



Colección Ciencias Militares

Gestión sostenible del recurso suelo, desde los modelos de seguimiento y recuperación en las Fuerzas Militares

Anderson Castro Carreño

Cristian Alexander Leguizamón Zárate

Tania Lucía Fonseca Ortiz

(Editores)



ESCUELA MILITAR DE CADETES
"General José María Córdova"

Gestión sostenible del recurso suelo, desde los modelos de seguimiento y recuperación en las Fuerzas Militares



ESCUELA SUPERIOR DE GUERRA
"General Rafael Reyes Prieto"



ESCUELA MILITAR DE CADETES
"General José María Córdova"

Bogotá, D.C., 2022

Colección Ciencias Militares

Esta colección articula los trabajos de investigación que abordan los saberes relacionados con educación y doctrina de índole castrense. Este cuerpo de conocimientos es fundamental para las Fuerzas Militares, dado el valor que representan las actividades pedagógicas y los parámetros implicados para la instrucción táctica, el aprendizaje académico-profesional y la formación militar integral.

Serie Miles Doctus (Investigación formal terminada)

Gestión sostenible del recurso suelo, desde los modelos de seguimiento y recuperación en las Fuerzas Militares

Anderson Castro Carreño
Cristian Alexander Leguizamón Zárate
Tania Lucía Fonseca Ortiz
Editores



**Catalogación en la publicación – Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto” /
Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”**

Gestión sostenible del recurso suelo, desde los modelos de seguimiento y recuperación en las Fuerzas Militares /
Editores Anderson Castro Carreño, Cristian Alexander Leguizamón Zárate y Tania Lucía Fonseca Ortiz - Bogotá:
Editorial ESDEG, ESMIC Sello Editorial, 2022.

97 páginas : ilustraciones, mapas, cuadros y gráficas ; 24 cm.

Incluye referencias bibliográficas al final de cada capítulo

ISBN 978-628-95446-1-9

E- ISBN 978-628-95446-2-6

(Ciencias Militares. Miles Doctus)

1.Colombia. Ejército Nacional -- Política ambiental 2.Conservación de los recursos naturales -- Colombia 3.Contaminación -- Política ambiental -- Colombia 4.Suelos -- Contaminación -- Colombia i.Castro Carreño, Anderson (editor - autor), ii.Leguizamón Zárate, Cristian Alexander, Coronel (editor - autor), iii.Fonseca Ortiz, Tania Lucía (editor), iv.Delgado Londoño, Diana María (autora), v.García Rodríguez, Jeimmy Alejandra (autora), vi.Bello Mora, Juan Pablo (autor), vii.Avila Bernal, Julián David (autor), viii.Cárdenas Gaitán, Miguel Ángel (autor), ix.Afanador Padilla, Rocío (autora), x.González Forero, Rosalina (autora), xi.Betancourth Buitrago, Sebastián (autor), xii.Suárez Gaitán, Víctor Alfonso, Mayor (autor), xiii.Ariza Marín, Vivian Karina (autora), xiv.Méndez Torres, Yeferson Steven (autor), xv.Ortega Tenjo, Jessica Daniela (autora), xvi.Rivera Daniels, Jorge Armando, Mayor (autor), xvii.Forero Leguizamón, Jair Fernando (autor), xviii.Sánchez Amaya, Alberto, Capitán (autor), xix.Colombia. Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto (ESDEG) xx.Colombia. Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova” (ESMIC)

TD878.4.C7 G47 2022
333.73 23

Registro Catálogo SIBFuP 991249715307231



Archivo descargable en formato MARC en: <https://tinyurl.com/esdeg991249715307231>

Gestión sostenible del recurso suelo, desde los modelos de seguimiento
y recuperación en las Fuerzas Militares
Primera edición, 2022

Editores

Anderson Castro Carreño

Cristian Alexander Leguizamón Zárate

Tania Lucía Fonseca Ortiz

Cubierta

Rubén Alberto Urriago Gutiérrez con base en
imágenes del Centro de Educación Militar

ISBN impreso 978-628-95446-1-9

ISBN digital 978-628-95446-2-6

<https://doi.org/10.21830/9786289544626>

Libro electrónico publicado a través de la plataforma

Open Monograph Press.

Tiraje de 100 ejemplares

Impreso en Colombia - *Printed in Colombia*

2022 Escuela Militar de Cadetes
“General José María Córdova”

Departamento de I+D+i

Sello Editorial ESMIC

Calle 80 No. 38-00. Bogotá, D.C., Colombia

www.librosesmic.com

2022 Escuela Superior de Guerra
“General Rafael Reyes Prieto”

Vicedirección de Investigación

Sello Editorial ESDEG

Carrera 11 No. 102-50. Bogotá, D.C., Colombia

www.esdeglibros.edu.co

El contenido de este libro corresponde exclusivamente al pensamiento de los autores y es de su absoluta responsabilidad. Las posturas y aseveraciones aquí presentadas son resultado de un ejercicio académico e investigativo que no representa necesariamente la posición oficial ni institucional de las instituciones participantes, la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, la Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”, las Fuerzas Militares de Colombia o el Ministerio de Defensa Nacional.

Libro resultado de investigación de la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova” publicado en coedición con la Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”.



Los libros publicados por el Sello Editorial ESMIC y el Sello Editorial ESDEG son de acceso abierto bajo una licencia Creative Commons: Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas.
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



ESCUELA MILITAR DE CADETES

“General José María Córdova”

Brigadier General **Luis Fernando Salgado Romero**

Director

Coronel **Andrés Hernando Parra Espitia**

Subdirector

Teniente Coronel **Edie Fernando Orozco Becerra**

Vicerrector Académico



Mayor **Carlos Humberto Vargas Moreno**

Jefe del Departamento de I + D + i

William Castaño Marulanda

Coordinador del Sello Editorial Esmic

Gypsy Bonny Español Vega

Traductora

Felipe Solano Fitzgerald

Corrector de Estilo

Rubén Alberto Urriago Gutiérrez

Diseño y Diagramación

Contenido

Introducción	9-10
Capítulo 1	
La degradación del suelo, impactos y contexto normativo <i>Anderson Castro Carreño, Diana María Delgado Londoño y Rosalina González Forero</i>	11-23
Capítulo 2	
Acciones del Ejército Nacional para contrarrestar los daños ambientales por explotación ilícita de yacimientos mineros <i>Anderson Castro Carreño, Cristian Alexander Leguizamón Zárate, Victor Alfonso Suárez Gaitán y Juan Pablo Bello Mora</i>	25-46
Capítulo 3	
Degradación de suelos por erosión en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). Análisis y perspectivas <i>Yeferson Stiven Méndez Torres, Sebastián Betancourth Buitrago, Jessica Daniela Ortega Tenjo y Jorge Armando Rivera Daniels</i>	47-61
Capítulo 4	
El suelo como receptor de vertimientos. Análisis y recomendaciones <i>Jimmy Alejandra García Rodríguez, Miguel Ángel Cárdenas Gaitán, Diana María Delgado Londoño y Jair Fernando Forero Leguizamón</i>	63-80

Capítulo 5

Análisis histórico de suelos por salinización en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional (CAR). Retos y oportunidades	81-97
<i>Rosalina González Forero, Vivian Karina Ariza Martín, Julián David Ávila Bernal, Rocío Afanador Padilla y Alberto Sánchez Amaya</i>	

Introducción

La gestión sostenible del suelo es ampliamente reconocida como un factor clave para reducir las tasas de degradación de este recurso y prevenir la desertificación. Distintos sectores y actores internacionales interesados en esta problemática han realizado muchos esfuerzos en todo el mundo para desarrollar y adoptar diversas prácticas correctas de gestionar el suelo. Sin embargo, al analizar de forma exhaustiva la distribución espacial de la producción académica, así como las perspectivas y los desafíos de las prácticas e investigaciones sobre este importante recurso en Colombia, no se evidencia la participación de las entidades responsables de brindar la estabilidad que las comunidades requieren para proteger sus territorios e implementar sistemas de prevención. Esta ausencia resulta más significativa si se tiene en cuenta que la erosión del suelo ha sido el proceso dominante y responsable tanto de la desertificación en muchos entornos de tierras secas en Colombia, principalmente en la jurisdicción de Cundinamarca, como de la degradación de la tierra en áreas húmedas.

Como una contribución institucional para buscar posibles soluciones a esta problemática, esta obra recopila información de investigaciones desarrolladas por el Ejército Nacional de Colombia, la Universidad de La Salle y la Corporación Regional de Cundinamarca (CAR). Específicamente, los trabajos se enfocan en estudiar la degradación causada por la erosión y la estrategias para mitigarla, entendiendo que existe la necesidad de contar con análisis detallados de los desafíos y perspectivas de la gestión sostenible del suelo en Colombia.

En cada uno de los cinco capítulos se reconoce que para reducir las tasas de degradación del suelo es clave prevenir la desertificación y restaurar las tierras degradadas. En este sentido, se resalta que un apropiado uso de los recursos de la tierra —incluidos los suelos, el agua, los animales y las plantas— es fundamental para producir bienes que satisfagan las necesidades humanas cambiantes, al tiempo que se garantice el bienestar a largo plazo y el mantenimiento de sus funciones ambientales.

Como un aporte adicional se debe mencionar que en las fuentes bibliográficas del libro se compilan iniciativas individuales o de equipo que generan un valioso conocimiento sobre el uso sostenible del suelo, a partir del análisis de datos recopilados y analizados con procedimientos científicamente aceptados, los cuales pueden ser publicados y formar parte de las bases de datos científicas.

En este mismo sentido, los autores hacen hincapié en la necesidad de desarrollar “métodos sistemáticos, sólidos y validados” para rastrear el progreso de la gestión del suelo en Cundinamarca en diferentes niveles espaciales. Con esta metodología se logró obtener datos cuantitativos que favorecen posibles rutas para implementar de forma sostenible iniciativas responsables y basadas en resultados soportados en estudios de laboratorio.

En virtud de lo anterior, esta obra permite entender algunos enfoques sistemáticos, sólidos y validados que puedan mejorar nuestra comprensión y respaldar el desarrollo y la adopción de prácticas adecuadas de la gestión sostenible del recurso suelo en Colombia. De esta forma, los resultados que presenta constituyen un gran potencial para avanzar en la investigación de los suelos en Colombia, entendiendo que existen múltiples desafíos asociados con la evaluación de la gestión sostenible del suelo y sus impactos, los cuales se deben a la atención insuficiente que se presta al monitoreo a nivel de campo y la falta de participación de la comunidad científica en algunos sectores del territorio. Finalmente, con estos trabajos de investigación se espera aportar los insumos que permitan crear estrategias apropiadas de difusión basadas en evidencia científica para lograr múltiples beneficios de la gestión sostenible de este recurso no renovable.

La degradación del suelo, impactos y contexto normativo*

DOI: <https://doi.org/10.21830/9786289544626.01>

Anderson Castro Carreño

Centro de Educación Militar del Ejército

Diana María Delgado Londoño

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR)

Rosalina González Forero

Universidad de La Salle

Resumen. La degradación de suelos es un tema que debe verificarse frente a su conservación, recuperación y defensa. Este capítulo se desarrolló desde la verificación de información teórica, en la que se expone la importancia de este recurso fundamental para la preservación de las especies y la naturaleza, como parte vital de la nación, pero que no ha sido manejado normativamente en Colombia de manera integrada con los demás recursos y la biodiversidad. Sin embargo, al no estar claro se generan confusiones, ya que no hay suficientes normas para manejar el buen uso del suelo y por esta razón se generan alteraciones y malentendidos por su uso.

Palabras clave: calidad de suelos, contaminación de suelos, degradación de suelos, impacto al suelo, normatividad, suelos.

* Este capítulo hace parte de los resultados colaborativos de los proyectos de investigación “Generación de modelos de seguimiento de erosión, salinidad e impacto por disposición de vertimientos en suelos en la jurisdicción de la CAR” del Grupo de Investigación CLIMA de la Universidad de La Salle y “Enfoques de la gestión ambiental como mecanismo de defensa y protección del medio ambiente” del grupo de investigación CEMIL. Los puntos de vista y los resultados de este capítulo pertenecen a los autores y no reflejan necesariamente los de las instituciones participantes.

Anderson Castro Carreño

Magíster en Ciencias-Químicas (Universidad Nacional de Colombia); especialista en Educación y Gestión Ambiental (Universidad Distrital Francisco José de Caldas); licenciado en Química (Universidad Distrital Francisco José de Caldas). Docente e investigador. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0087-8932> - Contacto: andersoncastroc@javeriana.edu.co

Diana María Delgado Londoño

Ph. D. en Ingeniería con Énfasis Ingeniería Sanitaria y Ambiental (Universidad del Valle, Colombia); magíster en Ciencias Agrarias con Énfasis en Suelos (Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Colombia), Ingeniera Agrónoma (Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Colombia) <https://orcid.org/0000-0003-2371-376X> Contacto: sueloscia@car.gov.co

Rosalina González Forero

Ph. D. en Ingeniería con Énfasis Medio Ambiente y Recursos Hídricos (Universidad de Delaware, EE. UU.); magíster en Tecnología Educativa (Instituto Tecnológico de Monterrey, México); magíster en Ingeniería y Tecnología Ambiental (Universidad de Cataluña, España); especialista en Gestión Gerencial (Universidad Central); especialista en Investigación Criminal (Escuela Nacional de Policía General Santander); especialista en Pedagogía para el Desarrollo del Aprendizaje Autónomo (Universidad Nacional Abierta y a Distancia); con Especialización en Suelos Contaminados (Universidad Europea del Atlántico, España) <https://orcid.org/0000-0002-5860-657X> - Contacto: rogonzalez@unisalle.edu.co

Citación APA: Castro Carreño, A., Delgado Londoño, D. M. & González Forero, R. (2022). La degradación del suelo, impactos y contexto normativo. En A. Castro Carreño, C. A. Leguizamón Zárate & T. L. Fonseca Ortiz (Eds.), *Gestión sostenible del recurso suelo, desde los modelos de seguimiento y recuperación en las Fuerzas Militares* (pp. 11-23). Sello Editorial ESMIC. <https://doi.org/10.21830/9786289544626.01>

Gestión sostenible del recurso suelo, desde los modelos de seguimiento y recuperación en las Fuerzas Militares

ISBN impreso: 978-628-95446-1-9

ISBN digital: 978-628-95446-2-6

DOI: <https://doi.org/10.21830/9786289544626>

Colección Ciencias Militares

Serie Miles Doctus (Investigación formal terminada)

Sello Editorial ESMIC

Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”

Bogotá, D.C., Colombia

2022



Introducción

La degradación del suelo es un problema que día a día impide que este desarrolle sus funciones, impactos y contexto normativo. Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2016) esta se refiere al decremento de la productividad o la disminución del cumplimiento de sus funciones naturales (Lal, 1999; Lal *et al.*, 2012). También se concibe como la pérdida de la calidad del recurso (Doran y Parki, 1994), lo que significa una alteración del ciclo biogeoquímico. La figura 1 indica los tipos de degradación del suelo según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2016):

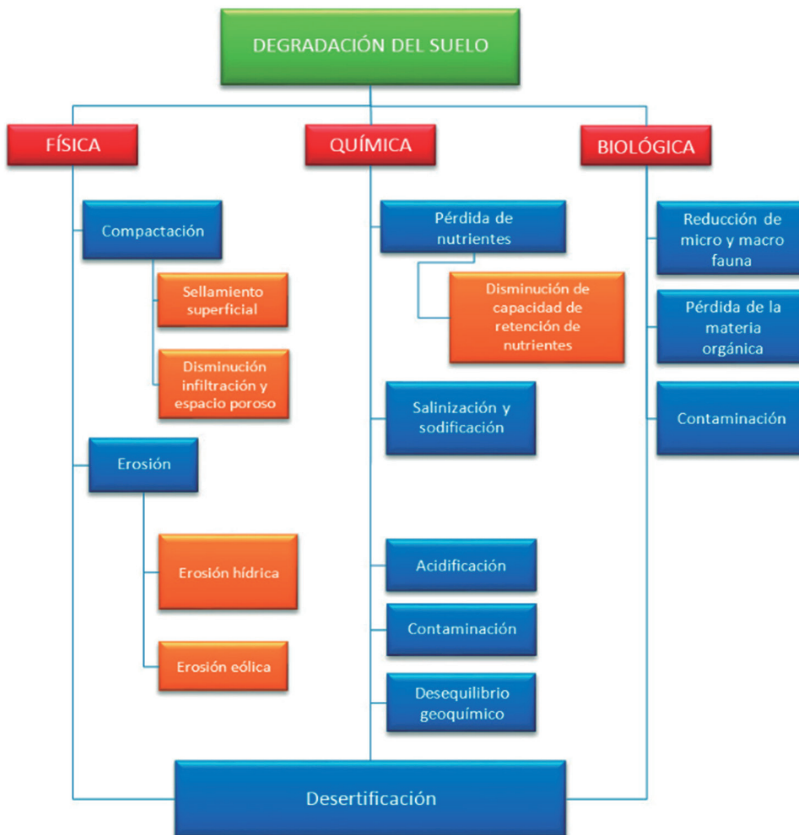


Figura 1. *Degradación del suelo*

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2016).

La figura 1 indica que hay tres tipos de degradación: física, química y biológica, los cuales se explican a continuación.

Degradación física

En esta categoría se observan fenómenos como la compactación y la erosión causadas por acciones naturales y antrópicas que inciden directamente en la física del suelo.

Compactación

Según FAO (2016) corresponde a la disminución de los contenidos de agua y aire en el suelo debido al aumento de la densidad de este, lo que impide el cumplimiento de sus funciones y el crecimiento de plantas y otras especies. Sus causas son naturales y antrópicas y se deben a mala gestión agrícola y al sobrepastoreo. En la figura 2 se aprecia esquemáticamente el proceso de compactación y en la 3 la compactación del suelo a nivel mundial:

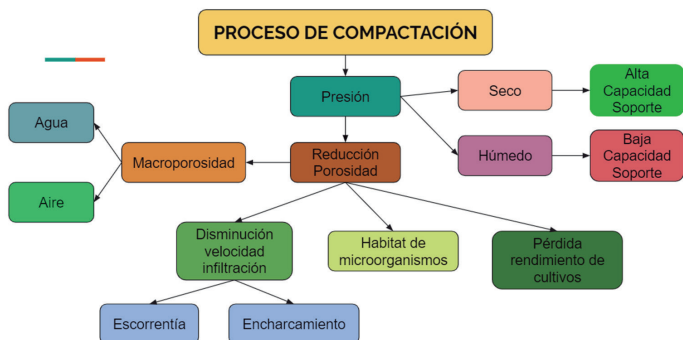


Figura 2. Proceso de compactación

Fuente: Medina (2016).



Figura 3. Compactación del suelo a nivel mundial

Fuente: FAO (2016).

Erosión

Es el detrimento de la parte superficial de la tierra debido al agua y al viento, que hace que sus funciones cambien (IDEAM, 2014a). Se da de forma natural por el clima, el relieve y de forma antrópica por uso y manejo adecuado de suelo.

Erosión hídrica. Según IDEAM (2014b), esta erosión es ocasionada por el agua cuando el suelo carece de cobertura, generalmente se da de forma recurrente y es una degradación superficial en la que se pierde la capa orgánica.

Erosión eólica. Este tipo de erosión según IDEAM (2014b), a diferencia de la anterior, es ocasionada por el viento, que levanta las partículas pequeñas y superficiales del suelo. NWS (2020) manifiesta que esta erosión se da por un viento ligero hasta por vientos fuertes.

Degradación química

En este tipo de degradación, debido a la presencia en el suelo de sustancias químicas no deseadas aparecen fenómenos que inciden en la composición del suelo y en sus funciones. Puede ser causada por acción natural como una erupción volcánica, o por acción antrópica por descargas de sustancias peligrosas en el suelo. Dentro de esta clasificación se encuentran la pérdida de nutrientes, la salinización y la contaminación química.

Pérdida de nutrientes

Corresponde al desbalance de componentes químicos en el suelo que afectan el conjunto de relaciones complejas que se dan entre sus componentes. Un ejemplo de lo anterior son los cambios no deseables en el pH, la erosión y el arrastre de sedimentos, y la magnitud de la pérdida es función de la naturaleza de la sustancia considerada como nutriente y su comportamiento en el suelo (Bienes, 2002; Luria, 2019; MinAmbiente, 2016).

Salinización y sodificación

La salinización es un fenómeno que se genera en el suelo con un aumento de la concentración de sales. Este proceso se puede dar naturalmente y de forma antrópica, ya sea por características geológicas o por riegos intensivos

en grandes extensiones de terreno con agua que contiene altas concentraciones de sales en su mayor parte (IDEAM, 2017). Por otro lado, la sodificación hace referencia al aumento de sales monovalentes, principalmente de aquellas con sodio. En la figura 4 se aprecia el mapa mundial de salinización y sodificación; en Asia se observan los inconvenientes más altos, sin embargo, se destaca en América Latina una tendencia pobre en este aspecto.



Figura 4. Proceso de salinización y sodificación
Fuente: Medina (2016).

Contaminación

Tal como lo indican la FAO y la ITPS (2015), toda presencia de sustancias químicas que no corresponden al sitio en altas concentraciones y que causan efectos desfavorables en los organismos no objetivo, se consideran contaminación del suelo. En este sentido, tiene que ver mucho con el sector de producción; dentro de las actividades que más generan sustancias están la minería, la industria, el transporte y la infraestructura urbana, la disposición de residuos y vertimientos domésticos, las actividades militares, la agricultura y las actividades pecuarias. Así mismo, las sustancias más observadas son elementos traza (llamados antes metales pesados y metaloides), compuestos nitrogenados y fosforados, pesticidas, hidrocarburos aromáticos policíclicos, contaminantes orgánicos persistentes, radionucleótidos, contaminantes emergentes, microorganismos patógenos y antimicrobianos resistentes y bacterias, entre otros.

Degradación biológica

Hace referencia a la reducción de micro y macrofauna, contaminación por microorganismos y bacterias y pérdida de materia orgánica que es el soporte de la vida. Hay que tener en cuenta que la biota regula la estructura de los suelos y los ciclos de nutrientes promueven el crecimiento de plantas y la supervivencia del ecosistema (FAO, 2000). Su pérdida es la respuesta a las degradaciones físicas y químicas, que es causada por la falta de materia orgánica (Piscitelli, 2015).

Impactos de degradación del suelo

Estos pueden ser detrimento de nutrientes como fósforo, nitrógeno, potasio, etc., ya sea directa o indirectamente por escorrentía o erosión; cambios en la estructura; en la retención de agua y aumento de la contaminación por el uso de sustancias tóxicas. Todos estos impactos generan efectos a corto, mediano y largo plazo que pueden llevar a la desertización.

Normatividad del suelo

Debido a la degradación antrópica en el territorio y a la firma de acuerdos internacionales para proteger los recursos naturales, se aborda la normatividad en Colombia; en 1972 se firma la Carta Europea del Suelo, la cual indica que este recurso es uno de los más importantes para el sostenimiento de todas las especies, pero que es vulnerable y debe ser cuidado. Debido a ello, los gobiernos se comprometieron a establecer medidas de cuidado para su correcta administración y gestión.

Luego siguieron apareciendo normativas como, la expedida por la la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por su sigla en inglés), en particular, sobre la recolección y el tratamiento de residuos, pesticidas y sustancias tóxicas que alteran el ambiente, aunque no sean específicas del suelo.

En los años noventa se realizaron muchos acuerdos, por ejemplo, en 1991 el Convenio de Basilea sobre el control del transporte de residuos peligrosos entre países y lograr su disposición apropiada.

Así mismo, en 1992 se celebró la cumbre en Río de Janeiro donde se ratificó la importancia del recurso suelo, en especial, de la contaminación debida a acciones humanas. Luego, en 1994, la Convención de las Naciones Unidas estableció la lucha contra la desertificación propendiendo por evitar la pérdida del suelo y fomentar la recuperación de este recurso en zonas ya degradadas.

Finalmente, en los años 2000 se fijaron más controles de los contaminantes, plaguicidas y tóxicos, lo que dejó en evidencia y reiteró que no hay tanta normatividad específica para el recurso suelo, pero que, sin embargo, todas influyen en este recurso, ya que las transformaciones y la persistencia en el ambiente van directamente hacia su degradación.

Dentro de los controles se encuentran el Convenio de Estocolmo (2005) para la disminución y no uso de contaminantes orgánicos persistentes con el fin de proteger la salud del hombre y el ambiente. El reglamento de Reach (2006), con el mismo objetivo que impulsa a su no utilización en sistemas productivos y la Estrategia temática sobre el uso sostenible de los plaguicidas, que es un conjunto de planes para disminuir el riesgo por uso de plaguicidas sin pérdida de producción. En Colombia se da inicio al tema normativo con el Decreto 2811 de 1974 que es el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables.

El ser humano, especialmente en los últimos años, se ha dedicado a generar nuevos productos, así como interactuar y construir para su bienestar, aquí desempeñan un papel importante las leyes o normas como códigos y reglas de conducta permitidas, todo para el bien de la sociedad. Es allí donde surgen las normas ambientales que soportan el derecho ambiental y regulan las conductas humanas para evitar efectos adversos en el ambiente y en el mismo hombre. La mitigación de los daños en el ambiente solo se puede dar si la normatividad se cumple de manera efectiva, realizando control y vigilancia. Cuando no se cumplen las normas y se hace un mal uso del suelo existen sanciones, multas y comparendos con pagos específicos, en la normatividad colombiana, también por el hecho de utilizar este recurso, hay que pagar una tasa retributiva, como por ejemplo, la utilización del agua. Una muestra de esto es el artículo 42 de la Ley 99 de 1993, que afirma

la utilización directa o indirecta de la atmósfera, el agua y del suelo, para introducir o arrojar desechos o desperdicios agrícolas, mineros o industriales, aguas negras o servidas de cualquier origen, humos, vapores y sustancias nocivas que sean resultado de actividades antrópicas o propiciadas por el hombre, o actividades económicas o de servicio, sean o no lucrativas, se sujetará al pago de tasas retributivas por las consecuencias nocivas de las actividades expresadas.

Así mismo, en el parágrafo 2 del artículo 211 de la Ley 1450 del 2011 se especifica que “los recursos provenientes del recaudo de las tasas retributivas se destinarán a proyectos de inversión en descontaminación y monitoreo de la calidad del recurso respectivo”. Así mismo, “la utilización de aguas por personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, dará lugar al cobro de tasas fijadas por el Gobierno nacional que se destinarán al pago de los gastos de protección y renovación de los recursos hídricos”, llamadas tasas por utilización del agua (artículo 43 de la Ley 99 de 1993). Esto también se relaciona con la gestión integral de los residuos, siendo este el más largo e importante de Colombia, ya que lo rigen más de 60 leyes para este componente en el que clasifican cada tipo de desecho, sustancia o residuo y se aplican su destino de transporte y recolección, así como su reutilización. Además, se clasifica el uso del agua y las aguas residuales que tienen más de diez leyes para su buen uso y control.

En la tabla 1 se presenta la normativa encontrada para el uso del suelo en Colombia:

Tabla 1. *Normativa sobre el uso del suelo en Colombia*

Ítem	Título	Entidad	Año	Tema principal
1	Política Nacional para la Gestión Integral Ambiental del Suelo	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial	2011	Establece parámetros de conservación y uso sostenible del suelo en los ciclos del agua, del aire y de los nutrientes e indispensable para la preservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos.
2	Política para el manejo del suelo de protección en el distrito capital	Alcaldía Mayor de Bogotá	2008	La política, tiene como objetivo “Consolidar la gestión sobre el suelo de protección, como parte integral del ordenamiento territorial del Distrito Capital en todas las clases de suelo, a las formas más convenientes para el cumplimiento de sus funciones, asegurando su apropiación colectiva”.

Continúa tabla...

Ítem	Título	Entidad	Año	Tema principal
3	Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial	2018	Su objetivo es proporcionar buenas prácticas para la conservación, el uso sostenible y la protección de los suelos en las zonas rurales del país.
4	Constitución Política de Colombia	Fiscalía General de la Nación	1991	Establece el marco general para el uso, acceso y conservación de los componentes del ambiente (entre ellos el suelo); la misma, otorga una importancia fundamental al tema ambiental
5	Ley 99 de 1993	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	1993	Políticas para el control de la explotación y el desarrollo económico, para mitigar la erosión del suelo.
6	Decreto Ley 2811 de 1974	Congreso de la República de Colombia	1974	Señala que el uso de los suelos debe realizarse de acuerdo con sus condiciones y factores constitutivos y que se debe determinar el uso potencial y clasificación de los suelos según los factores físicos, ecológicos, y socioeconómicos de la región.
7	Resolución 0170 del 2009	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial.	2009	Formula políticas y expedir normas, directrices e impulsar planes, programas y proyectos dirigidos a la conservación, protección, restauración, recuperación y rehabilitación de los suelos.
8	Ley 388 de 1997	Congreso de la República de Colombia	1997	Definición de las estrategias territoriales de uso, ocupación y manejo del suelo, en función de los objetivos económicos, sociales, urbanísticos y ambientales.
9	Ley 9 de 1979	Ministerio de Salud	1979	Se dictan las medidas sanitarias para asegurar el bienestar de la población, entre ellas los vertimientos de todo tipo de residuos al suelo para controlar su degradación.
10	Ley 2 de 1959	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	1959	Se dictan medidas de la economía forestal y la protección de los suelos.
11	Resolución 871	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	2006	Establece el procedimiento y los requisitos para la sustracción de los suelos urbano y de expansión urbana municipales de las áreas de reserva forestal.
12	Acuerdo 002	Concejo de Bogotá	1993	Dicta medidas para la protección del suelo. Autoriza la constitución del Comité de Protección y Vigilancia del Suelo, del cual designa su integración.

Continúa tabla...

Ítem	Título	Entidad	Año	Tema principal
13	Acuerdo 9	Corporación Autónoma Regional (CAR)	2010	Establece los requisitos y el procedimiento para desarrollar planes de restauración ecológica, orientados a recuperar las zonas degradadas o afectadas por especies exóticas o invasoras, ubicadas en áreas protegidas de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.
14	Decreto 2372	Congreso de la República de Colombia	2010	Reglamenta del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, las categorías de manejo que lo conforman y los procedimientos generales relacionados con este.
15	Resolución 00150	Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)	2003	Se adopta el reglamento técnico de fertilizantes y acondicionadores de suelos para Colombia.
16	Resolución 3079	Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)	2005	Se dictan disposiciones sobre la industria, comercio y aplicación de bioinsumos y productos afines, de abonos o fertilizantes, acondicionadores de suelo y plaguicidas.
17	Ley 299	Congreso de la República de Colombia	1996	Se protege la flora colombiana, se reglamentan los jardines botánicos y se dictan otras disposiciones.

Fuente: Autores

Lo anterior muestra que, aunque hay un marco normativo en Colombia que busca mitigar la degradación del recurso del suelo, hace falta un apropiado control en el cumplimiento de las normas ambientales; por otro lado, las comunidades no tienen claro lo que pasa con este, pues hace falta comunicación y divulgación.

Conclusiones

Se identificó que el recurso del suelo ha sido manejado normativamente en Colombia, mas no específicamente, sino de manera integrada con el agua, el aire y la biodiversidad, sin embargo, al no estar explícitamente claro se generan confusiones en las que no hay suficientes normas, lo que genera alteraciones y malentendidos.

Se encontraron diferentes convenios internacionales del uso del suelo, en los cuales también, como en la normatividad colombiana, no se especi-

fican que es solamente del suelo, sino que son estrategias para el uso de los plaguicidas, sustancias tóxicas y demás residuos que contaminan el ambiente, pero que, sin embargo, se incorporan al suelo, ya que todo conduce hacia la degradación de este.

Se pretende que para la normatividad colombiana se consoliden mejor las normas y leyes para el uso del suelo, para esto se necesita más apoyo por parte de la ciudadanía, y en particular de los políticos, la población en general, el Gobierno, los entes públicos y privados, entre otros.

Hace falta un compromiso por parte de la sociedad colombiana para influir directamente en la gestión política y mejorar el cumplimiento de las normas sobre educación ambiental.

En definitiva, sí hay una problemática de falta de normatividad del uso del suelo en Colombia, ya que las normas se basan en obtener tasas retributivas por el gasto y consumo, con un desinterés por el deterioro ambiental.

Referencias

- Bienes, R. (2002). *Pérdida de nutrientes de suelos*. https://www.researchgate.net/publication/258140711_Perdida_de_nutrientes_de_suelos_con_distintos_tipos_de_usos_del_territorio_en_el_centro_de_la_peninsula_iberica
- Doran, J., y Parki, T. B. (1994). Defining and assessing soil quality. *Special Publication Soil Science Society of America (SSSA)*, 35, 3-21.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2014a). <http://www.siac.gov.co/erosion>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2014b). Erosión. <http://www.siac.gov.co/erosion>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2017). Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos por salinización.
- Lal, R., Safriel, U., y Boer, B. (2012). Zero Net Land Degradation: A New Sustainable Development Goal for Rio+ 20. A report prepared for the Secretariat of the United Nations Convention to combat Desertification. https://catalogue.unccd.int/991_Zero_Net_Land_Degradation_Report_UNCCD_May_2012.pdf
- Lal, R. (1999). Soil degradation, soil quality and soil resilience. *Soil and Tillage Research*, 29, 1-8.
- Luria, S. (2019). Nutrientes del suelo: ¿que son?, importancia, su pérdida y más. <https://magica-naturaleza.com/c-suelos/nutrientes-del-suelo/>

- Medina, M. (2016). Efectos de la compactación de suelos por el pisoteo de animales, en la productividad de los suelos. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 8(1), 88-93. <https://revistas.unisucre.edu.co/index.php/recia/article/download/229/270/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). Suelos. <https://www.minambiente.gov.co/index.php/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/sostenibilidad-sectores-productivos/suelos>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). Gestión sostenible del suelo. *Política para la gestión sostenible del suelo*.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2008). Política de gestión ambiental urbana. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- National Weather Service (NWS). (2020). Wind Erosion. <https://www.environment.nsw.gov.au/topics/land-and-soil/soil-degradation/wind-erosion>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2000). La vida en los suelos. <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0011sp1.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2016). Compactación del suelo. <http://www.fao.org/3/a-i6473s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Intergovernmental Technical Panel on Soils (ITPS). (2015). Status of the World's Soil Resources (SWSR)-Main Report. <http://www.fao.org/3/%0Aa-i5199e.pdf%0A>
- Piscitelli, M. (2015). Degradación de suelos. [https://www.unicen.edu.ar/content/degradación-de-suelos#:~:text=3-Degradación Biológica%3A](https://www.unicen.edu.ar/content/degradación-de-suelos#:~:text=3-Degradación%3A)

Acciones del Ejército Nacional para contrarrestar los daños ambientales por explotación ilícita de yacimientos mineros*

DOI: <https://doi.org/10.21830/9786289544626.02>

Anderson Castro Carreño

Centro de Educación Militar del Ejército

Cristian Alexander Leguizamón Zárate

Centro de Educación Militar del Ejército

Víctor Alfonso Suárez Gaitán

Centro de Educación Militar del Ejército

Juan Pablo Bello Mora

Centro de Educación Militar del Ejército

Resumen. Este capítulo señala que el territorio colombiano tiene un suelo y subsuelo con altas concentraciones de material mineral como oro, plata y bronce. Esto ha generado interés internacional y local, y ha despertado el interés de nacionales y extranjeros, para hacerse acreedores de estos materiales mineros de manera legal e ilegal. Mediante el análisis investigativo se logró determinar que muchos de estos actores buscan apoderarse del territorio y fortalecer los medios de financiación y enriquecimiento ilícito, con la extracción de oro sin contar con licencias otorgadas por el Estado, lo cual genera acciones de explotación sin los debidos controles ambientales y un abuso de los recursos propios de cada bioma, en los que se afecta la condición natural de los territorios explotados y las fuentes hídricas por el uso de sustancias químicas para la extracción de minerales.

Palabras clave: explotación ilícita, fuerzas militares, material mineral, minería ilegal, recursos naturales, yacimientos.

* Este capítulo hace parte de los resultados del proyecto de investigación “Enfoques de la gestión ambiental como o mecanismo de defensa y protección del medio ambiente” del grupo de investigación CEMIL. Los puntos de vista y los resultados de este artículo pertenecen a los autores y no reflejan necesariamente los de las instituciones participantes.

Anderson Castro Carreño

Magíster en Ciencias-Químicas (Universidad Nacional de Colombia); especialista en Educación y Gestión Ambiental (Universidad Distrital Francisco José de Caldas); licenciado en Química (Universidad Distrital Francisco José de Caldas). Docente e investigador. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0087-8932> - Contacto: andersoncastroc@javeriana.edu.co

Cristian Alexander Leguizamón Zárate

Coronel del Ejército Nacional de Colombia. Magister en Defensa, Estrategia y Administración de recursos del Eisenhower School for National Security and Resource Strategy y Magister en Estudios de Seguridad estratégica, del College of International Security Affairs de la Universidad Nacional de Defensa en Washington D.C. Administrador de Empresas, Universidad Militar Nueva Granada. Director del Centro de Educación Militar del Ejército Nacional de Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-4545-2284> Contacto: christianleguizamonzarate@cedoc.edu.co

Víctor Alfonso Suárez Gaitán

Mayor del Ejército Nacional; profesional en Ciencias Militares de la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”; especialista en Gestión ambiental y Desarrollo Comunitario. Contacto: victor.suarezga@buzonejercito.mil.co

Juan Pablo Bello Mora

Profesional en Ingeniería Ambiental de la Universidad El Bosque; estudiante de Especialización en Gestión Ambiental y Desarrollo Comunitario; integrante del Observatorio de Ambiente, Territorio y Poblaciones de la Universidad El Bosque; miembro Investigador de la red SURCOS Latinoamérica. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1006-4222>

Citación APA: Castro Carreño, A, Leguizamón Zárate, C. A., Suárez Gaitán, V. A. & Bello Mora, J. P. (2022). Acciones del Ejército Nacional para contrarrestar los daños ambientales por explotación ilícita de yacimientos mineros. En A. Castro Carreño, C. A. Leguizamón Zárate & T. L. Fonseca Ortiz (Eds.), *Gestión sostenible del recurso suelo, desde los modelos de seguimiento y recuperación en las Fuerzas Militares* (pp. 25-46). Sello Editorial ESMIC. <https://doi.org/10.21830/9786289544626.02>

Gestión sostenible del recurso suelo, desde los modelos de seguimiento y recuperación en las Fuerzas Militares

ISBN impreso: 978-628-95446-1-9

ISBN digital: 978-628-95446-2-6

DOI: <https://doi.org/10.21830/9786289544626>

Colección Ciencias Militares

Serie Miles Doctus (Investigación formal terminada)

Sello Editorial ESMIC

Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”

Bogotá, D.C., Colombia

2022



Introducción

Buena parte de la actividad minera en Colombia es desarrollada sin contar con los respectivos controles ambientales que exige el Código de Minas y Energía; no todas las personas y empresas en Colombia cumplen con los requisitos legales para realizar actividades mineras, por lo cual cuentan con recursos y formas de organización que les permiten operar al margen de los mecanismos de control del Estado. Esto conlleva a la afectación de las riquezas hídricas como páramos, humedales, ciénagas, cascadas y ríos de agua cristalina y dulce, por el uso de sustancias químicas como el cianuro, que es utilizado para separar el oro de la tierra. Estas aguas son contaminadas en el momento de utilizarlas en grandes cantidades para desmontar filones con la ayuda de las máquinas retroexcavadoras, lavar las arenas extraídas de la montaña y el subsuelo.

En Colombia existen dos clases de minería, la legal que cuenta con los permisos pertinentes expedidos por el Estado, y la minería ilegal, que se desarrolla en la clandestinidad debido a que no cuenta con las autorizaciones que ordena el Código de Minas y Energía. Quienes practican la minería ilegal se arriesgan a tener que responder ante las autoridades judiciales por la extracción del mineral sin la debida autorización estatal. Sin embargo, es bueno mencionar que un grueso considerable de este territorio está dado en contrato de concepción a empresas multinacionales, esto impide que los lugareños puedan formalizar la actividad, ya que según la Ley 685 del 2001, no se puede dar un mismo territorio en contrato de concepción a dos personas diferentes. Además, los mineros informales temen a la legalización por desconocer el proceso, y es en ese momento cuando surge la creencia de que al dar las coordenadas geográficas de sus tierras el Estado los despojará del territorio.

Comúnmente esta práctica se denomina minería ilegal, no obstante, a partir de este momento se hará referencia a esta como *explotación ilícita de yacimientos mineros*, dado que así se encuentra contemplado este delito en el Código Penal colombiano, Ley 599 del 2000, que señala que:

El que sin permiso de autoridad competente o con incumplimiento de la normatividad existente explote, explore o extraiga yacimiento minero, o explote arena, material pétreo o de arrastre de los cauces y orillas de los ríos por medios capaces de causar graves daños a los recursos naturales o al medio ambiente [...]. (Artículo 338)

En este marco, la explotación ilícita de yacimientos ha sido identificada por el Ejército Nacional como un factor de inestabilidad en razón de que la realización de esta actividad provoca inseguridad social, económica, judicial y deja un marcado deterioro del medio ambiente, puesto que, gran parte de estos casos surgen en un contexto en que los Grupos Armados Organizados (GAO) tienen capacidad para obtener ganancias de esta actividad ilícita. Esto les permite financiar su supervivencia durante un largo conflicto asimétrico con la Fuerza Pública en Colombia (Comando General de las Fuerzas Militares, 2018).

Además, esta fuente ilícita de recursos por lo general utiliza sus mismas estructuras para el narcotráfico. Así, la dimensión de este problema ha llegado a extremos preocupantes, pues el poder económico ilegal alcanzado por esta actividad, en su gran mayoría, genera control territorial por parte de los GAO en las regiones, lo cual provoca enormes consecuencias sociales —desplazamiento forzado, homicidios, secuestros— y daños al medio ambiente por la vulneración contra los recursos naturales, particularmente de los ecosistemas (Comando General de las Fuerzas Militares, 2018).

En este contexto, la explotación ilícita de yacimientos mineros se desarrolla sin los requisitos previstos por la ley —título minero y licencia ambiental— y emplea maquinaria pesada para el arranque de los minerales, que, de acuerdo con el Decreto 2235 del 2012, “agrava el daño ambiental y fomenta la economía ilícita que financia actividades delincuenciales y terroristas con el consiguiente impacto negativo sobre la población y la comunidad en general”.

Por otro lado, algunas investigaciones hechas por Inteligencia Militar del Ejército Nacional de Colombia, han permitido determinar que los grupos ilegales integran estrategias políticas propias de su ideología y estrategias de crecimiento económico, las cuales influyen a las comunidades, que como producto de las necesidades básicas insatisfechas, la poca inversión estatal, la ausente fuerza pública y promesas de políticos que no cumplen, son el principal motor que utilizan los grupos ilegales para sembrar una política de resistencia contra las leyes colombianas, en las que se encuentran comunidades que viven como nación independiente, con sus propias reglas y normas de

comportamiento ciudadano, adeptos a las políticas organizativas y de “beneficio” que brinda la organización ilegal. Frente a lo anterior, los habitantes de los territorios se ven forzados a promover la extracción ilegal de minerales. Sin embargo, este tipo de fenómenos son producto de las condiciones sociales poco fortalecidas por los gobiernos centrales, que han permitido a estos grupos obtener cierto grado de control territorial ante la mirada ausente del gobierno central.

Marco teórico

El glosario técnico minero (Ministerio de Minas y Energía, 2003) reconoce y describe unos tipos de minería legal —explotación lícita de yacimientos mineros—: legal, formal, a cielo abierto, subterránea, a granel, aluvial, de subsistencia, marina y por paredones; todos estos calificativos además de causar confusión, en ciertos casos, también generan incertidumbre en la aplicación de normas o reglamentos.

La Agencia Nacional de Minería (2015), conforme con la Ley 685 del 2001, determinó que “toda persona natural o jurídica nacional o extranjera para realizar la exploración y explotación de minerales de forma legal debe contar con título minero inscrito en el Registro Minero Nacional y las respectivas autorizaciones ambientales —licencia ambiental—” Pp. 11.

El artículo 159 de la Ley 685 del 2001 hizo un importante avance sobre la definición de la minería ilegal o explotación ilícita, en los siguientes términos:

La exploración y explotación ilícita de yacimientos mineros, constitutivo del delito contemplado en el artículo 244 del Código Penal, se configura cuando se realicen trabajos de exploración, de extracción o captación de minerales de propiedad nacional o de propiedad privada, sin el correspondiente título minero vigente o sin la autorización del titular de dicha propiedad. (Ley 685, 2001, artículo 159)

Por su parte, el Ministerio de Minas y Energía (2003), por medio del glosario técnico minero, define a la minería ilegal —explotación ilícita de yacimientos mineros— como:

Es la minería desarrollada sin estar inscrita en el Registro Minero Nacional y, por lo tanto, sin título minero. Es la minería desarrollada de manera artesanal

e informal, al margen de la ley. También incluye trabajos y obras de exploración sin título minero. Incluye minería amparada por un título minero, pero donde la extracción, o parte de ella, se realiza por fuera del área otorgada en la licencia ambiental. (Ministerio de Minas y Energía, 2003, p. 108)

De acuerdo con el Ejército Nacional, la explotación ilícita de yacimientos mineros definida en el Plan Bicentenario, Héroes de la Libertad:

[...] son todas aquellas actividades de exploración, explotación y extracción de yacimientos mineros y otros materiales como arena, material pétreo y de arrastre a los cauces y orillas de los ríos, sin el permiso de la autoridad competente o con incumplimiento de la normatividad existente y por medios capaces de causar graves daños a los recursos naturales o al medio ambiente. (Comando General de las Fuerzas Militares, 2018)

La minería es la actividad económica cuyo propósito es la explotación de un yacimiento mineral, se practica a cielo abierto, en superficie o de manera subterránea. Existen dos clases de minas: la mina activa y la mina inactiva. La primera es aquella a la que en tiempo presente se le está realizando la labor de explotación y extracción de minerales, y la segunda es aquella que se trabajó hace un tiempo y por alguna razón de terreno o improductividad se cerró. En Colombia se practica la explotación lícita e ilícita de yacimientos mineros, la legal es aquella que cuenta con los permisos pertinentes y adopta toda la regulación establecida por el Estado, y la ilegal es la que se sale de la normatividad y por ende ocasiona daños irreparables.

Dicho sistema al que no está supeditada la explotación ilícita es el mismo que la define para señalar su clandestinidad y precisar sus consecuencias. Aunque las tierras están dadas por contrato de concepción a empresas multinacionales, la explotación que se desarrolla allí es ilegal, debido a que las personas nativas del territorio no han podido legalizarse, unas por desconocer el proceso, y otras porque se consideran dueñas del territorio y en medio del desconocimiento creen que el Estado les quitará sus tierras.

Minería a cielo abierto

Este tipo de extracción consiste en el derrumbe de tierra del filón con la ayuda de máquinas retroexcavadoras de una gran proporción de suelo y subsuelo, el

cual es procesado después y lavado con grandes cantidades de agua dulce para poder extraer elementos como el oro. A pesar de las grandes cantidades de tierra que son removidas, el mineral puede encontrarse en muy bajas concentraciones, lo que conlleva al derrumbe indiscriminado del filón. Para este tipo de actividad se emplean sustancias químicas tóxicas y contaminantes. Por otra parte, durante la práctica de la minería a cielo abierto se cavan gigantescos cráteres de los que se extraen de 20 a 200 gramos de oro diario.

Minería subterránea o de veta

La minería subterránea o de socavón es aquella que se desarrolla cuando el mineral tiene su mayor concentración en el subsuelo, cuando las vetas son angostas y profundas. Las vetas tienen inclinaciones que pueden variar según su formación. Este método de explotación consta de los siguientes procesos: exploración, desarrollo, preparación, explotación y extracción, transporte y manipulación de minerales, para que los yacimientos sean explotados se construye un sistema de tambores paralelos al filón, utilizando explosivos para desmontar la roca, y una vez taladrada, se soporta con madera y acero que proporcionan la sostenibilidad del terreno. Dentro de la veta se construye un carril junto a un carro de mina, una vez se hace la detonación se procede a extraer el material desde la profundidad al exterior usando el carro de mina.

La perforación de túneles y socavones posibilita la extracción de los minerales, estos túneles pueden alcanzar profundidades de hasta 2.000 metros aproximadamente, con diferentes guías de acceso en su interior, una vez es desmontado el filón a través del proceso realizado con máquina y minería a cielo abierto, se procede a determinar mediante estudios de exploración si es posible seguir extrayendo en el mismo lugar, lo cual permite distinguir que allí se llevan a cabo dos tipos de minería: la de veta y cielo abierto.

Minería de bareque y chorro

La minería de bareque o barequeo es aquella que se realiza por medio del lavado manual de las arenas que en su mayoría son desmontadas por las máquinas retroexcavadoras. Con el uso de una batea de madera, el minero separa y recoge el oro contenido en las arenas, de igual forma se permite la

recolección de piedras que a simple vista deja ver la presencia de material aurífero. Cuando no se cuenta con la máquina retroexcavadora, los barequeros utilizan motores generadores de electricidad para instalar motobombas y mangueras, que permiten lavar las rocas, dejando correr el agua por una canal de madera donde se depositan las arenas procedentes de la roca, para así, al final de la jornada, lavar las arenas y manualmente hacen la separación y recolección del oro.

Métodos

Para el desarrollo y con el fin de evidenciar la pertinencia de las acciones del Ejército Nacional en el marco de esta investigación en tono a los métodos y estrategias para contrarrestar los daños ambientales en el suelo y las fuentes hídricas, específicamente se recaudó información de la zona del Bajo Cauca antioqueño y la serranía de San Lucas, que hacen parte del diagnóstico de la afectación ambiental en el territorio colombiano, a partir del examen de documentos estatales y doctrinales del Ejército Nacional, entre otros.

Resultados y análisis

La explotación ilícita de minerales coacciona la biodiversidad en Colombia y es una de las principales amenazas en contra de la biodiversidad y los ecosistemas en nuestro país. La explotación ilícita de minerales “Se ha disparado en los últimos cinco años, de la mano de miles de dragas y retroexcavadoras que en cuestión de meses son capaces de convertir en un desierto de arenas muertas y lagunas de mercurio áreas más grandes que cualquier centro urbano de toda la región” (Martínez, 2015). A lo anterior se suma la convergencia de esta economía ilícita con los GAO, la cual ha sido predominante en esta subregión del país donde se disputan el control territorial el GAO-Clan del Golfo, el GAO-Caparros y el GAO-residual Frente 18 (Fundación Paz y Reconciliación, 2020). Es importante resaltar que el Bajo Cauca antioqueño se encuentra en “una situación excepcional en términos de posición geoestratégica para el desarrollo de esta actividad criminal, debido a la riqueza en recursos naturales, afluentes hídricos y, una gran variedad de productos de extracción de interés estratégico en su subsuelo” (Sarmiento y Gutiérrez, 2014, p. 120).

El Ejército Nacional, en el marco del concepto de la seguridad multidimensional ha ejecutado un Plan de Recuperación Ambiental ESUS, a través del cual ha direccionado estrategias para el cuidado del recurso hídrico en el Bajo Cauca afectadas por la contaminación química, la remoción de tierra, la generación de residuos sólidos y la desviación del caudal de los ríos provocadas por la práctica esta actividad ilícita.

El daño ecológico se está cuantificando, el Batallón de Inteligencia Militar 1 (BAIMI1) ha diseñado estrategias, utilizando un equipo de talento humano calificado y la mejor tecnología, con el fin de localizar las zonas con cultivos ilícitos y minería no legal, en algunos territorios donde se han identificado más de 1.300 puntos aproximadamente, en los que se extrae oro de aluvión, plata, bronce, cobre, uso de máquinas retroexcavadoras de referencia 320 tipo Caterpillar, dragas, motores de chorro y uso ilegal de mercurio para desarrollar la actividad ilegal. Los reportes de inteligencia manifiestan además que hay alrededor de 49.501 hectáreas de tierras absolutamente afectadas gracias a los efectos de la extracción descontrolada de oro, plata y bronce.

Tabla 1. *Jurisdicción del BAIMI 1*

Departamento	Hectáreas afectadas
Antioquia	35.581 hectáreas
Bolívar	8.629 hectáreas
Córdoba	5.291 hectáreas

Fuente: Informes de Inteligencia Militar BAIMI1.

De acuerdo con la información de la tabla 1, la actividad económica ilegal que actualmente les brinda a las organizaciones al margen de la ley la oportunidad de captar ilegalmente dinero y recursos naturales, para poder financiar actos terroristas en contra de la institucionalidad colombiana. En Colombia hay aproximadamente 233 municipios que ejercen la minera ilegal, el 60% aproximadamente corresponde a explotación de oro, plata y bronce; el 25% aproximadamente extrae coltán; un 10% aproximadamente explota carbón y un 5% aproximadamente explota tungsteno.

La Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC) estableció que la aglomeración más significativa de zonas con explotación ilícita

aluvial de oro se localiza en la macrocuenca Magdalena-Cauca, fundamentalmente al nororiente del departamento de Antioquia y sur de Bolívar, en los municipios de “Zaragoza, El Bagre, Nechí, Caucasia, Segovia y Montecristo y Santa Rosa del Sur, respectivamente, las subcuencas donde se ubican estos municipios tienen en su mayoría más de 1000 hectáreas en esta actividad” (UNODC, 2016, p. 47).

En los últimos años se ha registrado un incremento en la explotación ilícita de oro en el Bajo Cauca antioqueño; los GAO han mostrado un interés creciente en la explotación ilícita de yacimientos mineros como principal fuente de financiación, que se explica por el aumento en el precio del oro, sumado a la creciente rentabilidad y la captación de ganancias (Sarmiento y Gutiérrez, 2014, p. 121).

Efectos ambientales por explotación ilícita de yacimientos mineros

En este apartado se exponen los principales hallazgos encontrados sobre los impactos ambientales que provoca la explotación ilícita de yacimientos mineros a las fuentes hídricas, entre ellos, la contaminación química de las fuentes hídricas y la remoción de tierra, la generación de residuos sólidos y la desviación del caudal de los ríos.

De acuerdo con Fino (2017), el medio ambiente es uno de los fenómenos preocupantes en el planeta y la crítica degradación que se ha venido vislumbrando en las últimas décadas ha provocado un enorme desasosiego frente a la acción antrópica sobre los recursos a nivel mundial, debido al “daño paulatino de los ecosistemas, que conlleva a la extensión de especies, y a la disminución de la probabilidad de existencia y supervivencia en un futuro no muy lejano” (p. 1).

La falta de administración y manejo apropiado de los residuos sólidos de diferentes tipos se consolida en la causa principal de contaminación del agua. Las sustancias contaminantes de las fuentes hídricas tienen origen humano y su escorrentía modifica las características del agua; infortunadamente no alcanza a limpiarse por medio del ciclo hidrológico y se vuelve nociva, tanto para el consumo humano como para el ecosistema en el que se mueve (Fundación Aquae, s. f.).

La extracción ilícita del oro ha provocado una fuerte degradación del medio ambiente, particularmente, en las fuentes hídricas debido a la explotación ilícita de oro de aluvión, la cual se desarrolla en las riberas o cauces de los ríos sin cumplir con “las exigencias de carácter administrativo, técnico, social, jurídico y medioambiental; no es jurídicamente tolerada, por cuanto su desarrollo se tipifica en un delito” (Sarmiento y Gutiérrez, 2014, p. 127). Ahora bien, entre los impactos más relevantes provocados por la explotación ilícita de oro de aluvión en los recursos hídricos se encuentran:

La contaminación por sustancias tóxicas (mercurio y cianuro), la disposición directa de relaves y efluentes contaminados en los ríos, el daño en áreas aluviales, los daños al ecosistema por erosión y deforestación, y la destrucción de los páramos y del paisaje en general (Güiza, 2011, p. 129). En este sentido, actividades industriales como la explotación ilícita aluvial emplea el agua para procesos productivos de procesamiento para la extracción de los recursos naturales. Los desechos de estos procedimientos conllevan una gran carga contaminante, la cual es vaciada en ríos y lagos, disponiendo en ellos, por ejemplo, materiales como hidrocarburos, aceites minerales y compuestos que contienen elementos químicos tóxicos como el mercurio, el uranio, el plomo, el cianuro, el ácido sulfúrico y disolventes utilizados en la separación de los minerales de la mena (Fundación Aquae, s. f.).

La Sentencia C-259 del 2016 expuso las consecuencias negativas producidas por la explotación ilícita de yacimientos mineros:

Provoca la erosión del suelo, la liberación de sustancias tóxicas (cianuro y mercurio), la mala gestión de fuentes de agua y afectaciones a la calidad del aire por material particulado y ruido. La gravedad de la situación se debe a que su operación fuera de la intervención del Estado impide la toma oportuna de decisiones que permitan mitigar, o compensar los impactos generados, así como en los sistemas de planificación diseñados en el ordenamiento jurídico.

Contaminación química de las fuentes hídricas

Veiga (citado por Güiza y Suárez, 2011) explica que la Organización de Naciones Unidas expuso en un informe que Colombia es el país “con mayor contaminación de mercurio en el agua, teniendo en cuenta que cada año se

eliminan al ambiente, en promedio entre 50 y 100 toneladas de mercurio durante el proceso de extracción de oro” (p. 134). Así pues, la FAO (s. f.) indica que el acumulado de mercurio en los sedimentos se puede configurar en un contaminante químico de las fuentes hídricas en función de la carga química que es transportada a través de estos. En este sentido, los sedimentos con contenido de mercurio resultantes de la explotación ilícita de yacimientos mineros:

Son consumidos directamente por los peces, pero también hacen parte del alimento disponible para otros organismos (que habitan en el fondo), los cuales, a su vez, son alimento para otros superiores. Las sustancias químicas se bioacumulan y se transportan desde el suelo como parte del proceso de escorren-tía y erosión, van concentrándose periódicamente a lo largo de la cadena alimenticia, incluido el hombre. (Párr. 14)

De igual manera, Delgado-Duque (2016) puntualizó en que “la extracción ilícita de yacimientos mineros requiere de enormes cantidades de agua y, por tanto, genera el desecho de agua contaminada con cianuro y mercurio a las fuentes hídricas” (p. 87).

Asimismo, Díaz-Arriaga (2014) manifestó que el uso del mercurio en la explotación ilícita de yacimientos mineros provoca escandalosas concentraciones de estos elementos químicos en las fuentes hídricas:

El mercurio proveniente de los entables mineros no solo afecta la zona donde es vertido, sino también aquellas ubicadas aguas abajo de los mismos. Este finalmente llega a zonas agrícolas, de pesca y a fuentes de abastecimiento de agua potable, donde por lo general, las bocatomas, o sistemas de captación, se encuentran ubicadas más cerca de los sedimentos, donde es mayor la contaminación, que de la superficie de los ríos. (Díaz-Arriaga, 2014, p. 953)

Por otro lado, la Fundación Ideas para la Paz (2011) aclaró que el uso excesivo y descuidado del mercurio ocasiona graves daños a las fuentes hídricas y también a “los habitantes de las riberas de los ríos que transportan los residuos tóxicos. El mal manejo de los cauces de los ríos produce periódicamente desbordamientos e inundaciones que tienen serias consecuencias sociales y económicas para los pobladores” (p. 14).

En este contexto, Güiza y Suárez, 2011, p.123) plantean que “los métodos de recuperación del oro fino, son los más contaminantes, principalmente por el uso de sustancias químicas que tiene gran efectividad en la recuperación del

oro”. Así mismo, la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) (2007) dispuso que el uso de mercurio y cianuro en los procesos específicos de la minería aurífera, “a mediano y largo plazo, puede contaminar y acidificar el recurso hídrico y generar impactos en la supervivencia de las poblaciones y biodiversidad del ecosistema acuático, por exposiciones crónicas y prolongadas a los mismos”.

Por tanto, Díaz-Arriaga (2014) sugiere que si se suspende el uso del mercurio en los procedimientos de la minería de oro “el metal que ya está acumulado en suelos y sedimentos¹ seguirá contaminando durante décadas; será resuspendido y transportado en el ambiente a menos que se inicien procesos de remediación, lo cual minimizaría el daño causado” (pp. 953-954).

Remoción de tierra, generación de residuos sólidos y desviación del caudal de los ríos

Mediavilla (2019) establece que los impactos ambientales provocados por actividades mineras al margen de la ley “provocan un grado crítico de contaminación en los efluentes alledaños y no solo de sus efluentes sino también en el suelo debido a la cantidad de tierra removida, la generación de residuos sólidos y la alteración del paisaje natural” (p. 1).

Por su parte Güiza y Suárez (2011) suscitan que entre los impactos ambientales más considerables causados por las actividades mineras ilícitas son los daños por erosión y deforestación gracias al uso de maquinaria pesada y la destrucción del paisaje en general (p. 129). Asimismo, Dulcey (2019) expone que esta actividad genera la “desviación del caudal de los ríos, lo cual provoca una transformación del paisaje de los territorios. Además, produce el exterminio de animales como peces, guaguas, nutrias, entre otros, y todo el paisaje natural es transformado por las excavaciones” (p. 7).

Conforme con Delgado-Duque (2016) los métodos empleados para la explotación ilícita de los minerales implican la

¹ Son el conjunto de partículas que quedan depositadas en el fondo de los ríos, se constituyen en una parte inherente de estos.

eliminación de una gran extensión de vegetación para poder llegar a los yacimientos subterráneos llevando a cabo diversos procesos químicos y mineros que deben ser utilizados para lograr una extracción eficaz, ocasionando el debilitamiento de existentes y nacientes fuentes hídricas. (p. 79)

Por ende, señala que la “remoción de arena con maquinaria pesada para la búsqueda de oro a la orilla de los ríos afecta, en gran medida, el color cristalino de las principales fuentes hídricas de las zonas afectas por este flagelo” (p. 80).

Lillo (2006) planteó que el uso de maquinaria pesada en la explotación ilícita de yacimientos mineros provoca un grave deterioro en las aguas superficiales y subterráneas, puesto que genera alteraciones en la dinámica fluvial como:

1) Variación del perfil y trazado de la corriente fluvial, variaciones en el nivel de base local, alteración en la dinámica (variaciones en las tasas de erosión/sedimentación) en el perfil (aguas abajo y aguas arriba) por excavaciones, diques y represas. Aumento de la peligrosidad de inundación; 2) incorporación de partículas sólidas en la corriente, aumento de la carga de fondo y en suspensión, incremento en las tasas de sedimentación aguas abajo; 3) pérdidas de masas de agua. (pp. 22-24)

Por otra parte, España y Serna (2016) exponen que el empleo de maquinaria pesada para el arranque de los minerales, depone considerables cantidades de suelo y subsuelo, para sustraer los minerales; la práctica de esta actividad comprende variedad de impactos, entre los cuales se destaca la afectación de las aguas superficiales y freáticas o subterráneas.

Finalmente, la Universidad de Antioquia y la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (Corantioquia) (2014a) precisaron en que el empleo de maquinaria en la explotación ilícita de yacimientos mineros produce destrucción de superficies más amplias, que de igual manera “sigue presentando contaminación de los recursos hídricos, con la sedimentación, el mercurio que se está acumulando en los cuerpos de agua, los combustibles y los aceites que requiere la maquinaria también contaminan de manera importante” (p. 138).

Protección de ambiente y seguridad “seguridad multidimensional”

La seguridad desde su conceptualización se ha enmarcado en una postura multidimensional —seguridad multidimensional— en la cual se reconoció que, aparte de las amenazas militares, subsisten otro tipo de amenazas y problemáticas —medioambientales, políticas, económicas, seguridad humana, migraciones masivas, etc.— que pueden ser incluso transfronterizas y globales (Stein, 2009).

De acuerdo con Ortega y Font (2012) “las estrategias para atacar esa nueva realidad no pueden ser las estrictamente militares, sino que hay que introducir estrategias diplomáticas, civiles, militares, policiales y de cooperación al desarrollo, entre otras” (p. 161). Conforme con Blackwell (2015):

El gran mérito y la condición orientadora del concepto de Seguridad Multidimensional, radica en su capacidad de ofrecer una visión coherente e integral del conjunto de las amenazas a la seguridad que nuestras naciones y nuestros ciudadanos deben enfrentar y la manera igualmente integrada y coherente de hacerlo. (p. 155)

En conclusión, como lo expone Saint-Pierre (2008.) “el concepto de seguridad se amplió para incluir otros sujetos perceptores y blancos de las amenazas, y se profundizó para abarcar otras formas y medios de amenazas” (p. 60).

La protección del medio ambiente conforme con la seguridad multidimensional

En el contexto del concepto de la seguridad multidimensional, las acciones de las fuerzas de seguridad estatales por contrarrestar el deterioro del medio ambiente, se constituye como una amenaza no tradicional a la seguridad y forma parte de las amenazas que provienen propiamente de la naturaleza (Muñoz, 2009).

Como afirma Celi (2015), el concepto tradicional de la seguridad plantea como función principal de las Fuerzas Armadas la defensa de soberanía y la integridad territorial, sin embargo, desde la óptica del concepto de seguridad multidimensional surgido después de la culminación de la guerra fría,

la protección del medio ambiente se constituye en una función multidimensional y complementaria de la defensa de la soberanía y la integridad territorial.

De acuerdo con la Comunidad Andina de Naciones (2012), la explotación ilícita de yacimientos mineros es un desafío de carácter multidimensional, el cual deriva una grave amenaza para la paz, la seguridad, la economía, el medio ambiente y los recursos naturales de Colombia, en todos sus aspectos, y le impide a la sociedad potenciar el desarrollo económico, social y ambiental sostenible, de manera que:

El aprovechamiento de las capacidades instaladas de las Fuerzas Armadas y sus potencialidades logísticas y organizativas, se presenta como un recurso con el que los Estados cuentan para asegurar su presencia territorial, a fin de evitar la formación de áreas vacías sobre las que puedan proyectarse amenazas transfronterizas o factores de riesgo multidimensionales que afectan a la seguridad en un sentido amplio. (Celi, 2015, pp. 21-22)

El papel del Ejército contra la explotación ilícita de yacimientos mineros en el marco de la seguridad multidimensional

El Ejército Nacional, en el contexto de la perspectiva incluyente del conglomerado de factores de inestabilidad y situaciones que se conciben en amenazas para la seguridad, ha fortalecido su accionar contra la explotación ilícita de minerales, no solo en virtud de neutralizar una de las principales fuentes de financiación de los GAO —concepto tradicional de la seguridad— sino también en pro de conservar, proteger y recuperar el medio ambiente en Colombia (Blackwell, 2015).

En este sentido, ha fomentado y facilitado el trabajo articulado entre instituciones y actores sociales para confrontar esta actividad ilícita. Teniendo en cuenta, la particularidad multidimensional del peligro que contrapone para la seguridad ha gestionado a una mayor concientización respecto a la necesidad de trabajo conjunto de instituciones como los ministerios de Defensa, Medio Ambiente, Minas y Energía y otras instituciones del Estado. A su vez, está adquiriendo conciencia del carácter progresivamente indispensable de la cooperación de la sociedad civil organizada, como apoyo y complemento de la acción institucional (Blackwell, 2015).

Por consiguiente, la identificación de nuevas clases de amenazas (no solo las tradicionales), es el reflejo manifiesto de la preocupación del Ejército Nacional por responder a las amenazas emergentes a la seguridad, como los daños al medio ambiente provocados con ocasión de la explotación ilícita de yacimientos mineros.

En este contexto, la obtención de información sobre las acciones que lleva a cabo el Ejército Nacional para contrarrestar los daños ambientales a las fuentes hídricas en el Bajo Cauca antioqueño causados por la explotación ilícita de yacimientos mineros, denotan que, para la conservación y recuperación del recurso hídrico en esta subregión del país, la Fuerza ha ejecutado el Plan de Recuperación Ambiental ESUS —a nivel nacional— en cumplimiento del Plan de Campaña Bicentenario y la Operación Mayor Artemisa, enfocándose fundamentalmente en la siembra de árboles —más de 9.000 en el Bajo Cauca— con el propósito de que, a través de sus raíces, absorban las sustancias contaminantes que se hallan en los ríos como mercurio, cianuro y otras; además, ha ordenado a las Unidades Tácticas que desarrollen jornadas de recolección de residuos en los afluentes para disminuir y mitigar la contaminación química en las aguas abajo; la capacitación de oficiales y suboficiales como gestores ambientales para la conservación del recurso hídrico; y la promoción de jornadas para divulgar información a las comunidades aledañas a los ríos sobre los riesgos que afectan este recurso, para su conocimiento y prevención (Ejército Nacional, 2020).

Esto se configura en una ampliación por parte del Ejército Nacional del concepto tradicional de la seguridad a uno de carácter multidimensional, en el cual su misión no solo se concentra en neutralizar a los GAO, sino que se extiende también a contrarrestar nuevas amenazas a la seguridad como el deterioro del ambiente, en este caso en particular, en procura de conservar, defender y recuperar las fuentes hídricas en Colombia afectadas por la práctica de la explotación ilícita de yacimientos mineros (Muñoz, 2009).

Desde el concepto de la seguridad multidimensional los daños ambientales a las fuentes hídricas por ocasión de la explotación ilícita de minerales se fundamentan en una amenaza no tradicional a la seguridad que proviene propiamente de las acciones del hombre sobre la naturaleza. Por esta razón,

la conservación y protección del ambiente por parte del Ejército se consolida en una responsabilidad multidimensional y complementaria de la defensa de la soberanía nacional y la integridad territorial de Colombia, puesto que, esta economía ilícita en todos sus aspectos traza una amenaza para la paz, la salud, el ambiente, la seguridad y los recursos naturales estratégicos de la nación (Muñoz, 2009).

Debido a ello, el Ejército Nacional, considerando el peligro que representa para la soberanía y la integridad territorial de Colombia los daños ambientales al recurso hídrico, ha emprendido una mayor concientización sobre la necesidad de reacción conjunta y coordinada con las autoridades ambientales en las zonas mayormente afectadas por este flagelo; así mismo, ha generado consciencia sobre la importancia de fortalecer lazos con el tejido social como apoyo y complemento de la acción institucional (Blackwell, 2015).

No obstante, pese a las medidas que ha emprendido el Ejército Nacional en el marco del Plan ESUS para contrarrestar los daños al recurso hídrico en el Bajo Cauca por la práctica de la explotación ilícita de yacimientos mineros, es menester que se continúen diseñando estrategias de manera conjunta, coordinada para contener la importación del mercurio para su utilización en actividades extractivas. En vista de que, aun cuando en el 2018 el Gobierno nacional prohibió su uso y restringió su importación para cualquier actividad de extracción de minerales, el mercado del mercurio continúa siendo muy activo en Colombia; además, los GAO han encontrado otras formas para poder ingresar el mercurio al país por la vía del contrabando o por lo que se ha conocido en Suramérica como el tráfico ilícito de mercurio —ligado al tráfico de armas y al narcotráfico—, debido a su alta demanda para la extracción de oro, lo cual se ha incrementado en la última década por la subida vertiginosa del precio en el mercado internacional (Miranda, 2020).

Teniendo en cuenta esto, es preciso resaltar que en el 2018 Colombia ratificó el Convenio de Minamata: un tratado internacional cuyo objetivo es proteger el ambiente y la salud humana de las emisiones de mercurio y sus compuestos, de manera que es fundamental que por parte del Ejército Nacional se implementen medidas para controlar con mayor exhaustividad el ingreso del mercurio por puertos claves del comercio e intercambiar informa-

ción con las Fuerzas Militares de otros países de la región para identificar los focos, rutas y redes del tráfico ilegal de mercurio en América Latina; todo esto con el fin de minimizar/mitigar a nivel nacional la creciente contaminación de las fuentes hídricas por ocasión de su desproporcionada utilización en la explotación ilícita de yacimientos mineros.

Por las consideraciones anteriores, es procedente continuar profundizando y desarrollando proyectos de investigación en este campo, puesto que como se evidenció durante el desarrollo de esta revisión, la explotación ilícita de yacimientos mineros ocasiona problemas ambientales, sociales y culturales de gran magnitud.

Conclusiones

El Ejército Nacional ha desarrollado diversas acciones para contrarrestar los daños al medio ambiente, profundizando esta labor desde el 2019 con el lanzamiento de la Operación Mayor Artemisa para la protección del agua y la biodiversidad, en este contexto, en el 2020 la institución proyecta un Plan de Recuperación Ambiental del Ejército Nacional ESUS con la finalidad de proteger los recursos naturales y la recuperación de los ecosistemas estratégicos de la nación.

En este orden de ideas, el Ejército Nacional en el marco de mencionado plan diseñó una estrategia enfocada en la conservación, defensa y recuperación de las fuentes hídricas en Colombia; en este ámbito, ha emprendido labores para recuperar los recursos hídricos que han sido afectados por la práctica de la explotación ilícita de yacimientos mineros en el Bajo Cauca antioqueño, en particular, por la contaminación química que ha provocado en los ríos Cauca, Nechí, Cacerí y Man el uso inapropiado y excesivo de sustancias químicas nocivas como el mercurio y el empleo de maquinaria pesada para la extracción de los minerales.

El Ejército Nacional ha determinado que, para promover el uso sostenible del recurso hídrico, su conservación y recuperación, cada Unidad Táctica en el Bajo Cauca antioqueño debe adoptar una fuente hídrica y, enseguida, un tramo de trabajo para desarrollar la siembra de 2.000 árboles contemplados

dentro de los 15.000 árboles de la meta total, la realización de dos jornadas de recolección de residuos sólidos y la ejecución de dos jornadas de sensibilización con la comunidad. Todo ello, en cooperación con las autoridades ambientales y el IDEAM, como ente encargado del monitoreo del estado del recurso hídrico de conformidad con la Política Nacional para la gestión integral del recurso hídrico.

Con todo esto se demuestra el compromiso del Ejército Nacional por enfrentar las amenazas al medio ambiente por la práctica de actividades ilegales como la explotación ilícita de yacimientos mineros, por medio de respuestas desde un enfoque multidimensional a fin de resguardar los intereses nacionales de Colombia, en relación con los riesgos, amenazas o interferencias importantes a los recursos naturales estratégicos de la nación, como el agua y, la biodiversidad. Ante ello, el deterioro del medio ambiente se configura en una nueva amenaza, preocupación y desafío a la seguridad para las Fuerzas Militares de Colombia, que exige continuar haciendo uso de herramientas de alcance integral que permitan afrontar los daños ambientales a las fuentes hídricas provocados por la explotación ilícita de minerales en Colombia.

Referencias

- Agencia Nacional de Minería. (2015). Conceptos sobre la medida de destrucción de maquinaria pesada. <https://www.anm.gov.co/sites/default/files/NormativaConceptosJuridicos/20141200387641-destruccion-de-maquinaria-pesada.pdf>
- Blackwell, A. (2015). Seguridad multidimensional: enfrentando nuevas amenazas. *Seguridad, Ciencia & Defensa*, 1(1), 6.
- CDE Global. (s. f.). Minería de oro aluvial. <https://www.cdeglobal.com/es/aplicaciones/oro/miner%C3%ADa-de-oro-aluvial>
- Celi, P. (2015). La seguridad multifuncional en la región. En S. Alda y S. de Sousa (eds.), *La multidimensionalidad de la seguridad nacional: retos y desafíos de la región para su implementación* (p. 13). Instituto Universitario General Gutiérrez Mellado.
- Comando General de las Fuerzas Militares. (2018, 18 de diciembre). Plan Bicentenario, Héroes de la Libertad. <https://www.cgfm.mil.co/es/blog/plan-bicentenario-heroes-de-la-libertad>
- Comunidad Andina de Naciones. (2012, 3 de mayo). Política Andina de Lucha contra la Minería Ilegal. Decisión 774.
- Delgado-Duque, L. (2016). El papel de los grupos ambientalistas contra la minería ilegal en Chocó: más allá del lobby. *Revista Estrategia Organizacional*, 6(1), 77-99.

- Díaz-Arriaga, F. A. (2014). Mercurio en la minería del oro: impacto en las fuentes hídricas destinadas para consumo humano. *Revista de Salud Pública*, 16, 947-957.
- Dulcey, S. L. S. (2019). *La minería ilegal un impacto ambiental que afecta los ríos Esmita y Bojoleo* [tesis de Especialización en Educación Ambiental, Fundación Universitaria Los Libertadores].
- Ejército Nacional. (2020). Operación Mayor Artemisa, Plan de Recuperación Ambiental del Ejército Nacional 2020 (ESUS).
- España, C. A., y Serna, M. (2016). *Impacto ambiental y social de la minería a cielo abierto con maquinaria pesada en el municipio de Condoto, departamento del Chocó, a partir del año 2000* [tesis de maestría, Universidad de Medellín].
- Fino, C. A. (2017). *La responsabilidad extracontractual del estado por daños al medio ambiente en Colombia: el caso de la minería ilegal dentro del conflicto armado* [tesis, Universidad Eafit].
- Fundación Aquae. (s. f.). El problema de la contaminación hídrica. https://www.fundacionaqua.org/wiki-explora/35_contaminacion/index.html
- Fundación Ideas para la Paz. (2011). Plan de consolidación en el Bajo Cauca. <http://ideaspaz.org/media/website/BajoCaucaweb.pdf>
- Fundación Paz y Reconciliación. (2020). El Bajo Cauca Antioqueño tres años de guerra y dolor. <https://pares.com.co/2020/06/26/el-bajo-cauca-antioqueno-tres-anos-de-guerra-y-dolor/>
- Güiza, L. (2011). Perspectiva jurídica de los impactos ambientales sobre los recursos hídricos provocados por la minería en Colombia. *Revista Opinión Jurídica*, 10(SPE), 123-140.
- Lillo, J. (2006). Impactos de la minería en el medio natural. <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-15564/Impactos%20de%20la%20miner%C3%ADa%20-%20Javier%20Lillo.pdf>
- Martínez, J. (2015). Nuevos desiertos avanzan detrás de la fiebre del oro. En *El Tiempo*. Recuperado de: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16460299>
- Mediavilla, J. D. (2019). *Evaluación del impacto socio-ambiental causado por actividades mineras en la parte baja de la microcuenca del río Cascales, provincia de Sucumbios* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Ministerio de Minas y Energía. (2003). Glosario técnico minero. <https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/glosariominero.pdf>
- Miranda, B. (2020, 8 de junio). Cómo creció en Sudamérica el tráfico ilegal de mercurio en los últimos años. BBC Mundo. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-52786893>
- Molina, A. (2019). El papel de las fuerzas armadas en la protección y defensa del medio ambiente en Colombia. *Centro de Estudios Estratégicos del Ejército del Perú*. <https://ceeep.mil.pe/2019/01/29/el-papel-de-las-fuerzas-armadas-en-la-proteccion-y-defensa-del-medio-ambiente-en-colombia>
- Muñoz, D. S. (2009). La nueva dimensión de la seguridad internacional y hemisférica. *Revista Política y Estrategia*, 113, 120-143.

- Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC). (2016). Explotación de oro de aluvión en Colombia. <http://www.odc.gov.co/Portals/1/publicaciones/pdf/oferta/estudios/OF5022016-colombia-explotacion-oro-aluvion-evidencias.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (s. f.). Contaminación provocada por los sedimentos. <http://www.fao.org/3/w2598s/w2598s04.htm>
- Ortega, P. y Font, T. (2012). Seguridad nacional, seguridad multidimensional, seguridad humana. *Papeles de Relaciones Ecosociales y Cambio Global*, 119, 161-172.
- Saint-Pierre, H. (2008). Defensa y seguridad. *Atlas comparativo de la defensa en América Latina*. Red de Seguridad y Defensa de América Latina (Resdal).
- Sarmiento, E. M., y Gutiérrez, M. R. (2014). Convergencia de los grupos armados organizados al margen de la ley en la minería aurífera aluvial en la subregión del Bajo Cauca antioqueño. *Criminalidad*, 56(3), 119-138.
- Stein, A. (2009). El concepto de seguridad multidimensional. *Bien Común*, 15(176-177), 31-37.
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2007). Plan Nacional Desarrollo Minero para el periodo 2007-2010. Scripto Ltda.
- Universidad de Antioquia y Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (Corantioquia). (2014a). Plan de manejo ambiental del sistema acuífero del Bajo Cauca antioqueño, segunda etapa. Informe Final, convenio interadministrativo 964 de 2013. <http://www.corantioquia.gov.co/Documentos%20compartidos/Informe%20Final%20PMAA-Bajo%20Cauca-Fase%20II.pdf>

Degradación de suelos por erosión en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). Análisis y perspectivas*

DOI: <https://doi.org/10.21830/9786289544626.03>

Yeferson Stiven Méndez Torres

Universidad de La Salle

Sebastián Betancourth Buitrago

Universidad de La Salle

Jessica Daniela Ortega Tenjo

Universidad de La Salle

Jorge Armando Rivera Daniels

Centro de Educación Militar del Ejército

Resumen. En la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) se observa que uno de los problemas más fuertes de degradación en los suelos corresponde principalmente a la erosión, con un porcentaje del 73,7% del área total de la jurisdicción según mapas de susceptibilidad (CAR, 2016). Este porcentaje hace alusión a que 860.816 ha que reflejan la necesidad de hacer frente a esa problemática mediante estrategias que ayuden a frenar o minimizar este impacto. También es importante resaltar que esta erosión está evaluada en términos físicos y estructurales, dejando de lado el uso de las características fisicoquímicas de dichos suelos erosionados o susceptibles a erosión. Debido a lo anterior, el Ejército Nacional de Colombia, junto con otras instituciones, trabaja en la consecución de información pertinente y permanente en el territorio, lo que permite un seguimiento mucho más profundo.

Palabras clave: academia, CAR, degradación de suelos, erosión, fuerzas militares, Universidad de La Salle.

* Este capítulo hace parte de los resultados colaborativos de los proyectos de investigación “Generación de modelos de seguimiento de erosión, salinidad e impacto por disposición de vertimientos en suelos en la jurisdicción de la CAR” del Grupo de Investigación CLIMA de la Universidad de La Salle y “Enfoques de la gestión ambiental como mecanismo de defensa y protección del medio ambiente” del grupo de investigación CEMIL. Los puntos de vista y los resultados de este artículo pertenecen a los autores y no reflejan necesariamente los de las instituciones participantes.

Yeferson Stiven Méndez Torres

Ingeniero Ambiental y Sanitario Universidad de La Salle. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5526-8691> - Contacto: ymendez66@unisalle.edu.co

Sebastián Betancourth Buitrago

Ingeniero Ambiental y Sanitario Universidad de La Salle. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9377-1012> - Contacto: sbetancourth27@unisalle.edu.co

Jessica Daniela Ortega Tenjo

Ingeniera Ambiental y Sanitaria Universidad de La Salle. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4192-8644> - Contacto: jortega29@unisalle.edu.co

Jorge Armando Rivera Daniels

Mayor del Ejército Nacional de Colombia; profesional en Ciencias Militares de la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”; especialista en Administración y Conducción de Unidades Militares y Especialista en gestión ambiental y desarrollo comunitario del Centro de Educación Militar. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5527-1794> - Contacto: jorge.riverada@buzonejercito.mil.co

Citación APA: Méndez Torres, Y. S., Betancourth Buitrago, S., Ortega Tenjo J. D. & Rivera Daniels, J. A. (2022). Degradación de suelos por erosión en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). Análisis y perspectivas. En A. Castro Carreño, C. A. Leguizamón Zárate & T. L. Fonseca Ortiz (Eds.), *Gestión sostenible del recurso suelo, desde los modelos de seguimiento y recuperación en las Fuerzas Militares* (pp. 47-61). Sello Editorial ESMIC. <https://doi.org/10.21830/9786289544626.03>

Gestión sostenible del recurso suelo, desde los modelos de seguimiento y recuperación en las Fuerzas Militares

ISBN impreso: 978-628-95446-1-9

ISBN digital: 978-628-95446-2-6

DOI: <https://doi.org/10.21830/9786289544626>

Colección Ciencias Militares

Serie Miles Doctus (Investigación formal terminada)

Sello Editorial ESMIC

Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”

Bogotá, D.C., Colombia

2022



Marco teórico

Los suelos se consideran erosionados cuando pierden características físicas y sus funciones ecosistémicas menguan. También se consideran erosionados cuando la productividad disminuye (Lal, 2001). El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) indica que cuando la corteza de la superficie, por el viento o por el agua, se pierde, en especial por acción antrópica, también hay erosión y ello genera consecuencias de tipo socioeconómico importante (IDEAM *et al.*, 2015). Además, es importante mencionar que los terrenos se deforman por la erosión y los movimientos en masa aumentan; el caso extremo del fenómeno es la desertificación. Por este fenómeno cada año se pierden miles de hectáreas de suelos en Colombia (MAVDT, 2016). Otras funciones que se pierden a causa de la erosión son la filtración de contaminantes y el rompimiento de los ciclos del nitrógeno, fósforo y agua, entre otros, así como la capacidad de sustentar la diversidad biológica (IGAC, 2014).

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por su sigla en inglés), en el 2019, existen tres tipos de erosión: eólica, hídrica y por labranza; en algunas regiones del mundo los tres tipos de erosión operan simultáneamente en el entorno.

- Erosión hídrica: cuando las partículas de suelo son despegadas por acción de la lluvia y la escorrentía (FAO, 2015).
- Erosión eólica: cuando el suelo se desprende de la superficie de la tierra por acción del viento (FAO, 2015).
- Erosión por labranza: cuando las acciones de la agricultura y ganadería sobre el suelo remueven las capas superficiales del mismo y lo transportan a otros lugares (FAO, 2015).

Método

Para el desarrollo de la investigación se desarrolló un análisis de como en Colombia la unión entre instituciones ambientales de orden nacional y académico han generado estudios de identificación y evaluación de algunos de los fenómenos de degradación de suelos, entre ellos, la erosión. Producto de estos estudios se han publicado varios mapas de orden nacional que indican el grado de erosión que presentan los suelos en el territorio colombiano. Entre las instituciones que han publicado mapas de erosión de los suelos colombianos sobresalen el Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del

Ambiente (Inderena) con el mapa denominado “Mapa de erosión de suelos”, publicado en 1978; el Ideam con el mapa denominado “Mapa de erosión de suelo” publicado en el 2001 y con el mapa denominado “Mapa de degradación de suelos y tierra por erosión, remoción en masa y sedimentación” publicado en el 2002 y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), el Ideam y la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA) con el mapa denominado “Zonificación de la degradación de suelos por erosión. Línea base 2010-2011”, publicado en el 2015, el cual se registra como uno de los mapas de erosión más recientes y cuya elaboración y publicación se desarrollaron en el marco del protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos por erosión.

Resultados y análisis

La erosión en el territorio CAR

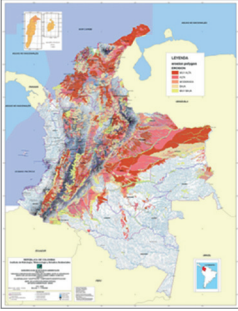
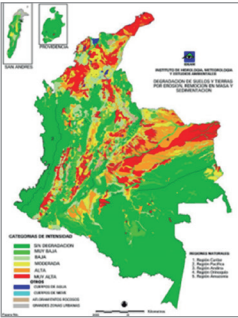
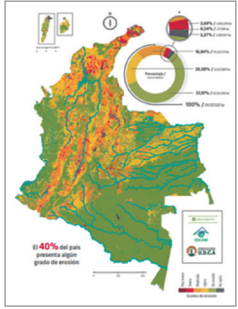
Se encontró un mapa generado por la Corporación Autónoma Regional (CAR) en un estudio muy reciente del 2018 que, aunque es la información cartográfica más actualizada encontrada, no se describe la metodología para su realización ni la ubicación de las capas; a continuación, en la tabla 1 se presentan cada uno de estos mapas, identificados por la entidad generadora, con el año de publicación y el nombre del mapa.

Tabla 1. *Recopilación de mapas existentes de erosión en Colombia*

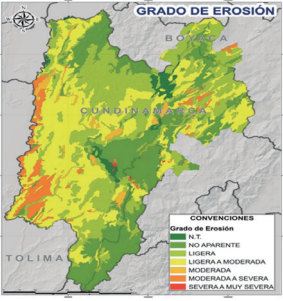
Nombre del mapa	Año de publicación	Mapa	Institución que publicó
Mapa de erosión	1978	Mapa de erosión del Inderena-1978 Fuente: IGAC <i>et al.</i> (2010).	Inderena



Continúa tabla...

Nombre del mapa	Año de publicación	Mapa	Institución que publicó
Mapa de erosión	2001	Mapa de erosión del Ideam-2001 Fuente: IGAC <i>et al.</i> (2010).	Ideam
			
Mapa de degradación de suelos y tierra por erosión, remoción en masa y sedimentación	2002	Mapa de degradación de suelos por erosión 2002 Fuente: MinAmbiente e Ideam (2014).	Ideam
			
Zonificación de la degradación de suelos por erosión. Línea base 2010-2011	2015	Zonificación de la degradación de suelos por erosión. Línea base 2010-2011 Fuente: MADS <i>et al.</i> (2015).	MADS, Ideam y UDCA.
			

Continúa tabla...

Nombre del mapa	Año de publicación	Mapa	Institución que publicó
Situación de la jurisdicción CAR por susceptibilidad a erosión	2018	Situación actual de la erosión de suelos en la subcuenca del río Machetá, Grupo Fuente: CAR (2018).	Grupo biodiversidad-suelos, CAR.
Escala 1:100.000			

Cabe resaltar que Colombia cuenta con un registro histórico de mapas de erosión en el territorio colombiano, los cuales muestran los grados de erosión que presentan los suelos a nivel nacional en términos temporales, y que permiten analizar el comportamiento del fenómeno en determinados periodos, sin embargo, no se evidencia la armonización de métodos para la estimación de los grados de erosión. Cada método de estimación incluye variables que no son comparables unas con otras, ya sea por el mismo planteamiento del tipo erosión que considera cada método de estimación o por las variables propias de las ecuaciones y modelos análogos desarrollados para el estudio de los procesos de erosión. Esto se refleja, por ejemplo, en el mapa de erosión desarrollado por el Inderena, en el cual los grados de erosión se califican del 1 al 7; mientras, que el mapa desarrollado por el IDEAM en el 2001 indica que los grados representados son “muy alta”, “alta”, “moderada”, “baja” y “muy baja”; por otro lado, el mapa generado por el IDEAM en el 2002 considera los grados “muy alta”, “alta”, “moderada”, “baja”, “muy baja” y “sin degradación” y, la misma entidad, en el 2015 indica que los grados son: “muy severa”, “severa”, “moderada”, “ligera” y “sin erosión”. además, el mapa desarrollado por la CAR presenta los valores de: “NT”, “no aparente”, “ligera”, “ligera moderada”, “moderada”, “moderada severa” y “severa muy severa”. Lo que de entrada genera un problema que impide un buen análisis de la situación del país a lo largo del tiempo, si bien los estudios que las instituciones han desarrollado son valiosos para el estudio

de los procesos de erosión en los suelos del territorio colombiano, es necesario armonizar las metodologías para la estimación de la erosión y profundizar en el desarrollo de informes y documentación que constate los procedimientos realizados para la elaboración de los mapas.

Debido a lo anterior y con el fin de configurar una línea base, se escogieron los mapas del IDEAM (2002); IDEAM, MADS, UDCA (2015) y CAR 2018. La selección respondió a un proceso de evaluación, en el que se priorizó la resolución, la capacidad para el análisis de la zona objeto de estudio en el mapa nacional y la posibilidad del análisis según la categorización de la intensidad de la erosión presentada en cada uno de estos para la identificación de los grados de erosión que presentan los suelos. De los mapas nacionales se tomó la sección bajo la jurisdicción de la CAR y la leyenda de los grados de erosión considerados en ella. En la tabla 2 se observan los mapas y sus secciones:

Tabla 2. Línea base de erosión CAR a partir de la información nacional

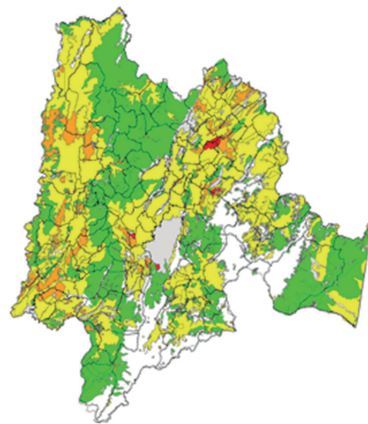
Recorte del departamento de Cundinamarca del mapa de degradación de suelos y tierra por erosión, remoción en masa y sedimentación.	Leyenda
Fuente: modificado de Ideam (2010).	
	CATEGORIAS DE INTENSIDAD - SIN DEGRADACION - MUY BAJA - BAJA - MODERADA - ALTA - MUY ALTA OTROS - CUERPOS DE AGUA - CUERPOS DE NIEVE - AFLORAMIENTOS ROCOSOS - GRANDES ZONAS URBANAS

Continúa tabla...

Área del departamento de Cundinamarca de la zonificación de la degradación de suelos por erosión. Línea base 2010-2011.

Fuente: modificado de MADS, Ideam y UDCA (2015).

Leyenda



GRADO

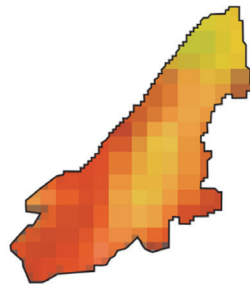


En concordancia con lo anterior se analizó cada municipio de las direcciones regionales delimitadas en el área de estudio, con el fin de determinar la relación de los procesos y grados de erosión. A continuación, en la tabla 3 se presenta un ejemplo de lo realizado en el municipio de Girardot y más adelante la conclusión global para cada dirección.

Tabla 3. *Municipio de Girardot*

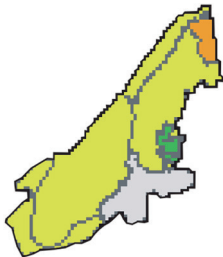
Mapa de degradación de suelos por erosión 2002-municipio Girardot.

Fuente: modificado de MinAmbiente e Ideam (2014).



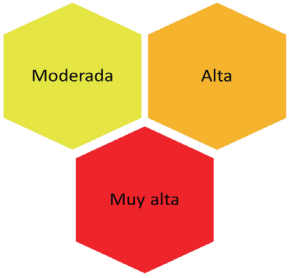
Zonificación de la degradación de suelos por erosión. Línea base 2010-2011-municipio Girardot.

Fuente: modificado de MADS et al. (2015).



Continúa tabla...

Grados de erosión registrados en el mapa de degradación de suelos y tierra por erosión, remoción en masa y sedimentación en el municipio de Girardot, 2002.



Grados de erosión registrados en la zonificación de la degradación de suelos por erosión en el municipio de Girardot, 2010-2011.



De acuerdo con el mapa 2002, se evidencia que el municipio presenta los grados de erosión; “moderada” en los sectores central y norte, “alta” sectores central y sur, “muy alta” en el sector suroccidental del municipio. Por otro lado, el mapa 2010 presenta los grados de erosión “moderada” en la mayor parte de su territorio; siendo esta la más representativa por su extensión, “ligera” en el sector oriental y “severa” en la parte norte del municipio.

A continuación, la tabla 4 se muestran los resultados de algunas de las diferentes direcciones regionales:

Tabla 4. Resultados de las direcciones con información de los mapas nacionales

Dirección regional	Resultados globales obtenidos erosión
Dirección regional: Alto Magdalena	Moderada, alta y severa.
Dirección regional: Tequendama	Ligera, moderada y alta.
Dirección regional: Sabana Centro	Desde sin degradación hasta severa.
Dirección regional: Almeidas	Ligera, moderada, alta y severa.

Fuente: Proyecto de Investigación UNISALLE-CAR, 2020

Propuesta de análisis de la erosión según caracterizaciones fisicoquímicas realizadas en la jurisdicción de la CAR

Teniendo en cuenta las discrepancias encontradas en la comparación geográfica y física de la erosión de los suelos en la jurisdicción de la CAR, se dio un enfoque distinto, desde el análisis de caracterizaciones fisicoquímicas realizadas al suelo de la jurisdicción por la CAR del 2019 y el IGAC 2000 (Proyecto de Investigación UNISALLE-CAR, 2020), ya que los parámetros son más homogéneos. Para ello se hizo una priorización de dichos parámetros teniendo en cuenta aquellos más afectados por el fenómeno de degradación de la erosión como son carbono orgánico del suelo, K (potasio) y P (fósforo). A continuación, un ejemplo para el área de Usme (Bogotá) del trabajo realizado y posteriormente el consolidado en la tabla 6.

Bogotá (Usme)

La tabla 5 presenta los puntos de comparación entre los muestreos realizados por el IGAC y la CAR, y las figuras 1, 2 y 3 la tendencia de variabilidad de los parámetros que influyen mucho más en la erosión del municipio de Usme.

Tabla 5. *Caracterizaciones de suelos de Bogotá (Usme) IGAC y CAR susceptibles a comparación*

Insti- tución (año)	No	pH	COT (g/100g)	CIC (meq/ 100 g)	P (ppm)	Tex- tura	Na (meq/ 100g)	K (meq/ 100g)	Ca (meq/ 100g)
IGAC (2000)	1	4	24,99	88,9	9	AF	0,2	0,5	0,6
	2	4,5	8,71	41,3	2	FA	0,1	0,2	0,2
	3	5	2,74	37	13	FAr	0,2	0,2	4,1
	4	4	43,29	81,8	7	FA	0,1	0,4	31,3
	5	4,2	46,44	110,1	3	-	0,1	0,5	0,2
	6	5,3	15,36	54,4	4	FA	0,1	1	1,2
CAR (2019)	7	5,30	2,49	35,75	139		0,02	0,08	0,26
	8	5,00	5,52	29,72	79		0,04	0,19	0,27

Fuente: IGAC (2000) y CAR (2019).

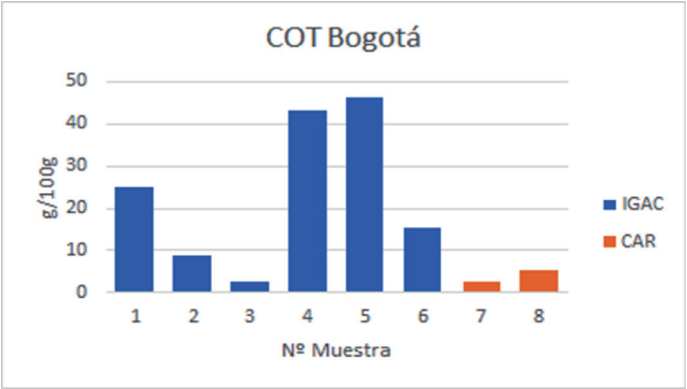


Figura 1. Comportamiento temporal de COT en Bogotá (Usme)

Fuente: modificado IGAC (2000) y CAR (2019).

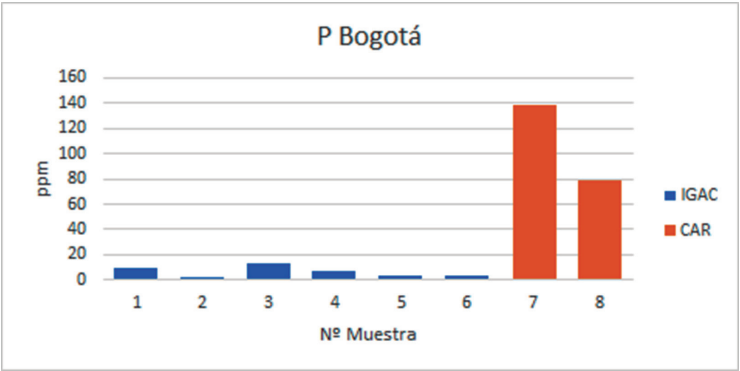


Figura 2. Comportamiento temporal de fósforo (P) en Bogotá (Usme)

Fuente: modificado IGAC (2000) y CAR (2019).

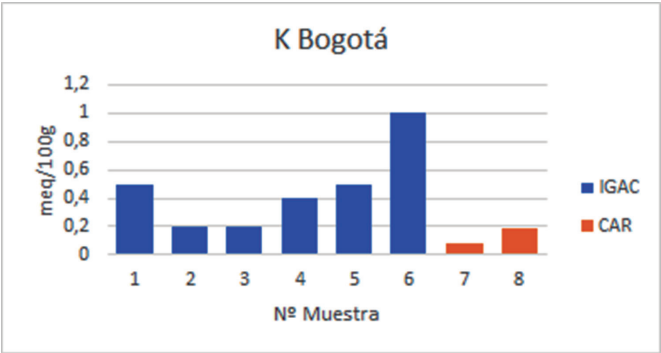


Figura 3. Comportamiento temporal de potasio (K) en Bogotá (Usme)

Fuente: modificado de IGAC (2000) y CAR (2019).

Al observar las figuras 1 y 3, se ve una tendencia a la disminución de la concentración de COT y potasio (K), por otro lado, la figura 2 presenta un aumento en la concentración de fósforo en suelo. Para el caso del COT su concentración disminuyó en un 83%, el potasio (K) disminuyó su concentración en un 71% y el fósforo (P) tuvo un aumento aproximado del 16% en su concentración inicial, esto debido a la actividad antrópica principalmente de agricultura.

La tabla 6 presenta el balance global de la variación de los parámetros de interés en el tiempo. Se observa la tendencia general de la disminución de COT en la mayoría de los municipios objeto de estudio. Por otro lado, una tendencia al aumento de la concentración del fósforo (P) y aumentos y disminuciones de potasio (K) dependiendo de las actividades antrópicas.

Tabla 6. *Resumen del comportamiento de los parámetros de interés de los suelos de los municipios objeto de estudio*

Municipios	Comportamiento del parámetro en el tiempo		
	COT	P	K
Bogotá	Disminuye	Aumenta	Disminuye
Soacha	Disminuye	Aumenta	Aumenta
Girardot	Disminuye	Aumenta	No se identifica tendencia
Jerusalén	Disminuye	Aumenta	No se identifica tendencia
Nilo	Disminuye	Aumenta	Aumenta
Tocaima	Disminuye	Aumenta	No se identifica tendencia
Ricaurte	No se reconoce tendencia	Aumenta	No se identifica tendencia
La Mesa	Disminuye	Disminuye	Disminuye
Guaduas	Disminuye	Aumenta	Aumenta
Tausa	Aumenta	Disminuye	Aumenta
Nemocón	No se reconoce tendencia	Aumenta	Aumenta
Suesca	Disminuye	Disminuye	Disminuye
Villapinzón	No se reconoce tendencia	Aumenta	No registra caracterización

Fuente: elaboración propia.

Como puede observarse, no todas direcciones regionales que hacen parte de la jurisdicción CAR no cuentan con información suficiente en materia de análisis fisicoquímicos del suelo, solo 10 de las 14 direcciones presenta infor-

mación, además los muestreos son muy pocos para la cantidad de municipios que agrupan estas direcciones regionales y los datos no se presentan completos. Se sugiere prestar especial atención a los municipios que hacen parte de las direcciones regionales Chiquinquirá, Gualivá, Magdalena Centro y Río Negro, puesto que no cuentan con análisis fisicoquímicos del suelo y son de vital importancia para determinar con mayor claridad el comportamiento de los parámetros COT, P, K y N en el tiempo.

Perspectivas

Complemento de paradigma

El paradigma predominante en el estudio de la erosión en Colombia es el realizado por métodos físicos y se da alrededor de cada 8 o 10 años en estudios globales del país, muchas veces, como se observó, utilizando metodologías diferentes que impiden un análisis temporal de degradación adecuado y por ende la generación de acciones y políticas realmente pertinentes en este sentido. Debido a lo anterior y como se pudo ver en la propuesta, el análisis del fenómeno con base en parámetros fisicoquímicos centrados en aquellos relevantes para la erosión, como la materia orgánica y los nutrientes, es una muy buena referencia, ya que ellos indican cambios en el tiempo y por consiguiente la degradación. La idea es poder tener información permanente y generar acciones pertinentes para detener la pérdida del recurso.

Participación de la Fuerza Pública como apoyo en la generación de información permanente

Para llevar a cabo este monitoreo es menester involucrar otro tipo de actores, como la Fuerza Pública, puesto que el recurso humano de la Autoridad Ambiental es limitado, mientras que la Fuerza Pública, como el Ejército Nacional, se encuentra en todo el territorio, además, al contar esta entidad con un programa ambiental sólido podría convertirse en ese motor de muestreo con el cual la CAR, en este caso, tendría a su disposición las muestras requeridas para el seguimiento a este fenómeno. Su acompañamiento se hace indispensable a la hora de realizar un monitoreo con el fin de poder educar, sensibilizar y acopiar la información necesaria para estudiar y formular medidas efectivas de control ante el problema.

Conclusión

La información nacional se encuentra muy dispersa a lo largo del tiempo, además de que ha sido generada con metodologías distintas y escalas de medición variadas, lo que hace que medidas efectivas de protección al recurso sean muy difíciles de implementar. Debido a lo anterior se propuso realizar el seguimiento teniendo en cuenta la variación de propiedades fisicoquímicas de los parámetros que más se ven afectados como la materia orgánica y los nutrientes. Esta propuesta aporta resultados complementarios a los análisis nacionales, pero aún hay información insuficiente debido a la falta de personal de la autoridad ambiental para el número de municipios. Por esto, se sugiere vincular en el proceso a la Fuerza Pública que se ha especializado en temas ambientales como el Ejército Nacional, gracias a su presencia permanente en las zonas y, de esa manera, garantizar el envío permanente de muestras al laboratorio de la CAR, con esto se garantiza un seguimiento constante al fenómeno de degradación, así como la garantía de generación de políticas efectivas en torno a este.

Referencias

- Corporación Autónoma Regional (CAR). (2016). Diagnóstico por erosión. <https://www.car.gov.co/uploads/files/5b9045459a4e5.pdf>
- Corporación Autónoma Regional (CAR). (2018). Diagnóstico y monitoreo de degradación de suelos por erosión en la cuenca río Garagoa —subcuenca río Machetá— jurisdicción CAR a escala 1:100.000.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA), y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2015). Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos por erosión.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MAVDT). (2010). Protocolo de degradación de suelos y tierras por erosión. http://capacitacion.siac.ideam.gov.co/SIAC/protocolosSuelos/20120814_Protocolo_erosion.pdf
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2014). Metodología para la clasificación de las tierras por su capacidad de uso. <http://igacnet2.igac.gov.co/intranet/UserFiles/File/procedimientos/instructivos/2014/M40100-02%2014V2%20Para%20la%20clasificacion%20de%20las%20tierras%20por%20su%20capacidad%20de%20uso.pdf>

- Lal, R. (2001, 4 de diciembre). Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development*, 12, 519-539. <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.472>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MAVDT). (2016). Política para la gestión sostenible del suelo. http://www.andi.com.co/Uploads/Pol%C3%ADtica_para_la_gesti%C3%B3n_sostenible_del_suelo_FINAL.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2015). Estado mundial del recurso Suelo. 14 - 92.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2019). *Soil erosion. The greatest challenge for sustainable soil management*. <http://www.fao.org/3/ca4395en/ca4395en.pdf>
- Proyecto de Investigación UNISALLE-CAR (2020). Generación de modelos de seguimiento de erosión, salinidad e impacto por disposición de vertimientos en suelos en la jurisdicción de la CAR. Universidad de La Salle, CAR Cundinamarca.
- Sistema Integral de Información y Atención Ciudadana (SIAC), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2011). Catálogo de mapas. <http://www.siac.gov.co/catalogo-de-mapas>

El suelo como receptor de vertimientos. Análisis y recomendaciones*

DOI: <https://doi.org/10.21830/9786289544626.04>

Jeimmy Alejandra García Rodríguez

Universidad de La Salle

Miguel Ángel Cárdenas Gaitán

Universidad de La Salle

Diana María Delgado Londoño

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca

Jair Fernando Forero Leguizamón

Centro de Educación Militar del Ejército

Resumen. El Decreto 50 del 2018 del Ministerio de Ambiente indica la posibilidad de realizar vertimientos al suelo para aguas residuales no domésticas tratadas, para lo que se exige la realización de análisis físicos, químicos y biológicos al recurso para verificarlo, sin embargo, se solicita el mismo tipo de ensayos independientemente del tipo de suelo y agua en donde se realice el vertimiento. Esto puede llegar a ocasionar problemas futuros en el suelo, así como en las aguas subterráneas. Debido a lo anterior, en alianza estratégica, la Corporación Autónoma Regional (CAR), junto con la Universidad de La Salle y el Ejército Nacional analizaron las posibilidades de impacto y las consecuencias de dichas acciones realizando recomendaciones técnicas en este tipo de eventos.

Palabras clave: CAR, contaminación, degradación, Ejército Nacional, suelo, vertimientos.

* Este capítulo hace parte de los resultados colaborativos de los proyectos de investigación “Generación de modelos de seguimiento de erosión, salinidad e impacto por disposición de vertimientos en suelos en la jurisdicción de la CAR” del Grupo de Investigación CLIMA de la Universidad de La Salle y “Enfoques de la gestión ambiental como mecanismo de defensa y protección del medio ambiente” del grupo de investigación CEMIL. Los puntos de vista y los resultados de este artículo pertenecen a los autores y no reflejan necesariamente los de las instituciones participantes.

Jeimmy Alejandra García Rodríguez

Ingeniera Ambiental y Sanitaria Universidad de La Salle. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1109-6453> - Contacto: jeimmygarcia91@unisalle.edu.co

Miguel Ángel Cárdenas Gaitán

Ingeniero Ambiental y Sanitario Universidad de La Salle. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6869-0691> - Contacto: miguelacardenas19@unisalle.edu.co

Diana María Delgado Londoño

Ph. D. en Ingeniería con Énfasis Ingeniería Sanitaria y Ambiental (Universidad del Valle, Colombia); magíster en Ciencias Agrarias con Énfasis en Suelos (Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Colombia); ingeniera agrónoma (Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Colombia) <https://orcid.org/0000-0003-2371-376X> Contacto: sueloscia@car.gov.co

Jair Fernando Forero Leguizamón

Ingeniero de sistemas; especialista en Gestión Ambiental y Desarrollo Comunitario. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5337-1644>

Citación APA: García Rodríguez, J. A., Cárdenas Gaitán, M. A., Delgado Londoño, D. M. & Forero Leguizamón, J. F. (2022). El suelo como receptor de vertimientos. Análisis y recomendaciones. En A. Castro Carreño, C. A. Leguizamón Zárte & T. L. Fonseca Ortiz (Eds.), *Gestión sostenible del recurso suelo, desde los modelos de seguimiento y recuperación en las Fuerzas Militares* (pp. 63-80). Sello Editorial ESMIC. <https://doi.org/10.21830/9786289544626.04>

**Gestión sostenible del recurso suelo, desde los modelos
de seguimiento y recuperación en las Fuerzas Militares**

ISBN impreso: 978-628-95446-1-9

ISBN digital: 978-628-95446-2-6

DOI: <https://doi.org/10.21830/9786289544626>

Colección Ciencias Militares

Serie Miles Doctus (Investigación formal terminada)

Sello Editorial ESMIC

Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”

Bogotá, D.C., Colombia

2022



Marco teórico

Al ser soporte de la vida en el planeta, el suelo tiene diferentes formas de uso que dependen de sus características, las cuales indicarán el tipo de actividad en que se pueda utilizar este. Sus usos se relacionan con las dinámicas que presenta y desde un punto de vista normativo en los planes de ordenamiento territorial se clasifica así:

Suelo urbano: según la Ley 388 de 1997, el suelo urbano es el constituido por infraestructura vial, redes primarias de energía, acueducto y alcantarillado, posibilitando su urbanización y edificación, según sea el caso (Cámara de Comercio de Bogotá, 2020).

Uso residencial: es el más común en las zonas urbanas, se busca un terreno, amplio y estable para la construcción de zonas residenciales, donde dependiendo del tipo de proyecto altura, extensión, etc., se podrían construir torres residenciales, casas u oficinas. En el caso de Colombia, para la adquisición de un inmueble es necesario contar con un concepto del uso del suelo, que es el permiso entregado por las autoridades competentes en licencias urbanísticas (Avendaño, 2020).

Uso comercial: es uno de los usos más comunes; este se utiliza para la implementación de negocios, desde oficinas, tiendas, barberías, consultorios médicos, jurídicos, etc. Al igual que el uso residencial es necesario el concepto de uso del suelo e investigar qué otros usos ha tenido el área designada y qué restricciones tiene por parte del municipio o el Estado (CISAC, 2017).

Suelo rural: es el destinado a usos agrícolas, ganaderos, forestales, de explotación de recursos naturales y actividades análogas (Cámara de Comercio de Bogotá, 2020).

Uso agrícola: está destinado a los cultivos de plantas, hortalizas, frutas, flores, etc.; suelen ser terrenos alejados del casco urbano buscando suelo con características fértiles como cantidad de humus, balance de nutrientes esenciales (nitrógeno, fósforo y potasio), que son necesarias para el adecuado desarrollo de los cultivos. Por esta misma razón, es necesario hacer un estudio previo del terreno a trabajar, siendo consciente del contenido y deficiencias nutricionales presentes en el suelo (CISAC, 2017).

Uso agropecuario o forestal: este tipo de uso del suelo es parecido al del uso agrícola, con la diferencia de que este será utilizado para el pastoreo del ganado, establos, pocilgas, etc.; las condiciones para este suelo no son tan rigurosas como las del agrícola, no obstante, es necesario que logre soportar la carga aportada por cada tipo de animal que se encuentre en el terreno; también son utilizados como zonas de bosque, bien sea para monte maderable o monte abierto para el pastoreo (CISAC, 2017).

Uso industrial: los terrenos destinados a usos industriales son espacios designados, como bien lo indica su nombre, para la instalación de industrias; también se pueden incluir procesos como la extracción de recursos minerales, energéticos e hídricos, minas, canteras y perforaciones de gas, petróleo y aguas subterráneas. Este tipo de uso es de especial cuidado ya que muchos de los procesos de extracción o transformación de materias primas tienen como producto desechos peligrosos o contaminantes (CISAC, 2017).

Suelo de protección: es aquel que por sus características es útil para el público, ya sea por su ubicación, la provisión de servicios o estar amenazado y/o en riesgo (Cámara de Comercio de Bogotá, 2017).

Uso recreativo: el uso de este tipo de terrenos está destinado a actividades de tipo recreativo, cultural, científico y de protección de la naturaleza, parques naturales, jardines, reservas, etc. Normalmente, son terrenos adquiridos por una entidad gubernamental, constructora de unidades residenciales o de los mismos municipios (CISAC, 2017).

Es importante conocer esto, ya que al pensarse este como un receptor de vertimientos, el primer paso es determinar según, el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), qué uso tiene el suelo objeto de vertido. Así mismo, el otro componente para analizar serán los vertimientos de que se dispone, por lo que a continuación se definen estos.

Vertimiento de aguas residuales en suelo

En Colombia, la disposición de vertimientos se establece como su deposición en área definida sin que el suelo tenga variación significativa en sus propiedades, de tal forma que se pueda hacer uso de dicha área una vez sea aban-

donada (Ministerio de Ambiente, 2017). A nivel internacional, el reúso de las aguas residuales tratadas se da en especial como agua de riego de cultivos (Kansel y Singh, 1983, como se cita en Fatta-Kassinos *et al.*, 2011). En este sentido, los países que más reutilizan las aguas residuales son Estados Unidos, Arabia Saudita, Qatar, Israel y Kuwait (Jiménez y Asano, 2008).

Tipos de vertimientos

Las aguas residuales, llamadas *vertimientos*, son generadas como producto de actividades domésticas e industriales que requieren la utilización de agua y que generalmente son dispuestas en una fuente hídrica o en el suelo.

Vertimientos de agua residual doméstica

Es el agua generada en las viviendas o sitio públicos o privados no industriales, generalmente se denominan vertimientos y están compuestas por sólidos suspendidos totales (SST), materia orgánica, materia inorgánica (principalmente sólidos sedimentables), nutrientes, jabones y organismos patógenos (Atencia, 2007) (figura 1).



Figura 1. *Vertimiento agua residual doméstica*
Fuente: Candela Estéreo (s. f.).

Vertimientos de agua residual no doméstica

Es el agua residual en la cual predominan residuos industriales. Estas son las aguas residuales provenientes de las industrias y de los procesos manufactureros; contienen desechos inorgánicos tóxicos como plomo, uranio, mercurio,

níquel. Estos desechos tóxicos deben ser removidos antes de ser vertidos al alcantarillado (Atencia, 2007) (figura 2).



Figura 2. Vertimiento agua residual no doméstica, curtiembres
Fuente: Kioscoverde (s. f.).

La Resolución 631 del 2015 establece como fuentes de agua residual no doméstica:

- Actividades productivas de agroindustria y ganadería: Procesamiento de hortalizas, frutas, legumbres, raíces y tubérculos; Beneficio de café (clasificación de la Federación Nacional de Cafeteros (FNC)/ Cenicafé); Procesos poscosecha de plátano y banano; Producción de azúcar y derivados a partir de caña de azúcar; Extracción de aceites de origen vegetal; Ganadería de bovino, bufalino, equino, ovino y/o caprino; Ganadería de porcinos y Aves de corral.
- Actividades de minería: Extracción de carbón de piedra y lignito; Extracción de minerales de hierro; Extracción de oro y otros metales preciosos; Extracción de minerales de níquel y otros minerales metalíferos no ferrosos y Extracción de minerales de otras minas y canteras.
- Actividades de hidrocarburos: Exploración (*upstream*); Producción (*upstream*); Refino; Venta y distribución (*downstream*) y Transporte y almacenamiento (*midstream*).
- Alimentos y bebidas: Elaboración de productos alimenticios; Elaboración de alimentos preparados para animales; Elaboración

de maltas y cervezas; Elaboración de bebidas no alcohólicas, aguas minerales y otras aguas embotelladas; Elaboración de productos lácteos; Elaboración de aceites y grasas de origen animal y vegetal y Elaboración de café soluble.

- Actividades de fabricación y manufactura de bienes: Fabricación de productos derivados del tabaco; Fabricación de productos textiles; Fabricación de artículos de piel, curtido y adobo de pieles; Fabricación de gases industriales y medicinales; Fabricación de Papel y cartón - Plantas integradas de pulpa blanqueada (maderables y no maderables); Fabricación de papel y cartón a partir de fibras recicladas; fabricación de abonos y compuestos inorgánicos nitrogenados; Fabricación de sustancias y productos químicos; Fabricación de pigmentos inorgánicos de azul ultramar; Fabricación de pigmentos inorgánicos de óxidos de hierro; Fabricación de pigmentos inorgánicos de cromatos y molibdatos de plomo y otros
- Actividades asociadas con servicios y otras actividades: Generación de energía eléctrica; Tratamiento y disposición de residuos; Reciclaje de materiales plásticos y similares; Actividades de atención a la salud humana - atención médica con y sin internación y Pompas fúnebres y actividades relacionadas.

La tabla 1 indica un ejemplo de los parámetros solicitados para un vertimiento de aguas residuales no domésticas expresado en la Resolución 631 del 2015:

Tabla 1. *Ejemplo de parámetros para aguas residuales no domésticas*

Pruebas generales	
pH	Unidades de pH
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L O2
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L O2
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L
Sólidos sedimentables (SSED)	mL/L
Grasas y aceites	mg/L
Fenoles	mg/L

Continúa tabla...

Pruebas generales	
pH	Unidades de pH
Formaldehído	mg/L
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	mg/L
Compuestos de fósforo	
Ortofosfatos (PO ₄ ³⁻)	mg/L
Fósforo Total (P)	mg/L
Compuestos de nitrógeno	
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	mg/L
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	mg/L
Nitrógeno amoniacal (N- NH ₃)	mg/L
Nitrógeno total (N)	mg/L
Iones	
Cianuro total (CN ⁻)	mg/L
Metales y metaloides	
Cadmio (Cd)	mg/L
Cromo (Cr)	mg/L
Mercurio (Hg)	mg/L
Plata (Ag)	mg/L
Plomo (Pb)	mg/L
Otros parámetros para análisis y reporte	
Acidez total	mg/L CaCO ₃
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃
Dureza cálcica	mg/L CaCO ₃
Dureza total	mg/L CaCO ₃
Color real (medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm)	m-1

Fuente: ICBF (s. f.).

Resultados y discusión

Contaminación del suelo

Es la presencia en el suelo de una sustancia química fuera de sitio y/o presente en una concentración más alta de lo normal que tiene efectos adversos sobre cualquier organismo al que no estaba destinado (FAO, 2018). Teniendo en cuenta esta definición es importante mencionar también que FAO (2019)

indica que los vertimientos al suelo de aguas residuales no tratadas son la tercera fuente de contaminación más importante en los suelos en América Latina y el Caribe, por lo que su estudio detallado es vital.

Vertimientos en suelo en Colombia

La normatividad colombiana respecto a los vertimientos en suelos está dada por el Decreto 050 del 2018, en el que se explica el procedimiento para solicitar el permiso de vertimiento en suelos para aguas residuales domésticas tratadas y no tratadas, el interesado deberá presentar resultados de pruebas de infiltración y tasa de infiltración, diseño y manual de operación y mantenimiento de sistema de disposición de los vertimientos al suelo, área de disposición de vertimiento, y plan de cierre y abandono del área de disposición del vertimiento. Además, se solicita la línea base del suelo, teniendo en cuenta sus características físicas, químicas y biológicas; la línea base del agua subterránea, que incluye nivel freático, características fisicoquímicas y microbiológicas, diseño y manual de operación y mantenimiento de sistema de disposición de los vertimientos al suelo, además de documentos de soporte para el análisis de vertimientos, área de disposición de vertimiento, con el estudio de suelos y descripción de usos del suelo; el plan de monitoreo de las caracterizaciones del efluente, el suelo y el agua subterránea y plan de cierre y abandono del área de disposición, definiendo el uso que se le dará al área que se utilizó para la disposición del vertimiento.

Por otro lado, los vertimientos requieren de un análisis químico que se soporta en la Resolución 631 del 2015, en la que dependiendo del origen tendrá unas características que deben analizarse y la propuesta es que se analicen en función de las del suelo, también se deben conocer las condiciones ambientales, la vulnerabilidad y efectos en el suelo para garantizar que el uso de este no se vea afectado por el vertimiento, ya que puede generarse contaminación debido a que algunas sustancias presentan persistencia, bioacumulación y toxicidad y pueden tener efectos sobre la salud humana (Cepyme y Gobierno de Aragón, 2004, como se citó en Ministerio de Ambiente, 2017).

Algo importante en este proceso es la forma de distribución del vertimiento en el suelo, de modo que no genere un impacto puntual en sus características físicas; la distribución debe ser homogénea en el terreno, además debe

identificarse el área donde se realizará la disposición, con el fin de no generarle una saturación al recurso (Ministerio de Ambiente, 2017).

En el artículo 2.2.3.3.4.14 se especifica que los usuarios que explore, exploten, manufacturen, refinen, transformen, procesen, transporten o almacenen hidrocarburos o sustancias nocivas para la salud y para los recursos hidrobiológicos, deben estar provistos de un plan de contingencia para manejo de derrames, que debe ser presentado dentro del Estudio de Impacto Ambiental (EIA), de acuerdo con los lineamientos presentados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y que debe ser entregado a las autoridades ambientales con al menos 30 días calendario de anticipación al inicio de actividades

Del mismo modo, la Resolución 1207 del 2014 indica disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas, es decir, del reúso del vertimiento una vez depurado particularmente: uso agrícola y uso industrial.

Análisis relación vertimiento/suelo

La relación vertimiento/suelo se realiza teniendo en cuenta los análisis físico-químicos de cada uno desde la perspectiva de la autoridad ambiental, a continuación, se mencionan y describen con el fin de analizar las consecuencias de impacto entre los primeros sobre el recurso.

Parámetros físicoquímicos en suelo

En primera instancia es menester indicar que el suelo se compone de agua, aire, materia orgánica, minerales y biota, y cada uno de estos componentes se relaciona, uno con otro, en múltiples relaciones. Tradicionalmente, se ha clasificado su estudio como físico, químico y biológico con el fin de comprenderlo mejor. Para hacer una comparación entre los efectos del vertimiento sobre el suelo se analizarán los aspectos físicos y químicos.

Textura del suelo

La textura del suelo muestra la distribución del contenido de partículas de diferente tamaño en el suelo. Lo anterior es importante para determinar el grado de penetración de raíces y movimiento de agua, aire y nutrientes en el suelo. Indica la cantidad de arena, el limo y la arcilla (FAO, s. f.).

Densidad aparente (Da)

Indica la masa de suelo que hay en el volumen del mismo, incluye los espacios porosos del suelo, por ello se denomina aparente (FAO, 2009).

Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La CIC es el número de sitios de carga negativa sobre las partículas del suelo (en su mayoría de arcilla y materia orgánica) que pueden retener nutrientes para las plantas. Se expresa en unidades de meq/100 g o cmolc / kg (1 meq/100 g = 1 cmolc/kg), en que los cationes cargados positivamente, tales como potasio, calcio y magnesio, son atraídos eléctricamente. El conocimiento de la CIC de su suelo puede ayudarle a decidir la frecuencia de la aplicación de fertilizantes (Gestiriego, 2016).

Nutrientes

Corresponde a los componentes del suelo necesarios que las plantas crezcan, entre ellos se encuentran los macronutrientes: nitrógeno, fósforo y potasio y micronutrientes como: hierro, manganeso, boro, zinc, cobre y molibdeno (Infoagro, 2017).

Carbono orgánico total (COT)

El Carbono orgánico total COT es la cantidad de carbono asociada a los compuestos orgánicos. (PRTR, 2017).

Parámetros fisicoquímicos para vertimientos

Los parámetros fisicoquímicos para vertimientos se encuentran estipulados en la Resolución 0631 del 2015, tanto en calidad como en cantidad, con el fin de no generar afectaciones al medioambiente y salud pública de la zona donde son descargados los efluentes según la disposición que se les dé a las aguas residuales.

Demanda biológica de oxígeno (DBO)

Es el oxígeno necesario requerido por los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable en condiciones aeróbicas. La medición se hace en un periodo de 5 días, en que se les proporciona a los microorganismos nutrientes suficientes para medir la cantidad de oxígeno requerida para degradar la mayor parte de la materia orgánica y hacer la relación entre dicha demanda de oxígeno y la materia orgánica presente en el agua (Ideam, 2007).

Demanda química de oxígeno (DQO)

Corresponde a la medida indirecta de la materia orgánica e inorgánica que es posible de ser oxidada mediante un oxidante fuerte, generalmente se utiliza dicromato de potasio en medio ácido y se mide a través del dicromato remanente en la solución (Hannainst.es., 2020).

Sólidos suspendidos totales (SST)

Los SST se consideran la cantidad de residuos retenidos en un filtro de fibra de vidrio con tamaño de poro nominal de 0,45 micras y hace referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en las corrientes de agua superficial y/o residual (CAN, 2005).

Nitrógeno

Se encuentra en las aguas en cualquiera de sus tres formas (nitratos nitritos y nitrógeno amoniacal), es un indicador de descomposición de materia orgánica, y puede ser un nutriente para plantas, sin embargo, en grandes cantidades puede causar la eutrofización de fuentes hídricas (Cabrera *et al.*, 2002).

Fósforo

El fósforo se encuentra en aguas naturales y residuales casi exclusivamente como fosfatos, los cuales se clasifican en ortofosfatos, fosfatos condensados (piro-, meta-, y otras polifosfatos) y fosfatos orgánicos (IDEAM, 2005).

Aceites y grasas

Las grasas son compuestos orgánicos que se forman de carbono e hidrógeno principalmente, pertenecen al grupo de sustancias denominadas lípidos, suelen ser líquidos o sólidos a temperatura ambiente, son hidrofóbicas y tienden a oxidarse por lo que fijan el oxígeno disuelto disponible impidiendo el desarrollo microbiano (iAgua, 2018).

Coliformes totales

Las coliformes son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo los humanos. La presencia de bacterias coliformes es un indicio de que el agua puede estar contaminada con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición. Generalmente, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo (Munn, 2004).

Propuesta de relación agua/suelo

La disposición de aguas residuales en el suelo está condicionada a las características fisicoquímicas exhibidas por ambas fuentes y se ve influenciada directamente por las condiciones climáticas, actividades antrópicas como usos del suelo y temporadas de aridez y escasez entre otros. A continuación, en la figura 3 se proponen y describen los factores de seguimiento a vertimientos en suelo en los que se relacionen los factores que se deben tener en cuenta con el fin de evitar impactos en el suelo y la salud humana. El monitoreo de estos aspectos facilitará la elección de los sitios de disposición de aguas residuales en suelos, con el fin de lograr beneficios y menos riesgos.

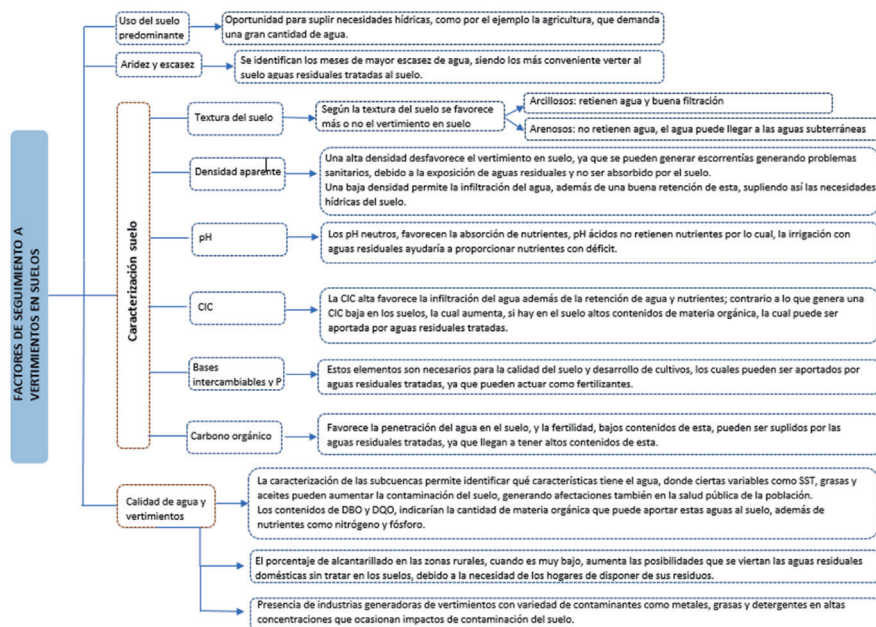


Figura 3. Factores de seguimiento a vertimiento en suelo

Fuente: Proyecto de Investigación UNISALLE-CAR, 2020.

Recomendaciones técnicas

- El vertimiento en suelo puede considerarse como alternativa de disposición final de aguas residuales, sin embargo, es necesario que el agua haya sido tratada, esto con el fin de evitar su contaminación,

que puede repercutir en la salud de la población circundante a los sitios de disposición.

- La caracterización de los suelos de disposición influye en la retención o no del agua vertida, así como su monitoreo para llevar un control de los vertimientos que llegan al recurso, sin que se afecte en mayor medida la calidad de estos.
- El vertimiento en suelo puede llegar a darse en forma clandestina, debido a las condiciones dentro de los sitios de disposición, como el porcentaje de cobertura de alcantarillado, ya que genera que se viertan aguas residuales domésticas sin tratar con altas cargas de materia orgánica, SST u otros elementos, que pueden llegar a niveles de concentraciones tóxicas y afectar la calidad de vida de todos los tipos de organismos presentes. Debido a lo anterior se sugiere que el Ejército Nacional como garante de ese medio ambiente sano vele e informe, en medio de sus patrullajes y actividades, las situaciones observadas, y aún más como cuenta con personal calificado en temas ambientales realice los muestreos necesarios para proteger los recursos naturales.
- Hay vertimientos benéficos para el suelo, tales como aquellos que no tienen sustancias tóxicas y en los que la materia orgánica y los nutrientes son altos, por ello, un estudio y permiso de la autoridad ambiental permitirá que este se vea beneficiado. Lo anterior se complementa con el hecho de que en varios lugares hay escasez de agua dulce en cultivos; por lo cual, realizar disposición de aguas residuales es viable; sin embargo, debe tenerse mucho cuidado con aspectos de tipo microbiológico como los coliformes totales, que generalmente se encuentran muy por encima de los rangos permitidos, por cual es necesario el tratamiento terciario en el agua, con el fin de evitar afectaciones a la salud pública, por el uso de aguas residuales en el riego de cultivos.
- Las características de los suelos pueden cambiar debido a los diferentes usos que se les dé, por ello, es importante ampliar muestreos en el país, ya que la información es escasa y lo que se tiene del

IGAC supera los 15 años de antigüedad. Esto no permite elaborar conceptos adecuados, puesto que no se puede realizar una comparación en el tiempo del cambio en los suelos. Se proponen herramientas de tipo geográfico como los geovisores que, en tiempo real, brinden información y se permita mucho más fácilmente la toma de decisiones en el territorio.

- Los metales traza son contaminantes de mayor relevancia debido a sus características tóxicas y bioacumulativas, ya que causan problemas en la salud pública, y de encontrarse en los suelos generaría un riesgo en la seguridad alimentaria; por esto se hace necesario llevar un riguroso seguimiento al cumplimiento de las concentraciones máximas permisibles en los vertimientos que se realicen, ya que en los análisis disponibles de suelo esta información es prácticamente inexistente.
- La identificación de sitios de disposición hace necesaria la recopilación de información en los sitios puntuales, por ello el Ejército Nacional y las demás fuerzas del orden que hacen presencia en todo momento son vitales para tener información más específica en de los municipios y proteger los recursos naturales.
- La cobertura de alcantarillado puede estar relacionada con el vertimiento de aguas residuales domésticas en suelos, debido a la falta de infraestructura para la disposición de estas; por esto es necesaria la confirmación de esta práctica en los municipios con menor porcentaje de cobertura, o si estos usuarios disponen de estas aguas en otra fuente receptora, con el fin de llevar un registro de estas prácticas; así mismo, es necesario realizar caracterizaciones de suelos en estas zonas puntuales para identificar si existe algún tipo de contaminación o alteración de los suelos, que se relacionen al vertimiento de aguas residuales domésticas. El Ejército Nacional y las fuerzas del orden también pueden contribuir con esta misión.
- Hay que estudiar muy a fondo las implicaciones de los periodos de aridez y escasez hídrica en relación con el uso de la práctica del vertimiento en suelo, por ello es importante identificar las prácticas

implementadas por los habitantes de las zonas y evaluar si es viable la utilización de aguas residuales tratadas en actividades de riego, en estos periodos.

Conclusión

El suelo como receptor de vertimientos es una alternativa viable, sin embargo, son muchos los aspectos que se ven afectados al realizarse esta, por lo que su permiso requiere del análisis de sus propiedades físicas y químicas, así como también de los vertimientos, y en ellos el tema microbiológico, en especial, los patógenos son muy sensibles de determinar. Por otro lado, el seguimiento a esta actividad es complejo y requiere de un monitoreo permanente, por lo que el uso de la Fuerza Pública se hace necesario para salvaguardar los recursos que día a día se pierden por prácticas como la descrita cuando no se hacen bien. Alianzas estratégicas entre la academia, la autoridad ambiental y la Fuerza Pública, como en el trabajo realizado entre la Universidad de La Salle, la CAR y el Ejército Nacional, son un ejemplo de la labor conjunta necesaria para que la comunidad tenga una seguridad ambiental y alimentaria real.

Referencias

- Atencia, C. (2007). Diagnóstico de la contaminación por vertimiento de aguas residuales domésticas y residuos sólidos domésticos sobre la microcuenca Monteadentro hasta el sector de la bocatoma del acueducto de la ciudad Pamplona. Universidad Libre de Colombia. <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10293/PROYECTO%20DE%20PASANTIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Avendaño, S. (2020) Lo que debe saber sobre los conceptos de uso de suelo. <https://www.asuntoslegales.com.co/consumidor/lo-que-debe-saber-sobre-los-conceptos-de-uso-de-suelo-2459531>
- Cabrera, E., Hernández, L., Gómez, H., Cañizares, M. (2002). Determinación de nitratos y nitritos en agua. comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0583-76932003000100014#:~:text=Los%20niveles%20de%20nitratos%20y,de%20la%20calidad%20del%20agua.&text=Los%20nitritos%20tambi%C3%A9n%20se%20forman,contaminaci%C3%B3n%20fecal%20en%20aguas%20naturales
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2020). Usos del suelo. <http://recursos.ccb.org.co/ccb/pot/PC/files/2usos.html>

- Cámara de Comercio de Bogotá. (2017). Clasificación del suelo. <http://recursos.ccb.org.co/ccb/pot/PC/files/2plano.html>
- Candela Estéreo. (s. f.). Top 4 de las mejores marcas de jabón de loza en pasta. <https://www.candelaestereo.com/curiosidades/top-4-de-las-mejores-marcas-de-jabon-de-loza-en-pasta/>
- Comunidad Andina de Naciones (CAN). (2005). Manual de estadísticas ambientales (pp. 31-45). CAN.
- Condominio Industrial Santa Cruz (Cisac). (2017). Tipos de uso del suelo. <https://condominioindustrialsantacruz.com/tipos-de-uso-de-suelo/>
- Fatta-Kassinis, D. Kalavrouziotis, I. K., Koukoulakis, P. H. y Vásquez, M. I. (2011). The risks associated with wastewater reuse and xenobiotics in the agroecological environment. *Science of The Total Environment*, 409(Iss. 19), 3555-3563. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969710003074#bb0285>
- Gestiriego. (2016). 5 parámetros importantes en su análisis de suelo. <https://www.gestiriego.com/5-parametros-importantes-en-su-analisis-de-suelo/#:~:text=El%20pH%20del%20suelo%20es,de%20an%C3%A1lisis%20de%20su%20suelo.&text=El%20rango%20de%20pH%20del,que%20los%20cultivos%20puedan%20aceptarlos.>
- Hannainst.es. (2020). Demanda química de oxígeno. <https://www.hannainst.es/blog/81/demanda-quimica-de-oxigeno>
- IAgua. (2018). La importancia de la separación de aceites y grasas en el tratamiento del agua residual urbana. <https://www.iagua.es/noticias/teqma/importancia-separacion-aceites-y-grasas-tratamiento-agua-residual-urbana>
- Infoagro. (2017). Nutrientes presentes en el suelo. <https://mexico.infoagro.com/nutrientes-presentes-en-el-suelo/>
- Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF). (s. f.). Resolución 631 del 2015. https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minambienteds_0631_2015.htm
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2005). Temas ambientales. Fósforos totales. En Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/Fosforos_totales_13.pdf
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2007). Demanda bioquímica de oxígeno 5 días, incubación y electrometría. Colombia (p. 2.). <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Bioqu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/ca6e1594-4217-4aa3-9627-d60e5c077dfa>
- Jiménez, B., y Asano, T. (2008). Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs International Water Association. <https://www.semanticscholar.org/paper/Water-Reuse%3A-An-International-Survey-of-current-and-Jim%C3%A9nez-Asano/d979a6e91c613533528838c6960aec2755b68616?p2df>

- Kioscoverde. (s. f.). Contaminantes provenientes de la industria de curtiembres y alternativas de tratamiento. <https://www.kioscoverde.bo/contaminantes-provenientes-de-la-industria-de-curtiembres-y-alternativas-de-tratamiento/>
- Ministerio de Ambiente de Colombia. (2017). Informe técnico por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1076 del 2015. Dirección de Gestión Integral de Recurso Hídrico (DGIRH); Dirección de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana (DAASU). http://www.andi.com.co/Uploads/Informe%20Tecnico%20VF_01-11-2017.pdf
- Munn CB. Marine Microbiology: ecology and applications. New York: BIOS Scientific Publisher; 2004
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2009). Guía para la descripción de suelos (pp. 21-66). FAO.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2018). Soil Pollution. <http://www.fao.org/3/i9183en/i9183en.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2019). Assessment of the global status and regional trends of soil pollution study. FAO.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (s. f.). Propiedades físico-hídricas del suelo en el cultivo del maíz grano. <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR40309.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (s. f.). Textura de los suelos, propiedades físicas. http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm#:~:text=La%20textura%20indica%20el%20contenido,el%20suelo%20y%20lo%20atraviesa
- Proyecto de Investigación UNISALLE-CAR (2020). Generación de modelos de seguimiento de erosión, salinidad e impacto por disposición de vertimientos en suelos en la jurisdicción de la CAR. Universidad de La Salle, CAR Cundinamarca.
- PRTR España, Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes. (2017). Carbono orgánico total (COT) (como C total o DQO/3). <http://www.prtr-es.es/Carbono-organico-total-COTComo-C,15663,11,2007.html>

Análisis histórico de suelos por salinización en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional (CAR). Retos y oportunidades*

DOI: <https://doi.org/10.21830/9786289544626.05>

Rosalina González Forero

Universidad de La Salle

Vivian Karina Ariza Marín

Universidad de La Salle

Julián David Ávila Bernal

Universidad de La Salle

Rocío Afanador Padilla

Universidad de La Salle

Alberto Sánchez Amaya

Centro de Educación Militar del Ejército

Resumen. La degradación de los recursos naturales es una preocupación a nivel mundial y en particular aquella causada en los suelos por vía química es alarmante; dentro de las causas de este fenómeno se destaca la agricultura intensiva y el riego artificial. Debido a lo anterior, la entidad determinó la necesidad de un monitoreo adecuado y seguimiento, que está en cabeza de las autoridades ambientales. En este sentido, la Corporación Autónoma Regional (CAR), en asocio con la Universidad de La Salle, formuló un proyecto de investigación en el que se estableció el estado actual de la salinidad en los suelos de la jurisdicción y acciones de mejora para un buen monitoreo. Sin embargo, para llevar a cabo este monitoreo se llegó a la conclusión de que es menester involucrar actores como la Fuerza Pública, ya que su acompañamiento es indispensable para educar, sensibilizar y acopiar la información necesaria.

Palabras clave: CAR, contaminación de suelos, degradación de suelos, Ejército Nacional, salinización, Universidad de La Salle.

* Este capítulo hace parte de los resultados colaborativos de los proyectos de investigación “Generación de modelos de seguimiento de erosión, salinidad e impacto por disposición de vertimientos en suelos en la jurisdicción de la CAR” del Grupo de Investigación CLIMA de la Universidad de la Salle y “Enfoques de la gestión ambiental como o mecanismo de defensa y protección del medio ambiente” del Grupo de Investigación CEMIL. Los puntos de vista y los resultados de este artículo pertenecen a los autores y no reflejan necesariamente los de las instituciones participantes.

Rosalina González Forero

Ingeniera química; Ph. D en Ingeniería (University of Delaware, EE. UU.); magíster en Ingeniería y Tecnología Ambiental (Universidad de Cataluña, España); magíster en Tecnología Educativa (Instituto Tecnológico de Monterrey, México); con Especialización en Suelos Contaminados (Universidad del Atlántico, España); Especialización en Pedagogía para el Desarrollo del Aprendizaje Autónomo (UNAD, Colombia); Especialización en Investigación Criminal (Policía Nacional, Colombia); y Especialización en Gestión Gerencial (Universidad Libre, Colombia). <https://orcid.org/0000-0002-5860-657X> - contacto: rogonzalez@unisalle.edu.co

Vivian Karina Ariza Marín

Ingeniera ambiental y sanitaria de la Universidad de La Salle. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8743-915X> - Contacto: variza02@unisalle.edu.co

Julián David Ávila Bernal

Ingeniero ambiental y sanitario de la Universidad de La Salle. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8743-915X> - Contacto: juliandavila71@unisalle.edu.co

Rocío Afanador Padilla

Ingeniera ambiental y sanitaria. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8085-7239> - Contacto: rafanador09@unisalle.edu.co

Alberto Sánchez Amaya

Profesional en Ciencias Militares de la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9389-3589> - Contacto: albertosanchezamaya@cedoc.edu.co

Citación APA: González Forero, R., Ariza Marín, V. K., Ávila Bernal, J. D., Afanador Padilla, R. & Sánchez Amaya, A. (2022). Análisis histórico de suelos por salinización en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional (CAR). Retos y oportunidades. En A. Castro Carreño, C. A. Leguizamón Zárate & T. L. Fonseca Ortiz (Eds.), *Gestión sostenible del recurso suelo, desde los modelos de seguimiento y recuperación en las Fuerzas Militares* (pp. 81-97). Sello Editorial ESMIC. <https://doi.org/10.21830/9786289544626.05>

Gestión sostenible del recurso suelo, desde los modelos de seguimiento y recuperación en las Fuerzas Militares

ISBN impreso: 978-628-95446-1-9

ISBN digital: 978-628-95446-2-6

DOI: <https://doi.org/10.21830/9786289544626>

Colección Ciencias Militares

Serie Miles Doctus (Investigación formal terminada)

Sello Editorial ESMIC

Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”

Bogotá, D.C., Colombia

2022



Marco teórico

Salinización

Es importante indicar que la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) menciona que un suelo es salino cuando su conductividad eléctrica tiene valores superiores a 4 dS/m (FAO, 2018). Lo anterior se debe a contenidos excesivos de sales que ocasionan efectos negativos en el crecimiento de las plantas, estas sales se componen de cationes (iones positivos) y aniones (iones negativos), siendo los siguientes iones los comúnmente asociados a la salinidad: NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- , OH^- , Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , H^+ , donde este contenido se debe a fuentes naturales (baja pluviosidad y zonas áridas entre otras) o antrópicas por mal manejo de cultivos y riego como se mencionó (USDA, 1999).

En Colombia el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2017a) indica que la salinización es un incremento acumulado de las sales en el suelo, con concentraciones tales que el servicio ecosistémico del suelo es afectado debido a la alteración de sus características fisicoquímicas y biológicas. Este mismo organismo clasifica el proceso de degradación por salinización teniendo en cuenta los parámetros fisicoquímicos que se realizan para el análisis de las sales. Estos son pH, conductividad eléctrica (CE), razón de adsorción de sodio (RAS), porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y las concentraciones de carbonato de calcio (CaCO_3) y sulfato de calcio ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). En la figura 1 se aprecia la calificación de la salinidad de acuerdo con lo que el IDEAM (2017) plantea según los parámetros fisicoquímicos mencionados.

Es importante tener en cuenta que el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2014) brinda una clasificación para salinidad en suelos teniendo en cuenta la conductividad eléctrica y el porcentaje de saturación de sodio. En la Tabla 1 se aprecia esta clasificación:

Variables	Rangos para calificación	Calificación
PSI, RAS, CE, pH y SO_4	$\text{RAS} \geq 13$ o $\text{PSI} \geq 15$	Muy severo
	$\text{CE} \geq 16$ dS/m	
	$\text{CE} \geq 4$ y $\text{pH} < 4$ y $[\text{SO}_4] \geq 0,05\%$	
CE, PSMg, CaCO_3eq y $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{CE} \geq 8$ dS/m < 16 dS/m	Severo
	$\text{PSMg} \geq 40$	
	$[\text{CaCO}_3\text{eq}] \geq 10\%$	
	$[\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}] \geq 15\%$	
CE, PSMg, CaCO_3eq y $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{CE} \geq 4$ dS/m < 8 dS/m	Moderado
	$\text{PSMg} \geq 30 < 40$	
	$[\text{CaCO}_3\text{eq}] \geq 2 < 10\%$	
	$[\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}] \geq 5 < 15\%$	
CE	$\text{CE} \geq 2$ dS/m < 4 dS/m	Ligero
CE	$\text{CE} < 2$	Muy ligero

Figura 1. Calificación de la salinidad
Fuente: Ideam (2017).

Tabla 1. Clasificación de la salinidad según el IGAC (2014)

Conductividad (dS/m)	Saturación de sodio (%)	Clasificación
0-2	<15	N, Normal
2-4	<15	S1, ligeramente salino
4-8	<15	S2, moderadamente salino
8-16	<15	S3, fuertemente salino
>16	<15	S4, Muy fuertemente salino
0-4	>15	Na, sódico
4-8	>15	S2Na, salino - sódico
8-16	>15	S3Na, salino - sódico
>16	>15	S4Na, salino - sódico

Fuente: IGAC (2014).

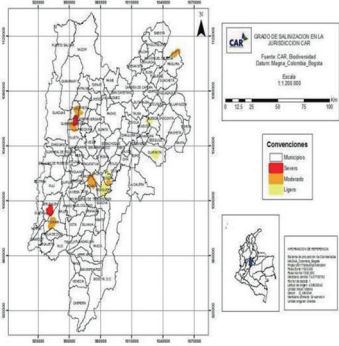
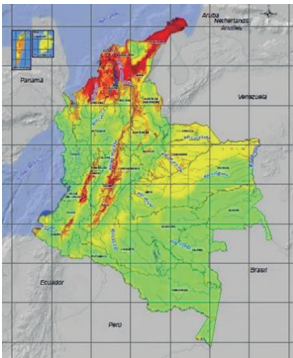
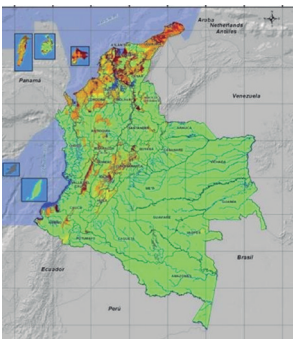
Degradación por salinización en Colombia y jurisdicción de la CAR. Información existente

Las diferentes instituciones del orden nacional han generado varios mapas de salinización. Dicha información se observa y en la tabla 2 en la que se aprecian

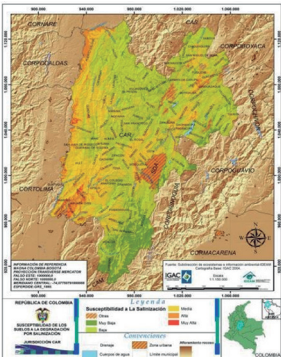
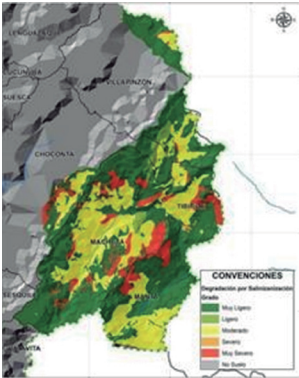
dichos mapas (fechados desde el 2015), y que tienen las siguientes características generales:

- CAR Cundinamarca, 2015, publicación: diagnóstico salinización jurisdicción de la CAR, donde se aprecia salinidad severa Quebradanegra, Útica y Jerusalén; salinidad moderada en otras zonas de Quebradanegra, Útica, Bojacá, Funza y Tocaima y salinidad ligera en Mosquera, Funza, Guatavita y Suesca (CAR, 2015).
- El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) la CAR y la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA), en el 2017 presentaron el mapa de susceptibilidad a la degradación de suelos por salinización, donde determinaron que el 45% de la superficie del país tiene algún grado de susceptibilidad a la degradación del suelo por salinidad (MADS, Ideam, CAR, UDCA, 2017).
- IDEAM, CAR, UDCA, 2017, con el Mapa de degradación de los suelos por salinización donde se presenta que el 12,3% del territorio colombiano presentan algún grado de degradación por salinización (IDEAM, CAR, UDCA, 2017).
- Ideam, 2017, usando la cartografía base del IGAC del 2004 desarrolló el mapa Susceptibilidad de los suelos a la degradación por salinización en la jurisdicción de la CAR, donde se aprecia un porcentaje considerable en salinidad alta y baja en la zona de la jurisdicción (IDEAM, 2017b).
- CAR, 2018, elaboró el mapa de susceptibilidad de degradación de suelo por salinización en la subcuenca del río Machetá (CAR, 2018), en que los resultados indican que aproximadamente la mitad de la zona se encuentra en grado de salinidad moderado y severo.

Tabla 2. *Recopilación de mapas existentes de salinidad en Colombia*

Nombre de mapa	Año de publicación	Mapa	Institución que publicó
Grado de salinización en la jurisdicción de la CAR	2015	Fuente: CAR (2015). 	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR)
Mapa de susceptibilidad a la degradación de suelos por salinización, E:1:100.000	2017	Fuente: MADS, IDEAM, CAR, UDCA (2017). 	MADS, IDEAM, CAR y UDCA (Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos por salinización)
Mapa de degradación de los suelos por salinización E: 1:100.000 Ideam, CAR, UDCA (2017)	2017	Fuente: IDEAM, CAR, UDCA (2017). 	IDEAM, CAR y UDCA (Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos por salinización)

Continúa tabla...

Nombre de mapa	Año de publicación	Mapa	Institución que publicó
Susceptibilidad de los suelos a la degradación por salinización en la jurisdicción CAR.	2017	Fuente: IDEAM (2017b). 	Subdirección de ecosistemas e información ambiental - Ideam (2017b) con la cartografía base del IGAC (2004).
Mapa de susceptibilidad de degradación por salinización en la subcuenca del río Machetá (CAR, 2018)	2018	Fuente: CAR (2018). 	CAR (Diagnóstico y monitoreo de degradación de suelos por salinización en la cuenca río Garagoa-subcuenca río Machetá-jurisdicción CAR a escala 1:25.000)

Fuente: adaptado de CAR (2015); Ideam *et al.* (2016); Ideam y UDCA (2017); IDEAM e IGAC (2017); CAR (2018).

Métodos

De acuerdo con la información expuesta y que permitió hacer un diagnóstico general, existe un inconveniente debido a que las escalas de medición de los grados de salinidad son diferentes entre ellas, a causa de que las metodologías con que las generaron son diferentes, esto hace que sea difícil su comparación y por ende su monitoreo posterior. Debido a ello, en el proyecto de generación de modelos de seguimiento entre la CAR y la Universidad de La Salle, se determinó realizar un diagnóstico de los suelos de la jurisdicción desde los análisis físico-

químicos disponibles y que puedan ser comparables para diseñar un modelo de seguimiento en el que las diferentes autoridades, tanto ambientales como militares, junto con la academia, puedan realizar esta labor efectivamente.

Resultados y análisis

Jurisdicción de la CAR

La CAR Cundinamarca tiene como jurisdicción lo establecido en la Ley 99 de 1993 artículo 33 (Congreso de Colombia, 1993), como:

Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los ríos Bogotá, Ubaté y Suárez, CAR: se denominará Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR y tendrá jurisdicción en el Distrito Capital de Santafé de Bogotá y el territorio del Departamento de Cundinamarca, con excepción de los municipios incluidos en la jurisdicción de la Corporación Regional del Guavio y los municipios del Departamento de Cundinamarca que hacen parte de la jurisdicción de Corporinoquia. Su jurisdicción incluye los municipios de Chiquinquirá, Saboyá, San Miguel de Sema, Caldas, Buenavista y Ráquira en el Departamento de Boyacá. (Congreso de Colombia, 1993). La Corporación distribuyó su jurisdicción en siete regionales: Sabana de Occidente con sede en Funza, que agrupa a 9 municipios; Sumapaz en Fusagasugá con 10 municipios; Tequendama y Alto Magdalena en Girardot con 20 municipios; Rionegro con sede en Pacho y 8 municipios; Gualivá y Magdalena Centro con sede en Villeta y Sabana Norte y Almeydas en Zipaquirá con 21 municipios cada una. (CAR, 2020)

En la figura 2 se aprecia el mapa de la jurisdicción.

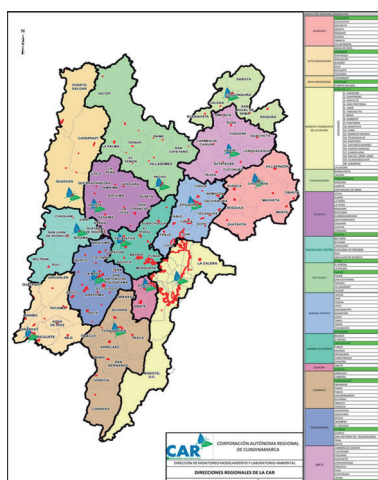


Figura 2. Jurisdicción de la CAR

Fuente: CAR (2020).

Información de caracterización fisicoquímica de suelos-salinidad

Debido a la situación discutida previamente en el sentido de la variabilidad de la información existente, se consultaron bases de información de parámetros fisicoquímicos, una del IGAC del 2000, y una de la CAR del 2019. La información del IGAC corresponde a un estudio nacional por departamentos, en el que se tomaron muestras de suelo en los diferentes municipios y se realizó el análisis químico del suelo a diferentes profundidades. Para el presente estudio se tomaron los municipios del área de jurisdicción. Es de anotar que los parámetros fisicoquímicos seleccionados de todos los realizados por el IGAC corresponden a aquellos con los cuales se determina la salinidad, de acuerdo con las tablas 2 y 3. Infortunadamente uno de los parámetros más importantes para la revisión de la degradación por salinidad que es la conductividad eléctrica no se encontró en la información. A causa de esta situación se revisó la información de los municipios que se tenía para la CAR y se usó un dato promedio de esta variable. Por otro lado, la CAR realizó un muestreo en el 2019 con una caracterización de suelos en diferentes municipios de la jurisdicción. En la tabla 3 se aprecian los análisis encontrados para las dos entidades.

Tabla 3. *Análisis fisicoquímicos encontrados para el IGAC año 2000 y CAR año 2019*

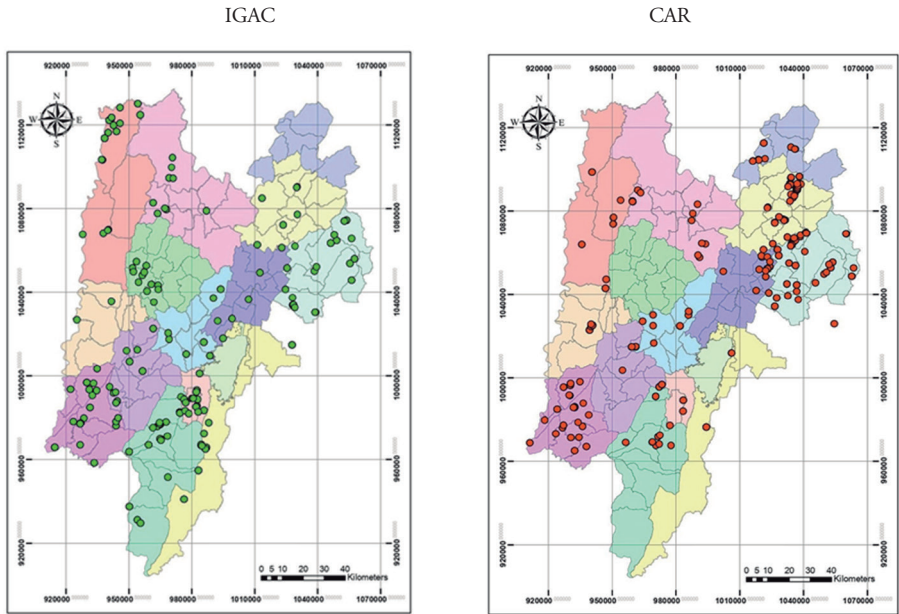
IGAC (2000)		CAR (2019)
Zona jurisdicción de la CAR		Subzona
Municipio		Municipio
N.º de perfil		Conductividad (dS/m)
Prof. cm		pH
CICA meq/100g		Cot (Cmol/Kg)
Ca	meq/100g	Cic (Cmol/Kg)
Mg	meq/100g	Fósforo (Cmol/Kg)
K	meq/100g	Humedad (%)
Na	meq/100g	Na (Cmol/Kg)

Continúa tabla...

IGAC (2000)	CAR (2019)
% saturación bases	Mg (Cmol/Kg)
% CO	K (Cmol/Kg)
pH (1:1)	Ca (Cmol/Kg)
Aluminio meq/100g	Muestra
Horizontes	% saturación de bases
% saturación de bases	% saturación de sodio (Psi)
% saturación de sodio (Psi)	Grado de salinidad
Sub_Sódico	Inter_ Igac
Sub_Magnésico	Cri_Usda
	Cri_Fao
	Sub_Sódico
	Sub_Magnésico

Fuente: elaboración propia.

Figura 3. Puntos de muestreo para el IGAC y la CAR



Fuente: Proyecto de Investigación UNISALLE-CAR, 2020

Otra de las situaciones encontradas en este estudio fue que los puntos de muestreo entre las diferentes entidades no estaban ubicados en el mismo lugar y eso hace que la comparación y análisis de información no sea precisa, además de que para algunos municipios había más de un punto, mientras que para otros no había información, ello presupone un problema y es que la información dispersa, hallada de diferente manera, con diferentes metodologías e incompleta dificulta y ocasiona conclusiones parciales y focalizadas. En la figura 3 se aprecia la distribución espacial de los datos obtenidos. Es de tener en cuenta que los datos de la CAR no tienen información para las subdirecciones regionales de Rionegro, Gualivá, Chiquinquirá, Magdalena Centro y Sumapaz.

Teniendo en cuenta esta información, se procedió a calcular la salinidad en la jurisdicción. A continuación, en la figura 4 se presentan los resultados de conductividad eléctrica entre 2 y 4 dS/m y los valores de $\text{pH} < 7,4$ que según Ideam, CAR, UDCA (2017) corresponden a las características de un suelo salino, como se aprecia en la figura 8 se destacan los valores de suelos sódicos. Además, en la figura 5 se pueden observar los suelos magnésicos y sódicos de la jurisdicción, debido a que las sales de estos cationes son indicadores predominantes en los suelos salinos. Los suelos magnésicos se clasifican de acuerdo al % Mg intercambiable como hipomagnésico, hipermagnésico y ultramagnésico. Los suelos sódicos se clasifican como hiposódicos, hipersódicos y ultrasódicos. Según esto se aprecia que el mayor número de puntos son principalmente ultramagnésicos (aproximadamente 180), seguido de los hipermagnésicos (aproximadamente 116) y relativamente pocos hipomagnésicos que los que tienen poco magnesio (aproximadamente 16). En cuanto a los suelos sódicos teniendo en cuenta el % Na intercambiable, se observaron en los suelos de la jurisdicción 24 puntos hiposódicos, 8 ultrasódicos y 7 hipersódicos, lo que indica que la predominancia en la zona es de suelos tipo magnésicos por lo que estas sales serán las que más aporten al tema de salinización.

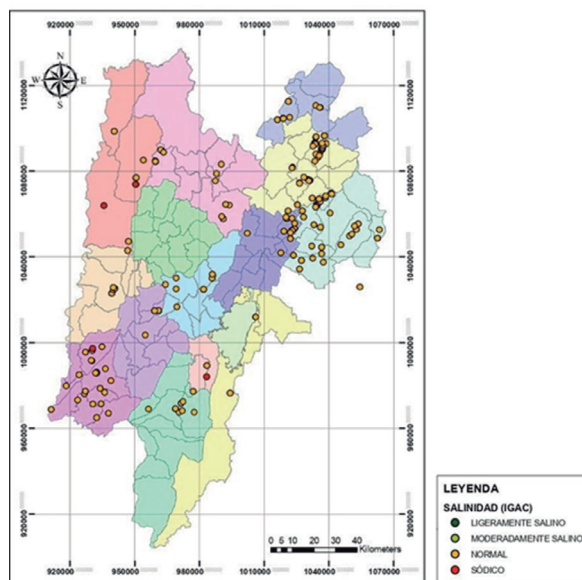


Figura 4. Salinidad determinada de acuerdo con la conductividad eléctrica y el pH
Fuente: Proyecto de Investigación UNISALLE-CAR, 2020

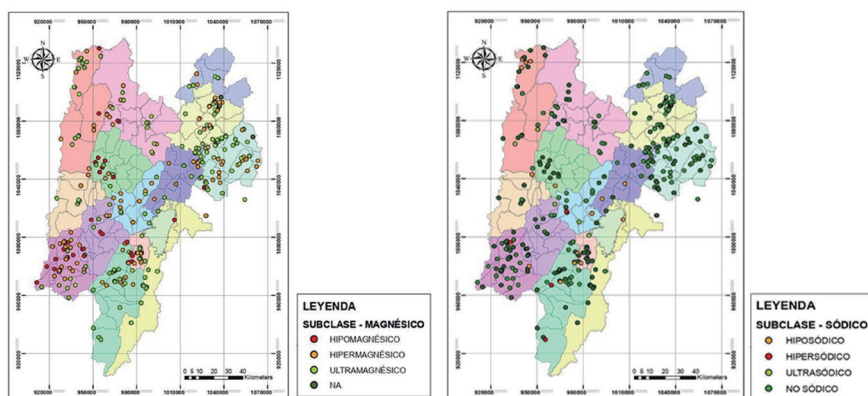


Figura 5. Salinidad determinada del tipo de suelos magnésicos y sódicos
Fuente: Proyecto de Investigación UNISALLE-CAR, 2020

Adicional a lo anterior, según FAO (2018) se considera un suelo afectado por sal cuando sus concentraciones tienen valores por encima de los umbrales de toxicidad, en que la suma de sales tóxicas medidas en extractos de agua se

encuentre entre 0,05-0,15%, con valores de conductividad eléctrica específica de los extractos de pasta de suelo saturado entre 2 y 4 mSm/cm. También se indica que deben considerarse los efectos de la salinidad en los cultivos; en la tabla 4 se presenta la clasificación que la FAO sugiere con la cual también se analizaron los datos que se tienen para la jurisdicción.

Tabla 4. *Grado de salinización según FAO (2018)*

Impacto de la salinidad en el rendimiento de cultivos	Grado de salinización	Criterio del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, 1954), ECe, mS/cm	Criterio dado por Kopikova y Skulkin (1990)		
			CE, mS/cm	Suma de sales tóxicas %	Na+ cmol (equiv.) /kg
Influencia insignificante	Ausente	<2	0-3	0-0,15	0-1
Rendimientos limitados de cultivos muy sensibles	Bajo	2-4	3-5	0,15-0,30	1-3
Rendimientos limitados de varios cultivos	Medio	4-8	5-10	0,30-0,60	3-6
Rendimientos satisfactorios de la mayoría de los cultivos resistentes a la sal	Alto	8-16	10-16	0,60-1	6-11
Rendimientos satisfactorios para algunos pocos cultivos resistentes a la sal	Muy alto	>16	>16	>1	>11

Fuente: FAO (2018).

Los resultados obtenidos según esta clasificación indican que los puntos de muestreo de la CAR están dentro de las categorías de bajo y ausente. Todo lo anterior indica que dependiendo de la metodología que se use para determinar la salinidad se pueden encontrar diversos tipos de datos, además es importante contextualizar el sector donde se presenten los indicadores de salinización, desafortunadamente como cuando las actividades productivas se realizan no se tiene en ellas un control, seguimiento y monitoreo permanente de la salinidad en los suelos, la degradación continuará, teniendo en cuenta que los cultivos intensivos y el riego no controlado son las principales causas de este tipo de degradación.

Recomendaciones para el control y monitoreo efectivos de la salinidad en la jurisdicción de la CAR

Teniendo en cuenta la gran variabilidad encontrada se plantean como recomendaciones para un buen control y seguimiento por parte de la autoridad ambiental así:

- Realizar muestreos en las regiones que a lo largo del tiempo se han dedicado a actividades de monocultivo y riego intensivo, así como la ganadería. En este sentido, también se recomienda realizar inventarios tanto de dichos cultivos como del riego por parte de la autoridad ambiental, en este caso la CAR.
- Realizar muestreos en diferentes condiciones climáticas, en los mismos lugares donde ya se ha muestreado con el fin de hacer seguimiento a estas zonas e incluir zonas de salinidad natural de acuerdo con los tipos de suelos en la zona.
- Monitorear suelos donde se desarrollen actividades económicas asociadas al uso de sales consideradas como factor generador de salinización tales como la minería, cultivos de flores, hortalizas o frutas.
- Es vital que la autoridad ambiental establezca monitoreos y controles en suelo de forma permanente, en lugares donde las acti-

vidades económicas puedan verse afectadas a causa de un aumento de la salinización de la jurisdicción de la CAR; así como en los sitios donde ya hay afectación, según estudios previos realizados por las autoridades competentes. Para ello se recomienda urgentemente la vinculación de actores que se encuentren de forma permanente en los territorios tales como la fuerza pública y, en este sentido, el Ejército Nacional es vital, ya que con sus grupos ambientales podrá aportar al mejoramiento, por un lado, por el respeto que la comunidad le tiene a la institución y, por otro, que ayudará a muestrear zonas de forma permanente ya que ellos están en todo el territorio. Con lo anterior, se logrará poder tener información consistente en el tiempo.

- Es importante que todas las entidades encargadas del tema de suelos en Colombia utilicen las mismas metodologías de análisis, en este caso, el último protocolo generado por el IDEAM y si es posible que entre ellos se pongan de acuerdo para el desarrollo de los muestreos y así tener un mayor cubrimiento y registro histórico.
- De manera especial se recomienda el uso de las plataformas ambientales dispuestas por el Estado para que la información fluya, sea libre y que con ella realmente la autoridad pueda tomar decisiones para el mejoramiento del recurso. En este sentido, el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), en el tema de salinización cuenta con un espacio en la página web <http://www.siac.gov.co/salinizacion>, donde se encuentra el mapa de Colombia de la figura 3, mas no datos de análisis fisicoquímicos.
- Es importante que se analice la información existente municipio por municipio. A continuación, la tabla 5 prioriza el muestreo teniendo en cuenta el número de puntos históricos que tienen, con el fin de que la autoridad tome medidas sobre aquellos susceptibles y con poca o ninguna información.

Tabla 5. *Priorización de muestreo según cantidad de datos*

Municipios sin datos	Municipios con pocos datos (hasta 4 puntos)	Prioridad 3: municipios con mayor cantidad de Datos (de 5 puntos en adelante)
Manta, Tibirita, La Calera, Ráquira, Saboyá, San Miguel de Sema, Útica, Albán, La Peña, Nimaima, Villeta, Beltrán, Quebradanegra, Sasaima, Nocaima, Bituima, Chaguaní, Guayabal de Siquima, Pulí, Vianí, El Peñón, San Cayetano, Topaipí, Yacopí, Cajicá, Chía, Cogua, Cota, Gachancipá, Sopó, Tabio, Tenjo, Funza, Mosquera, Subachoque, Zipacón, Arbeláez, Cabrera, Granada, Pandi, San Bernardo, Silvania, Venecia, Anapoima, Anolaima, Apulo, Quipile, Tena, Viotá, Lenguazaque, Simijaca, Susa, Sutatausa.	Chocontá, Guatavita, Machetá, Guataquí, Agua de Dios, Girardot, Nariño, Nilo, Guaduas, Puerto Salgar, Buenavista, Chiquinquirá, La Vega, San Francisco, Supatá, Vergara, Pacho, Paime, Villa Gómez, Tocancipá, Zipaquirá, Bojacá, El Rosal, Facativá, Madrid, Sibaté, Soacha, Fusagasugá, Pasca, Tibacuy, La Mesa, San Antonio de Tequendama, Carmen de Carupa, Cucunubá, Fúquene, Guachetá, Tausa.	Sesquilé, Suesca, Villapinzón, Jerusalén, Ricaurte, Tocaima, Caparrapí, Bogotá, Caldas, San Juan de Rioseco, La Palma, Nemocón, Cachipay, El Colegio, Fúquene, Ubaté.

Conclusión

La información asociada a la salinidad se presenta como dispersa, no uniforme y con diversas metodologías por parte de las autoridades encargadas del tema de suelos. Es importante el concurso de dichas entidades para utilizar metodologías acordes que permitan el seguimiento histórico. En la jurisdicción se aprecia este fenómeno que degrada el suelo y es necesario controlar y monitorear; sin embargo, la autoridad ambiental, al no tener el recurso humano necesario para desarrollar estas acciones no puede ejercer un control efectivo y generar medidas de protección acordes a la magnitud del problema, debido a lo anterior, se propone que las Autoridades Militares que hacen presencia en todo el territorio y en los últimos tiempos se han venido desempeñando en los temas ambientales puedan apoyar la labor de muestreo y así la autoridad ambiental tenga el insumo vital para los análisis de suelos de una manera pronta y oportuna.

Referencias

- Congreso de Colombia (1993). Ley 99 de 1993. Imprenta Nacional, Bogotá, Colombia
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). (2015). *Diagnóstico salinización jurisdicción CAR*. <https://www.car.gov.co/uploads/files/5b903f4fa4d1e.pdf>
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). (2018). *Diagnóstico y monitoreo de degradación de suelos por salinización la cuenca del río Machetá, jurisdicción CAR a escala 1:25.000*. <https://www.car.gov.co/uploads/files/5bdc718eedb24.pdf>
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) (2020). Jurisdicción CAR. <https://www.car.gov.co/vercontenido/7>
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). (1999). Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo (p. 88). https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2017a). Protocolo para la Identificación y Evaluación de la Degradación de Suelos por Salinización. Ideam.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2017b). Susceptibilidad de los suelos a la degradación por salinización en la jurisdicción CAR. IDEAM.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA). (2017). Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos por salinización. http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/05/Protocolo_Salinizacion-DE-SUELOS-.compressed.pdf
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2014). Metodología para la clasificación de las tierras por su capacidad de uso. IGAC.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA). (2017). Mapa nacional de degradación de suelos por salinización (p. 35). <http://www.ideam.gov.co/documents/24277/69989379/Lanzamiento+mapa+Salinizacion+FN+OPT.pdf/624515d0-799d-41ef-b1ef-bb7e868680f3>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2016). Gestión sostenible del suelo. Política para la gestión sostenible del suelo. MADS.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2018). *Handbook for Saline soil management*. <http://www.fao.org/3/i7318en/I7318EN.pdf>
- Proyecto de Investigación UNISALLE-CAR (2020). Generación de modelos de seguimiento de erosión, salinidad e impacto por disposición de vertimientos en suelos en la jurisdicción de la CAR. Universidad de La Salle, CAR Cundinamarca.
- Reach, 2006. Reglamento (CE) No. 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo de 18 de diciembre de 2006



Gestión sostenible del recurso suelo, desde los modelos de seguimiento y recuperación en las Fuerzas Militares

Esta obra permite entender algunos enfoques sistemáticos, sólidos y validados que puedan mejorar nuestra comprensión y respaldar el desarrollo y la adopción de prácticas adecuadas de la gestión sostenible del recurso suelo en Colombia. De esta forma, los resultados que presenta constituyen un gran potencial para avanzar en la investigación de los suelos en Colombia, entendiendo que existen múltiples desafíos asociados con la evaluación de la gestión sostenible del suelo y sus impactos, los cuales se deben a la atención insuficiente que se presta al monitoreo a nivel de campo y la falta de participación de la comunidad científica en algunos sectores del territorio. Con estos trabajos de investigación se espera aportar los insumos que permitan crear estrategias apropiadas de difusión basadas en evidencia científica para lograr múltiples beneficios de la gestión sostenible de este recurso no renovable.



ISBN 978-628-95446-1-9

