



Ambiente

El arrendajo escarlata



Revista del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para la transferencia social del conocimiento



Análisis del estado de fragmentación del paisaje como herramienta de conservación de un remanente de bosque seco tropical

ubicado en la Universidad Francisco de Paula
Santander, seccional Ocaña, Norte de Santander,
Colombia



Identificación y evaluación de impactos ambientales

para la prestación del servicio ambiental de captura de carbono en suelos de páramo en el departamento de Boyacá: Caso de estudio Páramo La Cortadera



Evolución regulatoria en vertimientos industriales: ¿en qué va Colombia?

Una mirada desde lo técnico



Aprovechamiento de estiércol de bovino

en fabricación de papel como método de producción más limpia





REPÚBLICA DE COLOMBIA
Presidente de la República
Gustavo Francisco Petro Urrego

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Ministra
María Susana Muhamad González

Viceministro de Ordenamiento Ambiental del Territorio
Francisco Javier Canal Albán

Viceministra de Políticas y Normalización Ambiental
Sandra Patricia Vilardy Quiroga

Director de Ordenamiento Territorial y Coordinación del Sistema Ambiental - SINA
Gustavo Adolfo Carrión Barrero

Subdirectora de Educación y Participación
Edna Valentina Camacho Montealegre

Coordinadora, Grupo Divulgación de Conocimiento y Cultura Ambiental
Ingrid Téllez Zamudio

La revista El Arrendajo Escarlata es gestionada por el Grupo Divulgación de Conocimiento y Cultura Ambiental

Comité Editorial 12ª edición
Ingrid Téllez Zamudio
Consuelo Gauta Gómez
Catalina Ramírez Machado
Yiseth Paola Circa Yarce

Dirección Editorial
Ingrid Téllez Zamudio

Corrección de Estilo
Ingrid Téllez Zamudio

Diseño y Diagramación
José Roberto Arango R.
Grupo de Comunicaciones

Contenido

Evolución regulatoria en vertimientos industriales: ¿en qué va Colombia? Una mirada desde lo técnico

- Ángela Cristina Pinzón Espinosa

Análisis del estado de fragmentación del paisaje como herramienta de conservación de un remanente de bosque seco tropical ubicado en la Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña, Norte de Santander, Colombia

- Alicia Margarita Ovallos Clavijo
- Bayron Joan Guerrero Correa
- Jhon Salvador Arévalo Bacca

Identificación y evaluación de impactos ambientales para la prestación del servicio ambiental de captura de carbono en suelos de páramo en el departamento de Boyacá: Caso de estudio Páramo La Cortadera

- Mónica Alexandra Rueda Ramírez

Aprovechamiento de estiércol de bovino en fabricación de papel como método de producción más limpia

- María Angélica Chávez Ferro
- Karla Yiceth Charry Perdomo

Nota: la edición de este número concluyó en 2023. Sin embargo, se hace su publicación en 2025.

El Arrendajo Escarlata es editada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Las opiniones e ideas expresadas en los artículos provienen directamente de sus autores y no comprometen la posición oficial del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible ni del Gobierno Nacional o de gobiernos u organizaciones mencionados en ellos.

© Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023
Todos los derechos reservados. centrodoc@minambiente.gov.co

ISSN: 2322-7001

No comercializable - Distribución gratuita



4

14

22

36

Editorial

Desde su nacimiento, la revista *El Arrendajo Escarlata* ha sido un espacio en el que las palabras han tejido puentes entre la ciencia, la ciudadanía y los territorios; un compendio de páginas que han hecho eco del pensamiento ambiental colombiano. Este instrumento de divulgación del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible no solo ha documentado el reciente devenir de las políticas y prácticas ambientales del país, sino que también ha impulsado un diálogo plural que reconoce la diversidad de voces y ciudadanías de nuestros territorios. Hoy, en su decimosegunda edición, nos enfrentamos a un momento trascendental: la despedida de esta revista en su forma actual para dar paso a una transformación que promete nuevos horizontes.

Esta decisión no es un cierre, sino una metamorfosis. *El Arrendajo Escarlata* nos inspira a volar hacia nuevos firmamentos, dando paso a una nueva tribuna que promete continuar brindando garantías al derecho a la participación y al acceso a la información en temas ambientales, derechos fundamentales que se erigen como pilares centrales de nuestra democracia. En las páginas de esta nueva publicación se darán cita la academia, los sistemas de conocimiento de pueblos étnicos, los saberes populares y tradicionales, así como las experiencias institucionales, en un propósito común de avanzar hacia la justicia ambiental y contribuir a forjar una Colombia en Paz con la Naturaleza.

Nos encontramos en un momento histórico en el que los desafíos ambientales exigen nuevas formas de ver, pensar y sentir el mundo, formas más inclusivas y más resonantes con las realidades locales. En este sentido, la revista deja de existir en su formato actual para transformarse en un nuevo espacio que amplifique los sentires ciudadanos y resuene desde el latir de los territorios. Un espacio que se nutra de la potencia de los movimientos ambientales colombianos, de la experiencia acumulada por los grupos de investigación y las instituciones de educación superior, así como del dinamismo de las organizaciones sociales que trabajan incansablemente por la defensa del ambiente.

Desde su primera edición, *El Arrendajo Escarlata* se propuso contribuir a la construcción de un país que valore su diversidad cultural como base social y epistémica para enfrentar las crisis ambientales contemporáneas. Esta misión sigue viva, así como el propósito común de fortalecer el Sistema Nacional Ambiental a través de un ejercicio de divulgación de conocimientos que permita articular los esfuerzos de las comunidades, las instituciones y el Gobierno en la búsqueda de la sustentabilidad de nuestra nación.

Hoy, queremos agradecer a todas las mujeres y hombres que han hecho posible la existencia de *El Arrendajo Escarlata*: autores, editores, lectores, investigadores, académicos, comunidades y líderes sociales. Ustedes han sido los pilares de esta iniciativa y serán también el motor que impulse la transformación que hoy celebramos. Con cada artículo, con cada historia compartida, hemos construido un legado que seguirá inspirando a las generaciones futuras.

El camino que iniciaremos está lleno de oportunidades. El nuevo medio no solo será una ventana para observar nuestro ambiente, sino también un espejo que refleje nuestras acciones colectivas y nuestras aspiraciones como sociedad. Será un espacio de esperanza, en el que las ideas florezcan y la palabra cobre vida.

Invitamos a todos y todas a acompañarnos en esta nueva travesía. La transformación de *El Arrendajo Escarlata* es un recordatorio de que el cambio es parte esencial de la vida y que, al igual que los ecosistemas que buscamos proteger, debemos adaptarnos para sobrevivir y prosperar. Juntos, seguiremos construyendo un país donde la diversidad cultural y natural sea la base de nuestra identidad y de nuestro futuro.

El Arrendajo Escarlata alza vuelo hacia nuevos cielos y, con este, nuestros sueños de justicia ambiental, paz y sustentabilidad. Gracias por ser parte de esta historia y por ser, siempre, una voz para el cambio.

Miguel Ángel Julio
Subdirector de Educación y Participación
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Evolución regulatoria en vertimientos industriales: ¿en qué va Colombia? Una mirada desde lo técnico

Angela Cristina Pinzón Espinosa

Resumen

La problemática del control de vertimientos industriales en Colombia es evidente y se ve reflejada en un número creciente de investigaciones científicas que reportan contaminantes con efectos tóxicos a lo largo de los ecosistemas acuáticos del país. Aunque la legislación colombiana ha tenido avances significativos en los últimos años, continúa presentando brechas que requieren solución urgente para un manejo sostenible de los recursos hídricos colombianos y una gestión segura de residuos peligrosos a lo largo del territorio nacional. En el presente artículo se hace un análisis de la legislación colombiana dentro del contexto mundial de estrategias de control de vertimientos y se presentan recomendaciones técnicas para el control regulatorio de vertimientos industriales.

Palabras clave: Contaminación del agua, recursos hídricos, vertimientos industriales, toxicidad, tóxicos, legislación, legislación ambiental, residuos peligrosos.

Introducción

En los últimos años, el número de investigaciones que reportan la ubicuidad de contaminantes potencialmente peligrosos en las aguas superficiales de Colombia no para de crecer. Por ejemplo, en el 2020 se detectaron compuestos altamente tóxicos en vertimientos que se descargan al río Magdalena desde la refinería de petróleo en Barrancabermeja (Pinzón-Espinosa y Kanda, 2020). En el 2018 se detectaron medicamentos, incluyendo hormonas y antibióticos, en aguas residuales domésticas y hospitalarias de Bogotá, Medellín, Tumaco y Florencia (Botero-Coy, et al., 2018). En el mismo año, se detectaron en el Chocó niveles alarmantes de mercurio en la población humana y numerosos peces de consumo (Palacios Torres, et al., 2018) por actividades de minería de oro. En el 2016 se encontraron indicios de contaminación industrial en peces del río Ocoa en Villavicencio, los cuales presentaban cambios genotóxicos y hematológicos por exposición a contaminantes presentes en el agua del mencionado río (Corredor Santamaría, et al., 2016).

Según las Naciones Unidas, los Estados debe garantizar medidas legales y políticas integrales para prevenir y minimizar la exposición a sustancias peligrosas que amenacen la salud, la vida y la dignidad de las personas y su entorno (Unep y Ohchr, 2021) (Ver figura 1), pero en Colombia la situación de vertimientos no domésticos parece requerir cambios urgentes para garantizar la protección a las

comunidades y al medio ambiente. Además de dificultades en la implementación de la legislación y en actividades de monitoreo, una parte del problema yace también en el sistema regulatorio vigente. A continuación, se hace un paralelo de la legislación colombiana dentro del marco regulatorio mundial, y un análisis sobre hacia dónde podría moverse la estrategia regulatoria colombiana para un manejo más sostenible de los recursos hídricos y una coexistencia saludable entre la industria y la comunidad.

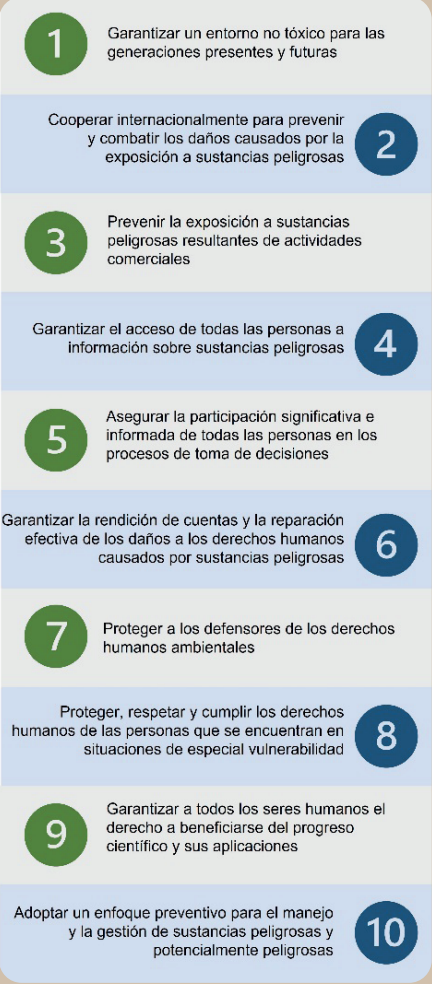
La calidad ambiental como base para la legislación ambiental

El concepto de calidad ambiental hace referencia al estado de las condiciones ambientales y sus efectos sobre la salud, la comodidad y el estado psicológico de los habitantes. El Banco de la República de Colombia la define más ampliamente, así: “El estado físico, biológico y ecológico de un área o zona determinada de la biósfera en términos relativos a su unidad, y a la salud presente y futura del ser humano y las demás especies animales y vegetales”. Por su parte, la Agencia Europea de Medio Ambiente [EEA por sus siglas en inglés] la define como “las propiedades o características del medio ambiente, ya sean generalizadas o locales, y su afectación a los seres humanos y otros organismos”.

El concepto de Calidad Ambiental es esencial para generar y desarrollar regulaciones efectivas y relevantes en las cuales se sustente la necesidad de proteger el medio ambiente y la salud humana. Vale la pena recalcar que la idea de aquello que representa un peligro para el medio ambiente cambia continuamente a medida que la sociedad tiene mayor acceso a información técnica y científica. Por esta razón, es clave que la política pública se mantenga en constante evolución y a la par con el concepto

vigente de calidad ambiental. Por ejemplo, el asbesto se empezó a considerar un contaminante solo tras conocerse su efecto nocivo en vías respiratorias, aunque se había utilizado desde tiempos prehistóricos por sus propiedades termorresistentes. Por tanto, se hizo necesario que la legislación prohibiera su uso.

Figura 1. Mensajes



Nota: Mensajes clave establecidos por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) y la Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos (OHCHR) con respecto a las obligaciones y responsabilidades de los Estados para prevenir y mitigar los efectos nocivos de los residuos peligrosos

Los primeros países en limitar su uso fueron Dinamarca y EE. UU. en la década de 1970, mientras que en Colombia el uso de asbesto se prohibió a partir del 1 de enero del 2021 mediante la Ley 1968 de 2019.

Otro ejemplo es el ruido submarino generado por actividades antropogénicas, incluidos el tráfico marítimo, las actividades de exploración de yacimientos petrolíferos y las prospecciones sísmicas. Debido a su impacto en el bienestar de diversos animales marinos, especialmente los cetáceos (ballenas, delfines, marsopas), el ruido submarino ahora es considerado un contaminante y se están desarrollando lineamientos internacionales para minimizar su impacto.

La calidad ambiental se refiere, por ejemplo, a la pureza o contaminación del aire y el agua, los niveles de ruido, el acceso a espacios abiertos y los efectos que dichos elementos tienen sobre nuestra salud física y mental. La ciencia y la tecnología han jugado un papel clave en definir la calidad ambiental y acompañar su proceso de evolución, pues le han permitido a la sociedad medir y controlar la contaminación de una forma más efectiva, lo cual ha generado una mayor conciencia de los impactos de la contaminación sobre el medio ambiente y la salud humana.

Dentro del contexto de los recursos hídricos, la expectativa es que el agua para consumo y recreación sea segura y de libre acceso para todos, y la legislación debe garantizar dichos derechos. Por eso, es clave tener una legislación de vertimientos efectiva y pertinente, ya que establece la hoja de ruta para el manejo de los recursos hídricos por parte del sector industrial, el cual tiene un potencial contaminante considerable. Sin embargo, si dicha legislación no está cimentada en información técnico-científica y el concepto de calidad ambiental actualizados, su efectividad y pertinencia son deficientes.

En Colombia, la actualización de dicho marco regulatorio ha sido deficiente: por 30 años, de 1984 a 2014, estuvo vigente una legislación (Decreto 1594, 1984) que no diferenciaba entre aguas domésticas y no domésticas, y establecía estándares de remoción de contaminantes en porcentaje, favoreciendo emisores con altas cargas de contaminantes. Dicha legislación parecía desconocer el progreso científico global que permitió entender más a fondo el impacto de contaminantes sobre la salud humana y los ecosistemas acuáticos. Solamente hasta el 2015 y posteriormente el 2018 la legislación se modificó en un intento por actualizarse, aunque el resultado no garantiza vertimientos industriales de buena calidad ambiental.

Uno de los últimos pasos en la construcción colectiva del concepto de calidad ambiental tuvo lugar en el año 2021, en el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos al declarar que la contaminación y la degradación del medio ambiente representan una amenaza para los derechos humanos, incluyendo el derecho a la vida (UNEP y OHCHR, 2021a). Específicamente, se identificó la exposición a sustancias peligrosas resultantes de malas prácticas de manejo de residuos como una clara amenaza a una serie de derechos humanos, como lo son el derecho a la vida, la integridad física, la salud y a un medio ambiente saludable.

También se establecieron principios clave para resaltar las obligaciones y responsabilidades de los Estados y otros titulares de deberes, como las empresas, para prevenir y remediar los efectos nocivos de las sustancias peligrosas (Figura 1). Es por tanto urgente que la legislación colombiana se encamine a garantizar que la actividad industrial a lo largo del territorio nacional no represente una amenaza para los derechos humanos de los 50 millones de colombianos.

Estrategias regulatorias de vertimientos: panorama mundial

Para entender en qué va Colombia con respecto a la regulación de vertimientos industriales y su descarga a cuerpos de agua superficiales, es necesario ver el panorama mundial y lo que ha sucedido en otros países en las últimas décadas. En términos generales se han establecido dos estrategias regulatorias para abordar la descarga de vertimientos industriales a cuerpos de aguas superficiales. La primera estrategia, conocida como *Fin de Ciclo*, controla las descargas de fuentes puntuales antes de que lleguen al medio ambiente. La segunda estrategia, también llamada de *Calidad Ambiental*, se enfoca en el impacto de los vertimientos en la calidad del cuerpo receptor, es decir, una vez han llegado al medio ambiente. Estas estrategias tienen objetivos diferentes, ya que la primera se enfoca en disminuir el nivel de descargas contaminantes, mientras que la segunda pretende alcanzar una buena calidad ambiental. En ambos casos, el potencial nocivo de los vertimientos se evalúa mediante parámetros físicos y químicos y, opcionalmente, mediante parámetros biológicos usando organismos acuáticos (Ver tabla 1).

Tabla 1. Ejemplos de parámetros de calidad de vertimientos

Parámetros de calidad de vertimientos	Ejemplos de parámetros evaluados
Físicos	Turbidez, temperatura, color, sólidos en suspensión, sólidos totales, conductividad
Químicos	pH, metales, cloruros, compuestos nitrogenados, fosfatos, hidrocarburos
Biológicos	Efectos sobre la sobrevivencia, el crecimiento y/o la reproducción de una serie de especies, normalmente algas, invertebrados y peces
Contaminantes prioritarios	Antraceno, cadmio, endosulfán, benceno, naftaleno, plomo, mercurio

La estrategia regulatoria de Fin de Ciclo establece límites de descarga sobre parámetros generales y ciertos componentes de los vertimientos. Inicialmente se implementó con base en parámetros físicos y químicos, pero en la década de 1970 se añadieron valores límite de descarga de contaminantes prioritarios tras la identificación de ciertos compuestos que representaban un mayor riesgo para los ecosistemas receptores (Garric et al., 1993). La estrategia de Fin de Ciclo puede también usar parámetros biológicos para evaluar la calidad de los vertimientos; el objetivo es determinar los posibles efectos de los vertimientos sobre organismos acuáticos. Esta estrategia tiene dos desventajas principales: (i) no asegura que las concentraciones ambientales de los contaminantes sean seguras para los cuerpos de agua receptores (Whitehouse, 2001), y (ii) puede llegar a proponer límites máximos de sustancias químicas peligrosas cercanos a cero, que pueden resultar prohibitivos en términos de costos o imposibles de alcanzar técnicamente (Concawe, 2007; Power y Boumphrey, 2004).

En la estrategia regulatoria de Calidad Ambiental, el objetivo es asegurarse de que los umbrales que se consideran seguros en cuanto a la concentración de contaminantes no se excedan en las aguas receptoras, teniendo en cuenta la dilución de los vertimientos una vez que se descargan al medio ambiente (Power y Boumphrey, 2004). La calidad de las aguas receptoras se determina midiendo parámetros físicos y grupos de sustancias químicas en el agua y los sedimentos, y monitoreando la diversidad y abundancia de especies (Concawe, 2012).

En algunos casos, también se utilizan parámetros biológicos para ayudar a rastrear sustancias tóxicas (Ecetoc, 2004). Es importante mencionar que mientras la estrategia de Fin de Ciclo conlleva a valores límite unificados de vertimientos, la estrategia de Calidad Ambiental favorece aquellos emisores que descargan sus vertimientos a cuerpos de agua de mayor volumen, pues los contaminantes peligrosos que pudiesen estar

presentes en dichos vertimientos se diluirían significativamente (Whitehouse, 2001a). Históricamente, la tendencia habitual de las legislaciones nacionales ha sido comenzar con una estrategia de Fin de Ciclo utilizando parámetros físicos y químicos para gradualmente incluir criterios biológicos, empezando con ensayos de toxicidad aguda y continuando con toxicidad crónica. Posteriormente, la tendencia es implementar la estrategia de Calidad Ambiental y, en ocasiones, añadir análisis adicionales (Ecetoc, 2004a). La mayoría de los países de ingresos altos implementan ambas estrategias donde los emisores de vertimientos deben utilizar las mejores tecnologías disponibles para cumplir con los requisitos de calidad del agua receptora (Power y Boumphrey, 2004; Speight, 2005).

EE.UU. y la Unión Europea (UE) son claros ejemplos de regiones de ingresos altos donde se implementan ambas estrategias regulatorias. La Ley de Agua Limpia (CWA por sus siglas en inglés) de EE.UU. se promulgó en 1972 y es la principal regulación para los programas de control de contaminación del agua. Esta ley estableció la estructura para regular la descarga de contaminantes y la calidad del agua superficial y, por lo tanto, enmarca la regulación ambiental aplicable a vertimientos industriales. Los objetivos de la CWA demuestran que ambas estrategias regulatorias tienen un papel importante en el manejo de recursos hídricos en EE.UU., pues incluyen (i) eliminar la descarga de contaminantes a aguas navegables, (ii) prohibir la descarga de contaminantes tóxicos en cantidades que puedan afectar de forma adversa al medio ambiente, (iii) establecer planes de manejo de tratamiento de residuos en cada estado, (iv) establecer la tecnología necesaria para eliminar la descarga de contaminantes, entre otros.

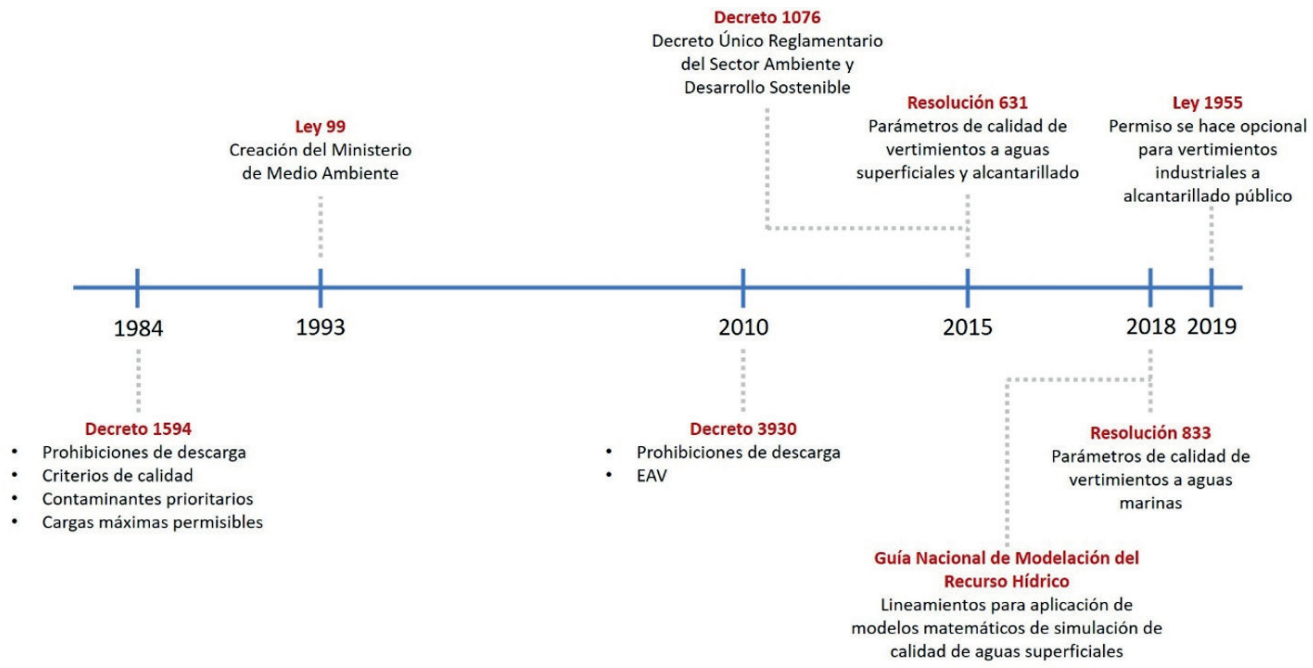
La evaluación de toxicidad es un componente importante del enfoque integrado de la agencia de protección ambiental de los EE.UU. para detectar y abordar la toxicidad en las aguas superficiales (Setac, 2004). En el caso de la UE, la Directriz Marco

del Agua (DMA) es la que guía la gestión del agua en los estados miembros, usando la ecología acuática como base para la toma de decisiones, mientras que la Directriz de Emisiones Industriales (DEI) es el principal instrumento para regular vertimientos industriales (Hering et al., 2010). La evaluación de toxicidad también está incluida en la DMA pero ésta además considera la persistencia y bioacumulación de los vertimientos (Ecetoc, 2004b).

Por otro lado, Latinoamérica es un claro ejemplo de países de ingreso medio donde el marco regulatorio para vertimientos industriales está en pleno proceso de cambio, siguiendo la tendencia de transición de la estrategia de Fin de Ciclo a la de Calidad Ambiental. Países como Bolivia y Perú, clasificados como de ingreso mediano bajo y mediano alto por el Banco mundial, respectivamente, tienen legislaciones ambientales que siguen la estrategia de Fin de Ciclo. Pero en Brasil, de ingreso mediano alto, la legislación ambiental se ha vuelto más exigente en los últimos años, lo que puede estar relacionado con que tiene el producto interno bruto más alto de la región. Además de limitar la descarga de grupos de contaminantes y contaminantes prioritarios y exigir análisis de toxicidad ambiental de los vertimientos usando organismos de al menos dos niveles tróficos diferentes, la legislación brasilera de vertimientos ha empezado a implementar la estrategia de Calidad Ambiental.

La Resolución 430 del 2011 del *Congreso Nacional de Medio Ambiente* [CONAMA] establece que los vertimientos “no deberán generar efectos tóxicos en los organismos acuáticos del cuerpo receptor” y que la agencia ambiental competente debe especificar los caudales máximos permitidos de vertimientos con respecto al cuerpo receptor, los cuales se han establecido previamente con base en estudios de dispersión física. Esta estrategia regulatoria se ubica claramente en la interfase entre las estrategias de Fin de Ciclo y Calidad Ambiental, lo cual ha obtenido resultados claros

Figura 2. Línea de tiempo de la legislación ambiental colombiana aplicable a vertimientos industriales



en algunos sectores industriales. Por ejemplo, la eficiencia actual del tratamiento de aguas residuales industriales en el sector de refinación de petróleo ha permitido reusar vertimientos de forma exitosa, con 17 billones de litros reutilizados por Petrobras en el 2010 (Petrobras, 2012).

Vertimientos industriales en Colombia

La legislación colombiana de vertimientos inició oficialmente con la expedición del Decreto 1594, 1984 (Figura 2), el cual estableció, entre otras cosas, prohibiciones absolutas de descarga, criterios de calidad de los recursos hídricos según su uso, una lista de 152 contaminantes prioritarios, y las cargas máximas permisibles de contaminantes. Luego, posterior a la creación del hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [Minambiente] mediante la Ley 99 de 1993, se expidió el Decreto 3930 de 2010 (Figura 2), en el cual se ratificaron las prohibiciones de descarga, se determinó la capacidad de asimilación de contaminantes de los cuerpos de agua para obtener permisos de vertimientos, y se

estipuló que se definirían nuevos parámetros de calidad en los 24 meses siguientes a la expedición del decreto. Dichos parámetros se estipularon en la Resolución 631 de 2015 y Resolución 883 de 2018, donde se establecen los parámetros de calidad de vertimientos a aguas superficiales y sistemas de alcantarillado público, y aguas marinas, respectivamente (Figura 2). Es de resaltar que en dichas resoluciones se definen por primera vez sectores productivos y se reemplaza el uso de carga contaminante (kg/día) como indicador de calidad de vertimientos por concentración de contaminantes (mg/l), permitiendo así un control directo sobre el tipo y contenido de contaminantes.

El Decreto 3930 de 2010, que se encuentra hoy compilado en el Decreto 1076 de 2015, también establece que los emisores de vertimientos industriales deben presentar una *Evaluación Ambiental del Vertimiento* [EAV] para obtener un permiso de descarga de vertimientos. La EAV incluye, entre otras cosas, la predicción de los impactos de los vertimientos al cuerpo de agua a través de modelos de simulación. Sin embargo, la Ley 1955 de 2019 elimina la obligatoriedad

de dichos permisos para emisores industriales que descarguen sus vertimientos al sistema de alcantarillado público, generando así un nuevo vacío regulatorio para controlar la entrada de contaminantes a aguas superficiales. Los trenes de tratamiento de aguas residuales en Colombia utilizan, en su mayoría, solamente las fases primarias de limpieza donde se remueven nutrientes y grasas, pero no eliminan otros contaminantes nocivos que pueden afectar la salud humana y los ecosistemas acuáticos receptores.

La Ley 1955 del 2019 parece desconocer las limitaciones técnicas y de cobertura de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el país. Eximir a los emisores de vertimientos industriales de la obligación de solicitar un permiso para descargar vertimientos abre la puerta al manejo descontrolado de los mismos.

Por último, el artículo 170 de la Resolución 330 de 2017, modificado por la Resolución 799 de 2021, establece que el prestador de servicio de tratamiento de vertimientos deberá realizar estudios de toxicidad cuando (i) en el área aferente a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales [PTAR] se encuentren usos industriales o comerciales que puedan descargar efluentes con iones, metales y metaloides en concentraciones por encima de los límites permisibles establecidos en la normatividad ambiental actual; (ii) cuando se superen los límites máximos permisibles establecidos en el efluente de la PTAR, de acuerdo con las Resoluciones 631 de 2015 y 883 de 2018, por la existencia de un componente no doméstico; y (iii) en el caso en que se presenten dificultades en el cumplimiento de la eficiencia en una PTAR construida.

Aunque el artículo considera el uso de pruebas de toxicidad además de parámetros fisicoquímicos para evaluar la calidad de vertimientos, asume erróneamente que solamente iones, metales y metaloides tienen la capacidad de generar efectos adversos sobre organismos

centinela. Es bien conocido que un gran número de sustancias orgánicas poseen este potencial, entre las cuales se encuentran los conocidos Contaminantes Orgánicos Persistentes (POP por sus siglas en inglés), los cuales son resistentes a la degradación, son bioacumulables, tienen potencial para transportarse a larga distancia y generan efectos adversos sobre la salud humana y/o el medio ambiente. Los plaguicidas son parte de los POP y su descarga está limitada en la Resolución 631 de 2015, pero otros POP no están regulados en dicha resolución.

Así mismo, el punto (ii) del artículo 170 de la Resolución 330 de 2017 establece que las pruebas de toxicidad serían necesarias solamente si los límites máximos permisibles establecidos en el efluente de la PTAR. Sin embargo, el cumplimiento de los límites máximos permisibles no asegura la calidad biológica de los vertimientos, así como la superación de dichos límites no necesariamente indica que los vertimientos tienen potencial para ejercer toxicidad.

Así pues, el control regulatorio sobre vertimientos establecido en el Decreto 3930 de 2010 sigue la estrategia de *Calidad Ambiental*, mientras que lo establecido en las Resoluciones 631 de 2015 y 883 de 2018 sigue la estrategia de Fin de Ciclo. Sin embargo, aunque la legislación colombiana se mueve lentamente hacia una visión más holística de los ecosistemas acuáticos y su capacidad de asimilar contaminantes, falla en el monitoreo en tiempo real de los vertimientos emitidos por aquellos que ya cuentan con permisos de descarga.

Una de las medidas más efectivas para hacerle seguimiento continuo a la calidad de los efluentes es evaluar parámetros biológicos, ya que permiten detectar si estos ecosistemas acuáticos receptores. Incluso si los parámetros fisico-químicos no muestran discrepancias importantes con los límites considerados seguros en las Resoluciones pertinentes (631 de 2015 y 883 de 2018), los análisis de toxicología ambiental funcionan como biosensores altamente sensibles

que detectan los posibles efectos biológicos de los vertimientos vistos como mezclas y no como una agrupación de elementos individuales sin interacción alguna. Aún así, la legislación colombiana utiliza únicamente parámetros fisicoquímicos para controlar la entrada de contaminantes a los cuerpos de agua receptores.

El monitoreo de las propiedades biológicas es particularmente útil en vertimientos de alta complejidad, como es el caso de los vertimientos industriales. Por ejemplo, el contaminante principal de los vertimientos de refinerías de petróleo es el petróleo, aunque algunos aditivos, metales, y catalizadores se encuentran en proporciones menores. El término “petróleo” abarca un amplio rango de mezclas con diferentes propiedades fisicoquímicas, así que hablar del “petróleo” como componente principal no necesariamente establece qué tipo de contaminantes pueden llegar a ecosistemas acuáticos por cuenta de vertimientos.

En el caso colombiano, una investigación realizada por el Instituto Colombiano del Petróleo y la Universidad Industrial de Santander publicada en el 2012 (Quiroga-Becerra et. al., 2012) estableció que el crudo colombiano tiene un alto contenido de ácidos nafténicos, los cuales son alteradores endocrinos y tóxicos para un amplio rango de especies, incluidos



microorganismos, algas, invertebrados y peces. En el 2020, una investigación de la Universidad de Brunel en Londres (Pinzón-Espinosa y Kanda, 2020) identificó la presencia de ácidos nafténicos en los vertimientos de la refinería de petróleo de Barrancabermeja, los cuales se descargan continuamente al río Magdalena. La detección de dichos contaminantes sólo fue posible tras realizar ensayos de toxicidad, pues la medición de parámetros fisicoquímicos establecidos en la resolución 631/2015 indicó que los vertimientos eran de buena calidad ambiental. Los ácidos nafténicos no están incluidos dentro de dicha resolución como contaminantes de interés para el sector de refinación, así que pasan desapercibidos y llegan a los ecosistemas acuáticos sin ningún control.

Es claro que la inclusión de parámetros biológicos dentro de la legislación colombiana de vertimientos permitiría el monitoreo continuo de la calidad ambiental de vertimientos industriales, y permitiría evaluar si la interacción de sus componentes tiene el potencial de generar efectos biológicos no deseados. Si bien su implementación genera costos adicionales para el emisor, el uso de ensayos de bajo costo



es factible. Por ejemplo, el uso de ensayos miniaturizados y kits de pruebas no requiere infraestructura altamente especializada, pero sí permite la obtención de resultados en tiempos cortos.

El concepto de evaluar la toxicidad de vertimientos como estrategia de control no es nueva. Se sabe que aporta información útil, pero no es una herramienta perfecta ya que (i) los ensayos biológicos tienen una variabilidad innata difícil de eliminar y (ii) los organismos utilizados para los ensayos son raramente representativos de los ecosistemas receptores. Además, (iii) es imposible recrear los factores abióticos y ecológicos que pueden reducir la exposición de los organismos acuáticos a dichos contaminantes. Por ejemplo, el papel de la dilución de los vertimientos o la evaporación de contaminantes no se tiene en cuenta.

Por lo tanto, los resultados de dichos ensayos no deben utilizarse como predictores exactos de lo que ocurrirá en los cuerpos receptores. Estas limitaciones, sin embargo, no reducen la utilidad de evaluar toxicidad porque arrojan información útil para identificar vertimientos que requieren mayor atención y/o tratamiento. En otras palabras, evaluar la toxicidad de vertimientos no predice el riesgo ambiental de efectos biológicos sino la peligrosidad, definiendo Peligrosidad como una fuente potencial de peligro. Este es el caso del hallazgo de la Universidad de Brunel en Londres (Pinzón-Espinosa y Kanda, 2020), que permitió identificar contaminantes que requieren tratamiento adicional antes de que los vertimientos de la refinería sean descargados al río Magdalena.

Así, se recomienda la inclusión de parámetros biológicos para el control y monitoreo de vertimientos industriales, ya que su alta complejidad requiere del uso de biosensores que ayuden a detectar contaminantes inadvertidos en los parámetros fisicoquímicos, y falencias en el tratamiento de dichos vertimientos antes de su descarga al medio ambiente.

Conclusiones

La legislación colombiana de vertimientos se ha caracterizado por una lenta sincronización con el concepto vigente de calidad ambiental. Actualmente, tras la expedición del Decreto 3930 de 2010 y de las Resoluciones 631 del 2015 y 883 de 2018, la legislación nacional se encuentra en un periodo de transición entre la estrategia de Fin de Ciclo y la de Calidad Ambiental. La obtención de permisos de vertimientos requiere que el emisor proporcione información acerca de los impactos de sus vertimientos al cuerpo de agua receptor a través de modelos predictivos, pero una vez otorgado dicho permiso, el control de emisión de vertimientos se basa en parámetros fisicoquímicos e ignora los biológicos.

De esta manera, son insuficientes las facultades otorgadas para hacerle seguimiento a la calidad ambiental de los vertimientos que llegan a los recursos hídricos del territorio nacional. Además, es urgente que los permisos de vertimientos sean de obligatorio cumplimiento para todos los emisores de vertimientos industriales, en consonancia con la necesidad de limitar el ingreso de contaminantes a aguas superficiales y a las limitaciones técnicas y de cobertura de las plantas de tratamiento de aguas residuales del país. Esto permitiría conocer la carga y naturaleza de los contaminantes industriales arrojados a los ecosistemas acuáticos.

Referencias bibliográficas

- Botero-Coy, A. M., Martínez-Pachón, D., Boix, C., Rincón, R. J., Castillo, N., Arias-Marín, L. P., Manrique-Losada, L., Torres-Palma, R., Moncayo-Lasso, A., & Hernández, F. (2018). An investigation into the occurrence and removal of pharmaceuticals in Colombian wastewater. *Science of The Total Environment*, 642, 842–853. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.088>
- Concawe. (2007). Water environmental quality standards. *Concawe Review*, 16(1), 11–14.
- Concawe. (2012). *Assessment of refinery effluents and receiving waters using biologically-based effect methods*. Concawe.
- Corredor-Santamaría, W., Serrano Gómez, M., & Velasco-Santamaría, Y. M. (2016). Using genotoxic and haematological biomarkers as an evidence of environmental contamination in the Ocoa River native fish, Villavicencio—Meta, Colombia. *SpringerPlus*, 5(1), 351. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-1753-0>
- Ecetoc. (2004). *Whole effluent assessment*. Ecetoc.
- Garric, J., Vindimian, E., y Ferard, J. F. (1993). Ecotoxicology and wastewater: some practical applications. *The Science of Total Environment*, 1085–1103.
- Hering, D., Borja, A., Carstensen, J., Carvalho, L., Elliott, M., Feld, C., Heiskanen, A.-S., Johnson, R. K., Moe, J., Pont, D., Solheim, A. L., y van de Bund, W. (2010). The European water framework directive at the age of 10: A critical review of the achievements with recommendations for the future. *Science of The Total Environment*, 408, 4007–4019.
- Congreso de la República de Colombia (23 de diciembre de 1993) Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. Ley 99 / 1993.
- Congreso de la República de Colombia. (2019, 25 de mayo). Por el cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad Ley 1955 / 2019.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (25 de octubre 2010). *Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones* Decreto 3930/2010.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (17 de marzo 2015). *Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones*. Resolución 631 / 2015
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas marinas, y se dictan otras disposiciones. Resolución 883/ 2018.
- Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2017). Resolución 330 / 2017. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009
- Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2021). por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Agua y Saneamiento (RAS).
- Palacios-Torres, Y., Caballero-Gallardo, K., y Olivero-Verbel, J. (2018). Mercury pollution by gold mining in a global biodiversity hotspot, the Choco biogeographic region, Colombia. *Chemosphere*, 193, 421–430. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.160>
- Petrobras. (2012). *Rethinking progress*. <http://www.petrobras.com/en/magazine/post/rethinking-progress.htm>
- Pinzón Espinosa, A., & Kanda, R. (2020). Naphthenic acids are key contributors to toxicity of heavy oil refining effluents. *Science of The Total Environment*, 138119. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138119>
- Power, E. A., y Boumphrey, R. S. (2004). International trends in bioassay use for effluent management. *Ecotoxicology*, 13, 377–398.
- Presidencia de la República de Colombia. (1984). Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Decreto 1594 / 1984.
- Quiroga Becerra, H., Mejía-Miranda, C., Laverde-Catano, D., Hernández-López, M., y Gómez Sánchez, M. (2012). A kinetic study of esterification of naphthenic acids from a Colombian heavy crude oil. *Ciencia, Tecnología y Futuro*, 4(5), 21–31.
- Setac. (2004). *Technical issue paper: Whole effluent toxicity testing*. SETAC.
- Speight, J. G. (2005). *Environmental analysis and technology for the refining industry* (First). John Wiley & Sons, Inc.
- Unep & Ohchr. (2021). *Human Rights and Hazardous Substances*. <https://www.ohchr.org/Documents/Issues/ClimateChange/materials/KMHazardousSubstances25febLight.pdf>
- Whitehouse, P. (2001). Measures for protecting water quality: Current approaches and future developments. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 50, 115–126.

Análisis del estado de fragmentación del paisaje como herramienta de conservación de un remanente de bosque seco tropical ubicado en la Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña, Norte de Santander, Colombia

Alicia Margarita Ovallos Clavijo
Bayron Joan Guerrero Correa
Jhon Salvador Arévalo Bacca

Resumen

Este estudio surge de la necesidad de crear herramientas e instrumentos que promuevan investigaciones destinadas a la conservación y al mantenimiento de los atributos ecosistémicos del bosque seco tropical considerado como un ecosistema de especial interés por sus altos niveles de endemismo y especiación, a partir de la identificación de los elementos que conforman la matriz del paisaje y sus interacciones dentro de este ecosistema. Por tanto, se definió una metodología para clasificación de coberturas presentes en el área de estudio a partir de la interpretación del mosaico del paisaje y visitas de inspección en campo, estableciendo así el inventario del paisaje visual y la representación gráfica de la matriz del paisaje.

El procesamiento de la información recolectada por medio de sistemas de información geográfica y programas para la cuantificación de la estructura del paisaje permitieron llevar a cabo la determinación y análisis del estado de fragmentación que presenta el área de estudio, así como el cálculo de índices de fraccionamiento del hábitat útiles para identificar las posibles áreas para inclusión en procesos de restauración ecológica.

Palabras clave: bosque seco tropical, conservación, cobertura vegetal, fraccionamiento del hábitat, unidades de paisaje.

Introducción

Durante las últimas décadas, los constantes cambios a nivel social y económico, así como el crecimiento demográfico y, por ende, la demanda de recursos naturales a nivel global, han generado

en el ambiente considerables alteraciones a magnitudes que superan su capacidad de resiliencia, ocasionando modificaciones en la estructura y funcionalidad de los ecosistemas a escalas sin precedentes (Bevilacqua, et al., 2006, 50-58; Vitousek, 1994, 1861-1862 citado en Molina y Albarrán, 2013). Uno de los ecosistemas más afectados por las dinámicas poblacionales han sido los bosques tropicales involucrados en acelerados procesos que se traducen no sólo en la disminución de su masa forestal sino también en la fragmentación de las superficies vegetales residuales, transformando extensiones de bosque natural en pequeñas áreas forestales rodeadas por una matriz de suelos productivos (Mas y Correa Sandoval, 2000).

Los bosques secos tropicales son considerados como uno de los ecosistemas tropicales más amenazados debido a que sus condiciones naturales como suelos fértiles y planos, con pH moderado y escasa pérdida de nutrientes por lixiviación, resultan ser propicias para el asentamiento de poblaciones humanas y el desarrollo de actividades agroindustriales que transforman el ecosistema, llegando al punto en que hasta un 97% de este tipo de bosque tropical restante en el mundo se encuentra amenazado (Pizano y García, 2014).

Un remanente de este Ecosistema de Bosque seco Tropical [BST], se encuentra incluido dentro del área de estudio de la Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña, Colombia, sobre el cual se realizó un análisis del estado de fragmentación como mecanismo de conservación de sus atributos ecosistémicos a partir de la interpretación de fotografías aéreas digitales y el uso de herramientas de información geográfica y programas para la cuantificación de la estructura del paisaje que permitieron definir la estructura espacial del paisaje y las posibles áreas para ser incluidas en programas de restauración.

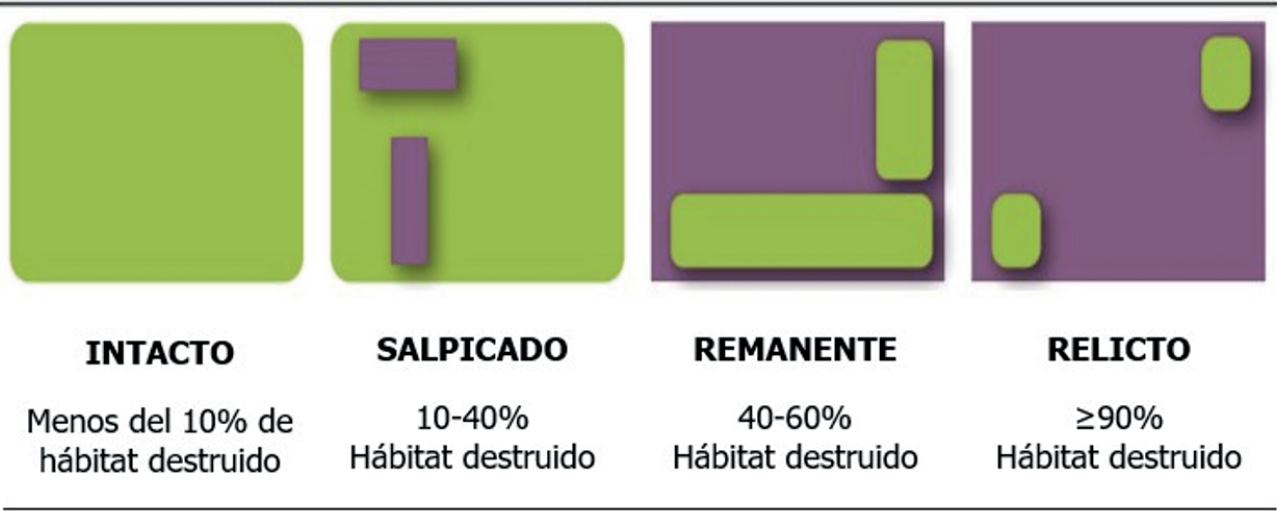
Materiales y métodos

Para llevar a cabo la investigación se hace uso de técnicas de fotointerpretación digital, de sistemas de información geográfica y de software para el análisis de datos y, a su vez, se implementa la observación en campo como mecanismo de verificación de la información obtenida del mosaico de la totalidad de la superficie de estudio a partir de las fotografías aéreas digitales captadas mediante vuelos programados con el dron modelo Dji Phantom 3 Advanced con el fin de obtener la metodología para clasificación superficial de coberturas presentes en el área de estudio, teniendo a su vez como guía el documento titulado: *Leyenda nacional de coberturas de la tierra*, Metodología Corine Land Cover Adaptada para Colombia del IDEAM (2010), para la asignación de la nomenclatura correspondiente y la elaboración de la respectiva clasificación supervisada de la matriz del paisaje con la herramienta ArcGIS 10.5.

Obtenida la representación gráfica, se halla el porcentaje de representatividad de cada unidad del paisaje dentro de la matriz y se diferencian las coberturas vegetales para la identificación de áreas con potencial para inclusión en procesos de restauración, así como las coberturas consideradas dentro del hábitat conservado para la determinación del estado de fragmentación del ecosistema por medio del gráfico de cambios en el nivel del paisaje, según el resultado de porcentaje de hábitat destruido (Ver figura 1).



Figura 1. Cambios en el nivel de paisaje



Nota: Modificado a partir de Hobbsy Wilson (1998) como se cit´en Milán, Sarabia, Oliva & Nettel (2016).

De igual manera, se calculan la forma, proximidad y densidad de borde de los fragmentos que conforman la matriz del paisaje con la herramienta FRAGSTATS versión 4.2., programa que permite la cuantificación de la estructura del paisaje a partir de un análisis espacial de patrones presentes en la matriz (McGarigal y Marks, 1995). Con base en la información obtenida en campo, las fotografías aéreas disponibles, información bibliográfica revisada, la representación gráfica de la matriz y los resultados del estado y los índices de fragmentación, se estableció un análisis de la función y estructura del paisaje por medio de la evaluación indirecta de su funcionalidad en cuanto a la medida de alteración de los componentes del paisaje, así como los procesos que lo caracterizan (Castro Nogueira, 2002).

Finalmente, se seleccionaron las unidades de paisaje correspondientes a coberturas vegetales que por sus características son consideradas como agentes que condicionan el mantenimiento de las interacciones ecológicas del ecosistema para ser incluidas dentro de programas de restauración.

Resultados y discusión

Identificación y delimitación del área de estudio

Está ubicada en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, específicamente en las inmediaciones de la Universidad Francisco de Paula Santander-seccional Ocaña, y corresponde a la superficie de la institución educativa destinada para la conservación con una extensión de 33,46 hectáreas. El área de estudio cuenta con zona de vida de bosque seco tropical (bs-T), o bosque seco premontano (bs-PM), según Holdridge y modificado para Colombia por Espinal y Montenegro (1977). El bosque seco tropical, en adelante BST, se constituye en uno de los ecosistemas más amenazados del mundo ya que, debido a la fertilidad de sus suelos, este bioma ha sido punto de desarrollo de poblaciones humanas y objeto de una intensa transformación (Janzen, 1983, citado en IAvH, 1998) con porcentajes aproximados de más del 90% de deforestación del BST en Colombia, un 5% de remantes intervenidos y sólo el 4% de cobertura madura de BST original (Pizano y García, 2014).

A partir del procesamiento de fotografías aéreas digitales del área de estudio, pudo obtenerse el mosaico necesario para la identificación de las unidades de paisaje presentes (Ver imagen 1).

Figura 2. Mosaico del paisaje



Nota: fuente autoría propia (mayo 2019)

Unidades del paisaje

En la tabla 1, se aprecia la metodología para clasificación superficial de coberturas presentes en el área de estudio elaborada a partir de la interrelación entre el mosaico del paisaje y los hallazgos en campo, así como los cálculos de área y la representatividad en la matriz de cada unidad, valores que facilitan el manejo de las estadísticas dentro de la investigación y permiten conocer la matriz en términos de fraccionamiento del hábitat y dar pautas para el mantenimiento de las dinámicas ecológicas y conservación del BST.

Esta identificación de las unidades de paisaje que conforman la matriz da cumplimiento a la primera fase: *Inventario del paisaje visual* de la Evaluación del Paisaje Visual (EPV), incluida en la Guía de Conservación del Paisaje de la Universidad Austral de Chile propuesta por Gayoso y Acuña(1999) e incorporado en el Código de Prácticas Forestales del British Columbia, Canadá.

Tabla 1. Metodología para clasificación superficial de coberturas presentes en el área de estudio con cálculo de áreas y representatividad en la matriz

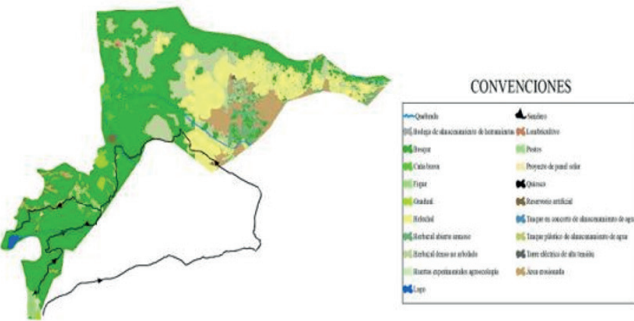
No	Coberturas	Nomenclatura	Unidades del paisaje	Área (m²)	Representatividad en la matriz (%)
1	Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	1.1	Herbazal abierto arenoso	10764,107	3,216
		1.2	Área erosionada	26303,413	7,860
		2.1	Bosque	183141,439	54,726
2	Bosques y áreas naturales	2.2	Herbazal denso no arbolado	42471,749	12,691
		2.3	Helechal	58205,354	17,393
		2.4	Pastos	4678,516	1,398
		2.5	Guadual	2430,744	0,726
		2.6	Fique	122,26	0,037
		2.7	Caña brava	2428,419	0,726
		3.1	Quisco	82,374	0,025
3	Zonas artificializadas	3.2	Tanque plástico de almacenamiento de agua	3,909	0,001
		3.3	Tanque en concreto de almacenamiento de agua	101,799	0,030
		3.4	Bodega de almacenamiento de herramientas	13,683	7,860
		3.5	Proyecto de panel solar	79,147	0,024
		3.6	Torre eléctrica de alta tensión	244,069	0,073
		3.7	Sendero	1630,93	0,487
4	Superficies de agua	4.1	Lago	958,967	0,287
		4.2	Reservorio artificial	561,641	0,168
		4.3	Quebrada	-	-
5	Proyectos agrícolas	5.1	Huertas experimentales de agroecología	411,193	0,123
		5.2	Lombricultivo	0,123	0,006

Nota: Debido a que la unidad Quebrada no logra distinguirse en la fotointerpretación del mosaico, no se presentan valores de área y representatividad en el paisaje visual.

Fuente: autoría propia

En la imagen 2 se muestra la representación gráfica de la matriz del paisaje obtenida a partir de la clasificación supervisada.

Ilustración 3. Matriz del paisaje según clasificación supervisada



Nota: fuente Ovalle Clavijo, et al. (2019)

Estado de fragmentación

En este apartado se inicia la segunda fase: *Análisis del paisaje visual* de la EPV de Gayoso y Acuña (1999). La determinación del estado de fragmentación requiere de la identificación de las unidades de paisaje cuyas características mantienen las condiciones propias del ecosistema de BST correspondientes a: *Bosque, Herbazal denso no arbolado, Fique, Lago y Quebrada*, cuya sumatoria de áreas arrojó un valor de 226694,415 m².

334653,965 m² → 100%
226694,415 m² → X
X = 226694,415 m² * 100 / 334653,965 m² → X = 67,740%

Una vez obtenido el porcentaje de hábitat conservado, se determina el porcentaje de hábitat destruido, mediante la diferencia del 100% del área de la matriz del paisaje y el 67,740% de hábitat conservado.

100% - 67,740% = 32,260%

A partir del resultado obtenido anteriormente, se determina que la matriz de paisaje del área de estudio se encuentra en estado salpicado por encontrarse entre los porcentajes de 10-40% de hábitat destruido como se estipula en la figura 1. Es de resaltar que el hábitat destruido está compuesto por áreas degradadas que involucran zonas de territorios artificializados (quiosco, bodega de almacenamiento de herramientas, tanque en concreto de almacenamiento de agua, tanque plástico de almacenamiento de agua, torre eléctrica de alta tensión, proyecto de panel solar), de interés académico e investigativo (*huertas experimentales de agroecología, lombricultivo, reservorio artificial*) y de interés paisajístico (*sendero*), coberturas vegetales introducidas o colonizadoras por condiciones exógenas (*caña brava, guadual, herbazal abierto arenoso, helechal, pastos*) y las zonas desprovistas de cobertura vegetal (*área erosionada*).

Índices de fragmentación

Se realiza el análisis de la estructura espacial del paisaje a través del procesamiento de parámetros contenidos dentro del documento *Fragstats: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure* de McGarigal y Marks (1995), en cuanto a métricas de clase y métricas de paisaje. Para las métricas de clase, las coberturas sometidas a este estudio son las vegetales propias del BST y las introducidas o colonizadoras; y para las métricas de paisaje se evalúa la totalidad de la matriz del paisaje.

Tabla 2. Métricas de clase calculadas a la matriz del paisaje

Unidad	Densidad de borde (ha)	Media de distancia euclidiana del vecino más cercano (m)
Bosque	611,3976	5,1076
Herbazal denso no arbolado	152,5570	19,9115
Helechal	184,3081	9,7789
Herbazal abierto arenoso	234,1859	6,5086
Caña brava	31,1078	7,5010
Fique	4,5609	24,8446
Guadual	9,5312	159,4006
Pastos	35,4349	21,6512

Fuente: Ovallos Clavijo, et al. (2019)

De acuerdo con González Borrero y Romero Rodríguez (2013), las coberturas vegetales más propensas a la disminución del área de sus fragmentos y, por tanto, a la acción del efecto borde sobre ellas, son la unidad *Bosque* con 611,3976 ha y la unidad *Herbazal abierto arenoso* con 234, 1859 ha por presentar los mayores valores en el índice de densidad de borde. Según el índice de media de distancia euclidiana del vecino más cercano, las unidades *Bosque* y *Herbazal abierto arenoso* representan mayor conectividad entre fragmentos, lo que influye positivamente en la dinámica de los procesos ecológicos de la fauna y flora (Molina y Albarrán, 2013), para este caso, del BST.

Tabla 3. Métricas de paisaje calculadas a la matriz del paisaje

Índice de forma de paisaje	Media de distancia euclidiana del vecino más cercano (m)
14,7043	9,0266

Fuente: Ovallos Clavijo, et al. (2019)

Según la definición de McGarigal y Marks (1995), para el índice de forma del paisaje, se puede establecer que la matriz del paisaje presenta una forma desagregada e irregular debido al alto resultado de su índice 14,7043, valor que, a su vez, de acuerdo con la agrupación establecida por Molina y Albarrán (2013), la clasifica como un corredor tipo 1: alargado, categoría definida para matrices de paisaje cuyo valor del índice de forma es mayor a siete (7).

A partir de este análisis, la matriz del paisaje puede ser considerada como un corredor biológico indispensable para el desplazamiento de fauna y mantenimiento de las interacciones ecológicas del ecosistema presente en el área con fragmentos relativamente cercanos que permiten la interconectividad entre ellos.

Análisis del estado de fragmentación

El área de estudio presenta continuidad de sus funciones ecosistémicas y una red de conservación

poco fragmentada al presentar pequeñas cantidades de fragmentos de gran tamaño interconectados entre sí, lo cual facilita el establecimiento de poblaciones más numerosas, aumenta sus posibilidades para superar perturbaciones y extinciones a nivel local e incrementa la variabilidad genética del ecosistema (Castro Nogueira, 2002). Se presenta como un corredor homogéneo para especies con requerimientos de hábitat estricto debido a una baja heterogeneidad dentro de la matriz (Castro Nogueira, 2002).

El análisis de la integridad ecológica de la matriz, según Castro Nogueira (2002), indica que el área de estudio no presenta una presión significativa sobre el ecosistema que impida el funcionamiento de sus procesos ecológicos debido a la baja representatividad de construcciones antrópicas (0,163%) que se traduce en baja intensidad de las perturbaciones sobre la matriz.

Por ende, las acciones a llevar a cabo en la zona deben ser en pro de la preservación de la matriz, los fragmentos de mayor tamaño y conservación, y las áreas que sirvan de conexión entre dichos fragmentos, con el objetivo de mantener la conectividad y funcionalidad del ecosistema (Castro Nogueira, 2002).

No obstante, cabe mencionar que la zona cuenta con áreas erosionadas con poca cobertura



vegetal, así como áreas ocupadas por coberturas vegetales introducidas y colonizadoras que requieren especial interés por considerarse agentes que condicionan el mantenimiento de las interacciones ecológicas del ecosistema debido a sus requerimientos y características de desarrollo como son:

- Caña brava: cobertura compuesta por la especie *Arundo donax* L. Se incluye como especie invasora y elemento estresor del ecosistema de BST por que se expande con gran facilidad en ecosistemas riparios en condiciones óptimas y su desarrollo implica un consumo de agua entre 3 y 10 veces mayor que las especies nativas (Flores Maldonado et al., 2008).
- Guadual: conformado por la especie *Guadua angustifolia* Kunth, identificada como especie introducida dentro del área de estudio. Su desarrollo impide el crecimiento de especies nativas a su alrededor debido a sus características alelopáticas (Ríos y Rosabal, 2008) y, por tanto, interfiere en los procesos de sucesión ecológica del ecosistema.
- Helechal: compuesto por la especie *Pteridium aquilinum*. Se presenta como una colonización resultante de las condiciones exógenas y endógenas óptimas para su desarrollo dentro de la matriz (Baptiste, 2017). Caracterizado por ocupar zonas desprovistas de vegetación y por desarrollar poblaciones tan concentradas que impiden la generación natural de especies nativas (IDEAM, 2010).
- Pastos: predominan en el área las especies *Dichanthium aristatum* y *Saccharum officinarum*. Su presencia dentro de la matriz del paisaje se debe a pequeñas áreas remanentes de antiguas zonas de potrero y como resultado del desarrollo de actividades académicas orientadas al control de la erosión e incentivación de los procesos de sucesión ecológica.

Por tal motivo, estas áreas degradadas necesitan ser priorizadas para la aplicación a corto, mediano y largo plazo, de planes de restauración ecológica tendientes a recuperar las condiciones originales del BST a partir de programas enfocados en la sustitución de coberturas vegetales introducidas o colonizadoras por especies nativas y la incentivación de procesos de sucesión ecológica en las áreas erosionadas, que permitan dar continuidad a las dinámicas ecológicas del ecosistema.

Conclusiones

La matriz del paisaje del área de estudio se encuentra en un estado de fragmentación salpicado, con una media de distancia euclidiana óptima entre sus fragmentos para el mantenimiento de la conectividad entre ellas y una media en el índice de forma del paisaje que lo clasifica como alargado e irregular, actuando como un corredor biológico que permite el mantenimiento de las interacciones ecológicas y la conservación del ecosistema de BST presente en el área. De igual manera, cuenta con áreas con aptitud de conservación que permiten la conectividad de sus elementos al presentar una red de conservación poco fragmentada funcionando a su vez, como un corredor homogéneo para las especies, permitiendo el mantenimiento de procesos ecológicos en un ecosistema natural en que la perturbación antrópica resulta ser poco significativa para la continuidad de estas dinámicas ecológicas.

Con ayuda de las fases restantes de la EPV propuesta por Gayoso y Acuña (1999), se deben establecer planes de restauración tendientes a la recuperación de las áreas degradadas, incentivar procesos de sucesión ecológica y fomentar la conectividad y funcionalidad del ecosistema a partir de la preservación de la matriz y de las áreas que sirvan de conexión entre los fragmentos.

Referencias bibliográficas

- Baptiste, A. J. (2017). *Efecto de la invasión de Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn (helecho), sobre las propiedades físico-químicas del suelo y la diversidad vegetal en el estado de Quintana Roo [Tesis de maestría, El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur)]. Repositorio Institucional - Ecosur. https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1017/1954/1/100000058338_documento.pdf
- Castro Nogueira, H. (Dir.). (2002). *Integración territorial de espacios naturales protegidos y conectividad ecológica en paisajes mediterráneos: Territorial integration of natural protected areas and ecological connectivity within Mediterranean landscapes*. Junta de Andalucía. https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/documents/20151/5395847/integracion_territorial_enp_conectividad.pdf/4b339eb9-ec00-b0df-d81d-7a4f81f94b82?t=1609244220455
- Espinal, S. y Montenegro, M. (1977). *Zonas de vida o formaciones vegetales de Colombia*. Instituto Geográfico "Agustín Codazzi".
- Flores Maldonado, J. J., Prado Navarro, A., Domínguez Orozco A. L., Mendoza, R. y González Martínez, A. I. (2008). El carrizo gigante, especie invasora de ecosistemas riparios. *Biodiversitas*, 81, 6-10. <http://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/7210.pdf>
- Gayoso, J. y Acuña, M. (1999). *Guía de conservación de paisaje*. Universidad Austral de Chile. <https://studylib.es/doc/6336342/gu%C3%ADa-de-conservaci%C3%B3n-de-paisaje>
- González Borrero, L. H. y Romero Rodríguez, A. P. (2013). *Análisis multitemporal de los cambios de la cobertura de la tierra e incidencia del cultivo de palma en el territorio del municipio de villanueva casanare* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional - Pontificia Universidad Javeriana. <https://repositorio.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/13495/GonzalezBorreroLuisHernan2013.pdf?sequence=1>
- Instituto Alexander von Humboldt [IAvH]. (1998). *Bosque seco tropical El bosque Seco Tropical En Colombia*. <http://media.utp.edu.co/ciebre/archivos/bosque-seco-tropical/el-bosque-seco-tropical-en-colombia.pdf>
- 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*. Editorial Scripto Ltda. https://www.researchgate.net/publication/303960063_LEYENDA_NACIONAL_DE_COBERTURAS_DE_LA_TIERRA_METODOLOGIA_CORINE_LAND_COVER_ADAPTADA_PARA_COLOMBIA_ESCALA_1100000
- Mas, J. F. y Correa Sandoval, J. (2000). Análisis de la fragmentación del paisaje en el área protegida "Los Petenes", Campeche, México. *Investigaciones geográficas*, (43), 42-59. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112000000300004&script=sci_arttext
- McGarigal, K. y Marks B.J. (1995). *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure* [FRAGSTATS: Programa de análisis de patrones espaciales para cuantificar la estructura del paisaje]. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. https://www.fs.fed.us/pnw/pubs/pnw_gtr351.pdf
- Millán Aguilar, O., Manzano Sarabia, M., Hurtado Oliva, M. A. y Nettel Hernández, A. (2016). ECOSISTEMAS EN TRANSFORMACIÓN: del paisaje a los genes. *Biodiversitas*, 126, 11-16. https://www.researchgate.net/profile/Marlenne_Manzano-Sarabia/publication/306375118_ECOSISTEMAS_EN_TRANSFORMACION_del_paisaje_a_los_genes/links/57bb923b08ae51eef1f3d42a/ECOSISTEMAS-EN-TRANSFORMACION-del-paisaje-a-los-genes.pdf
- Molina, G. Z. y Albarran, A. J. (2013). Análisis multitemporal y de la estructura horizontal de la cobertura de la tierra: Parque Nacional Yacambú, estado Lara, Venezuela. *Cuadernos de Geografía*, 22(1), 25-40. <https://www.redalyc.org/pdf/2818/281825518005.pdf>
- Pizano, C. y García, H. (Eds.). (2014). *El Bosque Seco Tropical en Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <http://humboldt.org.co/es/component/k2/item/529-el-bosque-seco-tropical-en-colombia>
- Ríos, C. y Rosabal, M. (2008). Potencial alelopático de bambúes tropicales. Efecto sobre la germinación y el crecimiento de cultivos tropicales. *Centro Agrícola*, 35(2), 79-84. http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V35-Numero_2/cag142081611.pdf

Identificación y evaluación de impactos ambientales para la prestación del servicio ambiental de captura de carbono en suelos de páramo en el departamento de Boyacá: Caso de estudio Páramo La Cortadera

Mónica Rueda

Resumen

Los páramos proporcionan diversos servicios ambientales dentro de los cuales se encuentran: la captura de carbono, potencial de almacenamiento y regulación hídrica y climática, conservación de la biodiversidad, oferta de hábitats para especies y escenario para la observación e investigación científica; con base en lo anterior, el objetivo de este estudio de caso fue identificar y evaluar los impactos ambientales en los medios biótico, abiótico y socioeconómico para la prestación del servicio ambiental de captura de carbono en los suelos del páramo La Cortadera bajo un esquema de Pago por Servicio Ambiental. La metodología implementada para la identificación de aspectos y la valoración de impactos ambientales fue la propuesta por la Secretaría Distrital de Ambiente (2013). En los resultados de esta investigación se identificó que la prestación del servicio ambiental de Captura de Carbono en los suelos del páramo representa, en su mayoría, un impacto positivo para el ecosistema si se abordan, principalmente, los impactos clasificados con un alto grado de importancia y significancia ambiental en el proceso de formulación de un esquema de Pago por Servicio Ambiental que contribuiría a la recuperación y conservación del páramo, aportando así alternativas para su desarrollo sostenible y beneficios para sus principales actores.

Palabras clave: captura de carbono, impacto ambiental, servicio ambiental, suelos de protección, ecosistema de páramo, incentivo ambiental.

Introducción

El páramo La Cortadera es un área protegida declarada mediante el Acuerdo 0024 de 2015, que conserva muestras representativas de diferentes formas de cobertura que incluye varios tipos de bosque y páramo; el área protegida se enmarca en el complejo de páramos Tota-Bijagual-Mamapacha. Esta área ha sido identificada por CORPOBOYACÁ como de especial importancia dentro de los ecosistemas

del departamento por su elevada recarga y regulación hídrica que abastecen principalmente las comunidades que habitan los municipios de Pesca, Toca, Tuta, Siachoque y Rondón (Convenio FUCOLDE-ANH-CORPOBOYACÁ, 2019).

Es un área importante para conservación del recurso hídrico por ser fuente de recarga del Embalse de La Copa (5°36'49" N -73°11'43" O), surtir los ríos Pesca, Jordán, Tuta, Salitre, Muche y formar parte de las cuencas de los ríos Chicamocha y Upía. Cuenta con un área protegida de 16.508,41ha, un rango altitudinal de 2.350 – 3.850 msnm y hacen parte de este los municipios de Siachoque, Toca, Pesca, Rondón y Tuta (CORPOBOYACÁ & SIRAP, 2015).

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, es necesario destacar la normativa nacional que hace referencia a la protección del ambiente, dentro de la cual está la Constitución Política de 1991 de la cual se destacan las siguientes normas que indican: artículo 8 “Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la nación”; artículo 58 “...La propiedad es una función social que implica obligaciones. Como tal, le es inherente una función ecológica...”; artículo 79 “Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines”, artículo 80 “El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados...”; artículo 334 “La dirección general de la economía estará a cargo del Estado. Este intervendrá, por mandato de la ley, en la explotación de los recursos naturales, en el uso del suelo, en la producción, distribución, utilización y consumo de los bienes, y en los

servicios públicos y privados, para racionalizar la economía con el fin de conseguir en el plano nacional y territorial, en un marco de sostenibilidad fiscal, mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes, la distribución equitativa de las oportunidades y los beneficios del desarrollo y la preservación de un ambiente sano...”. Igualmente, la Ley 99 de 1993 “Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones”, que en el artículo 1 indica que “las zonas de páramos, subpáramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos serán objeto de protección especial”, y en el artículo 4 expresa: “la utilización de los recursos hídricos, el consumo humano tendrá prioridad sobre cualquier otro uso”.

Es por lo anterior que los páramos en Colombia son reconocidos por su oferta de servicios ecosistémicos (SE) claves para el bienestar humano, dentro de los cuales se encuentran: la conservación de la biodiversidad, la provisión de hábitats para distintas especies (Rangel, 2002), la regulación hídrica, la absorción de carbono (Buytaert, 2007) y servicios culturales asociados con el uso de estos ecosistemas para actividades como el turismo y la investigación; sin embargo, la expansión de la frontera agrícola en áreas de ecosistemas estratégicos, así como la tala ilegal de bosques naturales, vienen generando grandes focos de deforestación y transformación de estos territorios poniendo en peligro inminente la biodiversidad que albergan (DNP, 2018). Adicionalmente, la variabilidad climática (fluctuaciones de las condiciones predominantes de una zona) y los fenómenos asociados al cambio climático (aumento de temperatura, diferentes regímenes de precipitaciones y nubosidad) pueden aseverar esta presión y causar mayores impactos tanto en la funcionalidad y la estructura del ecosistema como en sus aspectos sociales y culturales (Hofstede, 1987).

Foto: Corpoboyacá



Espeletia guacharaca. Foto: Wikipedia

Por las razones mencionadas, es importante proteger los ecosistemas de páramo ya que estos tienen una gran capacidad de almacenamiento y captura de carbono atmosférico a través de la retención de materia orgánica en los suelos; sumado a esto, los páramos se consideran escenarios de mitigación ante el efecto de cambio climático, especialmente mediante la reducción del gas de efecto invernadero dióxido de carbono (CO₂). Es por esto que el escenario de estudio se enfocó en los bonos de carbono (reducciones de emisiones o absorciones de Gases Efecto Invernadero – GEI, resultantes de iniciativas de mitigación, validados y verificados bajo estándares específicos o en el marco de programas de certificación. Cada crédito de carbono representa una tonelada de CO₂ equivalente reducida o removida de la atmósfera) y su contribución a la conservación y protección del ecosistema del páramo La Cortadera identificando los principales desafíos ya que en las metodologías existentes en Colombia los bonos del carbono están asociados principalmente a la biomasa arbórea y se dispone de material elaborado por entidades nacionales como el IDEAM, el Ministerio de Ambiente, el Ministerio de Agricultura y el Departamento Nacional de Planeación para la estimación de biomasa

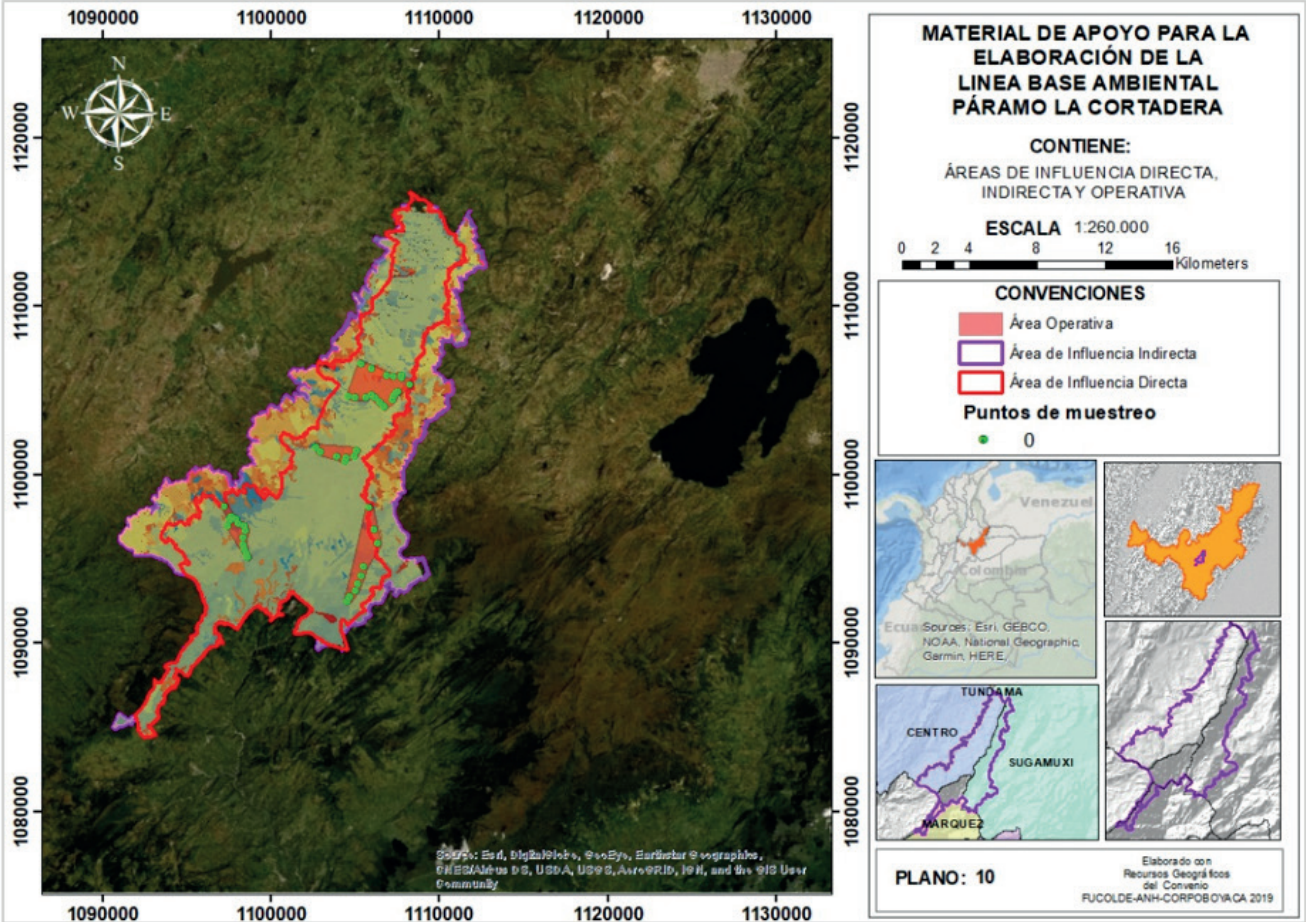
– carbono, la zonificación para plantaciones forestales con fines comerciales, metodologías para la toma de muestras y medición de carbono en el suelo, pero, actualmente, no se ha desarrollado un protocolo para la vinculación de ecosistemas estratégicos como el páramo de La Cortadera a esquemas de Pago por Servicio Ambiental.

En el presente artículo se implementó la metodología propuesta por la Secretaria Distrital de Medio Ambiente (2013) para la identificación de aspectos y la valoración de impactos ambientales de la prestación del servicio ambiental de captura de carbono en suelos del páramo La Cortadera bajo el esquema de Pago por Servicio Ambiental, con el fin de determinar si es una buena alternativa para el desarrollo sostenible de estos ecosistemas estratégicos y cuáles son los principales retos y desafíos que pueden impactar en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 6: Agua limpia y saneamiento, 13: Acción por el clima y 15: Vida de ecosistemas terrestres.

Metodología

Inicialmente, se definieron las áreas directa, indirecta y operativa de influencia de la investigación, como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Delimitación de las áreas de influencia



Fuente: Elaboración propia (2020).

A continuación, en la Tabla 1 se muestra la definición de los criterios correspondientes a la metodología de identificación de aspectos y valoración de impactos ambientales propuesta por la Secretaria Distrital de Ambiente (2013).

Tabla 1. Criterios de valoración ambiental

CRITERIOS DE VALORACIÓN	SIGNIFICADO	ESCALA DE VALOR		
TIPO DE IMPACTO	Define el sentido del cambio ambiental producido por una determinada acción del proyecto. Puede ser positivo (+) o negativo (-), en función de si mejora o degrada el ambiente actual o futuro.	(+) Mejora la calidad ambiental del entorno.	(-) Deteriora la calidad ambiental del entorno	
ALCANCE	Se refiere al área de influencia del impacto en relación con el entorno donde se genera.	1 (puntual): El Impacto queda confinado dentro del área donde se genera.	5 (local): Trasciende los límites del área de influencia.	10 (regional): Tiene consecuencias a nivel regional o trasciende los límites del Distrito.
PROBABILIDAD	Se refiere a la posibilidad que se dé el impacto y está relacionada con la "REGULARIDAD" (Normal, anormal o de emergencia).	1 (baja): Existe una posibilidad muy remota de que suceda	5 (media): Existe una posibilidad media de que suceda.	10 (alta): Es muy posible que suceda en cualquier momento.

CRITERIOS DE VALORACIÓN	SIGNIFICADO	ESCALA DE VALOR		
DURACIÓN	Se refiere al tiempo que permanecerá el efecto positivo o negativo del impacto en el ambiente. Existen aspectos ambientales que por sus características se valoran directamente con la normatividad vigente como son: Generación de ruido por fuentes de combustión externa, por fuentes de combustión interna y uso de publicidad exterior visual.	1 (breve): Alteración del recurso durante un lapso muy pequeño.	5 (temporal): Alteración del recurso durante un lapso moderado.	10 (permanente): Alteración del recurso permanente en el tiempo.
RECUPERABILIDAD	Se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial del recurso afectado por el impacto. Existen aspectos ambientales que por sus características se valoran directamente con la normatividad vigente como: vertimientos domésticos y no domésticos. Para la generación de residuos aprovechables la calificación será de 10 tanto para el impacto positivo como negativo.	1 (reversible): Puede eliminarse el efecto por medio de actividades humanas tendientes a restablecer las condiciones originales del recurso.	5 (recuperable): Se puede disminuir el efecto a través de medidas de control hasta un estándar determinado.	10 (irrecuperable / irreversible): El/los recursos afectados no retornan a las condiciones originales a través de ningún medio. 10 (Cuando el impacto es positivo se considera una importancia alta)
CANTIDAD	Se refiere a la magnitud del impacto, es decir, la severidad con la que ocurrirá la afectación y/o riesgo sobre el recurso, esta deberá estar relacionada con la "REGULARIDAD" seleccionada. Existen aspectos ambientales que por sus características se valoran directamente con la normatividad vigente como: la generación de residuos peligrosos, escombros, hospitalarios y aceites usados.	1(baja): Alteración mínima del recurso. Existe bajo potencial de riesgo sobre el recurso o el ambiente.	5(moderada): Alteración moderada del recurso. Tiene un potencial de riesgo medio sobre el recurso o el ambiente.	10(alta): Alteración significativa del recurso. Tiene efectos importantes sobre el recurso o el ambiente.
NORMATIVIDAD	Hace referencia a la normatividad ambiental aplicable al aspecto y/o el impacto ambiental.	1: No tiene normatividad relacionada.	10: Tiene normatividad relacionada.	

Fuente: (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013).

La metodología mencionada permite calcular la importancia del impacto; de acuerdo con la ecuación 1, su clasificación corresponde a alta, moderada y baja según los rangos que se muestran en la Tabla 2.

$$I = A \times P \times D \times R \times C \times N \quad (1)$$

- Donde:
- I:** Importancia del impacto ambiental
 - A:** Alcance
 - P:** Probabilidad
 - D:** Duración
 - R:** Recuperabilidad
 - C:** Cantidad
 - N:** Normatividad

Tabla 2. Rango de Importancia, según la Secretaria Distrital de Ambiente

EVALUACIÓN CUANTITATIVA Y CUALITATIVA	
RANGO	DESCRIPCIÓN
ALTA: > 125.000 a 1.000.000	Se deben establecer mecanismos de mejora, control y seguimiento.
MODERADA: > 25.000 a 125.000	Se debe revisar el control operacional.
BAJA: 1 a 25.000	Se debe hacer seguimiento al desempeño ambiental.

Fuente: (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013).

En lo relacionado con la evaluación cualitativa, la metodología hace referencia a la significancia la cual permite interpretar de forma unificada la relevancia del impacto ambiental de acuerdo con su valoración y el cumplimiento de la normatividad ambiental aplicable (Ley 1930 de 2018 “Por medio de la cual se dictan disposiciones para la gestión integral de los páramos en Colombia”) y clasifica los impactos ambientales en significativo y no significativo, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Significancia del Impacto Ambiental, según la Secretaria Distrital de Ambiente

EVALUACIÓN CUALITATIVA	
SIGNIFICATIVO	Cuando la importancia resulta moderada, alta o no cumple con la normatividad.
NO SIGNIFICATIVO	Cuando la importancia es baja.

Fuente: (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013).

Resultados de la evaluación ambiental

En el escenario con bonos de carbono se identificaron los medios y componentes ambientales susceptibles de recibir impactos en los medios abiótico, biótico y socioeconómico en el páramo La Cortadera; para esto, inicialmente se identificaron los aspectos ambientales susceptibles de causar impacto y las acciones, las cuales se pueden observar en la Tabla 4.

Tabla 4. Aspectos ambientales vs acciones identificadas en el escenario con bonos de carbono.

MEDIO	COMPONENTE	ASPECTO	ACCIÓN
ABIÓTICO	Suelos	Aumento en la materia orgánica del suelo	Captura de carbono
		Restauración de la cobertura vegetal natural	Revegetalización
	Hidrológico	Mejoramiento de la calidad del agua	Captura de carbono
	Hidrogeológico	Cambios en el uso del suelo	
	Paisaje	Conservación de la cobertura vegetal natural	Alinderramiento de áreas dentro del ecosistema de páramo para la captura de carbono
	Atmosférico	Mejoramiento de la calidad del aire	Captura de carbono

MEDIO	COMPONENTE	ASPECTO	ACCIÓN
BIÓTICO	Ecosistemas	Disminución de la incidencia de factores exógenos y endógenos al ecosistema	Vinculación del área de páramo al esquema de Pago por Servicio Ambiental (PSA)
		Aumento en la materia orgánica del suelo	Captura de carbono
		Uso sostenible de recursos biológicos	
		Estructuración de un esquema para la validación de la eficiencia de prestación de servicio ambiental de captura de carbono	Relación entre variables ambientales y sociales
SOCIOECONÓMICO	Demográfico	Formación de los actores del ecosistema de páramo	Creación de capacidad para el mantenimiento de áreas protegidas
		Comprensión de las características demográficas (edad, sexo, etnia), el estado económico (ocupación, tamaño del predio y fuente de ingresos) y el capital humano (habilidad, educación, experiencia)	Caracterización de la comunidad
	Económico	Valoración técnica y económica de las alternativas de captura	Capacidad del ecosistema para la prestación del servicio ambiental de captura de carbono
			Identificación de los recursos requeridos para monitoreo y seguimiento
		Altos costo para la evaluación de cambios en el uso del suelo	Monitoreo de suelos
		Estandarización de proyectos de PSA	Pago por servicios ambientales (PSA)
		Identificación de interesados	
		Definición y medición del servicio ambiental	Captura de Carbono
		Difícil identificación de beneficiarios	Servicio ambiental a nivel global (Captura de Carbono)
		Desarrollo de estrategias para el apoyo y capacidad para trabajar con los usos existentes de la tierra	Medios de subsistencia
		Fortalecimiento en las metodologías para la definición de Externalidades	Cambio en el uso del suelo
	Cultural	Identificación de prácticas comunitarias	Valoración social
	Político - Organizativo	Caracterización del servicio ambiental de captura de carbono	Desconocimiento de los procesos y funciones ecológicas del ecosistema de páramo
		Cumplimiento de normatividad ambiental	Generación de instrumentos de gestión ambiental
		Generación de información de calidad	
		Facilidad al acceso de la información	
		Articulación de la oferta institucional intersectorial	Vinculación del área de páramo al esquema de Pago por Servicio Ambiental (PSA)
		Aumento de la capacidad institucional	Política institucional
		Garantizar la participación y rendición de cuentas	

Fuente: Elaboración propia (2020)

La identificación de acciones, aspectos e impactos ambientales elaborada para el escenario con bonos de carbono se basó en las ventajas (aumento en la materia orgánica del suelo, restauración y conservación de la cobertura vegetal natural, disminución de la concentración de CO₂ atmosférico, disminución de la incidencia de factores exógenos y endógenos, formación de actores del ecosistema, articulación institucional

intersectorial) y desventajas (dificultad de la medición de variabilidad del área determinada para la prestación del servicio ambiental de captura de carbono debido a que el páramo es un ecosistema no-lineal, alto costo de la evaluación de cambios en el uso del suelo, difícil identificación de beneficiarios, desconocimiento de los procesos y funciones ecológicas del ecosistema de páramo) que la implementación

de dichos esquemas podría generar en el ecosistema del páramo La Cortadera en el medio abiótico, biótico y socioeconómico.

En la Tabla 5 se presentan los componentes e impactos ambientales identificados, su tipo, importancia y significancia, con el fin de estimar el estado del ecosistema natural al implementar como estrategia de desarrollo sostenible el esquema de Pago por Servicio Ambiental de captura de carbono en el suelo del páramo La Cortadera.

Tabla 5. Medios, componentes, impactos identificados y su importancia y significancia en el área de estudio en un escenario con bonos de carbono

MEDIO	COMPONENTE	IMPACTO	TIPO	IMPORTANCIA	SIGNIFICANCIA
ABIÓTICO	Suelos	Cambio en la calidad y fertilidad de los suelos	+	Baja	No Significativo
		Resistencia a la erosión hídrica y eólica	+	Baja	No Significativo
		Mejoramiento de la capacidad de resiliencia del recurso	+	Baja	No Significativo
		Disminución de la degradación del suelo	+	Baja	No Significativo
		Reducción de los conflictos del uso del suelo en áreas de páramo	+	Moderada	Significativo
	Hidrológico	Disminución de la escorrentía de los contaminantes	+	Moderada	Significativo
	Hidrogeológico	Modificación de la distribución de la precipitación entre escorrentía e infiltración	+	Moderada	Significativo
	Paisaje	Disminución de las tasas de deforestación y degradación	+	Moderada	Significativo
	Atmosférico	Disminución de la concentración de CO ₂ atmosférico	+	Moderada	Significativo
BIÓTICO	Ecosistemas	Reducción del impacto por alteraciones naturales y antrópicas	+	Baja	Significativo
		Fortalecimiento de la biodiversidad del suelo	+	Baja	Significativo
		Preservación y restauración del ecosistema	+	Moderada	Significativo
		Dificultad de la medición de variabilidad del área determinada para la prestación del servicio ambiental de captura de carbono (Páramo - Ecosistema no lineal)	-	Baja	Significativo
SOCIOECONÓMICO	Demográfico	Aumento de modelos más sostenibles que dependen de menos recursos e insumos externos	+	Baja	Significativo
		Aumento en la participación de actores en los esquemas de prestación del servicio ambiental de captura de carbono	+	Baja	Significativo
	Económico	Desarrollo económico sostenible bajo el esquema de Pagos por Servicios Ambientales (PSA)	+	Baja	Significativo
		Alta carga financiera en los esquemas de Pagos por Servicios Ambientales	-	Alta	Significativo
		Vinculación de actores del páramo a esquemas de Pagos por Servicios Ambientales (PSA)	+	Baja	Significativo
		Dificultad en la valoración económica del servicio ambiental	-	Baja	Significativo
		Pérdidas en la financiación del servicio ambiental de captura de carbono	-	Baja	Significativo
		Desarrollo económico sostenible de la población	+	Baja	Significativo
		Estandarización del esquema para la prestación del servicio de captura de carbono	+	Baja	Significativo

MEDIO	COMPONENTE	IMPACTO	TIPO	IMPORTANCIA	SIGNIFICANCIA
SOCIOECONÓMICO	Cultural	Mayor apoyo y participación de la comunidad en el esquema del servicio ambiental de captura de carbono.	+	Baja	Significativo
		Dificultad para la estructuración de proyectos bajo el esquema de Pago por Servicio Ambiental	-	Baja	Significativo
	Político - organizativo	Cambios en los mecanismos de regulación para la conservación del páramo	+	Alta	Significativo
		Aumento de información técnica para la toma de decisiones	+	Alta	Significativo
		Fortalecimiento de la aplicación de instrumentos ambientales	+	Baja	Significativo
		Mejoramiento del esquema de Pago por Servicios ambientales	+	Baja	Significativo

Fuente: Elaboración propia (2020)

Los impactos ambientales consignados en la Tabla 5 se identificaron con base en las acciones a desarrollar en el proceso de vinculación del páramo La Cortadera a un esquema de Pago por Servicio Ambiental por captura de carbono en el suelo.

A continuación, en la Tabla 6 se muestra el resumen de la evaluación ambiental para el escenario con bonos de carbono.

Tabla 6. Resumen de la evaluación ambiental para el escenario con bonos de carbono

ITEM	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
ASPECTOS	Número de aspectos	28
ACCIONES	Número de acciones	19
IMPACTOS	Número de impactos identificados	28
TIPO DE IMPACTO	Número de impactos positivos	25
	Numero de impactos negativos	5
IMPORTANCIA AMBIENTAL	Baja	20
	Moderada	6
	Alta	4
La clasificación de la importancia ambiental se realizó con base en la calificación cualitativa y cuantitativa ya fuera del aspecto o del impacto ambiental, en este caso se eligió siempre el escenario más exigente, es por ese motivo que la suma en esta clasificación es superior al número de aspectos o impactos ambientales.		
SIGNIFICANCIA AMBIENTAL	Significativo	26
	No significativo	4
Es importante resaltar, que en la evaluación ambiental los aspectos o impactos ambientales que no cumplieran con el marco normativo nacional, regional o local obtuvieron una calificación baja en el rango de importancia, pero una significancia ambiental de significativa.		

Fuente: Elaboración propia (2020)

De acuerdo con los impactos identificados (Tabla 5), se construyeron los gráficos que se muestran a continuación con el fin de ilustrar los resultados obtenidos en la evaluación ambiental.

Gráfico 1. Resultados del criterio de calificación tipo de impacto



Fuente: Elaboración propia (2020)

En el Gráfico 1 correspondiente al tipo de impacto, se observa que la evaluación ambiental de este criterio elaborada para los medios biótico, abiótico y socioeconómico resultó ser mayoritariamente positiva, lo que indica que el páramo de La Cortadera, visto como escenario de captura de carbono, aportaría al mejoramiento de la función ambiental global del ecosistema, es decir, a la prestación de otros servicios ecosistémicos de regulación, provisión y culturales.

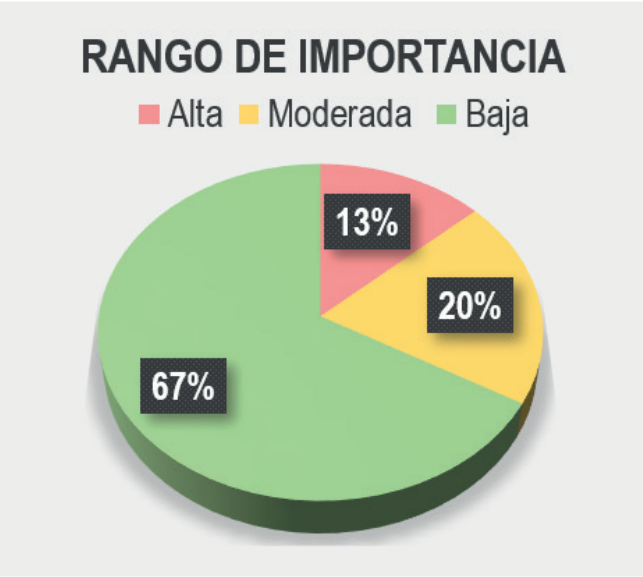
Por otro parte, en relación con los resultados de los impactos negativos (ver clasificación en la Tabla 5), estos se encuentran principalmente asociados a la dificultad de la estructuración de proyectos bajo el esquema de Pago por Servicio Ambiental, ya que el páramo es considerado como un ecosistema no lineal; por lo tanto, cuenta con múltiples variables que influyen directamente en su función ambiental y en la cuantificación y certificación de captura de carbono en las áreas determinadas, ya que requieren un monitoreo riguroso (Resolución 1447 de 2018 “Por la cual se reglamenta el sistema de monitoreo, reporte y verificación de las acciones de mitigación a nivel nacional de que trata el artículo 175 de la Ley 1753 de 2015, y se dictan otras disposiciones”), y una comprensión integrada de los cambios que

ocurren en este tipo de ecosistemas. Adicionalmente, dentro de los impactos negativos, se reconocieron: la dificultad en la identificación de beneficiarios, los altos costos para la evaluación de cambios en el uso del suelo, la dificultad en la medición de variabilidad del área determinada para la prestación del servicio ambiental de captura de carbono y las altas cargas financieras en la estructuración de esquemas de Pago por Servicio Ambiental. En relación con lo anterior, es importante mencionar que los páramos son muy vulnerables al desequilibrio ecológico provocado por factores humanos y naturales; al mismo tiempo, son una de las zonas más sensibles a los cambios climáticos de la atmósfera; por esta razón, es indispensable contar con información específica sobre la ecología, el estado de conservación o degradación de los ecosistemas, el potencial de recursos naturales presentes, las actividades socioeconómicas que allí se realizan y el impacto que ocasionan, así como su vulnerabilidad al cambio climático (Ministerio del Medio Ambiente, 2002).

De acuerdo con lo anterior, el manejo adecuado de los impactos ambientales negativos que se manifestarían en el páramo de La Cortadera es de gran importancia, ya que, sin manejo, estos se pueden potencializar y ser vistos como desafíos a la hora de realizar la valoración económica, jurídica y ambiental del servicio de captura de carbono; sin embargo, contar con la línea base ambiental, la cual suministra información básica para la caracterización del estado actual en términos de cantidad, disponibilidad y calidad de los recursos naturales y del medio ambiente y la zonificación en el escenario actual; y con bonos de carbono, cuyo objetivo es establecer áreas o zonas que conforman espacios claramente delimitados donde interactúan variables abióticas, bióticas y socioeconómicas que definen las limitaciones de uso y la protección de los recursos naturales, se fundamenta en la determinación de la importancia y la sensibilidad ambiental del área, son dos herramientas que permitirán observar

los cambios que ha sufrido el ecosistema y comprender e integrar las variables necesarias para la prestación del servicio ambiental. Continuando con los resultados de la evaluación, en la Tabla 5 se pueden observar los impactos y su rango de importancia en el cual se determinó que el mayor porcentaje pertenece a una importancia baja (67%), seguido de la importancia moderada (20%) y, por último, la importancia alta (13%).

Gráfico 2. Resultados del criterio de calificación rango de importancia



Fuente: Elaboración propia (2020)

Los resultados del criterio de calificación rango de importancia permiten identificar los impactos que requieren mayor atención y un especial manejo en un escenario con bonos de carbono. En este caso, se observó que debido a que la mayoría de los impactos ambientales son positivos, su rango de importancia es mayoritariamente baja. Dentro de los impactos que presentan un rango de importancia alta se encuentran: la carga financiera en la formulación de un esquema de pago por servicio ambiental, los cambios en los mecanismos de regulación para la conservación del páramo y el aumento de información técnica para la toma de decisiones. Estos impactos están asociados principalmente al componente político

– organizativo del medio socioeconómico para el desarrollo de estrategias que se concentren en la recuperación del ecosistema estratégico, debido a que el proyecto requiere una buena estructuración de las entidades que están a cargo del páramo de La Cortadera. En el Gráfico 3 se muestran los resultados correspondientes al criterio de calificación de la significancia.

Gráfico 3. Resultados del criterio de calificación significancia



Fuente: Elaboración propia (2020)

En el gráfico anterior, se puede observar que la mayoría de los impactos identificados para el escenario con bonos de carbono corresponde a significativo, clasificación esta que permite determinar qué acciones, aspectos e impactos ambientales no se encuentran reglamentados, es decir que no cumplen con la normatividad. En este caso, como se mencionó anteriormente, la captura de carbono está enfocada a la biomasa arbórea en donde se han diseñado metodologías para su medición y la zonificación de áreas aptas para tal fin, lo cual deja algunos vacíos para el desarrollo de proyectos de captura de carbono en el suelo bajo el esquema de Pago por Servicio Ambiental, razón por la cual algunos impactos positivos y negativos resultan calificados cualitativamente como significativos.

En los impactos calificados como no significativos se observó que los componentes del medio abiótico son los que abarcan mayoritariamente esta clasificación, ya que están relacionados con el componente suelo, los cuales son: el mejoramiento de la capacidad de resiliencia, el cambio en la calidad y fertilidad y la disminución de su degradación, en donde el aumento de la materia orgánica en el suelo por la captura de carbono tiene directamente un impacto positivo en el recurso, y en donde se reglamenta el uso del suelo bajo la Política para la Gestión Sostenible del Suelo, los Esquemas de Ordenamiento Territorial de los municipios que hacen parte del ecosistema y el alindamiento del páramo La Cortadera como área protegida, lo cual contribuye a la recuperación del ecosistema y de la calidad del recurso mencionado.

Conclusiones

- Para el escenario con bonos de carbono, la evaluación ambiental mostró que, en general, la prestación del servicio ambiental es una buena estrategia para la recuperación del ecosistema. Sin embargo, inicialmente se debe dar prioridad a los planes de manejo de los impactos negativos, de alta importancia y significativos debido a que los páramos son simbióticos de múltiples atributos biofísicos, y la prestación del servicio ambiental de captura de carbono puede verse afectada por su alta sensibilidad al cambio climático.
- Si bien en el escenario con bonos de carbono se presentan impactos negativos, estos son principalmente asociados a la oportunidad de mejora en la articulación interinstitucional de las entidades con jurisdicción en el páramo La Cortadera, las acciones de trabajo conjunto con las organizaciones comunitarias y la definición de objetivos para la conservación y la preservación del ecosistema. Adicionalmente, los impactos negativos requieren la unificación de esfuerzos entre actores con interés en el ecosistema, así como prestar especial atención



Foto: Mauricio Ruanero

- en la priorización del manejo de las acciones que generan impactos negativos en el escenario actual (expansión de la frontera agrícola, expansión de la frontera agrícola, monocultivos, cambio de coberturas vegetales nativas, malas prácticas en actividades agropecuarias y licenciamiento para la actividad de minería, entre otras actividades) que afectan la función ambiental de recursos como el suelo, en este caso, de gran importancia para la prestación del servicio ambiental de captura de carbono, con el fin de evitar su potencialización y disminuir las dificultades en el proceso de certificación de captura en el suelo para su valoración económica, ambiental y jurídica.
- En el escenario con bonos de carbono es de gran importancia considerar la susceptibilidad del ecosistema ante la presión antrópica de los recursos naturales, ya que en el desarrollo e implementación de proyectos de captura se pueden ver alterados los resultados esperados en cuando a la aptitud del suelo en el área de estudio. Es importante conocer cómo se comporta el ecosistema con el fin de relacionar las variables y certificar la captura de carbono en el suelo del páramo.
 - El desarrollo de estrategias para la vinculación del área protegida del páramo La Cortadera a un esquema de pago por servicios ambientales permitirá conservar la cobertura vegetal natural, fortalecer la aplicación de instrumentos ambientales de comando y control, y reducir el impacto por disturbios naturales.

Referencias

- Albarracín, O. (2016). *Análisis de los pagos por servicios ambientales como una herramienta para el fortalecimiento de la gestión ambiental en la Amazonía colombiana. El caso del Parque Nacional Natural Cahuinari*. Bogotá D.C. Universidad Nacional de Colombia.
- AMAR AS. (2009). *Diagnóstico, evaluación y estado actual de las especies de páramo que hacen parte del páramo de Cortadera en los municipios de Tuta, Pesca, Toca y Siachoque, departamento de Boyacá*. Tunja: Corporación Autónoma Regional de Boyacá - Asociación para el mejoramiento del Medio Ambiente, de los Recursos Naturales y para la Activación del Desarrollo Social - Comunitario. Subdirección de Planeación y Sistemas.
- Arboleda, J. (2008). *Manual de evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades*. Medellín - Colombia.
- Ardon et al. (2003). *Experiencia de Pago por Servicios Ambientales (PSA) de la Junta Municipal de Agua del Municipio de Campamento, Honduras*. Honduras: Programa de Agricultura Sostenible en Laderas de América Central Corredor Biológico Mesoamericano.
- Barrera, H., & Monroy, J. (2007). Análisis del impacto de la explotación bovina sobre el ecosistema del páramo La Cortadera - Toca Boyacá. Tunja.
- Blundo, C., Bax, V., Quintero, M., García, G., & Perez, L. (2018). *The different dimensions of livelihood impacts of Payments for Environmental Services (PES) schemes: A systematic review*. Ecological Economics.
- Brissio, P. A. (2005). *Evaluación preliminar del estado de contaminación en suelos de la provincia del Neuquén donde se efectúan actividades de explotación hidrocarbúfera*. Retrieved from <http://www.tesis.bioetica.org/pab2-3.htm>
- Burbano. (2010). El suelo al servicio de la sociedad y su rol en el contexto de los cambios globales. *Revista Tendencias*, 53-62.
- Buytaert W. (2002). *Impact of land use changes on the hydrological properties of volcanic ash soils in South Ecuador*.
- Buytaert, W. (2007). *The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean paramo*. Forest Ecology and Management.
- Cardoso, H. (2018). DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE USO MAYOR DE LOS SUELOS CON FINES AGRÍCOLAS DEL SECTOR AHUJADERO CONCHUCOS - ANCASH - PERÚ 2017. CHIMBOTE - PERÚ.
- CEEP, C. d. (2014). Caracterización socioeconómica y cultural del complejo de páramos Tota-Bijagual-Mamapacha. Pontificia Universidad Javeriana y Universidad del Rosario.
- Chimner y Karberg. (2008). Long-term carbon accumulation in two tropical mountain peatlands, Andes Mountains, Ecuador.
- Colmet-Daage et al. (1967). *Caractéristiques de quelques sols d'Equateur dérivés de cendres volcaniques : 1ère partie Essai de caractérisation des sols des régions tropicales humides*.
- Conesa, V. (1995). Guía Metodológica para la evaluación del impacto Ambiental. .
- Convenio FUCOLDE-ANH-CORPOBOYACÁ. (2019). *Diagnostico como insumo para el Plan de Manejo del PNR Cortadera y su área de influencia en el complejo del páramo Tota-Bijagual-Mamapacha*. Tunja.
- CORANTIOQUIA & HOLOS. (2014). *Delimitación de las áreas de páramo en la jurisdicción de CORANTIOQUIA y definición de las estrategias de planificación y conservación*. Medellín : HOLOS - Consultorias y Asesorías Ambientales .
- CORPOBOYACÁ. (2006). *PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ALTO CHICAMOCHA*. Tunja.
- CORPOBOYACÁ. (2007). *Formulación Plan de Ordenamiento y Reglamentación del Uso del Recurso Hídrico de la Corriente Principal de la Cuenca Alta del Río Chicamocha*. Tunja.
- Corpoboyacá. (2015). *Elementos del medio natural - Capítulo II*.
- CORPOBOYACÁ, & SIRAP. (2015). "CONSOLIDACIÓN DE LA PROPUESTA DE DECLARATORIA DEL ÁREA PROTEGIDA DEL PÁRAMO DE CORTADERA". In CORPOBOYACÁ.
- Cortés. (2004). Suelos colombianos una mirada desde la academia. Colecciones. Bogotá Colombia: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Recursos Naturales.
- Dinerstein et al. . (1995). *A Conservation Assessment of the Terrestrial Ecoregions of Latin America and the Caribbean*. Washington: WWF-The World Bank.
- Departamento Nacional de PlaneaciónDNP. (2018). *Pago por Servicios Ambientales*. Bogotá D.C: Departamento Nacional de Planeación.
- Departamento Nacional de Planeación DNP. (2018). *Pago por Servicios Ambientales*. Departamento Nacional de Planeación .
- Engel, S. (2016). *The devil in the detail: a practical guide on designing payments for environmental services*. International Review of Environmental and Resource Economics.
- Fals-Borda. (2006). El hombre y la tierra en Boyacá, bases sociológicas para una reforma agraria. Universidad pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- FAO. (2002). *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra*. Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (2012). *Evaluación del impacto ambiental*. Roma : ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA .
- García Castillo. (2005). Plan de Manejo Ambiental Páramo de Cortadera. Tunja: CORPOBOYACÁ.
- García, A. (2018). *Percepción de las comunidad de los pagos por servicios ambientales como mecanismos de conservación de las fuentes hídricas: estudio de caso comunidades campesinas en la cuenca Las Cruces en el municipio de San Vicente de Chucurí, departamento de Santander*. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia - Instituto de Estudios Ambientales IDEA.
- García, L. (2012). *Propuesta de una estrategia para la conservación del páramo de Santa Inés*. Envigado: Escuela de Ingeniería de Antioquia .
- Gutiérrez, H. (2001). Vulnerabilidad de las coberturas vegetales de Colombia: aproximación a un modelo para la evaluación de la vulnerabilidad de las coberturas vegetales de Colombia ante un posible cambio climático utilizando SIG.
- Hector J. Barrera C. & Juan C. Monroy H. . (2007). *Análisis del impacto de la explotación bovina sobre el ecosistema del páramo La Cortadera, Toca Boyacá*. Tunja.
- Hofstede R. (2001a). *Los páramos del Ecuador. Particularidades problemas y perspectivas*. Quito: Abya Yala.
- Hofstede, R. (1987). *Ecología basada en zonas de vida*. San José - Costa Rica.
- HOFSTEDE, R. (1988). Geografía, ecología y forestación de la Sierra Alta del Ecuador. Quito: Abya-Yala.
- Hofstede, Robert et. al. (2014). *Los páramos Andinos ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo*. Quito, Ecuador: UICN.
- Holdridge, L. (1987). *Ecología basada en zonas de vida*. San José - Costa Rica.
- Humboldt & CORPOBOYACÁ. (2017). Recomendación para la delimitación, por parte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, del Complejo de Páramos Tota - Bijagual - Mamapacha a escala 1:25.000. Bogotá D.C.
- Humboldt, & Corpoboyacá. (2014). Caracterización socioeconómica y cultural del Complejo de Páramos Tota-Bijagual-Mamapacha en jurisdicción de Corpoboyacá con énfasis en caracterización de actores, análisis de redes y de servicios ecosistémicos. In Humbolt, & Corpoboyacá. Bogotá D.C.
- Malagón & Pulido. (2000). *Colombia diversidad biótica III. La región de vida paramuna de Colombia*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Washington: Island Press.
- Minambiente. (2012). *Política nacional para la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémico*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). Bogotá, D.C.: Colombia.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2002). *Programa para el Manejo Sostenible y Restauración de Ecosistemas de Alta Montaña colombiana*. Bogotá D.C.
- Muradian, R., Corvera, P., & Kosoy, N. (2010). *Reconciling theory and practice: An alternative conceptual framework for understanding payment for environmental service*. Ecological Economics 69.
- Ordoñez, A. (1999). *Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán*. Santiago - México: Instituto Nacional de Ecología - SEMARNAP.
- PGAR. (2009). Plan de Gestión Ambiental Regional 2009-2019. Tunja.
- POMCA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ALTO CHICAMOCHA. (2016). ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ALTO CHICAMOCHA - NSS (2403-01).
- Pontificia Universidad Javeriana & Universidad del Rosario. (2014). *CARACTERIZACIÓN SOCIOECONOMICA Y CULTURA DEL COMPLEJO DE PÁRAMOS TOTA - BIJAGUAL - MAMAPACHA*. Centro de estudios en Ecología Política. CEEP.
- Poulenard. (2000). *Les sols des paramos d'Equateur sur couverture pyroclastique, diversité, génèse et propriétés physiques. Disertación de Ph.D*. Nancy: Universidad Henry Poincare.
- Poulenard J. (2000). *Les sols des paramos d'Equateur sur couverture pyroclastique, diversité, génèse et propriétés physiques. Disertación de Ph.D*. Nancy: Universidad Henry Poincare.
- Procuraduría General de la Nación. (2007). Informe preventivo: situación de los páramos en Colombia frente a la actividad antrópica y el cambio climático. Bogotá D.C.
- Rangel. (2000). *Colombia diversidad biótica III. La región de vida paramuna de Colombia*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Rangel. (2002). *Biodiversidad en la región del páramo: con especial referencia a Colombia*. Congreso Mundial de Páramos.
- Rangel, O. (2002). Biodiversidad en la región del páramo: con especial referencia a Colombia. Congreso Mundial de Páramos. Paipa: Congreso Mundial de Páramos - MMA, CAR, IDEAM y Colombia.
- REYES, P. (1996). *El páramo un ecosistema de alta montaña. En Biblioteca Virtual banco de la República*. Retrieved from <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/faunayflora/paramo/indice.htm>
- Robert, M. (1996). *Le sol: interface dans l'environnement, ressource pour le développement*. . Paris.
- Rodríguez, A., & Aranguren, N. (2014). *Comunidad planctónica de un embalse con alta tensión ambiental: La Playa, cuenca alta del río Chicamocha (Tuta, Boyacá), Colombia. Biota Colombiana*, 95-110.
- Rodríguez, K., & Robayo, J. (2017). *Contextualizing context in the analysis of payment for ecosystem services*. Ecosystem services.
- Rodríguez, M., Uribe, E., & Carrizosa, J. (1996). *Instrumentos económicos para la gestión ambiental en Colombia*. Bogotá D.C: FESCOL & CEREC.
- Rojas, J. (2011). *El Pago por Servicios Ambientales como alternativa para el uso sostenible de los servicios ecosistémicos de los páramos*. Revista del Doctorado Interinstitucional en Ciencias Ambientales.
- Rozo, Y. (2017). *Pago por servicios ambientales como alternativa para la conservación del servicio ambiental hídrico provisto por el Páramo de Rabanal*. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia .
- Sandoval, A. (2018). *Pagos por servicios ambientales: una aproximación desde el enfoque de los sistemas socio-ecológicos*. Santiago de Cali: Universidad del Valle - Facultad de Ciencias Sociales y Económicas.
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2013). Diligenciamiento de la Matriz de Identificación de aspectos y valoración de impactos ambientales. Bgotá D.C.
- Tapia, F., & Villavicencio, P. (2007). *Uso de biofiltros para mejorar la calidad del agua de riego. Proyecto FONSA: Evaluación de biofiltros para reducir la contaminación difusa en aguas de riego de las regiones VI y VII. Santiago de Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias*.
- Thomas Van derHammen., José D. Pabón C., Hilda Gutiérrez & Juan C. Alarcón. (s.f.). *El cambio global y los ecosistemas de alta montaña de Colombia*.
- UNAD. (2010). *Ecosistemas colombianos según Holdridge*. Retrieved from https://www.academia.edu/25665775/Ecosistemascolombianos_131101170340_phpapp
- Winckell et al. (1991). *Evolution du modèle quaternaire et des formations superficielles dans les Andes de l'Equateur : 1. Le volcanisme pyroclastique récent*.

Aprovechamiento de estiércol de bovino en fabricación de papel como método de producción más limpia

María Angelica Chávez Ferro
Karla Yiceth Charry Perdomo



Resumen

Esta investigación surgió de la necesidad de implementar estrategias de aprovechamiento de materias primas de forma eficiente y amigables con el medio ambiente, para así buscar y/o promover una sociedad sostenible por medio de una producción más limpia.

Como objeto y alcance de la investigación se establecieron la reutilización y el aprovechamiento de estiércol de bovino como agente base en la producción de papel sostenible, teniendo en cuenta que la industria papelera es generadora de daños medioambientales, puesto que la tala excesiva de árboles (deforestación) pone en riesgo la biodiversidad y el equilibrio de los ecosistemas.

La investigación se desarrolló con una metodología que generó eficiencia productiva y se impulsó la utilización de trabajos de producción más limpia empleando cambios en la utilización de materias primas aprovechables; de igual forma, y con el fin de dar a conocer el producto a personas ajenas al tema, se realizó una encuesta a 100 personas entre los 18 y 60 años de edad, la cual estableció un alto nivel de satisfacción por el grado de aceptación que generó el proyecto.

Palabras claves: celulosa, desarrollo sostenible, estiércol, inventario del ciclo de vida, materia prima, papel artesanal, producción más limpia, reutilización.

Introducción

En la actualidad, los impactos o daños más significativos que han impactado en la Tierra están sujetos a todas las actividades del hombre: el cambio climático, la alta contaminación en los mares, océanos, ríos, la extinción de las especies por daños a los ecosistemas, entre otros, están relacionados con las alteraciones que generan los seres humanos buscando su desarrollo (Barreto, 2005).

Una de las actividades que más impactos genera en recursos como el suelo, agua y la biodiversidad es la ganadería, puesto que su ampliación y desarrollo conllevan a la destrucción de ecosistemas y alteraciones en el suelo y recursos hídricos, generando un mayor efecto en el ambiente (Finzi, 2019). Igualmente, es importante tener en cuenta que la producción de ganado es responsable del

18% de las emisiones de gases que producen el efecto invernadero, entre ellos gas metano, óxido nitroso y dióxido de carbono, siendo esta una de las causas principales de los problemas ambientales más apremiantes del mundo como el calentamiento global (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2013).

Uno de los principales problemas de las explotaciones ganaderas radica en la mala disposición final y la falta de información para la obtención de un tratamiento ideal para el estiércol, el cual se ha limitado de forma tradicional al simple lavado de los corrales, utilizando grandes cantidades de agua las cuales, finalmente, se vierten a las fuentes hídricas causando un alto grado de contaminación debido a su contenido de materia orgánica y microorganismos que conllevan, entre otros procesos, a la disminución del oxígeno disponible, al aumento de contenidos de amonio en el agua y una gran afectación de la biota acuática, amenazando de igual forma, la vida terrestre al ser consumida por personas, animales y plantas (ACPA, 2009).

Debido a esto, se estableció que la producción de papel podría ser un claro ejemplo en la implementación de los principios de producción más limpia, convirtiéndose en una alternativa de uso para el estiércol de bovino como una mitigación al daño ambiental que se ha venido generando a través de los años (Escamilla, 2015), ya que el tema de producción más limpia es una herramienta de gestión ambiental, económica y social, desarrollada con el fin de establecer parámetros de consumo y desarrollo sostenible, que permitan a los diferentes actores de la sociedad nacional “reducir la contaminación, conservar los recursos, favorecer la integridad de los bienes y servicios y estimular el uso sostenible de la biodiversidad como fuente de competitividad empresarial y de calidad de vida” (Londoño, 2012). Por tanto, el uso alternativo de la madera, dado el incremento en la deforestación para la producción de

papel, lo convierte en un elemento importante y viable para la disminución de los problemas ambientales como la reducción de la producción de oxígeno, regulación climática, entre otros, como consecuencia de la desaparición de la capa vegetal arbórea (Gonzales, 2016; Wang, 2021).

En el año 2006, la BBC organizó un concurso mundial y otorgó el primer lugar a la empresa MAXIMUS, de Sri LANKA, por el proceso de fabricación de papel a base de estiércol de animales (Maximus, 2006).

De esta innovadora propuesta, nace en el año 2007 una empresa llamada *Poopopaper*, ubicada en Tailandia, la cual en la actualidad es pionera en la fabricación de papel a base de excremento de diferentes animales vegetales como elefantes, bovinos, caballos, alces, pandas, burros, entre otros (Poopopaper).

En cuanto a la fabricación de papel de origen vegetal, se han obtenido excelentes resultados con el procesamiento del vástago de plátano, cáñamo, algodón, cabuya, arroz, eucalipto, entre otros (Prado Martínez, 2012; Saval, 2012; Delgado Aguilar, 2015).

Teniendo en cuenta lo anterior, el alcance del presente estudio fue probar el estiércol de bovino como agente base en la fabricación de un papel artesanal, como método de producción limpia y así, ofrecer alternativas de reutilización de materias primas, evitando el inadecuado uso de los residuos de la actividad ganadera con el fin de obtener un producto de calidad, determinándose las propiedades físicas del papel y así, contribuir con uno de los pilares más importantes del desarrollo como es la sostenibilidad en la sociedad.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio inició en la granja experimental de la Corporación Universitaria del Huila [Corhuila], ubicada entre la vía Neiva-Rivera, en donde se realizó a recolección y/o extracción del material

biológico: estiércol de bovino. La granja cuenta con ganado bovino, corrales y grandes pasturas. La fase de experimentación fue ejecutada en las instalaciones del laboratorio de limnología – Corhuila, en Neiva, Huila.

Recolección y preparación de estiércol:

La obtención del material biológico se realizó mediante recolección directa con una pala y bolsas negras, en la zona de corrales y pastizales de la granja experimental. Luego, se trasladó al laboratorio de Corhuila en donde se aplicó bicarbonato de sodio para neutralizar el olor. Se procedió a realizar la limpieza del material con el fin de retirar todo tipo de elementos innecesarios tales como rocas, insectos y plantas. Para obtener una esterilización más profunda, el material fue hervido en una autoclave perteneciente al laboratorio durante 2 horas 30 minutos, y así neutralizar totalmente el olor del excremento y la eliminación de las rocas que no lograron ser retiradas de forma manual debido a su tamaño

Procedimiento para la elaboración del papel

La elaboración del papel se realizó de la siguiente manera:

Papel Artesanal Tipo 1: se utilizaron 3 kg de estiércol de bovino debidamente esterilizado y con 3.5 litros de agua se procedió a triturar el material en una licuadora durante 3 minutos, y se obtuvo así la primera mezcla homogénea; seguidamente, se vertió la mezcla en una tina de plástico y se adicionaron 4 litros de agua.

Papel Artesanal Tipo 2: se utilizaron 4 kg de estiércol de bovino y 0,8 kg de papel reciclado equivalente al 20% de la cantidad de estiércol mencionado. Se procedió a licuar el estiércol con 4.5 litros de agua. Se realizó el rasgado y picado de papel reciclado y posteriormente se licuó con 3.5 litros de agua; las dos mezclas homogéneas se vertieron en una tina de plástico con 4 litros de agua.

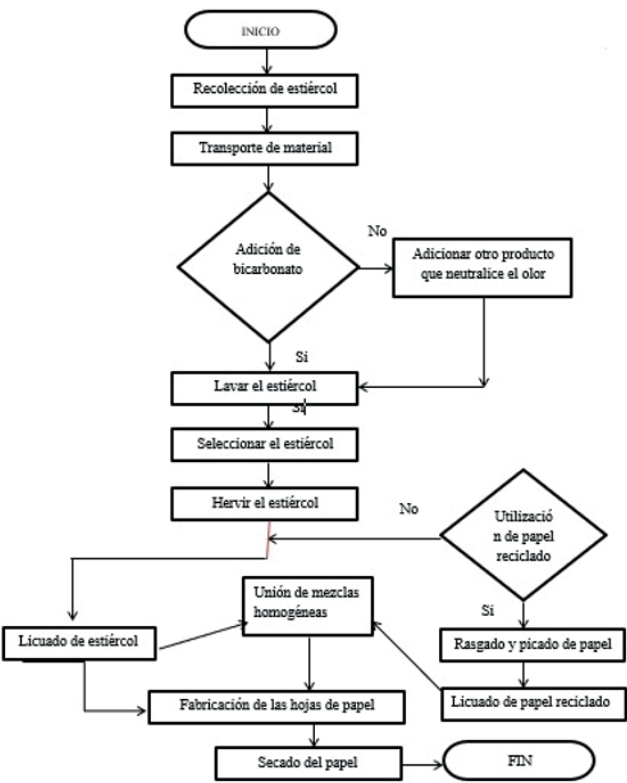
Papel Artesanal Tipo 3: se utilizaron 2,5 kg de

estiércol de bovino y 2.5 kg de papel reciclado, los cuales fueron licuados y depositados en la tina, tal y como se menciona en la elaboración de papel artesanal Tipo 2.

Luego de tener las mezclas homogéneas en la tina, se introdujo una malla mosquitera de 21 cm x 14,8 cm correspondiente a la medida de papel Formato A5, y con leves movimientos se recolectó el material sobre la malla dando forma a la hoja; posteriormente, se utilizó tela 100% algodón sobre la parte superior de la malla y con la ayuda de un rodillo y movimientos uniformes se fue deshidratando la mezcla.

Para el secado, se procedió a retirar lentamente la mezcla que se encontraba adherida a la tela 100% algodón y se dejó expuesta al aire libre durante 2 días (Figura 1).

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso del proceso de elaboración de papel a base de estiércol



Fuente: Charry y Chávez (2019).

Evaluación de la calidad del papel artesanal

Se comparó la calidad de los productos obtenidos mediante cinco parámetros propuestos, adaptados a las necesidades del estudio:

- Flexibilidad: es medida a través de la resistencia de la hoja al ser doblada; una hoja de papel que presente un alto grado de flexibilidad es menos rígida y, casi siempre, es sensible a altas o bajas temperaturas; en cambio, un papel que presente un grado de flexibilidad bajo, al ser doblado será más rígido.
- Calidad de la superficie: se determinó por medio del tacto si la superficie de la hoja era lisa o rugosa, con el fin de determinar su calidad.
- Gramaje: el peso de la hoja se registró con la ayuda de una balanza debidamente calibrada y se expresó en gr/m2.
- Grosor: se registró la distancia de las dos superficies del papel con la ayuda de un micrómetro.
- Volumen específico: se obtuvo mediante la fórmula matemática $Volumen = \text{grosor} / \text{gramaje}$.

Análisis del inventario del ciclo de vida del producto

Se realizó un análisis de Inventario del Ciclo de Vida [ICV] para el producto, con el fin de obtener claridad sobre las entradas, salidas e impactos ambientales que pudo generar la fabricación del papel artesanal (NTC, 2007).

- Definición de objetivos y alcance: se estableció la categoría del producto, co-productos, resultados y procesos unitarios necesarios en la fabricación del papel.
- Inventario del ciclo de vida: se realizó la recolección de datos y la cuantificación de las entradas y las salidas.
- Interpretación: se analizó la totalidad de la información recopilada.

Aceptación del papel

Se indagó sobre la aceptación del producto en la comunidad por medio de 100 encuestas a personas entre los 18 y 60 años, en diferentes puntos del municipio de Neiva tales como las instalaciones de Corhuila y barrios Las Brisas y Santa Inés.

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA (CORHUILA)
FACULTAD DE INGENIERIA – PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL
FABRICACIÓN DE PAPEL POR MEDIO DE LA TRANSFORMACIÓN DEL ESTIÉRCOL DE BOVINO COMO METODO DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA

Autores: MARÍA ANGÉLICA CHÁVEZ FERRO
Director: KARLA VICETH CHARRY PERDOMO
PAULA MARTÍNEZ SILVA Bióloga MSc Universidad Nacional de Colombia

Este es un proyecto basado en la implementación de una metodología de producción más limpia, el cual se llevará a cabo con la elaboración de un papel artesanal, utilizando como materia prima el estiércol de bovino.

¿Con qué frecuencia utiliza hojas de papel?
Frecuentemente ____ Poco frecuente ____ Nunca ____

¿Contribuye usted al cuidado del medio ambiente reciclando papel?
Si ____ No ____

¿Qué piensa de la implementación del estiércol de bovino para la producción de papel artesanal?
Muy interesante ____ Poco interesante ____ No me interesa ____
Porque: _____

¿Utilizaría el papel artesanal, elaborado a base de estiércol de bovino?
Si ____ No ____

Teniendo en cuenta la materia prima utilizada para la elaboración del producto, ¿cuánto estaría dispuesto(a) a pagar por una hoja de papel artesanal?
\$50 ____
\$100 ____
Más de \$500 ____
No estaría dispuesto(a) a pagar ____

¿Estaría dispuesto(a) a cambiar el papel industrial por papel artesanal?
Si ____ No ____

¿Recomendaría la utilización del papel artesanal?
Si ____ No ____

Seleccione, a continuación, las propiedades que cree usted son más importantes en una hoja de papel:
Color ____
Olor ____
Textura ____
Precio ____
Material ____

¿Está de acuerdo con el aprovechamiento de estiércol bovino y su implementación en producciones más limpias?
- Si ____ No ____
- Porque: _____

¿Considera que la utilización del estiércol de bovino para la producción de papel artesanal afecta la comercialización del producto?
- Si ____ No ____
- Porque: _____

¿Considera usted que la presentación del papel artesanal influye al momento de adquirir el producto?
- Si ____ No ____
- Porque: _____

¿Cree usted que es importante que las empresas, a nivel Nacional e Internacional, implementen el uso de papel artesanal en sus actividades?
- Si ____ No ____

"Reciclar no es una obligación, es SU responsabilidad. Use PAPEL ARTESANAL"

Fuente: Encuesta, Charry & Chávez. (2019)

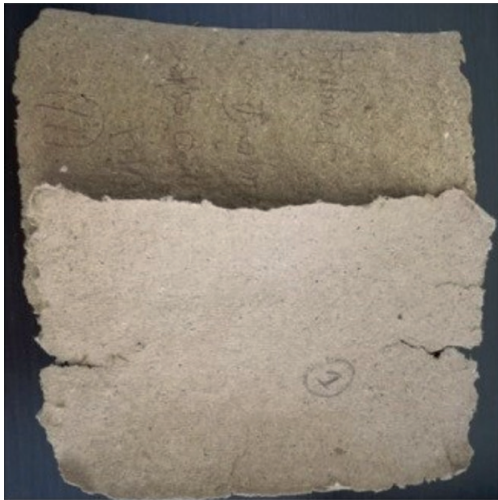
Resultados y Discusión

Elaboración del papel a base de estiércol

Para la elaboración de los tres tipos de papel artesanal se recolectaron aproximadamente 30 kg de estiércol de bovino, material que fue recogido con pala desde los pastizales y los corrales de la granja experimental Corhuila, sede Rivera. Fueron empleadas aproximadamente 2 libras de bicarbonato de sodio, suficientes para neutralizar el olor del material biológico y aportar al secado del mismo. La limpieza del estiércol fue realizada de forma manual.

Con tamaño uniforme de formato A5 se obtuvieron: 5 hojas de papel artesanal tipo 1; 9 hojas de papel artesanal tipo 2; y 5 hojas de papel artesanal tipo 3.

Figura 1. Papel artesanal tipo 1



Fuente: Charry y Chávez. (2019)

Figura 2. Papel artesanal tipo 2



Fuente: Charry y Chávez. (2019)

Figura 3. Papel artesanal tipo 3



Fuente: Charry y Chávez. (2019)

Evaluación de la calidad del papel artesanal:

Teniendo en cuenta los cinco criterios definidos para la evaluación de la calidad del papel artesanal obtenido, se determinó:

Tabla 1. Criterios de Evaluación Papel Artesanal

CRITERIOS	PAPEL ARTESANAL 1	PAPEL ARTESANAL 2	PAPEL ARTESANAL 3
Flexibilidad	Poca	Alta	Alta
Textura	Muy rugoso	Rugoso	Baja rugosidad
Gramaje (gr/cm2)	0,2 gr/cm2	0,11 gr/cm2	0,13 gr/cm2
Grosor (cm)	0,072 cm	0,062 cm	0,017 cm
Volumen (m/gr)	0,36 m/gr	0,56 m/gr	0,13 m/gr

Fuente: Charry y Chávez. (2019)

A nivel general se puede decir que:

El papel artesanal **tipo 1** no fue del todo satisfactorio puesto que se fracturó con gran facilidad, no fue flexible ni de buena calidad, no se prestó para ningún tipo de actividad de escritura, su textura fue muy rugosa; fue el papel que mayor grosor y gramaje presentó y su color fue oscuro.

El papel artesanal **tipo 2** evidenció una gran mejora en comparación con el papel artesanal tipo 1 en lo que respecta a calidad y flexibilidad, puesto que no se fracturó con facilidad, su color

mejoró significativamente gracias a la presencia del papel reciclado y se prestó para elaborar trabajos de escritura; sin embargo, su textura fue rugosa lo cual hizo que presentara un cierto grado de dificultad al escribir con un lapicero de punta fina.

El papel artesanal **tipo 3** arrojó resultados mucho más favorables, puesto que presentó mayor calidad en cuanto al color, fue más flexible, no se fracturó fácilmente y, aunque tenía cierto grado de rugosidad, se logró escribir con lapicero de punta fina con mayor facilidad.

Análisis del inventario del ciclo de vida

El objetivo era conocer los impactos ambientales generados y establecer si el papel artesanal obtenido pertenecía a una producción más limpia según la norma ISO 14040 (NTC, 2007).

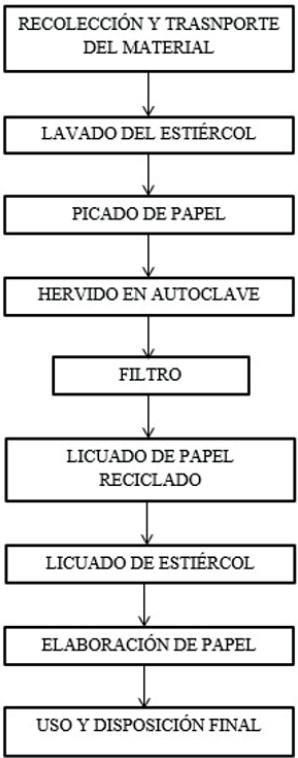
Como alcance, se obtuvieron 19 hojas funcionales en formato A5, de tres tipos de papel artesanal diferentes dada su composición. El producto es una alternativa ambiental perteneciente a la categoría de producción más limpia, como co-producto del compostaje y nueve procesos unitarios (Figura 2).

Tabla 2. Inventario del Ciclo de vida del papel artesanal

PROCESO	ENTRADA	SALIDA
Recolección y transporte	Materia Prima (30 kg de estiércol, 2 libras de bicarbonato de sodio y papel reciclado), 2 pares de guantes de latex, 2 tapabocas, 3 bolsas plásticas, 2 baldes, uso de vehículos de servicio público	Emisiones de gases CO2 (Transporte en vehículos), Emisiones de olores provenientes del excremento, 30 kg de estiércol de bovino.
Lavado de estiércol	4 Pares de guantes de latex, 2 tapabocas, 12 kg de estiércol de bovino, 12 litros de agua, 1 pinza, 1 bandeja, 2 baldes, 2 batas de laboratorio	8 litros de agua con residuo de excremento de bovino, rocas, insectos
Picado de papel	3,5 kg de papel reciclado	3,5 kg de papel picado
Hervido en autoclave y filtro	10 litros de agua, 10 kg de estiércol de bovino, Autoclave, energía, guantes industriales, 2 batas de laboratorio, 2 tapabocas, 2 pares de guantes, 1 filtro, 1 balde	0,5 kg de tierra, rocas e insectos, 8 litros de residuo líquido, generación de gases mínima en el proceso de esterilización del estiércol, Residuos de tierra, Agua con residuos, rocas, emisión de olor de estiércol, generación de residuos de tapabocas y guantes, consumo de energía eléctrica de la autoclave de 1600 julios.
Licuada de papel reciclado	2 batas de laboratorio, 2 guantes, Licuadora, 2 litros de agua, energía, 3,3 kg de papel reciclado.	Mezcla de papel reciclado, agua con residuos de papel, consumo de energía eléctrica de la licuadora 350 julios.
Licuada de estiércol de bovino	2 batas de laboratorio, 2 guantes, licuadora, 11 litros de agua, energía, 9,5 litros de estiércol	Mezcla de estiércol de bovino, agua con residuos de estiércol, consumo de energía eléctrica de licuadora 350 julios.
Elaboración de papel artesanal	2 Tapabocas, 2 batas de laboratorio, 2 pares de aguantos, mezcla de papel reciclado, mezcla de estiércol de bovino, 1 balde, 12 litros de agua, 2 bastidores o tamizaces, 20 retazos de tela, 1 rodillo +	7 litros de agua con residuos de estiércol de bovino y papel reciclado, 5 hojas de papel artesanal tipo 1, 9 hojas de papel artesanal tipo 2, 5 hojas de papel artesanal tipo 3, residuos provenientes de tapabocas y guantes.
Uso y disposición final	Papel artesanal	5 hojas de papel artesanal tipo 1, 9 hojas de papel artesanal tipo 2, 5 hojas de papel artesanal tipo 3.

Fuente: Charry y Chávez. (2019)

Figura 4. Procesos sanitarios ICV



Fuente: Charry y Chávez. (2019)

Para la formulación del análisis de inventario del ciclo de vida del producto se realizó la cuantificación de las entradas y salidas en los diferentes procesos desarrollados en la elaboración de los tres tipos de papel artesanal (Tabla 2).

Aceptación del papel artesanal

La encuesta realizada para analizar la producción limpia, viabilidad y aporte ambiental de los productos finales fue dirigida a una población de 100 personas entre 20 y 50 años de edad. Los resultados se plasman a continuación:

- El 69% indicó que con mucha frecuencia utiliza papel; 30% lo utiliza con poca frecuencia y el 1% no lo utiliza. Así se ratificó la importancia y el uso de este implemento en el diario vivir de las personas.
- El 59% respondió que sí contribuye al cuidado del medio ambiente reciclando papel; un 41% dijo que no, exaltando la falta de cultura, conciencia y educación ambiental de las personas.
- Al 89% les pareció muy interesante la fabricación de un papel artesanal con estiércol de bovino; al 9% le pareció poco interesante y al 2% no le interesó.
- El 95% respondió que sí utilizaría el papel artesanal fabricado a base de estiércol de bovino; el 5% dijo que no; resultado que exalta el interés de las personas en productos innovadores que puedan contribuir al cuidado del medio ambiente.
- A los encuestados se les entregó un trozo del producto obtenido con el fin de que lo manipularan y conocieran de forma directa; se les preguntó si estarían dispuestos a comprar el papel y cuánto pagarían por el producto, y respondieron: 26% pagaría \$50; 36% pagaría \$100; 26% pagaría \$500 y 12% no estaría dispuesto a pagar.
- El 67% estaría dispuesto a cambiar el papel industrial por el papel artesanal; el 33% no lo haría.
- El 85% estaría dispuesto a recomendar la utilización del papel artesanal; el 15% no lo haría.
- El 41% dice que el color del papel es importante; el 19% dice que el olor es importante; el 18%, que la textura es importante; el 56%, que el

precio es importante y el 34%, que el material es importante.

- El 96% dijo que sí estaba de acuerdo con el aprovechamiento del estiércol de bovino en la implementación de una producción más limpia; el 4% dijo que no.
- El 26% respondió que el material de fabricación sí afectaría la comercialización; el 74%, que no. Estas cifras son significativas puesto que ayudan a fomentar estrategias de concientización, pues si es un producto de calidad, que no afecta a la persona y proporciona cuidado al medio, vale la pena comercializarlo, puesto que un eje central de las personas debe ser buscar alternativas que contribuyan con el desarrollo humano, sin dañar ni alterar los recursos naturales, fomentando un desarrollo sostenible y un equilibrio entre el ser humano y el medio que lo rodea.
- El 65% dijo que sí es importante la presentación del producto; el 35%, que no lo es. La importancia de presentar al comercio un producto de calidad, también incluye que éste sea llamativo para el cliente y su comercialización sea proactiva.
- El 87% pensó que es importante que las grandes empresas a nivel nacional e internacional implementen el uso de papel artesanal; un 1%, que no. La industria papelera tiene un impacto negativo en el ambiente; por ende, es importante buscar alternativas que contribuyan a controlar y/o mitigar acciones dañinas que ocasionan las empresas fabricantes de papel, teniendo en cuenta su frecuente utilización.

Conclusiones

Pese a adversidades, el objetivo del presente proyecto se cumplió satisfactoriamente. Los productos obtenidos, concretamente los tres tipos de papel, fueron el resultado de una metodología basada en una producción más limpia, teniendo en cuenta las prácticas de elaboración manuales, a prueba de ensayo y

error, aplicando un método funcional que arrojó tres productos diferentes en cuanto a grosor, gramaje, flexibilidad y superficie, siendo éstos los parámetros más significativos e influyentes en la determinación del funcionamiento y la calidad de las hojas.

De la investigación se obtuvieron las siguientes conclusiones: disminución en la tala indiscriminada debido a que el excremento reemplazaría a la madera y evitaría que las grandes industrias acaben con miles de hectáreas de bosques; se lograría disminuir la emisión de CO₂ y la preservación del hábitat de miles de especies de animales; habría menos gastos de energía y agua, ya que la celulosa proveniente del excremento de los animales vegetarianos viene procesada gracias a los ácidos digestivos y, por ende, omite procesos que requieren altos consumos de recursos naturales; no contiene químicos, y esta es una de las ventajas más importantes ya que en la industria papelera, por cada tonelada de papel que se produzca, se talan aproximadamente 13 árboles y se vierten 20 metros cúbicos de agua residual que contiene productos químicos utilizados en el proceso de fabricación (ABC Color, 2003); constituye la transformación de una materia considerada desecho, disminución de problemáticas ambientales, ya que el excremento de los animales es uno de los factores que genera los gases de efecto invernadero y la eutrofización (Bluemling y Wang, 2018); materia prima accesible, ya que la ganadería es una de las principales actividades económicas del país (Finzi, 2019), e igualmente ayuda a incentivar a las personas en la realización de proyectos que contribuyan en la preservación y conservación del medio ambiente y sus recursos.

La fabricación del papel artesanal cumplió con los procesos de producción más limpia, con características aceptables de grosor, gramaje, flexibilidad y superficie, influyentes en la calidad y el uso del papel (Gonzales, 2016).

Los procesos unitarios que conforman el ciclo de vida en la producción del papel artesanal

determinaron un impacto positivo, puesto que el uso dado al estiércol de bovino provocó que no se generara un aumento en la contaminación en recursos como el suelo y el agua. Es de resaltar que el agua fue el recurso que más se utilizó en el proceso de fabricación; sin embargo, dicho recurso fue aprovechado al máximo reutilizándose en diferentes procesos y al final fue utilizado como abono en las zonas verdes.

La aceptación del papel fabricado por parte de la comunidad muestra que el producto tiene un gran potencial en cuanto a su uso y comercialización, ya que un alto porcentaje manifestó, según los resultados estadísticos, el gran interés por la fabricación de un producto basado en métodos de producción más limpia y amigables con el medio ambiente.

Finalmente, se destaca que:

- Sí es posible la fabricación de un papel artesanal con estiércol de bovino como agente base.
- Su uso tiene una gran viabilidad.
- Se destaca la implementación de métodos de producción más limpia.
- Se obtuvieron tres tipos de papel diferentes y se lograron mejores características en el papel artesanal tipo 3.
- Los resultados estadísticos favorecen y respaldan el potencial de la presente investigación.



Referencias Bibliográficas

- American Concrete Pavement Association. (2009). *Estiércol de bovino mitos y leyendas*. ACPA
- Bluemling, B., y Wang, F. (2018). An institutional approach to manure recycling: conduit brokerage in Sichuan Province, China. *Resources, Conservation and Recycling*, 139, 396-406. doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.08.001.
- Delgado-Aguilar, M., Recas, E., Puig, J., Arbat, G., Pereira, M., Vilaseca, F., y Mutjé, P. (2015). Aplicación de celulosa nanofibrilada, en masa y superficie, a la pulpa mecánica de muela de piedra: una sólida alternativa al tratamiento clásico de refinado. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 17(2), 293-304. doi.org/10.4067/S0718-221X2015005000028.
- Escamilla, R., Clemente, D.M., Muñoz, C.M., y Oseguera, J. (2015). Elaboración de papel ecológico empleando estiércol de ganado bovino. *Revista Ingeniantes*, 1(2), 18-23.
- Farah, N., Amna, M., Naila, Y., y Ishtiaq, R. (2014). Processing of elephant dung and its utilization as a raw material for making exotic paper. *Research Journal of Chemical Sciences*, 4(8), 94-103.
- Finzi, A., Riva, E., Bicoku, A., Guido, V., Shallari, S., y Provolo, G. (2019). Comparision of techniques for ammonia emission mitigation during storage of livestock manure and assessment of their effect in the management chain. *Journal of Agricultural Engineering*, 50(1), 12-19. doi.org/10.4081/jae.2019.881.
- González, K.D., Daza, D., Caballero, P.A., y Martínez, Ch. (2016). Evaluación de las propiedades físicas y químicas de residuos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel. *Revista Luna Azul*, 43, 499-517. DOI: 10.17151/luaz.2016.43.21.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec] (2007). Norma Técnica Colombiana. (2007). Gestión Ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y Marco de Referencia [NTC ISO 14040].
- Londoño, M. A. (2012). *Guía técnica de producción más limpia para pymes del subsector de mantenimiento y reparación de vehículos automotores* https://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/4600/TG_EPL_6.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Maximus. (2006). *Producción papel de alta calidad con estiércol animal y otros desechos*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2013). *Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera*
- *Productos ecológicos, sin árboles, orgánicos, de papel, de regalo y de papelería*. (2021, 20 mayo). Poopoopaper. <https://www.poopoopaper.com/>
- Prado-Martínez, M., Anzaldo-Hernández, J., Becerra-Aguilar, B., Palacios-Juárez, H., Vargas-Radillo, J.J., y Rentería-Urquiza, M. (2012). Caracterización de hojas de mazorca de maíz y de bagazo de caña para la elaboración de una pulpa celulósica mixta. *Madera y bosques*, 18(3), 37-51.
- Saval, S. (2012) Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro. *BioTecnología*, 16(2):14-46.
- Wang, Y., Ghimire, S., Wang, J., Dong, R., y Li, Q. (2021). Alternative management systems of beef cattle manure for reducing Nitrogen loadings: a case-study approach. *Animals*, 11, 574. doi.org/10.3390/ani11020574.

NUESTROS AUTORES



Evolución regulatoria en vertimientos industriales: ¿en qué va Colombia? Una mirada desde lo técnico

Angela Cristina Pinzón Espinosa

Microbióloga MSc PhD y especialista en análisis químico de la Pontificia Universidad Javeriana, Magister en química de la Universidad Nacional de Colombia, y Doctora en química ambiental de la Universidad de Brunel de Londres. Su experiencia investigativa se ha enfocado en estudiar contaminantes de ecosistemas acuáticos y sus impactos ambientales. Actualmente se desempeña como asesora técnica en contaminación marina en ITOPE, una organización británica sin ánimo de lucro que asiste en la respuesta a incidentes de contaminación del sector marítimo.

angelapinzon@itopf.org - acpinzone@gmail.com



Análisis del estado de fragmentación del paisaje como herramienta de conservación de un remanente de bosque seco tropical ubicado en la Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña, Norte de Santander, Colombia

Alicia Margarita Ovallos Clavijo

Ingeniera Ambiental (Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña), técnica en monitoreo ambiental (Sistema Nacional de Aprendizaje - SENA). Cuenta con conocimientos y habilidades para innovar en la gestión ambiental que permitan la solución de problemas que afectan al desarrollo sostenible.

aliciam.ovallos@gmail.com

Bayron Joan Guerrero Correa

Ingeniero Ambiental (Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña), técnico en gestión integral de residuos sólidos (Sistema Nacional de Aprendizaje - SENA), técnico en monitoreo ambiental (Sistema Nacional de Aprendizaje - SENA). Actualmente se desempeña como ingeniero ambiental, profesional de apoyo al área físico operativa y supervisor del servicio de aseo de la Empresa de Servicios Públicos de Ocaña - ESPO S.A.

bayronguerrero14@gmail.com

Jhon Salvador Arévalo Bacca

Ingeniero Ambiental (Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña), magister en ciencias y tecnologías ambientales (Universidad Santo Tomás), y especialista en gerencia de proyectos (Universidad del Tolima) y docencia universitaria (Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña). Actualmente se desempeña como docente en el programa académico de Ingeniería Ambiental de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, en el programa de posgrados de la Universidad Santo Tomás de Bucaramanga y en programas de educación continua de la Corporación Universitaria Minuto de Dios.

jsarevalob@ufpso.edu.co



Identificación y evaluación de impactos ambientales para la prestación del servicio ambiental de captura de carbono en suelos de páramo en el departamento de Boyacá: Caso de estudio Páramo La Cortadera

Mónica Alexandra Rueda Ramírez

Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de La Salle, actualmente auxiliar de investigación del proyecto “Elaboración de un protocolo para la valorización ambiental, económica y jurídica del servicio ambiental de captura de carbono en suelos de páramo en el departamento de Boyacá: Caso de estudio Páramo La Cortadera”. Monitorea el espacio académico de Climatología y Meteorología en los ciclos 2019 -I y 2019 -II.

mrueda88@unisalle.edu.co



Aprovechamiento de estiércol de bovino en fabricación de papel como método de producción más limpia

María Angelica Chávez Ferro

Profesional en Ingeniería Ambiental, egresada de la Corporación Universitaria del Huila - CORHUILA, con capacidades para comprender y proponer alternativas que conduzcan a controlar, eliminar, prevenir y mitigar los problemas ambientales generados por actividades antrópicas o hechos naturales; con conocimientos en gestión ambiental, manejo de residuo sólidos, evaluación de impacto ambiental y planes de manejo ambiental.

machavez@corhuila.edu.co - angelicachf09@outlook.com

Karla Yiceth Charry Perdomo

Profesional en Ingeniería Ambiental, egresada de la Corporación Universitaria del Huila - CORHUILA, con capacidad de identificar, comprender y proponer diferentes alternativas enfocadas en controlar, eliminar, prevenir y mitigar problemas ambientales generados por fenómenos naturales o antrópicos; con conocimientos en gestión ambiental, sistemas de gestión ambiental, manejo de residuos, estudios de impacto ambiental y planes de manejo ambiental.

Karl-ys24@hotmail.com



Ambiente



.....

Grupo de Divulgación de Conocimiento y Cultura Ambiental
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

arrearrendajoescarlata@minambiente.gov.co