del agua de los primeros muestreos (agua usada por 1 año), presentaba un pH de 10. Esto no solo puede influir en los resultados y diferencias entre los muestreos de agua, sino que, además, aumenta el riesgo de afectaciones a la salud de los trabajadores, que se encuentran expuestos.

La primera muestra de agua residual recolectada para el programa de monitoreo presentó una diminución en la concentración inicial de cianuro que, según Pérez & Higuera (2008), se debe a la volatilización del compuesto, debido a su alta presión de vapor, cuando se encuentra a valores de pH inferiores a 11.

En cuanto a los montajes experimentales, en el primero que se realizó, se observó que un 11 % del cianuro total removido se había volatilizado y el porcentaje de remoción de la especie era muy bajo, en comparación del que obtuvieron Saha *et al*. (2018), quienes usaron *P. crassipes*, para tratar aguas residuales de la industria de acero y obtuvieron eficiencias de remoción de hasta el 95 %. Esto se puede deber a que, a diferencia de sus resultados, en este primer montaje, se usaron concentraciones de cianuro más altas (27 mg/L) que las que ellos usaron (2,4 mg/L), pese a que el método elegido para determinar el cianuro en la presente investigación no puede detectar con exactitud concentraciones de cianuro tan bajas y tampoco se usó NaOH, para estabilizar el pH y evitar la volatilización, como si hicieron estos autores; sin embargo, para el segundo montaje experimental se optó por estabilizar el pH del agua residual y bajar la concentración de cianuro inicial (a 20 mg/L), para intentar acércanos al porcentaje de remoción que ellos obtuvieron. En este montaje, al igual que los de Saha *et al.* (2018), también se simularon humedales artificiales con sistemas abiertos y aunque estas nuevas condiciones experimentales aumentaron el porcentaje de remoción de cianuro hasta un 23%, no se logró disminuir el porcentaje de volatilización de cianuro, que seguía siendo alto en comparación con la remoción que estaba haciendo la especie. Se interpreta que esto se pueda deber a que como la concentración inicial de cianuro en los presentes ensayos es mucho más alta que la del autor referente (Saha *et al.* 2018), asimismo, la volatilización puede ser mayor.

Pese a estos primeros resultados y con la intención de seguir probando condiciones experimentales que aumenten la remoción de cianuro por la especie y disminuyan los porcentajes de volatilización, se optó por diseñar ensayos con sistemas cerrados para el tercer montaje, como los de Ebel *et al.* (2007), con el uso de cámaras ambientales (sistema de tratamiento cerrado), obteniendo eficiencias de remoción del 100 %, luego de 32 horas. Con estas nuevas condiciones probadas se logró incrementar el porcentaje de remoción de cianuro por la planta hasta en un 50 % y, también, se logró disminuir el porcentaje de volatilización del compuesto, hasta un 80 %.

Al probar el tratamiento con sistemas cerrados se observó que el proceso es mucho más eficiente, pese a que, a diferencia de los sistemas abiertos, las plantas no poseen otra fuente de nutrientes externa para sobrevivir, más que las presentes en el agua residual. Esta afirmación es soportada por lo mencionado por Acosta-Arce & Agüero-Alvarado (2006), quienes afirman que las malezas acuáticas, como *Pontederia crassipes*, dependen y se adaptan a las condiciones del medio en que se encuentran, pudiendo sobrevivir con los recursos disponibles. Adicionalmente, se interpreta que el agua residual recolectada para este montaje (muestreo 2), también influyó en dichos resultados, ya que poseía una menor cantidad de sólidos suspendidos totales, lo que facilitaría la remoción del cianuro libre y un pH más estable, para evitar la volatilización (> 11), como indican Ebel *et al.* (2007).

En cuanto al montaje 4, la principal modificación realizada en las condiciones, que consistió en el uso de individuos de buchón de agua más jóvenes y reproducidos en el laboratorio, permitió obtener el mayor porcentaje de remoción de cianuro, evidenciando la existencia de cierta relación entre la remoción de cianuro y el estado de los individuos, lo cual, apoya la afirmación de Carreño Sayago (2020), que el buchón de agua durante su etapa de crecimiento es capaz de asimilar compuestos inorgánicos, como el cianuro y por medio de procesos metabólicos degradarlo, para obtener de él una fuente de nitrógeno. El porcentaje de remoción de cianuro obtenido con este montaje (70 %), se asemeja al que obtuvieron Jaramillo-Salazar *et al.* (2016), luego de tratar aguas cianuradas de una mina de oro con *Pontederia crassipes*, por 30 días, tiempo en el que la planta removió el 77,95 % del cianuro total. Nuevamente, las condiciones de tratamiento con sistema cerrado lograron disminuir los porcentajes de volatilización y aumentar la eficiencia de remoción.

Finalmente, las condiciones probadas con el montaje 5 y pese a que no se usaron individuos reproducidos y más jóvenes, no se obtiene un mayor porcentaje de eficiencia de remoción, pero sí una importante disminución en la volatilización del compuesto, por lo que se infiere que, para tratar aguas residuales cianuradas de la industria termoquímica, lo mejor es trabajar con sistemas cerrados, que no solo disminuyen la volatilización y los errores experimentales, sino que, además, reducen los riesgos de intoxicación humana, en específico, para trabajadores que están potencialmente expuestos a compuestos de cianuro.

Por otra parte, los autores Ebel *et al.* (2007) afirman que, a concentraciones más bajas de cianuro, la remoción aumenta; sin embargo, los resultados de la presenten investigación no concuerdan con esta afirmación, ya que no siempre los ensayos trabajados con menor concentración de cianuro arrojaron las más altas remociones. Esto se debió, principalmente, a las condiciones de montaje probadas, por lo que se recomienda experimentar con concentraciones menores a los 5 mg/L de CN y emplear métodos de lectura o detección de esas concentraciones para comparar.

Algo particular que se observó en el agua residual, luego de ser tratada con las plantas, fue la adquisición de un color púrpura y que ninguno de los referentes consultados reportó. Jaramillo-Salazar *et al*. (2016) mencionaron, dentro de sus resultados, que luego de realizar la fitorremediación de aguas cianuradas de la mina de oro con *P. crassipes*, sometieron la especie a una prueba con papel indicador picrato de sodio, en la cual, evidenciaron un cambio de color de amarillo a rojo ladrillo (similar al que obtuvieron las aguas residuales tratadas con la misma especie en esta investigación), indicando la presencia de glucósidos cianogénicos y sus respectivas enzimas hidrolíticas; relacionando esta información con la de Srivastava & Duvvuru (2010), quienes indican que *P. crassipes* pertenece al grupo de especies vegetales capaces de producir glucósidos cianogénicos como mecanismo de defensa y usarlos como fuente de nitrógeno y precursor para la síntesis de aminoácidos y proteínas durante el crecimiento, se puede deducir que, dentro del proceso de asimilación y remoción de cianuro por parte de la especie en los distintos montajes, se liberan este tipo de enzimas, que ocasionan el cambio de color al agua.

Asimismo, se observó que a partir de las primeras 24 horas de ensayos, todos los individuos comenzaban a presentar los primeros signos de desecamiento y aparición de color negro en sus estructuras principales, como hojas y peciolos, evidenciando el daño ocasionado por la retención de cianuro en la planta durante el tratamiento. Al igual que lo indicado por Ramírez (2010), se identificó el olor característico del cianuro similar almendras amargas, producido a lo largo de los ensayos.

De acuerdo con los resultados obtenidos, la fitorremediación de aguas cianuradas de la industria termoquímica con *P. crassipes* podría ser uno de los procesos biológicos alternativos para el tratamiento de las aguas residuales, siempre y cuando, se posean concentraciones de cianuro bajas, se trabajen simulaciones de humedales artificiales con sistemas cerrados y se usen individuos jóvenes para el tratamiento.

El tratamiento a las aguas residuales de la industria termoquímica con *Pontederia crassipes* resultó eficiente en la remoción de cianuro de hasta un 70 %, bajo las siguientes condiciones: agua residual diluida al 20 % con agua destilada, concentración inicial de cianuro de 19,4 mg/L, 4 individuos del buchón de agua reproducidos en el laboratorio y en etapa de crecimiento por cada 2 L de agua a tratar, durante 5 días, simulando humedales artificiales con sistema cerrado.

La concentración máxima experimental de cianuro que fue capaz de absorber la especie *P. crassipes* fue 13 mg/L, en el montaje que poseía las mismas condiciones anteriormente mencionadas. Se evidenció que el uso de individuos más jóvenes de buchón de agua que los recolectados en el humedal potencia la eficiencia de remoción de cianuro, al tomar el cianuro como fuente de nitrógeno para su crecimiento y desarrollo.

Los resultados demostraron que la implementación de sistemas cerrados para el tratamiento de este tipo de agua disminuye significativamente los porcentajes de volatilización, lo que, a su vez, minimiza el riesgo de afectaciones a la salud humana.

Todas las concentraciones experimentales de cianuro probadas en la presente investigación resultaron letales para la planta; se recomienda experimentar con menores concentraciones y disponer de los individuos de buchón de agua como residuos sólidos peligrosos.

REFERENCIAS

ACOSTA-ARCE, L.; AGÜERO-ALVARADO, R. 2006. Malezas acuáticas como componentes del ecosistema. Agronomía mesoamericana. 17(2):213-219. https://doi.org/10.15517/am.v17i2.5162

CAPOTE, T.J.; MATUTE, S.B.; ROJAS, J.R. 2015. Determinación de la dureza total en agua con EDTA empleando una solución amortiguadora inodora de borato. Revista del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel. 46(1-2):25-37.

CARREÑO SAYAGO, U. 2020. "Buchón de agua" (*Eichhornia Crassipes*): impulsor de la fitorremediación. Fundación Universitaria Los Libertadores. 94p.

CONDORCHEM. S.F. Cristalización de sal y agua: Tratamiento de efluentes. Disponible desde Internet en: https://condorchem.com/es/blog/cristalizacion-de-sal/

EBEL, M.; EVANGELOU, M.W.H.; SCHAEFFER, A. 2007. Cyanide phytoremediation by water hyacinths (*Eichhornia crassipes*). Chemosphere. 66(5):816-823. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.06.041

FARRAJI, H.; ZAMAN, N.; TAJUDDIN, R.; FARAJI, H. 2016. Advantages and disadvantages of phytoremediation: A concise review. International Journal of Environmental Science and Technology. 2:69-75.

HERRERA, D.; MORALES, M.; MORENO, C.; ALZATE, J.; CASTAÑEDA, C. 2019. Biorremediación de aguas residuales mediante *Eicchornia crassipes* y *Lemma minor*. Microciencia, 8:56-63.

INSTITUTO NACIONAL DE SALUD. 2020. Manual de procedimientos para la toma, conservación y envío de muestras al Laboratorio Nacional de Referencia. Dispone desde Internet en: https://www.ins.gov.co/BibliotecaDigital/Manual-toma-envio-muestras-ins.pdf.

JARAMILLO-SALAZAR, M.T.; BUITRAGO-ESCOBAR, D.P.; HENAO-VASCO, S.M.; GALVIS-GARCÍA, J.H. 2016. Manejo de macrófitas acuáticas en la acumulación y transformación de cianuro producto del beneficio del oro en la mina La coqueta. Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural. de Caldas. 20(1):63-77. https://doi.org/10.17151/bccm.2016.20.1.6

JULIÁN-SOTO, F. 2010. La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias. Ingeniería, investigación y tecnología. 11(2):167-177.

KUMAR, R.; SAHA, S.; DHAKA, S.; KURADE, M.B.; KANG, C.U.; BAEK, S.H.; BYONG-HUN, J. 2016. Remediation of cyanide-contaminated environments through microbes and plants: a review of current knowledge and future perspectives. Geosystem Engineering. 1:13.

MALACATUS, P.; CHAMORRO, E.; ORELLANA, G. 2017. Análisis de eficiencia de remoción de contaminantes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en extracción de aceite de palma. FIGEMPA: Investigación y Desarrollo. 2(7):61-68.

MARTELO, J.; LARA, J. 2012. Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. Ingeniería y Ciencia. 8(15):221-243.

NAVA-ALONSO, F.; ELORZA-RODRÍGUEZ, E.; URIBE-SALAS, A.; PÉREZ-GARIBAY, R. 2007. Análisis químico de cianuro en el proceso de cianuración: revisión de los principales métodos. Revista de Metalurgia. 43(1):20-28.

NOVOA, M.A.; MIRANDA, D.; MELGAREJO, L.M. 2018. Efecto de las deficiencias y excesos de fósforo, potasio y boro en la fisiología y el crecimiento de plantas de aguacate (*Persea americana*, cv. Hass). Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. 12(2):293-307. https://doi.org/10.17584/rcch.2018vl2i2.8092

PÉREZ, J.C.; HIGUERA, O.F. 2008. Comportamiento electroquímico del cianuro. Ingeniería & Desarrollo. 24:63-76.

RAMÍREZ, A.V. 2010. Toxicidad del cianuro. Investigación bibliográfica de sus efectos en animales y en el hombre. Anales de La Facultad de Medicina. 71(1):54-61.

SAHA, P.; MONDAL, A.; SARKAR, S. 2018. Phytoremediation of cyanide containing steel industrial wastewater by *Eichhornia crassipes*. International Journal of Phytoremediation. 20(12):1205-1214. https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1375898

SRIVASTAVA, A.; DUVVURU, R. 2010. Phytoremediation of Cyanide. En: Ashraf, M; Ozturk, M; Ahmad, M.S.A (Ed.), Plant Adaptation and Phytoremediation. Springer. p.399-426. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9370-7_18

WACHIRAWONGSAKORN, P.; JAMNONGKAN, T.; TALIB, M. 2015. Removal of cyanide-contaminated water by vetiver grasses. Modern Applied Science. 9(13):252-262. http://dx.doi.org/10.5539/mas.v9n13p252

Novum Ambiens
Febrero-Julio 2024-Volumen 2 No. 1:e2383
ISSN Digital: 2981-3069 (En línea)

Artículo de Reflexión

http://doi.org/10.31910/novamb.v2.n1.2024.2383

Incidencia del crecimiento urbano de la localidad de Suba en el Humedal Juan Amarillo

Impact of urban growth in the town of Suba on the Juan Amarillo Wetland

Valentina Corredor[1]; Henny Santiago[1]*

[1]Universidad de Ciencias Ambientales y Aplicadas U.D.C.A. Bogotá, Colombia, angicorredor@udca.edu.co; hsantiago@udca.edu.co
*autor de correspondencia. e-mail: hsantiago@udca.edu.co

Cómo citar: Corredor, V.; Santiago, H. 2024. Incidencia del crecimiento urbano de la localidad de Suba en el Humedal Juan Amarillo. Novum Ambiens. 2(1):e2383. http://doi.org/10.31910/novamb.v2.n1.2024.2383

Artículo de acceso abierto publicado por Novum Ambiens, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: 13 de marzo de 2023 **Aceptado:** 30 de julio de 2024 **Editado por:** Oscar Luis Pyszczek

RESUMEN

La fragmentación de los humedales de Bogotá se intensificó durante el siglo XX con el crecimiento urbano y el cambio en la tenencia de la tierra. El proceso de conurbación de Suba, en 1954, generó un rápido crecimiento de la ciudad hacia zonas de humedales, como La Conejera, Córdoba y Juan Amarillo, ocasionando transformaciones socio ecológicas. Este artículo de reflexión es resultado del trabajo de grado para optar al título de Profesional en Ciencias Ambientales y se analizan las prácticas asociadas al proceso de urbanización que se desarrolló en el territorio del humedal Juan Amarillo, desde 1960. Este estudio se abordó desde la historia ambiental, usando fuentes primarias, basadas en huellas documentales (documentos oficiales, prensa y normatividad), huellas orales (entrevistas a comunidad) y visuales (imágenes aéreas de geoportales) y fuentes secundarias, basadas en documentos, informes e investigaciones sobre la zona de estudio. Los resultados permiten analizar las principales transformaciones socio ecológicas que se han presentado en los últimos 60 años, a partir de las prácticas asociadas al proceso de urbanización en este territorio. Se puede concluir sobre la situación actual del humedal y posibles caminos para aportar a su sostenibilidad.

Palabras claves: Desarrollo urbano; Humedal Juan Amarillo; Sostenibilidad; Urbanización.

ABSTRACT

The fragmentation of Bogotá's wetlands intensified during the twentieth century with urban growth and change in land tenure. The process of conurbation of Suba in 1954 generated a rapid growth of the city towards wetland areas such as La Conejera, Córdoba and Juan Amarillo, causing socio-ecological transformations. This reflection article is the result of the degree work to qualify for the title of Professional in Environmental Sciences, and analyzes the practices associated with the urbanization process that took place in the territory of the Juan Amarillo wetland since 1960. This study was approached from environmental history, using primary sources based on documentary footprints (official documents, press, and regulations), oral footprints (community interviews), and visual (aerial images of geo-portals), and secondary sources based on documents, reports and research on the study area. The results allow us to analyze the main socio-ecological transformations that have occurred in the last 60 years from the practices associated with the urbanization process in this territory. It can be concluded about the current situation of the wetland and possible ways to contribute to its sustainability.

Keywords: Juan Amarillo Wetland; Sustainability; Urban development; Urbanization.

INTRODUCCIÓN

Desde mediados del siglo XX, Bogotá comienza a recibir masivamente población rural de todo el país, que se desplaza por diferentes motivos, de orden político, social y económico. Entre estos, se resalta la importancia que estaba tomando el sector terciario de la economía colombiana (actividades de comercio, servicio y transporte), puesto que los habitantes rurales se desplazaban a las grandes ciudades en busca de servicios o atraídos por el señuelo de prestarlos (Romero Novoa, 2010). Adicionalmente, la violencia bipartidista que se acentuó en las zonas rurales ocasionó el desplazamiento masivo de miles de colombianos, aceleró el proceso del desarrollo urbano y el crecimiento de la población en la capital del país (Pareja, 1994).

En este proceso, el municipio de Suba mantuvo, durante la primera mitad del siglo XX, un estilo de vida rural, con haciendas dedicadas

al cultivo de cereales, frutas y verduras, pocas viviendas y vías de comunicación, pero con el crecimiento de la ciudad, comienza a ser parte de la periferia de esta (González Rojas, 2013). En 1954, se anexa como parte del Distrito Especial de Bogotá que, sumado a las migraciones de la población que se presentaban en la época, comienza a transformarse hacia un espacio más urbano, aumenta su población hasta convertirse en la localidad con mayor número de habitantes; en la actualidad, más de 1.2 millones de personas (González Rojas, 2013; Mosquera Ramírez, 2019). A partir de esa fecha, 1954, las haciendas que constituían Suba se vendieron a empresas constructoras, generando un crecimiento urbano acelerado y no planificado (González Rojas, 2013), lo que da paso a una transformación socio ecológica, en este territorio.

Los humedales de Suba se vieron afectados por las consecuencias que trajo el incremento de la población, mayor contaminación atmosférica por el flujo de vehículos y la construcción, mayor generación de residuos sólidos, contaminación hídrica y reducción de las zonas ambientales. Esta situación descrita, la enfrentó el humedal Juan Amarillo que, desde 1955, comienza a perder su espejo de agua, como producto del desarrollo urbano, que se genera a su alrededor (Sánchez Espíndola, 2020).

Se entiende el desarrollo urbano, como el proceso que origina la concentración de la población y genera actividades diversas en las ciudades, trayendo cambios demográficos, económicos, culturales y políticos (Bottino Bernardi, 2009). Este proceso configura un nuevo esquema social, político y económico en el país, generando procesos de redensificación en las ciudades, a partir de procesos de autoconstrucción y construcción planificada (Castiblanco-Prieto *et al.* 2019), que terminan ocasionando grandes transformaciones socio ecológicas en el territorio, afectando la sostenibilidad de lugares, como los humedales.

El proceso de urbanización se dio mediante dos procesos: un proceso formal o legal, en donde se genera una idea ordenada de ciudad desde una adecuada planificación (Torres Tovar, 2007; Rincón Castellanos & Hernández-García, 2022) y un proceso informal o no planificado, también denominado, por algunos autores, como ilegal (González Angarita *et al.* 2022). Éste último se generó por medio de dos patrones: la urbanización pirata, en donde las personas realizan transacciones de compraventa con urbanizadores ilegales y por invasión de tierras, cuando se generan ocupaciones de territorios ajenos, ya sean públicos o privados (Torres Tovar, 2007).

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó con un enfoque de historia ambiental, que permite comprender las relaciones establecidas, a través del tiempo, entre los seres humanos y sus entornos cercanos (Gallini *et al.* 2015). Se usaron fuentes primarias basadas en huellas documentales, como prensa local (periódicos El Tiempo y El Espectador) y la normatividad relacionada con el manejo de los humedales y el desarrollo urbano.

Huellas orales, como entrevistas semiestructuradas, realizadas a actores sociales de la comunidad, que tuvieran más de 40 años de vivir en la zona y académicos expertos en el tema y una encuesta a la comunidad vecina del humedal. El registro de las entrevistas se llevó a cabo mediante la grabación de audio con autorización del entrevistado y una posterior transcripción, que posibilit**ó** acceder, con mayor detalle, a los testimonios de los actores de la comunidad. La información se organizó, codificó y analizó, empleando el software Atlas Ti. Con la encuesta se indagó sobre las nociones, las prácticas, los valores y las experiencias propias de los encuestados respecto al humedal Juan Amarillo.

Los datos obtenidos se analizaron por medio del software estadístico SPSS (López Roldan & Fachelli, 2015). Las huellas visuales fueron recolectadas por medio de imágenes aéreas halladas en Google Earth Pro y en la página web de Cartografías de Bogotá de la Universidad Nacional de Colombia y las fuentes secundarias, se basaron en documentos, informes e investigaciones sobre la zona de estudio.

Para determinar la población muestra se identificaron los barrios aledaños al humedal Juan Amarillo. Se seleccionó la UPZ Tibabuyes, teniendo en cuenta que ha sido uno de los sectores más afectados por la urbanización y las condiciones ambientales del humedal. Se empleó el geoportal del DANE (2018), tomando como referencia a Colsubsidio de Tibabuyes y delimitando un área de 2,44 km a la redonda. Con los datos arrojados, se calculó las necesidades muestrales por muestreo estratificado para poblaciones finitas, a partir de la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N^* Z_\alpha^2 P^* q}{d^{2*}(N-1) + Z_\alpha^2 * p * q} = 373$$

N = Total de la población de estudio
Zα= Confianza
p = Proporción esperada
q = 1 – p
d = Precisión

El Censo Nacional de Población y Vivienda de 2018 arroj**ó** que, a 244 metros a la redonda del Colsubsidio de Tibabuyes, se encontraba una población de 12,407 "[…] conservando un error del 5 %, una confianza del 95 % y una probabilidad a favor del 50 % […]" (León Rodríguez, 2018, p. 90) por lo cual, se obtuvo una muestra por conveniencia mínima de 373 personas a encuestar, de manera aleatoria.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para principios del siglo XX, Suba era un municipio con gran parte de su territorio en la ruralidad; no obstante, en 1954, se anexa a la capital del país por medio de la Ordenanza 7 del 15 de diciembre del mismo año y, en 1977, se crea la alcaldía menor, junto con las de Bosa, Engativá, Fontibón, Suba, Usaquén y Usme (SDP, 2009), como respuesta al rápido crecimiento de la cuidad y como mecanismo para descongestionarla (Ardila & Alipio, 2019).

Así, se cede terreno en las áreas rurales para dar paso a la expansión urbana y a la configuración del Distrito Especial de Bogotá (Camargo Orozco, 2016), ocasionando un acelerado movimiento urbanístico en la zona, colindante con espacios naturales, como lagos, quebradas y humedales, "Muchas de las fincas ubicadas alrededor de Suba fueron vendidas a empresas constructoras (algunas de las cuales eran "piratas"), lo que generó un crecimiento urbano acelerado y desordenado (no planificado, en muchas ocasiones)" (González Rojas, 2013, p. 61).

Durante la primera mitad del siglo XX, las actividades principales en los terrenos aledaños al humedal eran la agricultura y la ganadería, consideradas propias de la sabana de Bogotá, que se llevaban a cabo en "[…] grandes haciendas y fincas como La hacienda Santa Inés, Tibabuyes, San Ignacio, Arrayanes, La Conejera y demás […]" (Camargo Orozco, 2016, p. 13).

La población desarrollaba sus actividades de ocio en un ambiente rural, de esta manera, realizaban "[…] juegos en los parques y estaques en las veredas del municipio, jugar y correr en los potreros y veredas, recorridos en bicicleta alrededor del humedal, eventos en la plaza de mercado o en el parque central, reuniones de toda la población en fiestas patronales, matrimonios, bautizos o eventos familiares […] […] los juegos como nadar en los cultivos de flores que quedaban por el barrio La Gaitana, en donde se construían pozos de agua para que los niños pasaran sus fines de semana, son algunos de los recuerdos sobre actividades de ocio" (González Rojas, 2013, p. 73), lo que generaba según el autor, una socialización rural comunitaria.

Lo anterior es corroborado por uno de los actores sociales del sector que fue entrevistado "[…] cuando éramos chicos […] nosotros íbamos a los humedales a coger renacuajos, a mirar los pájaros, a pasear por ellos, no era tan inseguro, por supuesto, eso cambio; prácticamente, eran lugares de expedición para los jóvenes y niños de la época, inclusive, las familias también usaban estos humedales para ir allá a hacer su sancocho de gallina o para hacer el picnic familiar, el paseo de olla que llamamos y eran sitios de esparcimiento, sitios digamos de… que utilizaba la comunidad para divertirse, porque no había tantos parques, tantos centros comerciales, no habían tantos barrios, entonces era muy agreste" (Comunicación personal, actor 1, septiembre de 2021).

En el proceso de loteo de la tierra en Suba, se dieron de forma paralela los procesos de urbanización formal e informal. La urbanización formal o planificada se empieza a vislumbrar con mayor fuerza desde la segunda mitad del siglo XX, pues en la capital se evidenciaba un déficit en términos de vivienda para la clase media, aunado a la necesidad de más infraestructura y servicios públicos; dicha situación fue aumentando con el crecimiento de la población y la presión que ejercían, para lograr estabilidad social. Esto obligó a pensar en un prospecto para abordar una posible solución a estas necesidades; de esta manera, luego de haber superado trastornos económicos en años anteriores y presentar un crecimiento económico más armónico, la actividad de la construcción se volvió a intensificar, con ayuda de empresarios privados y el Estado.

Surgieron distintos proyectos de viviendas generados desde la administración distrital, que tenían como propósito construir viviendas multifamiliares en bloques de apartamentos, que permitieran obtener vivienda a más de 5.000 familias. Otras instituciones, como el Instituto de Crédito Territorial, ofrecieron terminar 15.700 viviendas, debido a que existía la necesidad de llevar a cabo acciones a favor de la vivienda popular (Redacción El Tiempo, 1960a; b).

El gobierno Nacional comenzó a analizar la situación con mayor detalle, pues el ritmo de crecimiento de la población era demasiado acelerado, generando una fuerte presión por el déficit de vivienda, situación que a diario se agravaba; por ello, se buscaba el aumento de los recursos de las entidades encargadas de llevar a cabo esta serie de proyectos y así, reducir los costos de las viviendas, adecuándolas a las posibilidades de las familias (Redacción El Tiempo, 1960c). Este fue el caso de los barrios Tibabuyes, La Gaitana, El Rincón y Corpas (González Rojas, 2013).

El loteo permitió generar un proceso de consolidación urbanística en la periferia de la cuidad (Camargo Orozco, 2016), en especial, en los barrios de Nueva Tibabuyes, Aures II, Lagos de Suba, Corinto y otros, que iniciaron como asentamientos humanos informalmente. A finales de los años sesenta, aún se observan otras actividades de construcción de infraestructura, que buscaban mejorar las condiciones de vida de los habitantes de estos barrios, "Para finales del año 1969, se termina la construcción de un jarrillón para evitar el desborde del río en el costado noroccidental […]" (Camargo Orozco, 2016, p. 14), ocasionando la interrupción de su curso original, desecando y reduciendo el volumen de agua del humedal (Sánchez Espíndola, 2020).

En la década de 1970, entra en rigor la Unidad de Poder Adquisitivo Constante -UPAC-, que toca temas relacionados con subsidios de vivienda, otorgados por entes gubernamentales; la nueva Ley de Reforma Urbana, en la cual, se reglamenta las Viviendas de Interés Social -VIS- y las licencias de construcción permitieron activar y aumentar los procesos de urbanización de la ciudad, especialmente, de la localidad de Suba. De esta manera, se llevan a cabo desarrollos formales para obreros y empleados del Estado, que fueron agenciados por el Instituto de Crédito Territorial, la Caja de Vivienda Popular y las Cajas de Compensación Familiar.

Como producto de las construcciones y las transformaciones que se estaban llevando a cabo en la localidad, las prácticas cotidianas se comienzan a modificar y se empiezan a ver afectadas por los cambios en los espacios, los lugares en los que habitaba y socializaba la población, así como, las calles, carreteras, entre otros; ejemplo de ello fue la construcción de sectores para centros comerciales, la masificación de la vivienda en conjuntos cerrados y la adecuación de espacios para nuevos vecindarios, generando que la comunidad cambiara sus prácticas y se adaptara al nuevo estilo de vida, que traía la cuidad consigo (González Rojas, 2013).

Este estilo de vida que se estaba implantando en la cotidianidad de sus habitantes modificó las prácticas que realizaban; así, se pasó

de jugar en los estanques de las veredas, realizar eventos en la plaza de mercado, tener una interacción cercana con los vecinos y hacer paseos en el humedal, por prácticas más citadinas, como ir al centro comercial, frecuentar lugares de ocio, como las discotecas y zonas de tejo, fomentar relaciones de individualismo y planificar sus actividades en otras partes de la cuidad (González Rojas, 2013). Del mismo modo, los lugares recurrentes por la población, como la iglesia, la plaza de mercado o el parque, originan un cambio en función de la socialización de los habitantes de Suba; a cambio, se comienzan a crear espacios para instituciones, como la Alcaldía, la Policía o la Casa de la Participación, que se ubican alrededor de la plaza central y se instituyen como referentes para los nuevos habitantes (González Rojas, 2013) (Figura 1 y 2).

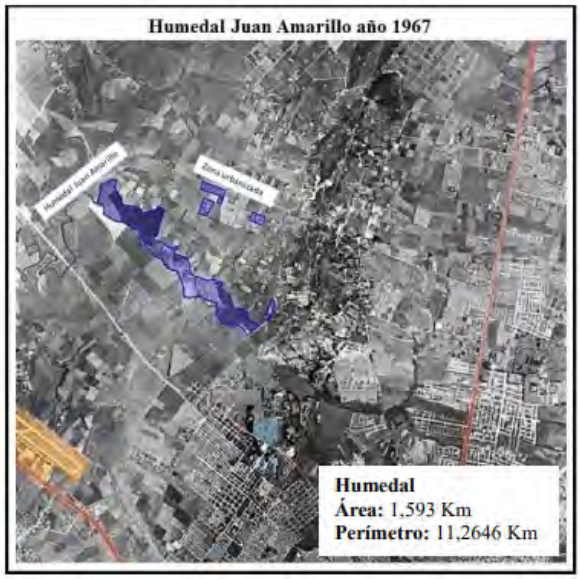

Figura. 1. Área del humedal Juan Amarillo, 1967

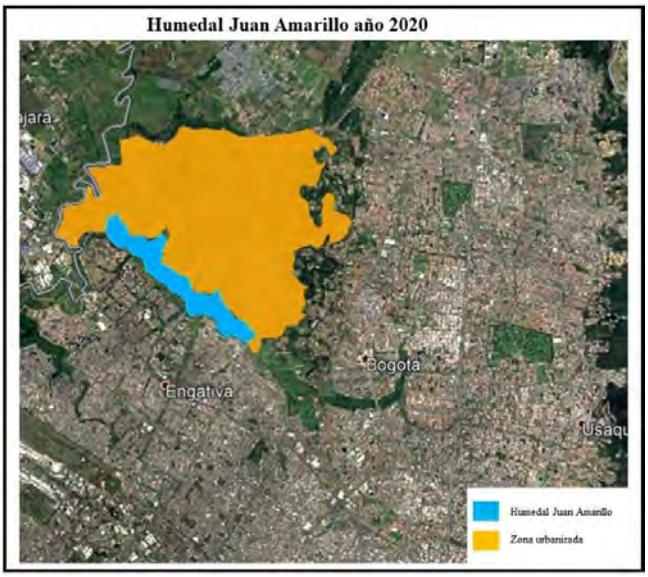

Figura. 2. Área del humedal Juan Amarillo, 2020

La población de Suba proyecta sus actividades en distintas partes de la cuidad, debido a su crecimiento; de este modo, organizan sus trabajos y estudios en otras partes de la cuidad, puesto que las actividades que anteriormente se realizaban en escuelas, veredas, chircales o la plaza fueron cambiando por la urbanización y la construcción de nuevas y mejores vías de comunicación, entre Suba y el resto de la ciudad, lo que la convirtió en la localidad con más viviendas, debido a que las personas podían vivir a un buen costo y tener fácil acceso a sus trabajos o estudios (González Rojas, 2013).

Continúan los cambios, a nivel urbanístico, en la localidad; para la década de los ochenta, se consolida un programa de vivienda de autoconstrucción, que pretende dar soluciones a 500 familias de escasos recursos económicos (Figura 3).

Otro actor entrevistado, afirma que, "[…] en 1981, se inició un proyecto de vivienda de interés comunitario social, en conjunto con la Asociación para la Vivienda Popular Simón Bolívar, que tenía como fin ocupar el territorio y emplearlo, a propósito de la

construcción de viviendas para la clase media y de menores ingresos, dando lugar a la Urbanización Nueva Tibabuyes" (Comunicación personal, actor 2, septiembre de 2021).

Cabe resaltar que, comenzando la década de los noventa y a pesar de la urbanización creciente, se conservaban prácticas relacionadas con el cuidado del ambiente; sin embargo, no eran muy recurrentes. Las brigadas contra los residuos se empezaron a llevar a cabo en abril de 1991 y fueron organizadas por las Juntas de Acción Comunal de algunos barrios de la localidad (Figura 4); sin embargo, la iniciativa nació en la empresa de recolección de basura Ciudad Limpia, la cual, para la época, trabajaba con la comunidad los sábados y se coordinaba la barrida; estas acciones generaron conciencia ambiental en adultos y niños de la zona, pues su objetivo era enseñar a las comunidades a mantener limpias las calles y las zonas de recreación (Muñoz, 1991).

La construcción de infraestructura durante la administración de la Alcaldía de Enrique Peñalosa Londoño (1998 - 2000), como la piscina artificial en el tercio alto del humedal, en donde las actividades de cementación y el cercado del humedal, para dar paso a la construcción de ciclo rutas y grandes avenidas, fue reduciendo el área del humedal Juan Amarillo (Sánchez Espíndola, 2020).

Avanza programa de vivienda en Suba

El más ambicioso plan de vivienda por autoconstrucción, que cada día está cobrando más importancia en el mundo moderno, se inició en Suba y en su primera etapa dará solución a unas 500 familias de escasos recursos económicos.

El ingeniero César Augusto Rey Mantilla, director del programa Solar I, insistió en que este novedoso sistema de autoconstrucción se adelantará sin ánimo de lucro y con participación administrativa, financiera y trabajo comunitario.

"La actividad de autoconstrucción comprende la recepción de dineros de los afiliados para el desarrollo del plan, la adquisición del terreno donde se desarrollará el programa y los trámites de aprobación del mismo ante las autoridades respectivas", explicó.

En la primera etapa el programa se propone dotar el terreno donde se construirá el plan de las respectivas obras de urbanismo y servicios públicos con un total de 500 soluciones de vivienda.

En la segunda parte se construirán 550 soluciones familiares que constarán, preferencialmente, de dos alcobas, cocina, lavadero, jardín y patio interior.

El programa cumple con todas las especificaciones y normas expedidas por el gobierno para las soluciones populares y, sin lugar a dudas, será la solución a las necesidades de vivienda de muchos colombianos residentes en Bogotá, comentó el ingeniero Rey Mantilla.

Esta urbanización estará ubicada en terrenos del sector Las Flores y cuenta con rutas de transporte urbano, hospital regional, colegios, escuelas y centros deportivos.

César Augusto Rey Mantilla

La captación de los dineros para la autoconstrucción fue autorizada por la Superintendencia Bancaria y las obras cuentan con el visto bueno del Departamento Administrativo de Planeación Distrital.

Figura. 3. Planes de intervención de viviendas en la Localidad de Suba. Bogotá. Fuente: Redacción El Tiempo (1983).

Ciudad Limpia y el aseo en comunidad

Brigadas contra toda la mugre

Los sábados se convirtieron en los días preferidos para barrer las calles y los parques de los barrios. La empresa que recolecta la basura organiza a los habitantes y entre todos embellecen el sector.

POR AURELIO MUÑOZ M.
■ Redactor de EL TIEMPO

El viento sopla en la calle. Recorre cada rincón del barrio y lo hace en compañía de papeles y desechos que se acumulan, después de cada oscura 'tempestad', en los andenes y zonas verdes de toda una comunidad.

Sucede a diario y más ahora que llega agosto. Todo porque pocas personas hacen aseo fuera de sus residencias: en la calle sacuden las alfombras y botan las basuras (tierra y papelitos) que no caben en las canecas.

Pero, desde hace tres meses, en el norte de Santa Fe de Bogotá, la mala imagen de las vías empezó a cambiar. Las juntas de acción comunal organizaron a los habitantes de los barrios, quienes están participando en 'brigadas de limpieza'.

Es un programa que nació en Ciudad Limpia, la empresa de recolección de basura del norte de la ciudad. Trabajan los sábados con las comunidades, y las alcaldías menores ayudan a coordinar la 'barrida'.

Diez zonas han participado. Pero, lo más importante, se ha generado conciencia en adultos y niños, que participan en el aseo de las calles. Hoy, son barrios que tienen una nueva cara...

Los últimos que salieron a barrer, con el apoyo de la Alcaldía Menor de Suba, fueron los habitantes de La Alboreda y Julio Flórez. En seis horas, arreglaron los alrededores de sus propiedades.

"El objetivo de las brigadas es enseñar a las comunidades a mantener limpias las calles, carreras y zonas de recreación. Hasta el momento, los resultados han sido positivos", dijo Helena Venegas, jefe de publicidad de Ciudad Limpia.

CENTRO DE ORIENTACION MUSICAL
CRISTANCHO
SEMESTRE DE INICIACION MUSICAL
• Pre-Infantil
• Infantil
• Juvenil
• Adultos
DIRECTOR: MAURICIO CRISTANCHO

LOS PARQUES de los barrios, entran en el plan de las Brigadas de Limpieza de Ciudad Limpia. Hojas secas y papeles que dan una imagen de descuido en el sector, se recogen con la colaboración de la comunidad para mejorar la cara del norte de Santa Fe de Bogotá.

Fernando Llano / EL TIEMPO

A petición...

Antes que una brigada de limpieza llegue a una comunidad, los habitantes deben solicitarla a Ciudad Limpia. También las alcaldías menores reciben la solicitud de los líderes de barrio.

Después, la gente y las autoridades de la zona a la que pertenece el sector, se reúnen con los inspectores de limpieza de Ciudad Limpia y analizan los puntos críticos del lugar.

"Por lo general –dijo Helena Venegas–, existen sitios donde las personas se acostumbran a botar basura. Son espacios públicos que debemos recuperar y enseñar a la gente a respetar el horario de recolección de desechos que programó la empresa".

Una vez se llega a un acuerdo con la comunidad, en un corto proceso que dura menos de un día, se hace una visita ocular en la noche. Allí se escogen las calles donde pueden entrar las máquinas que lavan el pavimento.

Porque la idea no solo es barrer el barrio. Ciudad Limpia distribuye una cuadrilla de hombres y máquinas que recogen las basuras y lavan las calles con equipos Elgin Croswin de

EL TIEMPO
PLANTA BARRIO CALI

A COLABORAR

► **LOS TURNOS** de recolección que tiene Ciudad Limpia no son respetados plenamente por la comunidad. Son varias las ocasiones en que la gente no saca los desechos a tiempo.

► **EL COMERCIO** es uno de los olvidadizos. Los negocios que cierran tarde prefieren sacar la basura en la mañana, a pesar de que existen horarios que se extienden hasta las dos de la madrugada.

► **LOS CASOS** que se presentan provienen de los restaurantes de comidas rápidas que no cumplen con la tarea de evacuar las sobras de alimentos que se descomponen en pocas horas.

Figura 4. Intervenciones en la Localidad de Suba. Bogotá. Fuente: Muñoz (1991).

Entrando el siglo XXI, se comienza a trabajar en el plan de desarrollo de Suba, que propone cuidar y proteger los humedales, ya que hacen parte de la Estructura Ecológica Principal de Bogotá e implementar acciones para permitir la conectividad ecológica, entre los cerros, los humedales y el río Bogotá; no obstante, se evidenció falta de cumplimiento respecto a las acciones propuestas en el Plan de Desarrollo de Suba, para esta época, pues se identificó que la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) realizaba obras que consistían en el realce y construcción de jarillones al costado noroccidental del humedal Juan Amarillo, así como el levantamiento de un cerramiento metálico permanente; de igual manera, se tenían previstas otras obras de infraestructura, que no estaban de acuerdo con las normatividad ambiental del distrito (Redacción El Tiempo, 2009).

El ritmo acelerado de la urbanización en Suba dejó, a su paso, gran construcción de vías, edificios, fábricas, ciclovías y mejoramiento de la malla de acueducto y alcantarillado; sin embargo, algunos de estos procesos han afectado el funcionamiento el sistema socio ecológico del humedal.

En 2019, la Personería de Bogotá alertó sobre las obras que se adelantaban, como tala de árboles, vertimientos de aguas negras y falta de control, producto de las obras realizadas por la Empresas de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) y el Instituto de Recreación y Deporte (IDRD); sin embargo, no se contempló la recuperación del humedal para dar cumplimiento al Plan de Manejo Ambiental; asimismo, las obras no cumplían con el Plan de la Política Distrital de Humedales (Redacción Bogotá, 2019b). La comunidad expresó su descontento mediante manifestaciones pacíficas en contra de la construcción de los senderos de bicicletas, obras de infraestructura y la tala de árboles evidenciada, acciones que nunca fueron comunicadas a los habitantes de la zona (Redacción Bogotá, 2019a). En 2020, la Secretaría Distrital de Ambiente suspendió las obras que adelantaba la EAAB, pues se percató que algunas no contaban con autorizaciones ambientales, en donde, algunos puntos que se identificaron, no se encontraban dentro de los permisos otorgados (Puentes Pulido, 2020).

En cuanto a la urbanización informal, las construcciones piratas se llevaron a cabo en la localidad, mediante la venta de fincas a empresas que generaron procesos de loteo, contribuyendo al crecimiento no planificado en la localidad.

El crecimiento demográfico producido durante el siglo XX generó una sectorización del centro urbano y su expansión, dando paso a la "formación de barrios sin mayor planeación y en su mayoría irregulares por procesos de invasión, los cuales no poseían servicios públicos y se hallaban ubicados en zonas de inundación como ríos y humedales, dando paso a una crisis de higiene, en donde, la población exigía a la administración la solución de la problemática de salubridad pública hacia la segunda década del siglo XX" (Sánchez Espíndola, 2020, p. 38). Es el caso registrado por el Departamento Administrativo de Medio Ambiente, DAMA, hoy, Secretaría Distrital de Ambiente, SDA, que reporta, para 1991 "una epidemia de infecciones en la piel en los niños del barrio La Gaitana, ocasionada por la creciente contaminación de las aguas de ese recurso. Lo más grave es que el mismo estudio afirma que no existen monitoreos sobre la laguna que está afectada por las aguas negras de por lo menos 15 barrios vecinos" (Redacción El Tiempo, 1994a).

Durante la década de los ochenta y noventa se edifican viviendas en los terrenos aledaños al humedal Juan Amarillo y se da la estructuración de algunos asentamientos que, a su paso, traen consigo malas prácticas, con relación al ambiente, produciendo "un aumento en los depósitos de basura y escombros, proliferación de roedores y la perdida de la prestación de los bienes y servicios ambientales del humedal" (Camargo Orozco, 2016, p. 14). Para finales del siglo XX, un gran porcentaje del entorno del humedal ya se encontraba urbanizado, debido a la construcción de barrios formales e informales, en la ronda del humedal (Sánchez Espíndola, 2020).

La ilegalidad de las construcciones y la falta de planificación dio paso a varias afectaciones para los habitantes de la zona "nunca se preocuparon por un desarrollo bien planificado; por ejemplo, el Rincón fue una parte de invasión, entonces, nunca se pudo desarrollar como es debido, porque la localidad en este sector y muchas partes, en la ronda del río Bogotá, también se ha desarrollado muy mal todo lo urbano, porque las vías, todo no se han hecho con la debida planificación para que las comunidades vivan dignamente, porque ahí está la zona de debajo de Santa Cecilia, Bilbao, todo eso en una época sufrieron mucho por las inundaciones, por que como ellos estaban abajo del nivel del río, siempre se les inundaban; en época de invierno se les inundaban las casas y todo, nunca hubo una planificación ni el gobierno se preocupó de esto, cuando vieron demanda de mucha gente, mucha urbanización pirata y todo esto, ya se preocuparon un poquito por tratar de mejorar esta parte de la ronda del río Bogotá" (Comunicación personal, actor 3, septiembre de 2021).

Un informe de la Asociación de Viviendas, A.V.P reveló que "un buen porcentaje de la laguna de Tibabuyes fue cubierta por urbanizadores ilegales. Actualmente, sobre el relleno de la laguna, se encuentran los barrios Atenas, Luis Carlos Galán, el Rincón Boyacá, Cañiza I y II, Lisboa y Prados de Santa Barbara" (Redacción El Tiempo, 1994b). Lo anterior generó una reducción del espejo de agua al construir sobre la ronda del humedal e, incluso, el mismo cuerpo de agua, ocasionando que "se modificara funcionamiento normal del sistema hídrico de la zona, provocando inundaciones y encharcamientos" (Vargas Rubio, 2017, p. 89).

Según el actor 3 entrevistado, para 2021, aún se encuentran conexiones erradas en los barrios aledaños al humedal "todavía hay conexiones erradas aquí, el año pasado trabajaron bastante fuerte en esto, aquí en el sector de Gloria Lara, el Rincón, todo esto corrigieron muchas conexiones; creo que en la parte de abajo, también hicieron en varios sitos estos arreglos, pero creo que no fueron suficientes porque todavía existe eso" (Comunicación personal, actor 3, septiembre de 2021).

El tema ambiental no fue tan relevante durante las últimas décadas del siglo XX; como resultado, el humedal fue convertido en el basurero de los vecinos de la zona, en donde arrojaban todo tipo de residuos de las construcciones, podas de pasto y desechos domésticos. Ello, ocasionó que las especies más sensibles, como la tingua bogotana (*Rallus semiplumbeus*), el cucarachero de pantano (*Cistothorus apolinari*) y la tingua moteada (*Gallinula melanops bogotensis*), se vieran seriamente afectadas, al punto que, unos 30 años después, las dos primeras se encontraron casi desaparecidas y amenazadas. El curí (*Cavia porcellus*) y la comadreja (*Mustela nivalis*) sufren las consecuencias de la desviación del río Juan Amarillo, pues afectó el número de población y la distribución de estas especies (Conservación, I. & EAAB, 2010).

De acuerdo con la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA, 2021), se han perdido, aproximadamente, 47.000 hectáreas de humedales en Bogotá, durante los últimos años, por efectos de la urbanización, no solamente de viviendas sino de infraestructura, como parques, ciclo rutas, avenidas, entre otras.

CONCLUSIONES

Con la inclusión de Suba, como parte del Distrito Especial, en 1954, la migración interna, el aumento de la población, la falta de espacio urbanizable en la capital y la idea de desarrollar la zona noroccidental de la capital, se empieza la incursión en franjas rurales y la invasión de zonas de ronda de los humedales, espacios atractivos para constructoras y vendedores ilegales, por ser un espacio fácil de rellenar para la construcción, en donde se establece población de bajos recursos económicos.

Se puede afirmar que, de acuerdo con las prácticas asociadas al proceso de urbanización que se desarrollaron en el territorio del humedal Juan Amarillo, desde 1960, se generaron nuevas prácticas y modos de vida, que ocasionaron transformaciones socio ecológicas en el humedal. Dichas prácticas desarrolladas originaron que, hoy en día, se encuentre con graves afectaciones a la flora y la fauna, adicionalmente, con un fraccionamiento y presión sobre el ecosistema, debido al proceso de urbanización.

En la actualidad y a partir del trabajo realizado con la comunidad, se pudo evidenciar que algunos habitantes reconocen cómo el desarrollo urbano de la localidad ha afectado al humedal Juan Amarillo; así, afirman que este desarrollo ha generado efectos negativos, al disminuir su extensión y aumentar la inseguridad.

Lo expuesto, deja en evidencia la necesidad de consolidar programas de educación ambiental que generen un impacto real, para que el proceso de conservación y cuidado del humedal, se pueda desarrollar mediante la participación de la comunidad; asimismo, lograr dar a conocer y entender las relaciones que se presentan en su entorno y suscitar nuevas valoraciones hacia el humedal, así como un sentido de pertenencia y de respeto por este, en donde, los sujetos adquieran la capacidad de evaluar las problemáticas ambientales, abordarlas y plantear soluciones.

Otra de las alternativas es llevar a cabo el proceso de patrimonialización natural y cultural, en donde, se le asigne a la naturaleza la figura de patrimonio, logrando cambiar la valoración actual del humedal y contribuyendo a generar nuevas responsabilidades, valores y políticas. Para ello, el humedal debería ser definido como lugar-patrimonio, en el cual, los sujetos usen, apropien y valoren el lugar. Es hora de comenzar el cambio real del discurso a la práctica representada en hechos.

Agradecimientos. A los actores sociales entrevistados. Actor 1, Ángel Alberto Triana; entrevista realizada el 18 de septiembre de 2021; Actor 2, Enrique Sastoque, entrevista realizada el 22 de septiembre de 2021; Actor 3, Berne López, entrevista realizada el 17 de septiembre de 2021.

REFERENCIAS

ARDILA, A.; ALIPIO, A. 2019. Configuración de la periferia urbana de Bogotá. Caso de potosí, Ciudad Bolívar. Configuraciones internacionales y estatales vs configuraciones comunitarias y resistencias sociales. Trabajo de grado. Corporación Universitaria Minuto de Dios, Bogotá- Colombia. Disponible desde Internet en: https://hdl.handle.net/10656/9928

BOTTINO BERNARDI, R. 2009. La ciudad y la urbanización. Estudios Históricos–CDHRP. 2:1-4.

CAMARGO OROZCO, I. 2016. Análisis multitemporal Humedal Juan Amarillo (Tesis de especialización Universidad Militar Nueva Granada). Repositorio institucional Universidad Militar Nueva Granada. http://hdl.handle.net/10654/15471

CASTIBLANCO-PRIETO, J.J.; AGUILERA-MARTÍNEZ, F.A.; SARMIENTO-VALDÉS, F.A. 2019. Principios, criterios y propósitos de desarrollo sustentable para la redensificación en contextos urbanos informales. Revista de Arquitectura. 21(1):21-33. https://doi.org/10.14718/revarq.2019.21.1.1209

CONSERVACIÓN INTERNACIONAL & EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ, EAAB. 2010. Plan de manejo ambiental humedal Juan Amarillo. Disponible desde Internet en: https://oab.ambientebogota.gov.co/?post_type=dlm_download&p=15062

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, DANE. 2018. Geoportal. Geovisor del censo nacional de población y vivienda 2018 Colombia. Disponible desde Internet en: https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/sociedad/cnpv-2018/

GALLINI, S.; DE LA ROSA, S.; ABELLÓ, R. 2015. Historia ambiental: Guías para el estudio socioecológico de la alta montaña en Colombia (primera edición). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 73p. Disponible desde

Internet en: http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/9293/IAVH_Paramos-Manuales%2001-WEB.pdf?sequence=1&isAllowed=y

GONZÁLEZ ANGARITA, G.; HENRÍQUEZ, C.; PEÑA ANGULO, D.; CASTRO ÁLVAREZ, D.; FORERO BUITRAGO, G. 2022. Técnicas de análisis geomático en la pérdida de humedales urbanos de Bogotá. ¿Qué rol juegan los asentamientos ilegales? Revista de geografía Norte Grande. 81:207-233. https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022022000100207

GONZÁLEZ ROJAS, N. 2013. Arquitectura urbana y comportamiento humano: aproximación a las teorías de Henri Lefebvre y otros autores para el análisis del proceso de urbanización en Suba (Bogotá). Territorios. 29:57-75.

LEÓN RODRÍGUEZ, A. 2018. Representaciones sociales de medio ambiente y sustentabilidad en los profesores de la Universidad de La Salle. Propuesta de contenido grafico para una aplicación en dispositivos móviles. Tesis de maestría. Universidad de La Salle. 193p. Disponible desde Internet en: https://ciencia.lasalle.edu.co/maest_administracion/498

LÓPEZ ROLDAN P.; FACHELLI, S. 2015. Metodología de la investigación social cuantitativa. Universitat Autònoma de Barcelona. Bellaterra. 81p. Disponible desde Internet en: https://ddd.uab.cat/pub/caplli/2015/129380/metinvsoccuan_cap3-1a2015.pdf

MOSQUERA RAMÍREZ, J.L. 2019. La localidad de Suba concentra la mayor población, con más de 1,2 millones de personas. Observatorio de Desarrollo Económico. Secretaría de Desarrollo Económico, Bogotá. Disponible desde Internet en: https://observatorio.desarrolloeconomico.gov.co/mercado-laboral-general/la-localidad-de-suba-concentro-la-mayor-poblacion-con-mas-de-12-millones-de

MUÑOZ, A. 1991. Brigadas contra toda la mugre. Periódico El Tiempo. 20 de julio de 1991. Disponible desde Internet en: https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-123159

PAREJA, A. 1994. El proceso de urbanización. Una propuesta de interpretación. En: Mejía, H.; Londoño, C.; Granda Marín, A. Panorama socio-económico y político de Colombia a partir de 1950. Pensamiento humanista. p.75-82. Disponible desde Internet en: https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/7699?show=full

PUENTES PULIDO, A.M. 2020. Sellamiento temporal a parte de las obras en humedal Juan Amarillo. Periódico El Tiempo. 4 de septiembre de 2020. Disponible desde Internet en: https://www.eltiempo.com/bogota-sellamiento-temporal-a-parte-de-las-obras-en-humedal-juan-amarillo-536066

REDACCIÓN BOGOTÁ. 2019a. Denuncian violencia del Esmad en manifestación contra obras en humedales de Bogotá. Periódico El Espectador. 8 de abril de 2019. Disponible desde Internet en: https://www.elespectador.com/bogota/denuncian-violencia-del-esmad-en-manifestacion-contra-obras-en-humedales-de-bogota-article-849396/

REDACCIÓN BOGOTÁ. 2019b. Obras del Distrito tienen "en grave peligro" al humedal Juan Amarillo: Personería. Periódico El Espectador. 14 de mayo 2019. Disponible desde Internet en: https://www.elespectador.com/bogota/obras-del-distrito-tienen-en-grave-peligro-al-humedal-juan-amarillo-personeria-article-860549/

REDACCIÓN EL TIEMPO. 1960a. Producción de bienes y política de crédito con técnica orientada solicita "Camacol". Periódico El Tiempo. 5 de marzo de 1960. Disponible desde Internet en: https://news.google.com/newspapers?nid=N2osnxbUuuUC&dat=19600305&printsec=frontpage&hl=es

REDACCIÓN EL TIEMPO. 1960b. Se propone gran plan quinquenal de vivienda con ayuda particular. Periódico El Tiempo. 9 de marzo de 1960. Disponible desde Internet en: https://news.google.com/newspapers?nid=N2osnxbUuuUC&dat=19600309&printsec=frontpage&hl=es

REDACCIÓN EL TIEMPO. 1960c. Llorente revela programa de vivienda para este año. Periódico El Tiempo. 10 de marzo de 1960. Disponible desde Internet en: https://news.google.com/newspapers?nid=N2osnxbUuuUC&dat=19600310&printsec=frontpage&hl=es

REDACCIÓN EL TIEMPO. 1983. Avanza programa de vivienda en Suba. Periódico El Tiempo. 22 de agosto de 1983. Disponible desde Internet en: https://news.google.com/newspapers?nid=1706&dat=19830822&id=PU80AAAAIBAJ&sjid=vWcEAAAAIBAJ&pg=870,2819710

REDACCIÓN EL TIEMPO. 1994a. Ríos y lagunas, baños públicos. Periódico El Tiempo. 22 de enero de 1994. Disponible desde Internet en: https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-20525

REDACCIÓN EL TIEMPO. 1994b. El costo social de la vivienda pirata. Periódico El Tiempo. 3 de julio de 1994. Disponible desde Internet en: https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-164854

REDACCIÓN EL TIEMPO. 2009. Obra pone en jaque a parques y calles en 11 barrios de Suba. Periódico El Tiempo. 5 de noviembre de 2009. Disponible desde Internet en: https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-6525708

RINCÓN CASTELLANOS, M.; HERNÁNDEZ-GARCÍA, J. 2022. Urbanización informal en Bogotá, entre la teoría y la política urbana. urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana. 14:e20210276. https://doi.org/10.1590/2175-3369.014.e20210276

ROMERO NOVOA, A. 2010. Transformación urbana de la ciudad de Bogotá, 1990-2010: efecto espacial de la liberalización del comercio. Perspectiva geográfica. 15:85-112.

SÁNCHEZ ESPÍNDOLA, J. 2020. Análisis de la sostenibilidad socio ambiental del proyecto "Conexión Corredor Ambiental Humedal Juan Amarillo" Bogotá, Colombia. Tesis de maestría. Corporación Universitaria Minuto de Dios. 158p. Disponible desde Internet en: https://hdl.handle.net/10656/11082

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE, SDA. 2021. "Bogotá ha perdido 47 mil hectáreas de humedales en los últimos 30 años": Fundación Humedales. Disponible desde Internet en: https://oab.ambientebogota.gov.co/bogota-ha-perdido-47-mil-hectareas-de-humedales-en-los-ultimos-30-anos-fundacion-humedales-bogota/#:~:text=La%20Fundaci%C3%B3n%20Humedales%20Bogot%C3%A1%20inform%C3%B3%20sobre%20la%20preocupaci%C3%B3n,perdido%20 47.000%20hect%C3%A1reas%20de%20estos%20cuerpos%20de%20agua.

SECRETARÍA DISTRITAL DE PLANEACIÓN, SDP. 2009. Conociendo la localidad de Suba: Diagnóstico de los aspectos físicos, demográficos y socioeconómicos. 162p. Disponible desde Internet en: http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/documentos/11%20Localidad%20de%20Suba.pdf

TORRES TOVAR, C.A. 2007. Ciudad informal colombiana. Bitácora Urbano Territorial. 11(1):53–93.

VARGAS RUBIO, O. 2017. Imaginarios sociales y ambientales del periodo de 1.970 a 2.010. En el territorio del humedal Tibabuyes o Juan Amarillo Bogotá, Distrito Capital – Colombia. Tesis de magister. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 201p. Disponible desde Internet en: http://hdl.handle.net/11349/5917

UDCA
Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales

UNIVERSIDAD ACREDITADA EN ALTA CALIDAD

¡Conoce nuestra oferta Académica!

Facultades

- Ciencias
- Ciencias Administrativas y Comerciales
- Ciencias Agropecuarias
- Ciencias Ambientales y de la Sostenibilidad
- Ciencias de la Educación
- Ciencias de la Salud
- Ciencias Jurídicas

PREGRADO

POSGRADO

@somosudca

3182001447

www.udca.edu.co

Calle 222
Calle 222 # 55 - 37
PBX (60 1) 6684700
Bogotá, Colombia

Avenida Boyacá
Avenida Boyacá # 66 A - 61
PBX (60 1) 6684700 Ext. 501
Bogotá, Colombia

Alianza CTB - U.D.C.A
Carrera 21 # 53D - 35
PBX (60 1) 3483061
Bogotá, Colombia

¡ CONOCE NUESTRA NUEVA SEDE !

CARTAGENA
Barrio Pie del Cerro
Cra. 31 No. 18B-55
(60 1) 668 4700 ext 402

UDCA

Universidad de Ciencias
Aplicadas y Ambientales