

RUTA MINERA

UN CAMINO A LA MINERÍA BIEN HECHA

Volumen 7 - 2024 ISSN 3028 - 5151 (En línea)



CENTRO DE FORMACIÓN MINERO AMBIENTAL EL BAGRE

GIMAB

Grupo de Investigación
Minero Ambiental El Bagre

SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación



Equipo Editorial

Director general

Jorge Eduardo Londoño Ulloa, Dr.
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA

Director Regional Antioquia

John Albeiro Giraldo Londoño, Mag.
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA

Subdirector

Director Revista

Centro de Formación Minero Ambiental CFMA

Jairo León Jimenez Zapata, Mag.
Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

Líder Sennova CFMA

Editor en Jefe

Julián Andrés Lenis, Dr.
Investigador
Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA

Apoyo Editorial

Luis Calos Pineda, Mag.
Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

Gestión Editorial

Lizeth Cristina Chatez Ortega, Mag.
Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

Diagramación Editorial

Farley Giovanni Gonzalez
Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA

Comité Editorial/Científico

Maryori Astrid Gómez Botero

Dra. en Ingeniería de Materiales
Universidad de Antioquia
Colombia

Oscar Jaime Restrepo

Dr. en Materiales.
Facultad de Minas
Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín,
Colombia

Alexander Luna Nieto

Mg. en Ciencias Humanas
Coordinador del Área de Publicaciones Editorial
Universidad Santiago de Cali
Colombia

Marlon Vinicius Brisola

Ph.D. en Ciencias Económicas
Universidad de Brasilia
Brasil

Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA
ISSN: 3028 – 5151 (En Línea)

REVISTA RUTA MINERA

UN CAMINO A LA MINERÍA BIEN HECHA

Editorial

La Revista Ruta Minera de El Bajo Cauca Antioqueño, es una revista científica del Centro de Formación Minero Ambiental (CFMA), respaldada por el Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (SENNOVA) del SENA, la cual tiene como objetivo la difusión científica en las áreas de minería y medio ambiente. En su séptimo volumen correspondiente al año 2024, la revista, con ISSN 3028-5151 (en línea), reafirma su propósito de fortalecer la calidad editorial con miras a alcanzar estándares que le permitan su inclusión en sistemas de indexación reconocidos, garantizando así un mayor impacto de las investigaciones publicadas.

Con la publicación de dos números anuales para cada volumen en coherencia con la periodicidad declarada en el ISSN, la Revista Ruta Minera busca fomentar la producción académica como eje fundamental de la estrategia nacional de Apropiación de la Ciencia, la Tecnología y la Cultura de la Innovación liderada por SENNOVA. En este contexto, se promueve la generación y transferencia de conocimiento desde el CFMA, propiciando la interacción entre actores académicos y empresariales. Este esfuerzo articula la generación de conocimiento teniendo como base la investigación aplicada, el desarrollo tecnológico y la innovación como pilares para enfrentar los desafíos que implican la sostenibilidad ambiental y el progreso de la industria minera.

El séptimo volumen incluye ocho artículos publicados en dos números, que destacan temas como la sostenibilidad minera, la formación académica para la industria extractiva, el análisis de contaminantes ambientales y la divulgación de iniciativas tecnológicas. Entre ellos se encuentran estudios sobre actitudes ambientales en el avistamiento de aves en Puerto López, análisis de pesticidas organoclorados en el Cauca, evaluación fisicoquímica del agua en el Bajo Cauca y revisiones sobre minería y sostenibilidad. Estas publicaciones evidencian el compromiso de la revista con la divulgación de investigaciones que impacten positivamente tanto el desarrollo minero como la protección ambiental, lo cual contribuye en la consolidación de la Revista Ruta Minera como un referente académico en las áreas de estudio de interés.

Tabla de contenido Volumen 7

Edición Número 1

ACTITUDES AMBIENTALES EN EL AVISTAMIENTO DE AVES COMO ESCENARIO DE APRENDIZAJE PARA ESTUDIANTES DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA YAALIAKEISY EN EL MUNICIPIO DE PUERTO LÓPEZ - COLOMBIA	5
UNA MIRADA INTEGRADORA PARA LA FORMACION DEL RECURSO HUMANO EN LA INDUSTRIA MINERA COLOMBIANA	27
DETERMINACIÓN DE PESTICIDAS ORGANOCLORADOS EN MUESTRAS AMBIENTALES: AGUAS SUPERFICIALES Y SUELO DE DOS REGIONES AGRÍCOLAS DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA - COLOMBIA	52
RETOS TECNOLÓGICOS PARA EL CAMPESINADO DE LA SUBREGIÓN DEL ORIENTE ANTIOQUEÑO EN COLOMBIA, UN ACERCAMIENTO METODOLÓGICO DESDE EL SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE (SENA)	83

Edición Número 2

ENSEÑANZA EN INGENIERÍA DE MINAS Y METALURGIA A TRAVÉS DE LA CREACIÓN DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN EN LA FACULTAD DE MINAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	99
MINERÍA Y SOSTENIBILIDAD: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LITERATURA EN EL PERIODO DE 2020 A 2024	113
EVALUACIÓN FISCOQUÍMICA DE MUESTRAS DE AGUA SUPERFICIAL EN EL BAJO CAUCA ANTIOQUEÑO - COLOMBIA.....	146
MEMORIAS DE EVENTO DE DIVULGACIÓN TECNOLÓGICA EN ARTICULACIÓN CON EL CENTRO DE FORMACIÓN PARA EL DESARROLLO RURAL Y MINERO – CEDRUM DE LA REGIONAL NORTE DE SANTANDER	161

ACTITUDES AMBIENTALES EN EL AVISTAMIENTO DE AVES COMO ESCENARIO DE APRENDIZAJE PARA ESTUDIANTES DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA YAALIAKEISY EN EL MUNICIPIO DE PUERTO LÓPEZ - COLOMBIA

Environmental activities in bird watching as a learning scenario for students at the Yaaliakeisy Educational Institution

Maira Viviana Garzón Fernández - Universidad de los Llanos. Correo electrónico: maira.garzon@unillanos.edu.co. Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-7227-4205>

Mónica del Pilar Rodríguez Rodríguez - Universidad de los Llanos. Correo electrónico: mrodriguez@unillanos.edu.co Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0438-3147>

Jorge Luis Triana Riveros - Universidad de Brasilia. Correo electrónico: jorge.riveros@unb.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2310-1256>

Resumen

Esta investigación se enfocó en el avistamiento de aves como escenario para la generación de actitudes ambientales frente a la conservación de estas especies y su ecosistema, apartados de gran relevancia en la actualidad, pero poco implementados en conjunto. Se generó un entorno de aprendizaje usando el avistamiento de la avifauna para generar actitudes positivas frente al cuidado del medio ambiente, la conservación de la biodiversidad, los ecosistemas y la clasificación de residuos. El estudio se abordó desde el aprendizaje significativo. La unidad de análisis estuvo constituida por 39 estudiantes que hacen parte del internado de la Institución Educativa (I.E.) Yaaliakeisy en el municipio de Puerto López, en el departamento del Meta. Se implementaron talleres, actividades lúdicas, trabajo de campo y las rúbricas para lograr recolectar la información.

El análisis permitió establecer que el avistamiento de aves como escenario de aprendizaje es una alternativa viable para la comunidad educativa en general, permitiendo integrar las diferentes áreas del saber, aprender desde la observación, investigación y generar una actitud ambiental sobre el cuidado de la avifauna, flora y los diferentes ecosistemas.

Palabras clave: Aprendizaje significativo, avifauna, conservación, educación ambiental, observación y educación ambiental.

Abstract

This research focused on bird watching as a scenario for the generation of environmental attitudes towards the conservation of these species and their ecosystem, sections of great relevance today, but little implemented as a whole. A learning environment was generated using bird watching to generate positive attitudes towards caring for the environment, conservation of biodiversity, ecosystems and waste classification. The study was approached from meaningful learning. The unit of analysis was made up of 39 students who are part of the boarding school of the Educational Institution (I.E.) Yaaliakeisy in the municipality of Puerto López, in the department of Meta. Workshops, recreational activities, field work and rubrics were implemented to collect information. The analysis allowed us to establish that bird watching as a learning scenario is a viable alternative for the educational community in general, allowing the integration of different areas of knowledge, learning from observation, research and generating an environmental attitude about the care of birds. flora and different ecosystems.

Keywords: Meaningful learning, birdlife, conservation, environmental education, observation and environmental education.

1. Introducción

La educación en la actualidad tiende a ser más vivencial, al incorporar escenarios de aprendizaje en los que busca integrar los conocimientos de manera más flexible y autónoma, siendo la educación una herramienta para proveer conocimientos, valores y un mecanismo

mediante el cual se transmiten costumbres, lo que permite el desarrollo y el progreso de las sociedades (Castillo 2010).

Lo anterior permite reflexionar sobre la necesidad de generar estrategias innovadoras en el proceso de enseñanza- aprendizaje, en coherencia con el proceso evolutivo de la sociedad, de tal manera que se logre motivar al estudiante a aprender de manera significativa y de manera interactiva con el mundo que lo rodea como lo propone Salinas (2005).

Por lo tanto, es importante resaltar que las innovaciones en el área rural en su fase de adaptación son “complejas, porque esta presenta numerosas variables en los aspectos: político, social, económico e institucional, las cuales deben ser tenidas en cuenta al momento de diseñarlas y aplicarlas (Riveros y Thomé, 2021 p. 197).

En este sentido, el mundo educativo rural es de extrema importancia y aún más en el que participan grupos indígenas como es el caso de la institución educativa Yaaliakeisy, objeto de investigación, donde se encuentran estudiantes pertenecientes a diversos grupos étnicos, en los que se encuentran Achaguas , piapocos, cuberos, sikuanis y blancos, en donde se hizo indispensable atender a aspectos relacionados con las culturas y las tradiciones que necesitan ser comprendidas y valoradas para tener un entendimiento más holístico y mejorar los procesos de los contextos de enseñanza.

En consecuencia, el avistamiento de aves se ha convertido en uno de los nuevos escenarios de aprendizaje, en donde la “relación existente entre el avistamiento de aves como una estrategia didáctica para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias aporta al cambio en los modelos explicativos” (Lanheros y Ortega, 2021 p 51). Según, Villamil (2017) es importante la función que tienen los profesores (licenciados) como generadores de conocimientos en estos procesos en las comunidades, tanto pedagógicos como de área técnica teniendo como premisa la conservación, siendo fundamental implementarla en currículos escolares e institucionales, incorporar este tipo de actividades como escenario de aprendizaje permite discutir estos temas. Al respecto, vale destacar que Colombia ocupa el primer puesto a nivel mundial en cuanto a aves, debido a que supera las 1.966 especies (Echeverry et al, 2022).

El departamento del Meta tiene la presencia de aproximadamente 1.063 especies, catalogado como uno de los 10 departamentos con más aves a nivel nacional (Ayerbe 2019). Esto ha llevado a que esta riqueza natural de especies de aves permita no solo en el territorio colombiano sino a nivel mundial posicionar su avistamiento, actividad que incentiva a las personas a cuidar y conservar estas especies con las que cuenta el planeta debido a que muchas de estas se encuentran en vía de extinción (Velásques 2018).

Por otro lado, es importante, incentivar a partir de canales educativos este tema debido a que es prioritario para el futuro de las próximas generaciones, por lo que surge “la necesidad de trabajar en redes, ya que estas permiten procesos de visibilización y participación, potenciando el trabajo en equipo y facilitando el cumplimiento de los objetivos que se tracen desde un colectivo, con la idea de que esas alianzas puedan favorecer a todas y cada una de las partes implicadas” (Cortés, Araméndiz y Cantor, 2023 p. 23).

De esta forma, el avistamiento de aves, se ha convertido en una excelente estrategia de enseñanza, al permitir a los jóvenes no sólo apropiarse de lo que tienen a su alrededor, sino también fortalecer diferentes temáticas y conocimientos adquiridos en el aula de clase, así como ayudar en la promoción, conservación y preservación de las especies. Implementar estas prácticas en el ámbito rural fomenta la ruralidad en los campos, propiciando una educación más apropiada y aplicable para el contexto de una construcción social (Riveros, 2019), que en este caso sería el agroturismo, el cual tiene un mayor impacto que únicamente difundir el conocimiento a la comunidad y turistas.

Actualmente uno de los temas que se pueden evidenciar y que preocupan a la humanidad es la falta de cuidado con el medio ambiente, lo cual ha ocasionado problemas sociales, económicos y hasta políticos, siendo un desafío de la contemporaneidad (Meira, 2013). Ante los problemas ambientales es necesario traer soluciones concretas en las áreas rurales, en el caso del avistamiento de aves se involucra en los componentes de la “sostenibilidad, conservación, conocimiento del patrimonio natural y fomento del turismo comunitario” (Rodriguez, 2016 p 66.)

Al ser un plan de tipo comunitario, cuyo objetivo es proporcionar un servicio que desempeñe el alcance de expectativas de los turistas cuidando así del patrimonio natural (Rodríguez, 2016).

Por tal motivo, se están implementando escenarios que permitan a los docentes innovar sus métodos de enseñanza, que puedan transversalizar diferentes áreas de conocimiento, permitiendo al estudiante aprender a través de lo que lo rodea, agrada y cautiva. Donde los estudiantes logren a partir del contacto directo con la naturaleza y la observación de todos los contextos y ecosistemas, generar actitudes ambientales. Para el caso de los estudiantes de la Institución Educativa Yaaliakeisy es fundamental el avistamiento de aves como un escenario que les permite comprender y desarrollar actitudes de conservación y preservación de las especies de aves con las que conviven. Así, el objetivo de este artículo se centró en analizar el avistamiento de aves como escenario para la generación de actitudes ambientales en un grupo de estudiantes frente a la conservación de estas especies y su ecosistema, apartados de gran relevancia en la actualidad, pero poco implementados en conjunto.

2. Marco teórico

Los estudiantes a través del avistamiento desarrollan habilidades como son: la reflexión, observación, análisis y comprensión de diferentes fenómenos que suceden en su entorno o naturaleza que lo rodea, ampliando su conocimiento científico. Así mismo, los estudiantes a través de esta actividad integran diferentes áreas del saber y generan actitudes ambientales sobre la conservación del ambiente y la avifauna (Cortés, Araméndiz y Cantor, 2023).

La educación ambiental (EA) en Latinoamérica se desarrolla en una realidad socioeconómica con una alta diversidad cultural y biológica, que le ha otorgado a su historia matices particulares, creando un ambiente participativo para las personas que habitan en la región, sin importar a qué cultura pertenecen (Velásques 2018). De igual forma, las estrategias educativas que se implementan para que los jóvenes y población comprendan la importancia del cuidado de la naturaleza, parten de la observación, la comparación y charlas pedagógicas (Cortés, Araméndiz y Cantor, 2023). De esta manera, se hace necesario atender a algunos conceptos sobre el avistamiento de aves:

Nicho ecológico: es un concepto que viene siendo estudiado en el área de la biología que generalmente se cofunde con hábitat, en donde se pueden encontrar varios modelos, por lo tanto, en la tabla 1, se traen algunos conceptos de los modelos explicativos de nicho ecológico.

Tabla 1

Principales conceptos de los modelos explicativos de nicho ecológico.

Modelos Explicativos	Aproximación Teórica
Medio (Grinnell - 1924)	Es un entorno, un lugar cuyas características y recursos, influyen sobre los organismos que lo habitan, sus interacciones, sus funciones y su supervivencia.
Organismo (Elton - 1927)	Las características de un organismo que lo hacen apto para habitar en un lugar específico, que interactúa con otros haciendo parte de las cadenas tróficas, logrando cierto nivel de orden y control al interior de los ecosistemas
Exclusión competitiva (Gause - 1940)	La coexistencia de dos especies implica un mayor nivel de competencia, aunque no compartirán la totalidad de sus nichos.
Multidimensional (Hutchinson - 1958)	Se tienen en cuenta todas las variables ambientales (físicas y biológicas) que actúan sobre un organismo. El conjunto de factores que le permiten a una especie sobrevivir y mantener una población viable. Existen regiones con mayor probabilidad de supervivencia (nicho fundamental y nicho realizado). Existen factores comunes entre los nichos ecológicos de distintas especies, lo que genera un mayor nivel de competencia.
Papel funcional (Root - 1957)	Nicho ecológico como papel funcional de las especies, propone el estudio de la dimensión trófica del nicho. Nicho como las relaciones que se establecen alrededor de los recursos tróficos.
Coexistencia (MacArthur, Levins y colaboradores - 1967)	La manera en cómo las especies distribuyen la utilización de los recursos y su uso fraccionado. El uso de un recurso por parte de una población. Favorecer el reconocimiento de la amplitud y el traslape de nichos. Surge una alta competencia entre las especies similares, lo que afectará su abundancia.
Vandermeer - 1972	Fusionó los planteamientos de Grinnell y Elton, proponiendo que el nicho de ecológico hace referencia a la ocupación ecológica de una especie en una comunidad
Papel Funcional (Whittaker - 1973)	La posición que tiene la especie en un espacio multidimensional, representada por una superficie de respuesta dentro de un hipervolumen.
Suma de adaptaciones (Pianka - 1974)	La suma total de las adaptaciones de un individuo y todos aquellos mecanismos que utiliza para adecuarse al ambiente. Las habilidades

	de un organismo para sacar provecho del ambiente y las estrategias que utiliza para conseguirlo. Existe nicho de un individuo, de una especie o de una población
Organismo - ambiente (Levins - 1977)	El organismo es un ente activo con relación a su entorno. Los individuos interactúan, modificando su ambiente y creando nuevos ambientes para otros organismos. El nicho ecológico sólo existe cuando se da la interacción organismo-ambiente, no cuando se separan entre sí.
(Leibold - 1995), (Chase y Leibold - 2003)	"La relación entre una población de organismos y su medio ambiente en la que las interacciones pueden operar en ambas direcciones: del organismo al ambiente y viceversa" (Leibold y Geddes, 2005, p. 118)

Nota: Lanheros y Ortega (2021 p 38 y 39).

En esta secuencia, la conservación y educación ambiental juegan un papel importante en este tipo de investigación al ser dos variables que deben ser analizadas tanto independientemente como conjuntamente, en donde el aviturismo se torna importante en este tipo de discusión, por lo tanto, Perdomo y Salazar (2018 p. 27) basados en otros autores afirmar que "el ecoturismo, y especialmente el aviturismo, presenta tres grandes fortalezas como alternativa para uso y conservación de los recursos naturales: I) tiene un bajo impacto ambiental en los ecosistemas donde es desarrollado; II) fortalece la relación del turista con el área visitada mediante procesos de enseñanza y aprendizaje; III) es un sector del ecoturismo que promueve el desarrollo socioeconómico sustentable de las comunidades involucradas".

3. Metodología

En el proceso de investigación se utilizó la investigación-acción, al ser este un método que permite observar, analizar, comprender e interpretar los diferentes fenómenos que suceden en una comunidad, población, grupo, sin que el experto necesariamente haga parte de la realidad a estudiar (Becerra y Moya, 2010). Este tipo de investigación tienen como finalidad comprender y plantear soluciones a problemáticas, lo cual lo hace brindando información que permita guiar la toma de decisiones (Becerra y Moya, 2010), en esta secuencia, la Investigación-acción "es un término que acuñó y desarrolló Kurt Lewin en varias de sus investigaciones, siendo un enfoque metodológico que se centra en el encuentro y contacto directo con las personas, para lograr un cambio en una determinada situación "(Bolívar, 2018 p 292).

Se procedió a adecuar el “Parque de los Pajaritos” (Figura 1) de la I.E Yaaliakeisy, el cual corresponde a una de las zonas verdes de la institución, más exactamente frente a las habitaciones del internado de la institución, en donde de manera natural llegan cientos de aves (Figura 2), ubicada en el municipio de Puerto López, Meta en el Km 76 vía Puerto Gaitán. Esta área corresponde a la tercera estación del sendero ecológico de la institución. La población objeto de estudio fueron los 650 estudiantes de la Institución Educativa Yaaliakeisy. De allí se tomó una muestra que estuvo conformada por 14 niñas y 25 niños que hacen parte del internado, para un total de 39 participantes voluntarios. Se resalta que la Institución Educativa Yaaliakeisy tiene una alta interacción con la comunidad indígena Achagua para fomentar la construcción de identidad cultural (Triana *et al*, 2023).

Figura 1

Zona verde de la I. E. Yaaliakeisy, “Parque de los pajaritos”



Nota: Registro fotográfico realizado por los autores.

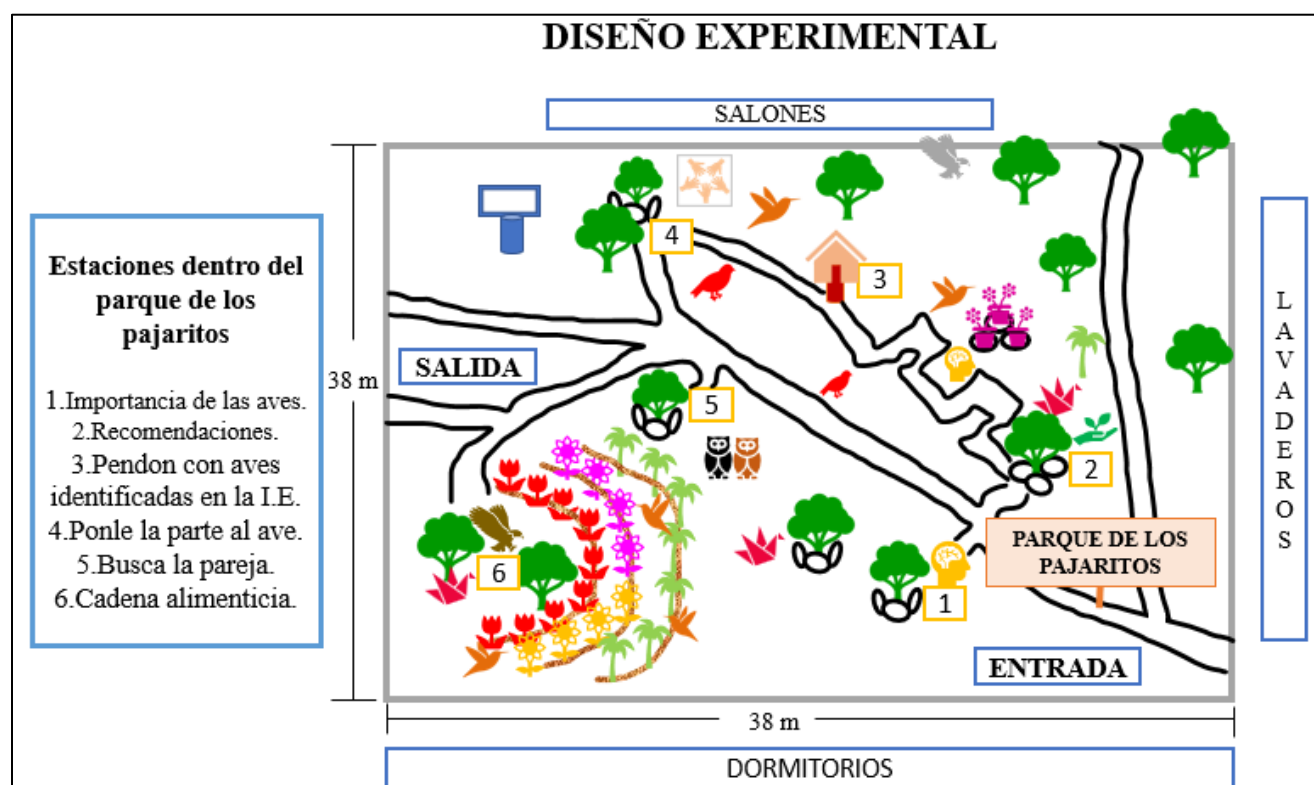
Para estimar el tamaño de la muestra de estudiantes que participaron del estudio se empleó la siguiente fórmula: $Tamaño\ de\ Muestra = Z^2 * (p) * (1-p) / c^2$, asumiendo un intervalo de confianza (Z) de 95%, una probabilidad (p) de 0.5, y un margen de error (c) de 15 (Mateu y Casal 2003).

El parque donde se desarrolló el estudio está conformado por un área de 38 m². Los estudiantes realizaron una sesión cada 20 días, durante 4 meses de avistamiento. Realizando uso de binoculares, libreta de apuntes y cámaras fotográficas. También se llevaron a cabo actividades para recuperar el parque debido a que estaba en abandono, se realizó la organización de las llantas, diseño de los caminos, preparación de eras para sembrar algunas plantas ornamentales, en los árboles grandes se colgaron los bebederos, comederos y refugios para aves elaborados

con botellas plásticas reutilizadas. Apoyadas también en la presentación de videos (Canal De Los Llanos ,2020, Crónicas del Chivizcoyo, 2019, Happy Learning Español, 2017 y Canal De Los Llanos, 2016) acerca de las aves de la región, identificación e importancia, desarrollo de talleres, salidas a campo, juegos lúdicos y la elaboración de maquetas.

Figura 2

Diseño del parque de los pajaritos



Nota: Elaboración propia.

Para fomentar aprendizajes significativos en cuanto a la recuperación del parque de los pajaritos y generar actitud ambiental en los estudiantes, se llevaron a cabo diferentes técnicas, instrumentos y actividades lúdico pedagógicas, como fue presentación de videos acerca de las aves de la región (Canal De Los Llanos ,2020 y Canal De Los Llanos, 2016), identificación e importancia, desarrollo de 2 talleres, el primero denominado: cuidado del medio ambiente, donde contaba con dos preguntas referentes a la importancia del cuidado del medio ambiente, las cuales

tenían su respectiva explicación, de mismo modo contaba con una serie de actividades donde tenían que reflexionar y utilizar la creatividad, en el segundo taller, denominado: educación ambiental, se realiza la explicación de ¿qué es educación ambiental?, ¿qué son los residuos? el manejo y clasificación de residuos, complementando con el desarrollo de un crucigrama y sopa de letras relacionadas al contenido anteriormente mencionado, salidas a campo para realizar avistamiento de aves, al igual la identificación y clasificación de los residuos encontrados en el “parque de los pajaritos”, juegos lúdicos donde se integraba toda la muestra y se realizaba retroalimentación de los temas vistos durante los talleres, elaboración de maquetas con material reciclado durante las salidas a campo, bebederos, comederos con botellas recicladas y restauración de la zona verde de la institución denominada “Parque de los Pajarito”.

De igual forma, se llevó a cabo el juego “jugo de limón”, el juego “encuentra la pareja”, “juego de roles de la cadena alimenticia” y “ponle la parte al ave”, y las fonomímicas de algunos factores contaminantes. Actividades donde complementaban los conocimientos adquiridos y se integraba con sus compañeros. Por último, para complementar lo anterior mencionado se realizó un segundo taller denominado: Educación ambiental, el cual incluye actividades como sopa de letras y crucigramas, sobre los temas vistos en el taller, de igual forma una actividad lúdica sobre la clasificación de los residuos según la caneca que corresponde y la elaboración de una maqueta comparativa sobre el hábitat de las aves y la intervención del hombre elaborada con residuos.

En cuanto a las metodologías implementadas para la recuperación del parque de los pajaritos y generar un espacio lúdico pedagógico, se realizaron salidas de campo para que a partir de lo identificado lograr iniciar con la recuperación de la zona verde, las actividades que se realizaron fueron: la limpieza de las llantas, poda de los árboles, construcción de bebederos, comederos y casas para los pajaritos con material reciclaje, la siembra de árboles frutales y ornamentales, la construcción de laberinto (ver figura 3).

En referencia a las actividades desarrolladas se llevó a cabo el primer taller denominado: Cuidado del medio ambiente, el cual consta de diferentes fases. La primera fue mediante la salida a campo a una zona verde de la institución denominada “el parque de los pajaritos”. Donde el estudiante inicialmente comprendió cómo realizar avistamiento de aves y finalmente realizó la actividad. Posteriormente, se continuó con la construcción de frases sobre la importancia de las aves y la actividad artística de dibujar como cuidar el medio ambiente, generando de esta manera un conocimiento más sólido sobre la conservación ambiental y de la avifauna.

Figura 3

Bebederos y refugios para aves elaborados por los estudiantes de la Institución Educativa Yaaliakeisy a partir de botellas PET.



Nota: Registro fotográfico realizado por los autores.

4. Resultados y discusión.

Los estudiantes a partir de los videos que se presentaron sobre la identificación de aves de la Orinoquia Colombiana y su importancia, como, por ejemplo: aves del llano capítulo 7, consejos para aprender a observar aves, curiosidades de las aves, entre otros, empezaron a cambiar la perspectiva que tenían acerca de las aves que observaban en la institución, surgiendo diferentes preguntas como; ¿Cuántas especies de aves hay en la institución?, ¿De qué se alimentan las aves? ¿Cómo se puede ayudar a conservar las aves?, entre otras. De igual forma, empezaron a compartir diferentes conocimientos que tenían acerca de las aves como los nombres comunes que conocían, y en general a indagar más acerca de ellas, apoyados en la literatura.

Se analiza que al desarrollar actividades lúdicas y educativas como “encuentra la pareja”, “juego de roles de la cadena alimenticia” y “ponle la parte al ave”, se pudo evidenciar las temáticas vistas en los anteriores talleres permitiendo recuperar el parque de los pajaritos y, que los estudiantes apropiaron y fortalecieron diferentes conocimientos en las temáticas de conservación ambiental, reutilización y clasificación de residuos, del mismo modo de propagación vegetal. Las temáticas que se vieron fortalecidas especialmente en el área de ciencias naturales se relacionan con la introducción a la ornitología, ecología de las aves, conservación de las aves, técnicas de observación y avistamiento. Aspectos a tener en cuenta en la identificación de las aves tales como el plumaje, tamaño, forma del pico y patas.

Se realizó a los estudiantes una capacitación sobre cómo hacer el avistamiento de aves. Posteriormente, se llevó a cabo una salida de avistamiento, donde de manera demostrativa y práctica, y con la colaboración del docente Alejandro Pardo se logró hacer el registro fotográfico e identificación de las aves que se encuentran en el parque de los pajaritos. Posteriormente se realizó la revisión bibliográfica y el diseño del catálogo de las aves. Como resultados se logra la reflexión en los estudiantes sobre el cuidado de las especies, así como la importancia que tienen para el ecosistema, se analiza el comportamiento antes y después de los estudiantes frente a su actitud para la preservación y conservación de las aves, encontrando actitudes como el respeto, por el ave y su hábitat, el conocimiento adquirido frente a los diferentes tipos de aves que existen en su entorno inmediato. Fue interesante ver en los estudiantes la adquisición de actitudes ambientales relacionadas con la curiosidad, la capacidad de asombro, el respeto por la naturaleza, el tener conciencia sobre la biodiversidad, el asumir su responsabilidad ambiental, la conexión con la naturaleza lo que les permite apreciar y valorar aún más el mundo natural y la importancia de su conservación.

De esta manera, se logró identificar 12 especies de aves (ver tabla 2), con las cuales se creó el catálogo denominado avifauna de la institución educativa Yaaliakeisy. Catálogo que tiene como fin promover la conservación de estas especies de aves y ser un material educativo.

Tabla 2

Aves identificadas en la investigación

Registros fotográficos, nombre común y nombre científico	
 Nombre Común: Gavilán Nombre Científico: <i>Milvago Chimachima</i>	 Nombre Común: Tucán Nombre Científico: <i>Pteroglossus Castanotis</i>
 Nombre Común: Águila Nombre Científico: <i>Rupornis Magnirostris</i>	 Nombre Común: Amanza caballos Nombre Científico: <i>Phelpsia Inornata</i>



Nombre Común: Candelo

Nombre Científico: *Piaya Cayana*



Nombre Común: Chagiro

Nombre Científico: *Gymnomystax Mexicanus*



Nombre Común: Cheo

Nombre Científico: *Cyanocorax Violaceus*



Nombre Común: Buo

Nombre Científico: *Megascops Choliba*

	
Nombre Común: Loro rial Nombre Científico: <i>Amazona Ochrocephala</i>	Nombre Común: Catarnica Nombre Científico: <i>Eupsittula Pertinax</i>
	
Nombre Común: Carpintero Nombre Científico: <i>Melanerpes Rubricapillus</i>	Nombre Común: Mirla embarradora Nombre Científico: <i>Turdus ignobilis</i>

Nota: Registro fotográfico realizado por los autores.

Para evaluar la investigación desarrollada, se diseñó una rúbrica técnica (anexo) donde, a partir de las diferentes actividades llevadas a cabo y los criterios de la rúbrica, se analizó en el estudiante la participación en la adecuación del parque, creación de espacios lúdico-pedagógicos

y la identificación de las aves. El 85% de los estudiantes obtuvieron una valoración de excelente, debido al compromiso que presentaron para la recuperación del parque de los pajaritos y el desarrollo de las actividades lúdico-pedagógicas. Además, se logró registrar e identificar el 80% de las aves observadas en el parque.

Finalmente, para evaluar la labor docente se utilizó una rúbrica pedagógica, con la cual se analizó en el estudiante la observación, participación y transferencia del conocimiento. La mayoría de los estudiantes obtuvieron una valoración de excelente en los anteriores criterios, esto debido que participaban activamente en las diferentes actividades, observando, indagando y construyendo conceptos en conjunto. Al igual, transfieren los conocimientos adquiridos como el trabajo en equipo, la importancia del medio ambiente, el manejo de residuos, la recuperación de los espacios verdes, la función que tienen las aves dentro del ecosistema, la clasificación, familias, características de las aves, de igual forma los tipos de alimentación de las aves, a sus compañeros, familiares y docentes generando un aprendizaje significativo y colaborativo.

Se evidencia que el avistamiento de aves influye en el estudiante al generar un aprendizaje significativo sobre actitudes ambientales. 1. Tales como la curiosidad, 2. La capacidad de asombro, 3. El respeto por la naturaleza, 4. El tener conciencia sobre la biodiversidad, 5. El asumir su responsabilidad ambiental, 6. La conexión con la naturaleza. El estudiante, a través de las dinámicas lúdicas y los talleres llevados a cabo adquirió y apropió conocimientos sobre la avifauna de Colombia y de la región, la importancia de su conservación y de la flora y demás recursos naturales asociados a las aves. Así mismo, se abordó la manera como pueden realizar esta conservación e incentivar a más personas, a que cuiden y protejan cada uno de los ecosistemas que se encuentren en su entorno, esto debido a que podían relacionar los conocimientos adquiridos en el aula e interactuar más con la naturaleza, generando en cada uno conciencia ambiental. Con este trabajo se demostró que el avistamiento de aves permite desarrollar un aprendizaje significativo a través de la interacción con el medio directamente, logrando observar y relacionar los conceptos que se están desarrollando en el aula (Martínez 2021).

5. Conclusiones

El avistamiento de aves como escenario de aprendizaje significativo e interacción con la naturaleza es una buena estrategia para llevar a cabo en las instituciones educativas en el área rural, debido a que despierta en los estudiantes una mejor actitud ambiental, llevándolos a cuidar la avifauna y la flora asociada a ella. Además, permite la transversalización de las diferentes áreas de conocimientos, la investigación en los estudiantes y la integración de la comunidad educativa en general. Se recomienda a las instituciones educativas que hagan uso de las zonas verdes, ya que se logró evidenciar que son un gran escenario educativo para la interacción de los estudiantes y la naturaleza, donde, a partir de la observación y el contacto directo asocian los conceptos abordados en el aula. Del mismo modo, se debe continuar realizando proyectos ambientales donde los estudiantes utilicen material reciclable como estrategia para mitigar los daños ambientales.

Referencias bibliográficas

- Ayerbe, F. (2019). *Guía ilustrada de la Avifauna Colombiana*. Colombia: Puntoaparte bookvertising.
- Becerra Hernández, R., & Moya Romero, A. (2010). *Investigación-acción participativa, crítica y transformadora Un proceso permanente de construcción*. *Revista Integra Educativa*, 3(2), 133-156.
- Bolívar, Y. C. R. (2018). *Investigación acción participativa y educación ambiental*. *Revista Científica*, 3(7), 289-308.
- Castillo, R. M. (2010). *La importancia de la educación ambiental ante la problemática actual*. *Revista electrónica educare*, 14(1), 97-111.
- Canal De Los Llanos (2020). *AVES DEL LLANO CAP. 7*. Disponible en: <https://youtu.be/7ieU1gSse-o?si=pr1ax9GiJBSSkWC5>. Acceso 03/07/2024.
- Canal De Los Llanos (2016). *Aves del Llano*. Disponible en: https://youtu.be/z_OJOF08Pm8?si=cIi2unXUOpjfiYJE Acceso 03/07/2024.
- Crónicas del Chivizcoyo (2019). *Aprendiendo a Observar Aves 1.1 | ¿Cómo las encuentro?*. Disponible en: <https://youtu.be/UejJWt9zWM?si=Sjif6A5MwpLsxfao> Acceso 03/07/2024.
- Cortés-Dussán, G. D., Araméndiz-Méndez, A. P., & Cantor-Marentes, H. R. (2023). *Aprendizaje autodirigido: Enseñanza de la avifauna en una Institución Rural (La Calera)*. *Educación y Ciudad*, (45), e2852-e2852.

- Echeverry-Galvis, M. Á., Acevedo-Charry, O., Avendaño, J. E., Gómez, C., Stiles, F. G., Estela, F. A., & Cuervo, A. M. (2022). *Lista oficial de las aves de Colombia 2022: Adiciones, cambios taxonómicos y actualizaciones de estado*. *Ornitología Colombiana*, (22), 25-51.
- Giraldo M, L. (2021). *El avistamiento de aves como estrategia didáctica en la conservación de las especies*. Obtenido de file:///C:/Users/Daniela/Downloads/1053773842.2021.pdf
- Happy Learning Español (2017). *Curiosidades de las aves | Videos Educativos para Niños*. Disponible en: <https://youtube.com/watch?v=h2EZ70Cv9c4&feature=shared>. Acceso 03/07/2024.
- Lanheros, Y. A., & Ortega, F. J. R. (2021). *El avistamiento de aves como estrategia para el aprendizaje del concepto nicho ecológico*. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos (Colombia)*, 17(2), 35-54.
- Mateu, E., & Casal, J. (2003). *Tamaño de la muestra*. *Rev Epidemiol Med Prev*, 1(4), 8-14.
- Meira Cartea, P. Á. (2013). *Problemas ambientales globales y educación ambiental: Una aproximación desde las representaciones sociales del cambio climático¹*. *Revista Integra Educativa*, 6(3), 29-64.
- Perdomo, O., & Salazar-Báez, P. (2018). *Avifauna local: una herramienta para la conservación, el ecoturismo y la educación ambiental*. *Ciencia en Desarrollo*, 9(2), 17-34
- Riveros, J. L. T., & Thomé, K. M. (2021). *Adopción de innovaciones en la agricultura familiar latinoamericana*. *Pensamiento Actual*, 21(36).
- Riveros, J. (2019). *Campo ou cidade: influências sobre a escolha dos jovens rurais granadinos no estado do Meta, Colômbia (Doctoral dissertation, Dissertação (Mestrado em Agronegócios)-Universidade de Brasília, Brasília)*.
- Rodríguez Muñoz, Gilson Danilo. *Diseño de un sendero para el avistamiento de aves marinas en el sector La Boquita de la comuna Valdivia, como alternativa de diversificación turística, económica y desarrollo sostenible a partir del 2016*. BS thesis. *La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena*, 2016., 2016.
- Salinas, J. (2005). *Nuevos escenarios de aprendizaje*. *Islas Baleares, España*. P 1. https://www.researchgate.net/publication/232242510_Nuevos_escenarios_de_aprendizaje: Universitat de les Illes Balears .
- Triana, D. K. B., Parrado, I. L. V., Rodríguez, M. D. P. R., & Riveros, J. L. T. (2023). *Mitos y leyendas: difusión del conocimiento ancestral en los jóvenes achaguas del resguardo Umapo, vereda Pueblo Nuevo, municipio de Puerto López, Colombia*. *Análisis*, 55(102).

Velasquez, M. (2018). *Estrategias educativas para abordar lo ambiental. Experiencias en escuelas de educación básica en Chiapas*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-26732018000100013

Villamil, D. R. R. (2017). *Sobrevolando el mundo de las aves: una estrategia en la enseñanza y la conservación de las aves*. *Bio-grafía Escritos sobre la biología y su enseñanza*, 10(18), 63-73

Anexos – 1 Rubrica pedagógica

RUBRICA PARA EVALUAR APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO				
Categoría	Excelente (5-4)	Bueno (4-3)	Regular (3-2)	Malo (2-1)
Observación	Observa, indaga, experimenta, pregunta y construye conceptos como: conservación ambiental, avistamiento de aves, residuos sólidos y actitud ambiental. A la vez, integra los conocimientos adquiridos en el aula de clases con las experiencias vividas en campo.	Intenta frecuentemente observar, experimentar, preguntar y construir conceptos como: conservación ambiental, manejo de residuos sólidos, avifauna y actitud ambiental. A la vez, intenta integrar los conocimientos adquiridos en el aula de clases con las experiencias vividas en campo.	Observa, indaga, experimenta, pregunta y construye de vez en cuando conceptos como: conservación ambiental, manejo de residuos sólidos, avifauna y actitud ambiental. A la vez, algunos conocimientos adquiridos en el aula de clases los integra con las experiencias vividas en campo.	Observa y realiza actividades, pero no indaga, ni construye conceptos acerca de las temáticas impartidas por el maestro. A la vez, no relaciona los conocimientos adquiridos en el aula de clases con las experiencias vividas en campo.
Participación	Participa activamente en el grupo exponiendo sus opiniones, desarrollando actividades planteadas e integrando	Participa regularmente en el grupo exponiendo sus opiniones, desarrollando actividades planteadas e	Intenta participar en el grupo exponiendo sus opiniones, desarrollando actividades planteadas e	No participa con el grupo exponiendo sus opiniones, desarrollando actividades planteadas e integrando

	conocimientos adquiridos en el aula de clase y en el aula viva de aprendizaje “el parque los pajaritos”.	integrando conocimientos adquiridos en el aula de clase y en el aula viva de aprendizaje “el parque los pajaritos”.	integrando conocimientos adquiridos en el aula de clase y en el aula viva de aprendizaje “el parque los pajaritos”.	conocimientos adquiridos en el aula de clase y en el aula viva de aprendizaje “el parque los pajaritos”.
Transferencia	Transfiere los conocimientos adquiridos a sus compañeros, familiares y comunidad en general que ingresa a la institución, incentivando la conservación de las aves y el manejo adecuado de las zonas verdes. Expone la importancia de tomar conciencia ambiental y ayudar a cuidar la riqueza natural del planeta.	Intenta transferir los conocimientos adquiridos a sus compañeros, familiares y comunidad en general que ingresa a la institución, incentivando la conservación de las aves y el manejo adecuado de las zonas verdes. Dificultad para exponer la importancia de tomar conciencia ambiental y ayudar a cuidar la riqueza natural del planeta.	De vez en cuando transfiere los conocimientos adquiridos a sus compañeros, familiares y demás comunidad general que ingresa a la institución, incentivando la conservación de las aves y el manejo adecuado de las zonas verdes. Confusión al exponer la importancia de tomar conciencia ambiental y ayudar a cuidar la riqueza natural del planeta.	No transfiere los conocimientos impartidos a sus compañeros, familiares y demás comunidad general que ingresa a la institución, incentivando la conservación de las aves y el manejo adecuado de las zonas verdes. No expone, ni comprende la importancia de tomar conciencia ambiental y ayudar a cuidar la riqueza natural del planeta.

Fuente: Basado en las referencias.

Anexo 2- Rubrica técnica

RUBRICA PARA EVALUAR LA RECUPERACIÓN DEL “PARQUE LOS PAJARITOS”				
Categoría	Excelente (5-4)	Bueno (4-3)	Regular (3-2)	Malo (2-1)
Adecuación del parque	Participa en la recuperación de “el parque los pajaritos” retirando escombros, adecuando la zona de avistamiento de aves, el camino de ingreso y salida y la decoración del lugar.	De vez en cuando participa en la recuperación de “el parque los pajaritos” retirando escombros, adecuando la zona de avistamiento de aves, el camino de ingreso y salida y la decoración del lugar.	Solo participa en la recuperación de “el parque los pajaritos” cuando el maestro lo envía.	No participa en la recuperación de “el parque los pajaritos” ni retirando escombros, ni adecuando la zona de avistamiento de aves, el camino de ingreso y salida y la decoración del lugar.
Espacios lúdico - pedagógicos	Participa en la creación de espacios lúdico – pedagógicos y en la elaboración de dinámicas, juegos, talleres, maquetas, comederos y bebederos del “parque los pajaritos”.	Participa frecuentemente en la creación de espacios lúdico – pedagógicos y en la elaboración de dinámicas, juegos, talleres, maquetas, comederos y bebederos del “parque los pajaritos”.	No participa en la creación de espacios lúdico – pedagógicos, pero si en la elaboración de talleres, maquetas, comederos y bebederos del “parque los pajaritos”.	No participa en la creación de espacios lúdico – pedagógicos, ni en la elaboración de dinámicas, juegos, talleres, maquetas, comederos y bebederos del “parque los pajaritos”.
Identificación de aves	Comprende que es el avistamiento de aves, realiza salidas a campo e identifica más del 90% de aves que	Comprende regularmente que es el avistamiento de aves, participa en algunas salidas de campo e	No comprende que es el avistamiento de aves, participa en algunas salidas de campo e identifica	No comprende que es el avistamiento de aves, no participa en

	se encuentran en la zona del "parque los pajaritos".	identifica menos del 80% de aves que se encuentran en la zona del "parque los pajaritos".	menos del 60% de aves que se encuentran en la zona del "parque los pajaritos".	las salidas de campo y no identifica las aves que se encuentran en la zona del "parque los pajaritos".
--	--	---	--	--

Nota: Basado en las referencias.

UNA MIRADA INTEGRADORA PARA LA FORMACION DEL RECURSO HUMANO EN LA INDUSTRIA MINERA COLOMBIANA

An Integrative Perspective on Human Resource Training in the Colombian Mining Industry

Eduardo Alfonso Chaparro Ávila - Director Ejecutivo Asociación Colombiana de Exploración. Correo electrónico: edshorter@gmail.com

Resumen

Después de más de dos siglos de diversos procesos de formación en los niveles técnicos y profesionales en las ciencias mineras, es el momento de repensar y adoptar, acorde con el desarrollo tecnológico, nuevas formas de entrenamiento y educación en los diferentes niveles de la necesidad de formación en la industria minera, tanto en el nivel básico, técnico y profesional, involucrando a todos los actores del sistema educativo, desde la base conceptual de la formación hasta las especificidades propias de la industria minera. Esto con el fin de contar con un lenguaje común, homologado y comprensible, producto de procesos educativos normalizados y de aceptación común para todas las expresiones de la producción minera, que permita el desarrollo humano y laboral de todos los involucrados y una mayor eficiencia integral de la industria productora de minerales.

Palabras clave: Educación, enseñanza, integración.

Abstract

After more than two centuries of various training processes at technical and professional levels in mining sciences, it is time to rethink and adopt, in accordance with technological advancements, new methods of training and education across the different levels of need within the mining industry. This includes basic, technical, and professional education, involving all stakeholders in the educational system, from the conceptual foundations of training to the specificities unique to the mining sector. The goal is to establish a common, standardized, and comprehensible language, stemming from normalized and widely accepted educational processes across all areas of mining production. This will enable the human and labor development of all those involved, while promoting greater overall efficiency within the mineral-producing industry.

Keywords: Education, teaching, integration.

1. Introducción

No hay duda alguna que el desarrollo de la sociedad, tanto en el pasado como en el presente y el futuro, requiere la provisión continua de bienes y servicios. Esta provisión depende de una colaboración efectiva entre las empresas, independientemente de su tamaño, y el Estado, sin importar su orientación ideológica. En ese contexto, la producción de minerales y metales, tan vasta como las necesidades por atender, ocupa un papel preponderante en la historia humana (Chaparro, 2022).

Por ello, se considera imperativa, la necesidad de iniciar y mantener de manera sistemática procesos de investigación en el campo de la formación secuencial, progresiva y continua del recurso humano minero, en todos los niveles de la actividad, desde el entrenamiento del operario a la formación continuada de gerentes integrales conocedores no solo de la técnica sino también de la administración del recurso minero y de la empresa, pública o privada. Mención especial se debe hacer en el manejo de la extracción ilícita de minerales y todas las variantes que ofrece esta manera de producir minerales, cuya formalización debe contar como requisito básico, con la capacitación de los trabajadores que a ella se dedican y el entrenamiento técnico empresarial de

los responsables de este nivel de la producción minera colombiana, requisito sin el cual es imposible el tránsito hacia la formalidad.

Colombia, está dotada de un inexplorado potencial mineral, que pese a los avances en investigación en este campo, estos se presentan insuficientes y sin la escala adecuada, que permita focalizar con mayor precisión la búsqueda de nuevos depósitos minerales e incorporarlos al tesoro nacional. Sin embargo, la información disponible indica que existe un valioso potencial en esta materia que ha permitido que, durante más de mil años, se hayan desarrollado trabajos de laboreo minero en distintos escenarios de lo que hoy es el territorio continental colombiano, que se registra en múltiples expresiones del quehacer minero, mediante la aplicación de variados modos, métodos, minerales y volúmenes de producción. La industria minera, en opinión del autor esta sobre regulada. Hay registros de laboreo minero tanto en el Pacífico como en las cordilleras andinas, que han sido datados demás de 4.000 años atrás, en el periodo arcaico de la cultura agustiniana y que hoy, pese al desigual desarrollo operativo, es uno de los soportes en los cuales descansa el tesoro público y la vida económica en un gran número de departamentos del país.

2. ¿Por qué es necesaria la formación técnica en la industria minera?

Hoy más que nunca antes, se discute con más pasión que raciocinio, cuál debe ser el modelo requerido para el desarrollo de la industria minera nacional, que satisfaga las demandas del consumo interno, facilite la substitución de importaciones de minerales, sirva de base para una renovación tecnológica en la industria manufacturera nacional, provea de los fertilizantes requeridos por la agricultura nacional y aumente el derrame fiscal en las arcas del tesoro nacional y en las regiones. Hay quienes promueven la prohibición de la industria; hay quienes alegan que hay que defender al llamado pequeño minero; hay quienes desean que el Estado sea el gran operador. Por supuesto hay quienes consideran que dado el desafío tecnológico que implica la minería de hoy y las oportunidades del mercado, solo quisieran ver proyectos de gran tamaño. De igual manera, hay quienes ven en la minería una oportunidad para pequeños, medianos y grandes capitales, tanto nacionales o extranjeros, siempre y cuando se acaten las normas y

procedimientos que promueve y la competitividad de la actividad minera evitando la sobre regulación.

Existe una gran confusión ciudadana por la creación de mitos y la consagración de contradictores sin mayor conocimiento de lo que implica hacer o construir una mina. Prueba de ello, lo es el número de adjetivos, expresiones y definiciones sobre esta actividad, que carecen de vida legal o validez normativa, pues tan solo apelan a la emotividad. Un ejemplo de ello es el uso repetitivo, reiterado y poco atinado de expresiones tales como: megaminería o extractivismo, que, sin sustento técnico ni legal, son empleadas para impulsar iniciativas legislativas, debatir en medios o usar en el activismo anti minero. Hay que ratificar que la tarea de producir minerales y transformarlos, como por ejemplo, en un cátodo de cobre, una varilla de acero, un mortero, un marco de una ventana, correctores de suelos o en sales para nutrir al ganado, es una tarea que cada día debe ser más técnica, realizada con conocimiento y cuidados colaterales imprescindibles.

Para ilustrar esta situación, téngase en cuenta que para alimentar a una población estimada para 2023 de: 52.1215.503 de habitantes (DANE, 2024), con solo prácticas agrícolas tradicionales , o brindar vivienda a los jóvenes entre los 14 y 28 años, de quienes 6,4 millones son hombres (equivalentes a 25,6% del total de los hombres) y 6,3 millones son mujeres jóvenes (24,0% del total de las mujeres), con materiales de construcción producidos de manera artesanal, no es factible y se necesita de un abanico de minerales, que van desde las calizas, hasta las arenas y las gravas, el hierro, feldespatos, cobre, aluminio, para citar solo unos pocos. Lo cual evidencia la necesidad de aumentar la producción de minerales sin deteriorar el entorno, con trabajadores cualificados y con una demanda que sea satisfecha por una oferta que responda a condiciones de cantidad y por sobre todo de calidad integral en su producción y con la capacidad de proveer a la población de bienes y servicios en conjunción entre las empresas y el Estado, para tal propósito es indispensable que la fuente sea una minería bien hecha.

Esta tarea, debido a su extrema complejidad técnica, la diversidad de métodos y procedimientos, la multiplicidad de equipos, herramientas y máquinas, así como la necesidad de contar con una muy amplia gama de profesiones y oficios, impone importantes exigencias. La producción de minerales requiere personal altamente calificado en técnicas, procesos y

operaciones mineras, lo que contribuye a hacer la explotación de minerales más eficiente, rentable, segura y, por supuesto, productiva a lo largo de todo el ciclo minero. Esto implica un esquema escalonado de actualización continua, enfocado en las tareas del negocio minero, entendido como una responsabilidad conjunta entre el sector público y privado, y dirigido a la capacitación de recursos humanos para desempeñarse con conocimiento, seguridad, legitimidad, legalidad y productividad en el sector minero.

Un país como Colombia, inexplorado en términos geo mineros y con un alto potencial minero, debe contar con una fuerza laboral capacitada, que tenga un lenguaje común y un propósito universal, apuntando a nivel nacional hacia una minería bien hecha, una minería viable en términos TESA: Técnicos, Económicos, Social y Ambientales. De hecho, el eje de este propósito reside en procesos formativos técnicos profesionales, comprometidos con la excelencia, tanto para el sector privado, pues de ellos depende su éxito empresarial, como en el sector público, que requiere un alto nivel de calificación para el cumplimiento cabal de sus obligaciones legales. Capacitar a quienes se quieran vincular a la producción minera, es tarea fundamental y para ello se debe iniciar en los niveles más básicos de enseñanza.

3. Un poco de historia

La preocupación por la formación y capacitación técnica de la fuerza laboral, aunque poco conocida no es nueva en Colombia. De ello dan cuenta publicaciones de la Universidad Javeriana como la de Mayor et al. (2014), denominada “Las escuelas de artes y oficios en Colombia 1860 - 1960”; en donde se recogen conceptos como el de la difícil transición del taller a la fábrica, identificando este aspecto como una de las contradicciones fundamentales que explican nuestro desarrollo, ratificando que es obvio que: la “enseñanza y la transmisión de saberes artesanos, anteriores a la creación de la nueva institución, estuviesen reducidos al taller heredado de tiempos de la Colonia” (Mayor et al., 2014, p.16).

El taller difícilmente diferenciado del sitio de vivienda continuó siendo, por así decirlo el centro de la vida del artesano y al mismo tiempo símbolo de la debilidad económica nacional. No era el nervio vital de la economía regional o nacional, aunque si el núcleo cultural de la formación

profesional y el destino laboral vital, señalando que la transición de lo artesanal a lo industrial, fue objeto de serios contratiempos, generados por la toma de decisiones erradas, antitécnicas y sin visión de futuro, que comprometieron la validez y futuro de las Escuelas de Artes y Oficios que se establecieron desde muy temprano en el siglo XIX en Bogotá y Medellín (Lenis, 2015).

Lenis (2015), da un panorama del papel de esas escuelas de Artes y Oficios, que al igual que en otros países de América, como Argentina y México, buscaron la formación de trabajadores, operarios y profesionales, en disciplinas técnicas y en particular en la industria minera, mostrando como desde el siglo XVIII, se registra la preocupación por cualificar la minería aurífera en nuestro país. El mencionado autor confirma el importante papel de Antioquia señalado por Mayor et al. (2014), en la obtención de avances para la modernización de la industria minera, el campo y el comercio.

Esos proyectos incluyeron la participación de figuras muy conocidas de la escena política como don Juan del Corral quien en conjunto con Francisco José de Caldas se ocuparon de diversos proyectos que incluyeron obras civiles y militares para contrarrestar la ofensiva de la reconquista española. Un nombre casi olvidado, Liborio Mejía que, a sus 24 años de edad, se convirtió en el mandatario más joven que haya tenido Colombia, fue un valioso apoyo en la tarea de esos dos propulsores del conocimiento y de la técnica. Junto con otros colaboradores esa triada de gestores se ocuparon además de la fabricación de maquinaria para acuñar monedas, las que con posterioridad cumplieron su papel en la Casa de la Moneda en Bogotá.

El mismo del Corral, nombrado Dictador por la Provincia de Antioquia, con Caldas, ayudó a crear, tal como lo registra Lenis (2015), una fundición en Rionegro, para elaborar cañones y de otras armas, necesarias para la defensa de la independencia, contando con la dirección de un bogotano José de la Cruz Contreras, y la ayuda de José María Rodríguez, había conocimiento y experiencia en técnicas metalúrgicas de manejo de hierro y de oro, además de la utilización de ese conocimiento para la producción de pólvora como elemento básico para las municiones, conocimiento ligado a la producción antioqueña de esos metales y minerales. La obra citada, rescata la creación de un cuerpo de ingenieros formados en disciplinas como: fundición, hidráulica, cartografía, con conocimientos básicos de mineralogía y química y lo que hoy se

denomina, arquitectura e ingeniería civil, la misma fuente indicaba que Caldas había evaluado en la primera década del siglo XIX, como satisfacer la necesidad de formar ingenieros mineralogistas en el Nuevo Reino de Granada, afirmando que:

No pudiendo contarse con la industria y agricultura del reino para proporcionarle el numerario que necesita, porque todavía no tiene el crecido número de brazos que para estos objetos se requieren, es preciso fijar la atención en sus ricas minas, y promoviendo su laboreo hacer que abunde la plata y oro, y con ello se reanime el comercio, que amenaza ruina si no se fomenta con este arbitrio (Lenis, 2015, pag.139).

Esta idea buscaba desarrollar una minería más productiva eficiente y rentable, que cambiara una constante extendida hasta hoy, como es la pobre productividad de las explotaciones de carácter artesanal y de pequeña escala. Tal como sucede hoy, la guerra y la violencia conspiran contra ese propósito. Además, Lenis (2015) resalta el hecho de que, la idea común de modernizar la actividad minera chocaba con las reales condiciones en las que dichos proyectos, eventualmente debían inscribirse. Esos proyectos exigían fuertes inversiones en recursos y mano de obra, algo para lo que los mineros del Nuevo Reino de Granada, ni aun los más pudientes, estaban preparados. Y que, pese a esas dificultades, grupos de empresarios mineros a lo largo del siglo XIX, utilizaron equipos y técnicas, consideradas modernas para la época como molinos de piones (1825), técnicas de fundición (1851), el monitor hidráulico (1878) y la draga para los ríos (1888), sin excluir la participación de técnicos y empresarios que, en municipios como Remedios, introdujeron equipamiento y la enseñanza de técnicas avanzadas, tales como:

Molino de piones, mineralogía, geología, hidráulica, mecánica aplicada, metalurgia, teoría del calor y química mineral, la nivelación de canales, la construcción de ruedas hidráulicas, la amalgamación con mercurio, el uso de barras de acero para rocas, la fundición industrial, la refinación del oro al fuego y la construcción de hornos, entre otros aspectos y los ensayos de minerales para conocer de manera precisa su valor. El desarrollo de esa minería no puede explicarse sin los impactos de apertura al mundo exterior, en todo sentido, que generó la Independencia (Lenis, 2015, pag.13).

La tesis central de Lenis (2015), se fundamenta en el concepto de la gran influencia del positivismo y la masonería en las élites de finales del siglo XIX en Colombia, sobre todo de los liberales radicales, que traducían las enseñanzas de la ilustración y los elementos democráticos provenientes de las mentalidades de Rousseau, Montesquieu y Voltaire. Al rescatar los principios de la racionalidad, el libre examen, el libre pensamiento, la libertad de cultos y de creencias, que nutrieron sus actuaciones y pensamientos con las teorías del antropocentrismo, al confrontarlas con las del teocentrismo religioso católico, estructuran la idea de una universidad que busca la verdad en un ambiente de guerras civiles y de conflicto ideológico permanente entre los partidos Liberal y Conservador, entre liberales radicales y laicos con la Iglesia católica.

En estas condiciones, surgió una élite de intelectuales con mentalidad liberal que prefirió el camino del pacifismo y la construcción de instituciones educativas que promovieran la formación profesional de hombres que orientaran la nación colombiana hacia el progreso, la justicia, la tolerancia, la inclusión social y política. Estas mentalidades son forjadoras de uno de los más interesantes episodios de la anidación de ideas libres en procura de entender el mundo y las realidades, bajo una formación científica, crítica y de profunda ética social pública.

En el contexto de la formación del Estado-Nación en Colombia, en el periodo 1886 - 1924, las posiciones políticas e ideológicas debatieron las orientaciones y modalidades de la educación. El enfrentamiento entre liberales y conservadores expande una gama de expresiones clericales de alianzas de ambos partidos y de reacciones radicales anticlericales, que definirán la fisonomía de la universidad laica, libre y republicana. En la manifestación de las ideas liberales y laicas se fundan las universidades Externado de Derecho, Republicana y la Universidad Libre. Fueron esos los valores, ideas y conocimientos que perfilaron la fundación de la universidad republicana en Colombia a finales del siglo XIX para su estructuración.

Otro investigador, Álvarez (2003), corrobora este propósito formativo, mencionando el esfuerzo para elevar la formación técnica con la creación de centros de educación superior, pese a las guerras, en especial la de los Mil Días. En 1904, la Escuela de Minas de Medellín asume una docencia de racionalidad capitalista y acomoda los conocimientos a las necesidades de la burguesía.

Los esfuerzos por formar en Antioquia una escuela de artes y oficios se remontan al 21 de octubre de 1852 cuando la cámara provincial expidió la ordenanza número 26 sobre establecimiento de una escuela de artes y oficios que debería funcionar anexa al Colegio del Estado, a partir de enero de 1853. Se creó entonces una sección de ciencias y artes. Según el gobernador de Medellín, durante el año de 1853 hubo “16 alumnos en dos clases de literatura, 27 alumnos en dos clases de idiomas, 46 alumnos en cinco clases de matemáticas, 13 alumnos en cinco clases de ciencias físicas y naturales y 11 alumnos en dos clases de artes y oficios (Mayor et al., 2014, p. 537).

En el texto citado de Álvarez (2003), se alude a un propósito visionario y que marca con claridad, el pensamiento de los impulsores de la educación superior en el campo de las ciencias e ingeniería, aplicadas a la minería, pues el gobernador de Antioquia de la época, conocido por su empuje modernista informaba a la legislatura departamental en 1869, que:

Debe mantenerse en el Colegio del Estado una Escuela de Artes y Oficios: la clase pobre y desvalida de la sociedad no puede consagrarse a los estudios literarios y científicos, se necesita que en lugar de teorías luminosas se le enseñen reglas y preceptos de segura subsistencia, las artes representan la ciencia y la inteligencia puestas en acción. Hay sobresaliente inteligencia en los artesanos, se dará un impulso vigoroso a la industria. Tan pronto como los hombres laboriosos se instruyan científicamente en los principios del oficio a que dediquen su inteligencia y trabajo, podrán luchar ventajosamente contra las obras extranjeras, pues verán así no sólo ensanchado el círculo de consumo de sus artefactos, sino también que en la competencia de éstos con los de igual naturaleza, de procedencia exterior, los nuestros serán preferidos porque estarán libres de los grandes gastos de transporte (Mayor, 2014, p. 537).

Esta declaración, muestra que no hay nada nuevo en las manifestaciones actuales sobre estos temas pues era claro el objetivo de la creación de escuelas de artes y oficios y de centros universitarios, que fueron orientados a promover la guerra contra la ignorancia, los vicios, el crimen, la igualación de condiciones en lo que concierne a la competencia, la estabilidad del orden

público, producción perfecta y barata y el necesario equilibrio entre los artefactos del país y los del extranjero (Morales, 2003).

Tal es el caso de la ya mencionada Escuela de Minas, como se conoce en el ámbito minero, académico y empresarial, lo que es hoy la Facultad de Minas de Medellín, de la Universidad Nacional de Colombia, que fiel al ideal de sus fundadores ha sido cuna de importantes líderes industriales, y académicos, la facultad fue creada por la Ley 60 de 1886 a la par de su homóloga de Ibagué que muy pronto fue desmantelada y olvidado su esfuerzo y propósito.

No pocas personas cuestionan hoy, el lema de su creación, vigente en los símbolos actuales de ese centro docente: “trabajo y rectitud”, vinculándolo con una visión de política burguesa, desconociendo que corresponde a la urgente necesidad de modernizar al país en una de sus áreas claves de entonces y de hoy; la minería como motor de desarrollo e industrialización.

Los mencionados y breves antecedentes históricos de la formación profesional en las artes y ciencias mineras, son una muestra de la existencia de una actividad que ha contribuido a la construcción del país y que está llamada a seguir aportando como pilar básico para el desarrollo económico de la nación, con un justo equilibrio social en donde el cuidado del ambiente debe ser uno de los soportes de su aceptación ciudadana.

En esa dirección hay un hecho incuestionable, es innegable que los avances tecnológicos, que día a día crecen en número, calidad y profundidad, hacen perentorio que Colombia, aborde de una política de Estado, de largo plazo para la modernización y preservación de la calidad productiva minera nacional.

Para evitar entrar en detalles en extremo confusos describiendo el funcionamiento de una roto pala, de un martillo de aire comprimido, o de un compresor de aire, piénsese como la incorporación de elementos electrónicos ha cambiado y profundizado temas de vital importancia como la cartografía y la localización de accidentes geográficos, avances de obra emplazamiento de obras y la identificación geo referenciada de trabajos mineros y su impacto.

A mediados de los años setenta del Siglo XX, en las escuelas de ingeniería y de geología, en Colombia era forzoso tomar como asignatura, un curso de topografía para identificar los comienzos de la tecnificación en ese campo, se enseñaba en algunas de esas escuelas, a utilizar la Plancheta o Estadía de Invar¹, por supuesto, también se enseñaba el uso y manejo de tránsito, teodolitos y niveles, pero los desarrollos científicos, en la óptica, y en electrónica, ya habían aportado instrumentos como el llamado distanciómetro. Esas innovaciones tecnológicas no se han detenido y hoy se puede obtener datos sobre altitud, distancia y cartografía, con un instrumento de uso común como lo es el de la instalación de programas específicos en un teléfono celular.

Las condiciones de trabajo y la introducción de equipos tecnológicamente avanzados están imponiendo crecientes demandas en las cualificaciones de los trabajadores mineros, por lo que la capacitación de personal es importante para desempeñar eficaz y eficientemente sus labores (CETEMIN, 2022, pag.1).

4. ¿Dónde y cómo mejorar la cualificación técnica del personal?

El propósito de esta reflexión es proponer que Colombia requiere una producción minera TESA, acrónimo de una minería Técnica, Económica Social y Ambientalmente factible. Es imperativo que todos quienes en ella se ocupen, tengan la idoneidad profesional requerida para garantizar el objetivo primordial de la industria, relacionado con producir minerales en un ambiente que sepa aprovechar los yacimientos, en condiciones que garanticen la seguridad y la salud en el trabajo, de esta forma, realizando una producción minera rentable para todos los actores involucrados; el Estado, el minero y la sociedad.

Por ello hay que acoger el concepto de Gestión del Recurso Humano, ampliando la visión del reclutamiento de personal a un proceso que tenga en cuenta a profundidad variables, como el entrenamiento, habilidades y competencias vinculadas, la actualización permanente, y el conocimiento básico de lo que significa minería, sin los cuales, por mejor calificación académica que pueda tener el postulante, ni él, ni la organización tendrán buenos resultados laborales y se

¹ INVAR, aleación de Níquel y Acero, de alta estabilidad frente a cambios de temperatura.

generará una alta rotación laboral lo que significa inestabilidad para el trabajador y por supuesto para la empresa.

Téngase en cuenta conceptos como los expresados por Orihuela:

El impacto que genera las soluciones tecnológicas en la industria minera son muchas cuando nos referimos al capital humano, éstas contribuyen significativamente en la productividad del sector; ayudan a optimizar y digitalizar todos los procesos de RRHH desde la atracción y selección del talento hasta la salida del personal, capturando y entregando experiencias que mantengan a los colaboradores comprometidos, conectados y alineados con los objetivos de la organización. Brindándoles herramientas de trabajo y acceso transparente a los procesos e información, logrando así una ventaja competitiva (Orihuela, 2021, pag.3).

Ahora bien, hay que tener siempre presente que el proceso de suscripción de un contrato laboral que vincula a un trabajador, cualquiera que sea su calificación o nivel jerárquico, no es la etapa final de su estadía dentro de la organización contratante. La firma del contrato es la resultante de un proceso previo de selección en donde se contrastan las calificaciones del postulante con las necesidades de la empresa, ese proceso de selección una vez firmado el contrato de trabajo, continua con un seguimiento y de ser posible, con una continuada tarea de valoración, capacitación permanente y evaluación continua. Esto se identifica como Gestión del Recurso Humano.

La gestión del capital humano en empresas mineras va más allá de la simple contratación y administración de empleados. Implica la planificación estratégica de la fuerza laboral, la retención de talento y la adaptación a regulaciones laborales específicas de la industria. Uno de los aspectos clave es la nómina y los beneficios para los trabajadores mineros (Mynotauro, 2023, pag.1).

En paralelo con un objetivo nacional común en términos de formación y capacitación, es necesario considerar como básico, el papel de los formadores, el cual debe considerarse de suma importancia tal como alude a la necesidad de que:

El aprendizaje, como un proceso activo, participativo, organizado y de socialización que favorece la apropiación de conocimientos, habilidades, destrezas y la formación en valores, implica tanto un conocimiento profundo de sus características y esencialidades como la implementación de una serie de estrategias y operaciones mentales, cognitivas y metacognitivas, con las cuales se pueda lograr la asimilación del conocimiento, para su posterior utilización y recreación, superando problemas o dificultades incidentes o condicionantes, en el marco de una enseñanza instructiva, educadora y desarrolladora. Dicho de otra manera: se requiere no solo hacer énfasis en los programas de formación específica en determinada materia, sino también contar con alumnos que reciban la mejor preparación que los habilite para usar su formación disponiendo de las habilidades necesarias para que su aprendizaje sea continuo, real y útil para toda su vida (Vásquez, 2010, pag.14).

Es necesario una sólida integración entre el aprendizaje y recepción de una educación básica de calidad, con la formación de trabajadores, técnicos, especialistas y profesionales, que siga el propósito común de la elevación de la capacidad humanista, técnica y científica de la población. Condición básica para alcanzar el desarrollo integral de la población colombiana.

En este contexto, la industria minera, necesariamente debe evolucionar hacia una minería TESA, propuesta realizada en la presente reflexión, lo cual significa una transición hacia una industria Técnica, Económica, Social y Ambientalmente sostenible. Evolución que debe llevar a la industria minera a apalancar procesos de prevención y gestión, en el manejo del amplio espectro de atención y financiamiento de amenazas sociales, y riesgos naturales que en el territorio nacional podrían amenazar la vida y bienes de los colombianos.

De allí se desprende que la minería puede y debe continuar como un elemento constructivo de país, pero para ello, y por los tiempos que demanda la maduración de cualquier proyecto

minero, se debe contar con una visión de largo plazo, enmarcada en una norma estable y de largo aliento que se denomina: Política Minera.

Esa política minera nacional, debe ser definida de manera clara, nítida y duradera en el Código de Minas que debe garantizar continuidad en el tiempo y seguridad jurídica para todos los actores del ciclo, sin estar sujeta las propuestas operativas de los gobiernos, expresadas en planes proyectos y programas. La ley minera o Código de Minas debe estar por encima de esa temporalidad.

Esta última afirmación no obsta para describir los elementos que permitan transitar por procesos de valoración y ajustes durante el análisis de un texto legal de largo aliento como es un Código Minero y por ello se propone que de manera continuada la Autoridad Minera, es decir el Ministerio de Minas y Energía, aborde la ejecución de una serie de procesos de dirección, control y vigilancia, fomento y evaluación de la gestión pública minera, para ello se propone la adopción y ejecución de la siguiente propuesta.

5. Propuesta de decálogo de política minera

1. Retomar y consolidar el papel del Ministerio de Minas y Energía como Autoridad Minera, que ordene, coordine, articule y haga efectiva supervisión programática, sobre las entidades adscritas y vinculadas al sector, incluyendo la elevación del nivel técnico del recurso humano en su integralidad. Téngase en cuenta que, según la carta iberoamericana de la Función Pública,

La función pública está constituida por el conjunto de arreglos institucionales mediante los que se articulan y gestionan el empleo público y las personas que integran éste, en una realidad nacional determinada. Dichos arreglos comprenden normas, escritas o informales, estructuras, pautas culturales, políticas explícitas o implícitas, procesos, prácticas y actividades diversas cuya finalidad es garantizar un manejo adecuado de los recursos humanos, en el marco de una administración pública profesional y eficaz, al servicio del interés general (CLAD, 2003, pag. 276).

2. Controlar la calidad institucional del sector y su coordinación con el sector ambiental, que permita un desarrollo minero efectivo en el país, de manera que asegure el suministro de minerales para el consumo doméstico, el encadenamiento industrial con otros sectores económicos del país, de la mano del desarrollo tecnológico industrial y que estimule la exportación de materias primas mineras, así como la generación de valor agregado y riqueza para el desarrollo social y ambiental. Para ello debe, de acuerdo con el mismo Centro Latinoamericano de Administración para el Desarrollo, citado atrás se requiere innovar, mediante los siguientes pilares de la innovación inteligente:

- a) Orientación y visión estratégica (el análisis de prospectiva en las administraciones públicas).
- b) La gestión del conocimiento.
- c) La inteligencia colectiva.
- d) Inteligencia artificial, robótica y Administración pública (CLAD, 2020, pp. 6 – 7)

3. Retomar el papel planificador a partir de la modernización conceptual de la Unidad De Planeación Minero Energética, UPME para que, en concertación con las demás entidades adscritas y vinculadas al Ministerio, no solo diseñe los planes de desarrollo minero mínimo de carácter decenal, del Ministerio de Minas y Energía, sino que oriente, realizando medición del avance de esos planes, formulando los ajustes pertinentes y orientando la planeación estratégica pública del sector minero colombiano en su totalidad.

4. Diseñar y desarrollar un programa de exploración básica de carácter regional, a cargo del Servicio Geológico, haciéndolo retomar una de sus funciones básicas, guiado por las consideraciones de materiales (minerales) críticos, base para ampliar la canasta de minerales sobre los que se debe proporcionar la titulación en beneficio de la Seguridad Nacional.

5. Dar a la Agencia Nacional de Minería o quien haga sus veces como autoridad delegada concedente, un modelo de gobierno corporativo que consolide su calidad técnica especializada, que le permita la mejor administración de los asuntos mineros, garantizando la capacidad técnica de los funcionarios y contratistas de servicios, que apoyen y den soporte al desarrollo técnico,

empresarial y económico, de los diferentes sectores del empresariado minero, a partir de sus misiones fundamentales delegadas: fiscalizar y titular.

6. Revisar, evaluar depurar y consolidar el marco normativo, que evite la proliferación de resoluciones administrativas que afectan el normal desarrollo del proceso concesional y la debida ejecución de los proyectos.

7. Revisar la legislación y procedimientos sobre liquidación y control de recaudo de regalías y promover las garantías legales para los responsables de su pago, para asimilarlas a las responsabilidades y garantías tributarias.

8. Revisar la normativa en materia de seguridad minera orientándola a: facilitar la importación, producción y normalización de equipos, instrumentos y material de seguridad, con una meta de drástica reducción de la morbi-mortalidad en todos los estratos del sector, en especial en la pequeña minería y la minería de subsistencia y a su vez, elevar tanto el apoyo en la calificación técnica fiscalizadora, como las sanciones y penas a los contraventores y violadores de las normas de Higiene y seguridad Minera.

9. Profundizar mediante la ejecución de proyectos piloto, el impacto de la ley de bancarización minera y promover la legislación que consolide la trazabilidad, para garantizar la lucha contra el lavado de activos, el terrorismo, la defensa de los DDHH, de conformidad con los compromisos internacionales, y que el comercio minero, sea nítido y visible para todo el país.

10. En acuerdo con el DNP, el Ministerio de Hacienda y Procolombia, incrementar la promoción de la inversión privada internacional y nacional de buena calidad, bajo el concepto de que no basta atraer la inversión, sino que lo importante es retenerla y promover la incorporación del talento nacional en todos los niveles de la producción.

6. Algunas consideraciones para un diseño curricular pertinente.

Ahora bien, dado que el propósito de esta reflexión es mostrar la necesidad de establecer puentes o asociaciones académicas en lo conceptual, lo técnico y lo pedagógico en una relación simbiótica entre los diversos niveles formativos requeridos en el desarrollo del ciclo minero, se toman como elementos ancla, para identificar una propuesta enlace entre ellos a dos instituciones reconocidas por su aporte a la cualificación del ejercicio minero colombiano.

En un contexto académico en donde el país cuenta, con escuelas de ciencias y de ingeniería, una de ellas considerada una de las mejores escuelas de Ingeniería de Minas y Metalurgia del continente y acreditados programas de Geociencias con énfasis en la Geología, no hay duda de que se cuenta con procesos formativos de carácter universitario y posgrado que aportan calificados profesionales, por ejemplo los de la Universidad Nacional en su sede de Medellín para Ingeniería y de su Facultad de Ciencias en Bogotá para Geología un contexto en el cual los objetivos generales de formación se describen así:

El programa curricular de Ingeniería de Minas y Metalurgia de la UN cuenta con dos áreas de conocimiento en su formación profesional de ingeniería: Técnicas de Explotación Minera y Metalurgia Extractiva. Son objetivos del área de Técnicas de Explotación Minera: Estudiar, analizar, diseñar y planear las distintas fases de un proyecto minero, en función del modelo de depósito mineral y cómo esto afecta los procesos y operaciones unitarias inherentes a las diferentes modalidades de explotación subterránea. En el campo de la Metalurgia Extractiva, se ocupa de: Estudiar, analizar y diseñar el sistema de producción de planta, considerando la ingeniería de procesos en las diferentes modalidades de beneficio y extracción metalúrgica, que conduzcan al diseño, optimización y control de plantas minero metalúrgicas (UNAL, 2024, pag.1).

De otra parte, es reconocido el esfuerzo del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, por conducto del Centro Nacional Minero y sus programas, tecnológicos y complementarios; desde 1968 una misión francesa había identificado la necesidad nacional de formar técnicos en diversas disciplinas vinculadas de manera directa con la actividad minera.

Desde 1970, el Consejo Directivo Nacional del SENA, mediante acuerdo la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, inició la formación de técnicos mineros. En el Centro Nacional Minero, que ha evolucionado de manera positiva, contando con el apoyo de misiones internacionales, del Reino Unido, cuyo apoyo permitió la construcción de la mina didáctica, Francia, Polonia y Canadá, que han aportado tecnología y talleres de mantenimiento electrónico y mecánica de minas, y modernos laboratorios. Ahora dispone, con ayuda privada de la primera Escuela de Mantenimiento de Equipo Pesado ABC; el Centro Minero, además de puntos regionales de formación, levantó un centro de cómputo para monitoreo y control de la mina, con las instalaciones técnicas necesarias (Ruiz y Camargo, 2021).

En general, pese a algunas variaciones, el Centro nacional Minero del SENA, definió desde hace ya algún tiempo que su quehacer esté en objetivos que se resumen así:

El proyecto de la Mina Escuela permite consolidar la Formación Técnica impartida en todos los niveles de la pirámide ocupacional. Para que la Formación Profesional en el área minera se desarrolle integralmente en los aspectos teórico práctico, debe existir un ambiente real para la ejecución de las tareas mineras, en donde se observarán los diferentes métodos de desarrollo y explotación y se involucran todos los niveles tecnológicos de las minas que se explotan en el país. El Proyecto sirve como término de referencia a los mineros del país, para que adecúen las tecnologías de acuerdo al desarrollo y productividad requerida (SENA,1990, pag. 5).

Un elemento que muestra los beneficios de la integración multidisciplinaria es el que el Centro Minero del SENA, fuera el sitio escogido por la extinta Carbocol, para la nivelación de los primeros cinco responsables del Servicio Nacional de Salvamento Minero, hecho que homologó y niveló las distintas capacidades y facilitó el desarrollo de ese servicio.

Este contexto plantea un interrogante importante: ¿Es suficiente el esfuerzo del SENA y de la Universidad Nacional? ¿tenemos capacidad formativa para que obreros, técnicos tecnólogos, operarios especializados, administradores, economistas, ecólogos, abogados, administradores de

empresas, y todo el sinfín de oficios, ocupaciones, profesiones y especialidades que emplea la minera ingresen a la actividad, con un conocimiento claro y responsable de esta actividad?

El reclutamiento de este personal es dispendioso y se enfrenta a severas dificultades, pues no hay en general, de acuerdo con la experiencia conocida, un concatenamiento entre el conocimiento básico de los obreros, con los de personal profesional, bien sean estos técnicos tecnólogos y profesionales en Derecho, Economía, Administración u otras disciplinas vinculadas a la minería y en particular con la ingeniería de minas y menos con los de geología, pues entre todos ellos, hay diferencias conceptuales y vacíos formativos, preconceptos y mitos, que no facilita el engranaje del recurso humano funcione dentro de una empresa minera.

Hay un par de conceptos que se deben considerar en la formación del recurso humano pues se debe saber que es necesario que quienes ingresan al sector minero:

Deben aprender de habilidades ejecutivas, a manejar los conflictos, emprender, trabajar en equipo y anticipar quiebres. En todo este camino, uno de los desafíos relevantes que la minería ha enfrentado en los últimos años es la incorporación de la mujer en la “mina”. Hay que destacar algunas empresas mineras que tienen un porcentaje importante de mujeres, pero de acuerdo a algunos estudios asociados, los trabajos los desarrollan en las áreas administrativas y no en la operación (Silva, 2024, pag.1).

Esta preocupación formativa, no es nueva, Europa se ha preocupado por el asunto formativo por lo que ha adoptado y ejecuta planes en este campo, tal quedó planteado en un documento de ministros europeos de educación, documento con plena vigencia, denominado: PLAN DE ESTUDIO PARA LA FORMACIÓN PROFESIONAL DE TÉCNICOS MINEROS / TÉCNICAS MINERAS (Resolución de la Conferencia de Ministros para la Educación de fecha 23/04/2009).

Ese texto, entre otras cosas, identifica un objetivo principal en cuanto a la didáctica que de hecho sigue siendo válido, más aún si se adoptara como un objetivo estratégico para elevar la calidad y por ende la integración activa de a formación técnica con la universitaria en asuntos mineros.

Entre los principios didácticos, el objetivo de la formación profesional implica usar una pedagogía centrada en las metas de la escuela que enfatizan la actividad concreta y la capacitación de los jóvenes para que planeen, ejecuten, y evalúen independientemente las tareas previstas en sus oficios. El aprendizaje en la escuela profesional está enfocado a dar manejo profesional, así como varias capacidades intelectuales, incluida la de entender las acciones de otros. Este aprendizaje es ligado principalmente a la reflexión sobre cómo se alcanzan metas (un plan de acción, su ejecución, sus resultados) (Conferencia de Ministros para la Educación, 2009).

Esto presupone que, si bien es necesario y mandatorio contar con un plan básico de formación, es necesario que tenga una raíz conceptual sobre el trabajo profesional y por supuesto que estén dadas las condiciones para el aprendizaje dentro y gracias al trabajo. Esto significa, según la misma declaración, que cualquier plan de estudios, debe estar alejado de un proceso tan solo mecánico y debe darse una apropiación de su contenido tanto por los docentes como de los alumnos o educandos, el plan de estudios que el objetivo y la selección de los contenidos tienen que estar relacionados con el trabajo, soportado por los siguientes puntos principales para lograr una formulación pragmática de las lecciones:

- Puntos de referencia didáctica son situaciones que son importantes para la práctica profesional (aprender para hacer).
- El punto de partida para el aprendizaje son el actuar propio, sea real y concreto como mentalmente trazado (aprender haciendo).
- Las acciones deben ser planificadas por los alumnos con la mayor independencia posible, revisadas, corregidas si fuere necesario y evaluados, por último.
- Las acciones deben promover una comprensión holística de la realidad profesional, incluyendo aspectos técnicos, de seguridad, económicos, legales, ecológicos, incluidos los aspectos sociales.
- Las operaciones deben ser integradas en las experiencias de los educandos y ser objeto de reflexión con respecto a su impacto social.
- Las medidas también deben considerar procesos sociales, tales como la declaración de intereses o el manejo de conflictos, así como diferentes perspectivas de la planificación de la carrera.

Proponían en ese momento los ministros europeos, que el aprendizaje debe mirarse como un concepto educativo que combine lo profesional con lo ejecutivo, y es realizable a través de diferentes métodos de enseñanza.

Es muy interesante la afirmación contenida en la declaración comentada, que recalca que el aprendizaje que se ofrezca está dirigido a: jóvenes y adultos que vienen con diferentes tipos de educación, antecedentes culturales, y experiencias de formación. La escuela de formación profesional puede cumplir su misión educativa sólo si distingue estas diferencias observadas y promueve los estudiantes - en desventaja o superdotados - de acuerdo a sus capacidades individuales, (Conferencia de Ministros para la Educación, 2009).

Considerando ese marco conceptual de la formación, ya sea para formar técnicos, es decir personas que se forman con un programa autorizado de dos años o formar tecnólogos, que en teoría requieren al menos un año adicional de actividad académica, debe haber una malla curricular que aproxime e integre todo este personal con el nivel profesional. Sin pretender que se trate de una malla curricular, es deseable y se debe buscar que, desde obreros calificados hasta la línea directiva de una mina, tengan conocimientos básicos en las siguientes áreas, de manera tal que responda a exigencias y responsabilidades propias de cada proyecto minero.

Tabla 1

Diseño curricular pertinente

Denominación	Módulo	Contenido
Introducción	Componente de principios básicos	Contexto nacional e internacional de la industria minera Conceptos básicos de génesis de yacimientos y su evaluación técnica-económica Principios de mineralogía y petrografía Procesos y Métodos de exploración El Ciclo Minero Conceptos básicos de manejo ambiental sostenible Inducción a la seguridad minera Relaciones insumo-producto relevantes Entrenamiento y capacitación en operaciones matemáticas, simbología, uso de herramientas digitales e información satelital simbología

Aproximación técnica básica	Componente Módulo 2	Concetos básicos: preparación desarrollo, explotación y cierre de minas Planificación técnico administrativa de una mina Planificación de operaciones mineras a cielo abierto Planificación de operaciones mineras subterráneas Evaluación integral técnica, económica, social y ambiental, que es un EIA Conceptos básicos de metalurgia Planificación y control de la producción
Aproximación gerencial básica	Componente 3	Conceptos básicos de Economía Minera Indicadores básicos, identificación y manejo de costos Conceptos básicos de manejo laboral: formas de contratación, legislación Conceptos básicos de Salud ocupacional en materia seguridad e higiene industrial con énfasis en higiene y seguridad minera Conceptos básicos sobre electricidad, neumática y manejo de fluidos: aire y agua en mina Conocimiento sobre equipos, máquinas y herramientas: su uso y mantenimiento y procesos de transporte, benéfico y refinación Entrenamiento en manejo de materiales de voladura y su propósito
Aproximación legal	Componente 4	Conceptos básicos sobre legislación minera Inducción a los elementos básicos de la legislación ambiental Inducción al manejo y relacionamiento con comunidades Inducción Tributaria: cánones, regalías, legislación SARLAFT

Nota: Elaborado por el autor.

5. Conclusiones

En Colombia, la enseñanza de procedimientos, técnicas y métodos mineros comenzó hace más de dos siglos. Más que limitarse a identificar áreas específicas de formación, complementación o inducción, es importante asumir un propósito nacional que promueva una formación minera integral. Esta debe ir más allá de las habilidades mecánicas, fomentando una perspectiva que abarque todos los aspectos de la vida minera. El objetivo es fortalecer tanto la gerencia pública como la privada, asegurando rentabilidad social, ambiental y económica, y elevando la calidad del trabajo en la industria.

Este enfoque debe estar respaldado por un esquema curricular integrado, diseñado por un organismo nacional de competencias mineras, que sin interferir en las funciones de vigilancia de la autoridad educativa nacional, identifique y promueva propuestas de formación para el desarrollo de talento humano en todos los niveles. Dicho esquema debe facilitar y cualificar el trabajo, así como favorecer la incorporación de talento en los diversos campos profesionales que demanda la industria. El talento humano resultante permitirá a la industria minera avanzar hacia una minería que sea viable Técnica, Económica, Social y Ambientalmente (TESA).

Referencias bibliográficas

- Administrador. (2022). *La importancia de la capacitación de personal de la Empresa Minera*. Cetemin.
<https://blog.cetemin.edu.pe/la-importancia-de-la-capacitacion-de-personal-de-la-empresa-minera/>
- Álvarez Morales, V. (2003). *Negocios y Gestión en Antioquia. La trayectoria empresarial de don Alejandro Echavarría Isaza (1859-1928)*. *AD-Minister*, (2 sup. 1), 43–66.
<https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/administer/article/view/3180>
- Centro Latinoamericano de Administración para el Desarrollo (CLAD). (2003). *Carta Iberoamericana de la Función Pública*; <https://clad.org/wp-content/uploads/2020/07/Carta-Iberoamericana-de-la-Funcion-Publica-06-2003.pdf>
- Centro Latinoamericano de Administración para el Desarrollo (CLAD). (2020). *Carta Iberoamericana de la Función Pública*; <https://clad.org/wp-content/uploads/2020/10/Carta-Iberoamericana-de-Innovacion-10-2020.pdf>
- Centro Tecnológico Minero, CETEMIN. (2022). *La Importancia de la Capacitación de Personal de la Empresa Minera*.
<https://blog.cetemin.edu.pe/la-importancia-de-la-capacitacion-de-personal-de-la-empresa-minera/>
- Chaparro, E. (2022). *La Contribución De La Minería a la Construcción de Un País Llamado Colombia*. Crai - Universidad del Rosario Koha' detalles de: *La contribución de la minería a la construcción de un país llamado Colombia*.
https://catalogo.urosario.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=323713&shelfbrowse_itemnumber=397563
- Conferencia de Ministros para la Educación. (2009). *PLAN DE ESTUDIO PARA LA FORMACIÓN PROFESIONAL DE TÉCNICOS MINEROS / TÉCNICAS MINERAS*. Conferencia de Ministros para la Educación.
https://www.govet.international/dokumente/pdf/7_govet_bergbautechnologe_rahmenplan_es.pdf

- Lenis, C. A. (2015). *Los Dorados de la Revolución de Independencia: Proyectos E innovaciones en la Minería Antioqueña. Historia y Sociedad*. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-84172015000200010&lng=en&nrm=iso&tlng=e
- Vásquez, F. (2010). *Estrategias de enseñanza: Investigaciones sobre didáctica en instituciones educativas de la ciudad de Pasto*. Bogotá. Sello editorial Universidad de la Salle. <https://biblioteca.clacso.edu.ar/Colombia/fce-unisalle/20170117011106>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. (s.f.). <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- Mayor, A., Quiñones, C., Barrera, G., & Trejo, J. (2014). *Las Escuelas de Artes y oficios en Colombia (1860-1960)*. Issuu. https://issuu.com/mercadeoepuj/docs/escuela_de_artes_y_oficios_vol1_-_s
- Mejía Gutiérrez, J. (2017). *LA UNIVERSIDAD REPUBLICANA Y LAICA DE COLOMBIA 1886-1924*.
- Mynotauro. (2022). *La Gestión del Capital Humano en la minería: Un Desafío Que Impacta finanzas y contabilidad*. <https://mynotauro.com.mx/la-gestion-del-capital-humano-en-la-mineria-un-desafio-que-impacta-finanzas-y-contabilidad/>
- Orihuela, J. (2021). *La gestión del talento en la industria minera en la nueva normalidad*. Lima; Seidor. https://proimg.seidor.com/sites/default/files/2022-01/La_gestio_n_del_talento_en_la_industria_minera_en_la_nueva_normalidad_OPINION_GESTION.pdf
- Programa de Ingeniería de Minas y Metalurgia (Ed.). (2024). *Ingeniería de Minas y Metalurgia*. Facultad de Minas - Sede Medellín - Universidad Nacional de Colombia. <https://scda.medellin.unal.edu.co/formacion/pregrado/ingenieriademinas>
- Pueblos Originarios.com, a partir de. *Parque Arqueológico Nacional de San Agustín. Guía para visitantes*. Instituto Colombiano de Antropología e Historia; Guía Turística San Agustín, Colombia. Ministerio de Comercio, Industria y Comercio. https://pueblosoriginarios.com/sur/andina/san_agustin/cultura.html
- Ruiz Osorio, T., & Camargo Ruiz, L. M. (2021). *SENA Centro Minero: Historia entre devoción, educación y economía*. Bogotá; SENA.
- Silva, V. (2016). *Profesionales con formación integral para la minería. Columnas de Opinión - Comunidad Portal Minero*. <https://www.portalminero.com/pages/viewpage.action?pageId=117932671>

Universidad Nacional de Colombia – UNAL. (2024). Ingeniería de Minas y Metalurgia.

<https://minas.medellin.unal.edu.co/formacion/pregrado/ingenieriademinas>

UNESCO. (2016). en Formación Profesional Integral. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA.

<https://www.sena.edu.co/es-co/comunidades/instructores/Paginas/escuelaInstructores.aspx>

V Conferencia Iberoamericana de Ministros de Administración Pública y Reforma del Estado. (2003). Carta

Iberoamericana de la Función Pública. Santa Cruz de la Sierra; V Conferencia Iberoamericana de Ministros de

Administración Pública y Reforma del Estado.

DETERMINACIÓN DE PESTICIDAS ORGANOCORORADOS EN MUESTRAS AMBIENTALES: AGUAS SUPERFICIALES Y SUELO DE DOS REGIONES AGRÍCOLAS DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA - COLOMBIA

Measuring organochlorine pesticides in the surface water and soil from two agricultural regions of the Department of Cauca

*Johana Marcela Sambony Ortega - Organización CARVAL. Correo electrónico:
johanamarcelasambony@gmail.com*

*Fernando José Hernández Blanco - Universidad del Cauca, Correo electrónico:
fjhernandez@unicauca.edu.co*

Resumen

Esta investigación tiene como fin realizar la estandarización de un método de cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas para la determinación de pesticidas organoclorados (POCs) que permita su separación, identificación y cuantificación en muestras ambientales de suelo y agua superficial. El método se estandarizó siguiendo los protocolos dados por el IDEAM 2006 para la estandarización de métodos analíticos. Las muestras de suelo fueron recolectadas en el Municipio de Suarez Cauca, para la determinación de POCs se desarrolló un método de extracción sólido-líquido asistido por ultrasonido y centrifugación obteniéndose porcentajes de recuperación en un rango del 41 al 55% para los pesticidas evaluados. Para las muestras acuosas se tomó agua potable de la ciudad de Popayán Cauca para las cuales se desarrolló un método de extracción en fase sólida (EFS) obteniéndose porcentajes de recuperación en un rango del 44 al 62%. En el análisis de pesticidas organoclorados para las muestras problema de suelo, no se detectó la presencia de ninguno de los POCs del estándar usado en la estandarización del método, sin embargo, en una de las muestras problema analizadas, se detecta la presencia de o-p DDE,

el cual no se pudo cuantificar ya que no se encontraba en el estándar de pesticidas utilizado, este se identificó mediante la base de datos (NIST) con un 41% de probabilidad.

Palabras clave: Pesticidas, organoclorados, Cromatografía gases-masas, extracción, cuantificación.

Abstract

This research aims to standardize a gas chromatography method coupled with mass spectrometry for the determination of organochlorine pesticides (POCs). The method allows for the separation, identification, and quantification of POCs in environmental samples of soil and surface water. The method was standardized in accordance with the protocols set forth by IDEAM (2006) for the standardization of analytical methods. The soil samples were collected in the municipality of Suárez, Cauca, for the determination of POCs. A solid-liquid extraction method assisted by ultrasound and centrifugation was developed, resulting in recovery percentages for the evaluated pesticides in a range of 41 to 55%. For the aqueous samples, drinking water was procured from the city of Popayán, Cauca. A solid phase extraction (SPE) method was then developed, resulting in recovery percentages within the range of 44 to 62%. The analysis of organochlorine pesticides in the soil samples, which were selected for further investigation due to their elevated contamination levels, did not yield any positive results for the POCs included in the standard used for method standardization. However, in one of the problematic samples analyzed, the presence of o-p DDE was detected, which could not be quantified since it was not found in the pesticide standard used. It was identified through the NIST database with a probability of 41%.

Keywords: Pesticides, organochlorines, gas-mass chromatography, extraction, quantification.

1. Introducción

El uso intensivo de pesticidas en la agricultura ha generado graves problemas de contaminación en suelos, agua y alimentos, siendo los pesticidas organoclorados (POCs) de

particular preocupación debido a su alta persistencia y capacidad de bioacumulación. Aunque muchos de estos compuestos tienen uso restringido o están prohibidos, su empleo para el control de plagas genera efectos altamente adversos en los ecosistemas, la fauna y la salud humana (Muñoz, 2012). Su toxicidad y prolongada persistencia en el ambiente han generado preocupaciones a nivel mundial, impulsando estudios sobre sus impactos y estrategias para su mitigación (Salemi et al., 2019).

La alta toxicidad de los POCs, se evidencia en su persistencia en el ambiente, la cual varía de meses a años, presentando incluso una durabilidad de hasta 25 años para su degradación a formas menos dañinas. Adicionalmente, su alta volatilidad les permite migrar a grandes distancias por aire o agua, por procesos de lixiviación, escorrentía, entre otros (Martínez y Páez, 2017). Las características propias de estos contaminantes como su naturaleza lipofílica, hidrofobicidad, su poder de bioacumulación y biomagnificación han llevado a su uso restringido y prohibición, y a que las comisiones reguladoras internacionales establezcan Límites Máximos de Residuos (LMRs).

Los pesticidas organoclorados (POCs) suelen determinarse mediante técnicas de cromatografía de gases acoplada a detección por captura de electrones (DCE) y espectrometría de masas (EM) (Salemi et al., 2019). Entre estas, la cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG-EM) es la más empleada para el análisis de residuos de pesticidas (Mendieta et al., 2017). Dado que los POCs se encuentran comúnmente en matrices complejas a niveles traza, es necesario un tratamiento de extracción adecuado para su determinación mediante técnicas instrumentales avanzadas (Gulbakan et al., 2008).

Existen diferentes técnicas de extracción para POCs, la Extracción Líquido-Líquido (ELL) fue la más común y la primera utilizada, sin embargo, el método más utilizado recientemente es la técnica de Extracción en Fase Sólida (EFS), obteniéndose un extracto orgánico concentrado y generalmente limpio para ser analizado directamente. La Extracción Sólido-Líquido (ESL) por su parte es uno de los métodos clásicos para la extracción de pesticidas en suelos, para lo cual se pone en contacto con un solvente o mezclas de estos, para posteriormente someterse a diferentes procesos como calentamiento, ultrasonido, agitación, entre otros.

Es importante destacar que esta investigación se realizó en la Unidad de Análisis Industrial de la Universidad del Cauca, donde no se cuenta con una metodología estandarizada para la detección de los contaminantes mencionados. Por ello, resulta fundamental disponer de metodologías analíticas sensibles y específicas que permitan la cualificación y cuantificación de pesticidas organoclorados (POCs) en suelos y aguas superficiales.

El objetivo de esta investigación es desarrollar un método analítico para la extracción, identificación y cuantificación de pesticidas organoclorados (POCs) en muestras ambientales de agua superficial y suelo. El artículo describe la aplicación de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG-EM) como técnica principal para la determinación de POCs, con el fin de estandarizar y optimizar un procedimiento que permita su identificación y cuantificación en suelos y aguas superficiales de zonas agrícolas del Departamento del Cauca.

2. Marco teórico

La aplicación de pesticidas es uno de los factores de más alta influencia negativa en la biodiversidad debido a que su aplicación tiene como consecuencia la reducción del hábitat y del número de especies, generando desequilibrio y constituyendo una amenaza continua para el medio ambiente (Murillo y Salazar, 2011). Los pesticidas se eligen cada vez más de acuerdo a características, tales como: nivel de toxicidad, persistencia en las distintas fases del ambiente y problemas de salud que pueden generar (Muñoz, 2012).

Linn et al. 1993, consideran que el comportamiento de los pesticidas en el suelo está condicionado por una gran variedad de factores físicos, químicos y biológicos, incluyendo, la adsorción-desorción, solubilización, volatilización, degradación química y biológica, absorción por las plantas, lixiviación y escorrentía. Estos procesos controlan directamente el transporte de los pesticidas en el suelo y posteriormente en el agua, aire y los alimentos.

Debido al incremento en el uso de pesticidas organoclorados en el departamento del Cauca para el control y manejo de plagas en diferentes cultivos, se evidencia la necesidad de desarrollar

un método para la extracción, identificación y cuantificación de pesticidas organoclorados en muestras de aguas superficiales y suelo, de dos regiones agrícolas en la región.

Se destaca que para la determinación de pesticidas existen diversas metodologías analíticas, como las volumétricas, espectrofotométricas y cromatográficas. Entre ellas, la cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas es la técnica que ofrece mayor selectividad y alta sensibilidad para una amplia gama de analitos, permitiendo el análisis simultáneo de pesticidas con diferentes características químicas.

El Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de pesticidas de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, en el artículo 2° define los pesticidas como “cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo los vectores de enfermedades humanas o de animales” (FAO, 1990).

Es importante aclarar que los pesticidas se pueden clasificar de acuerdo a diferentes criterios: funcional, químico o toxicológico.

- La clasificación funcional se basa en la plaga que se desea controlar y/o sobre la que se desea actuar, se catalogan en insecticidas, herbicidas, fungicidas, acaricidas, antibióticos, rodenticidas, entre otros.
- La clasificación química o toxicológica se dividen en pesticidas: organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretroides, triazinas, cloruros orgánicos, entre otros (Herrera, 2011). Según su toxicidad, existen varios sistemas internacionales que han desarrollado maneras de interpretar el peligro que representan los pesticidas en humanos, entre los cuales se destaca la organización mundial de la salud (OMS, 2009).

En la actualidad se utilizan cientos de pesticidas clasificados según criterios químicos o toxicológicos, su uso progresivo a nivel mundial ha conllevado a problemas que afectan el medio

ambiente y la salud humana. En el presente artículo se extrajo, identificó y cuantificó pesticidas organoclorados según su estructura química presente en muestras ambientales de suelo y agua.

2.1 Pesticidas Organoclorados

Los pesticidas organoclorados (POC's), son compuestos orgánicos persistentes, conforman un grupo de pesticidas artificiales desarrollados principalmente para controlar las poblaciones de insectos plaga. Son aquellos cuya estructura molecular incluye cadenas alifáticas, cíclicas, grupos aromáticos y al menos un átomo de cloro (Pérez, 2011).

Estos pesticidas son muy persistentes y resistentes a la degradación biológica, son compuestos orgánicos de muy baja solubilidad en agua y muy alta en grasas (liposolubles), solubles en compuestos orgánicos de baja polaridad y se degradan con dificultad por radiación solar, temperatura, humedad y procesos metabólicos (Pérez, 2011)

Actualmente los pesticidas organoclorados están prohibidos a nivel mundial y para casi todos los usos, debido a sus problemas de acumulación, alta estabilidad química y su difícil degradación biológica, así como también por ser posibles carcinogénicos.

Clasificaciones pesticidas organoclorados (POC's)

De acuerdo con Usma y Villegas (2008), dentro del grupo de pesticidas organoclorados pueden distinguirse cuatro subgrupos:

1. Derivados de hidrocarburos aromaticos: DDT y compuestos análogos, como DDE, DDD, dicofol, metoxicloro y clorobencilato).
2. Derivados de hidrocarburos alicíclicos: (Cicloalcanos clorados), como los isómeros (alfa, beta y gamma) del hexaclorociclohexano, dentro de los cuales el más conocido es el lindano (isómero gamma).

- 3.** Derivados de hidrocarburos ciclodienicos: (Ciclodienos clorados), aldrin, dieldrin, endrin, endosulfan, mirex, clordano, heptacloro.
- 4.** Derivados de hidrocarburos terpenicos: (terpenos clorados).

Según Aguilar (2007), las principales propiedades fisicoquímicas de los organoclorados son las siguientes: Gran estabilidad química, por una baja reactividad química; solubles en disolventes orgánicos y lípidos, insolubles en agua; Estabilidad frente al aire, la luz y el calor (algunos de ellos son sensibles a la luz U.V); Tienen estructura cíclica, una notable resistencia al ataque de los microorganismos y tienden a acumularse en el tejido graso de los organismos vivos, también se acumulan en el suelo; Resistencia a la biodegradación (son los compuestos que más persisten en el ambiente); Baja presión de vapor.

Los organoclorados son estimulantes del sistema nervioso central, donde específicamente rompen el balance de sodio-potasio que rodea la fibra nerviosa, lo que ocasiona la transmisión continua del impulso nervioso. Por otra parte, su marcada capacidad de biomagnificación tiende a acumularse en los tejidos grasos de los animales concentrándose a lo largo de la cadena trófica (Usma y Villegas, 2008).

La aplicación de pesticidas en la agricultura implica una distribución de estos en las distintas fases del ambiente: agua, aire, suelo, animales y plantas. La interacción de estos con cada una de estas fases es compleja y está controlada por numerosas reacciones físicas, químicas y biológicas (Marín, 2011).

Una vez los pesticidas se incorporan al suelo su comportamiento se ve afectado por diferentes procesos, tales como adsorción-desorción, solubilización, volatilización, degradación química y biológica, absorción por las plantas, lixiviación y escorrentía. Cada uno de estos factores varía con la naturaleza del pesticida y las propiedades del suelo. Según Navarro et al. (2007), los procesos medioambientales implicados en el comportamiento y destino de un pesticida en el suelo pueden clasificarse en tres grupos: de acumulación, eliminación y movimiento.

Los pesticidas se encuentran a niveles traza en el suelo y el agua, por lo cual se requiere de metodologías sensibles y selectivas para su extracción, determinación y cuantificación. Aunque existen diferentes metodologías analíticas, tales como volumétricas, espectrofotométricas, electroforéticas y cromatográficas. La técnica más usada actualmente en el análisis multiresidual de pesticidas es la cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG-MS), debido a que presenta elevada sensibilidad y selectividad en la detección de este tipo de compuestos (Ravelo, 2009).

La cromatografía de gases masas es una técnica que combina la capacidad de separación que presenta la cromatografía de gases con la sensibilidad y capacidad selectiva del detector de masas. Es una técnica muy útil en la separación, identificación y cuantificación de compuestos trazas en mezclas complejas. La separación de los diferentes analitos depende de la diferente distribución de éstos entre las fases móvil y estacionaria que conforman el sistema. Una vez separados son fragmentados y analizados en función de su patrón de fragmentación. (Mosquera, 2012).

Luego de la separación de los componentes de la muestra por el cromatógrafo las moléculas del analito son primero ionizadas para ser atraídas (o repelidas) por un campo magnético o eléctrico, el cual se consigue bombardeando las moléculas del compuesto con electrones de alta energía (70eV). La técnica de Impacto Electrónico (IE) es la más antigua, común y simple. La fuente de ionización es calentada y bajo vacío la mayoría de las muestras son fácilmente vaporizadas e ionizadas. Los electrones de alta energía golpean las moléculas neutras del analito, causando la ionización y fragmentación. Después de la ionización, las partículas cargadas son repelidas y atraídas por lentes cargados en el analizador de masas. Aquí las especies iónicas son separadas por su razón masa – carga (m/z) por cualquiera de los campos magnético o eléctrico. La magnitud de la desviación depende de la masa y velocidad de cada ión. Existen diferentes tipos de analizadores. El IE es el tipo de ionización más energético y con el que se obtienen mayores rompimientos, este modo es el más usado en el análisis de pesticidas (Ramírez, 2011).

En resumen, una vez es inyectada una mezcla de compuestos al cromatógrafo de gases, ésta se separa en sus componentes individuales en la columna cromatográfica, los cuales van

eluyendo sucesivamente hacia el espectrómetro de masas, donde se genera una señal electrónica basada en la interacción del soluto con el detector, que se registra en forma de pico cromatográfico y se identifica mediante su respectivo espectro de masas (Gutiérrez y Droguet, 2002).

La estandarización de un método analítico es un proceso riguroso que dependiendo de la técnica analítica a la que pertenezca el método, la matriz, la cantidad de parámetros de la estandarización y la logística para su desarrollo, puede requerir de un tiempo más o menos considerable (en algunos casos puede superar los seis meses). Los parámetros que sirven como criterios de confianza para el método analítico de acuerdo con el IDEAM (2006) son presentados en la siguiente tabla.

Tabla 1

Parámetros para el método analítico

Parámetro	Definición
Exactitud	Proximidad entre el valor medio obtenido de un conjunto de resultados y el valor de referencia aceptado. Se expresa en términos de error. Se tendrán como referencia los Patrones preparados en el laboratorio, y por lo menos un patrón externo certificado. La concentración de estos patrones deberá estar localizada dentro del rango de aplicación del método.
Precisión	Este valor expresa el grado de concordancia entre los resultados obtenidos para réplicas de una misma muestra, aplicando el mismo procedimiento experimental bajo condiciones previamente establecidas. Usualmente se expresa en términos de la desviación estándar (SD). Otra forma de expresarla es la desviación estándar relativa (RSD) o coeficiente de variación (CV). La precisión tiene como objetivo conocer la variabilidad del método de ensayo.
Repetibilidad	Es una medida de la precisión de datos obtenidos por un solo operador trabajando siempre en las mismas condiciones (equipos, materiales y reactivos).
Linealidad	Se refiere a la proporcionalidad entre la concentración y la señal producida por el instrumento y se debe verificar si en el laboratorio se cumple el intervalo y tipo de linealidad que reporta la literatura del método.
Sensibilidad	Es una medida del factor de respuesta del instrumento como una función de la concentración. Se mide como la pendiente de la curva de calibración. Se puede reportar como el valor promedio para las curvas obtenidas en los ensayos de estandarización y en la medición de muestras, indicando su desviación estándar.
Recuperación	Es la capacidad que tiene un procedimiento analítico para determinar cuantitativamente una especie química que ha sido adicionada a una muestra. Se expresa como porcentaje.

Nota: IDEAM (2006).

Límite de detección y cuantificación

El límite de detección se define como la mínima cantidad de analito en la muestra que se puede detectar y el límite de cuantificación como la mínima cantidad de analito que se puede cuantificar bajo ciertas condiciones experimentales (IDEAM, 2006).

El método empleado para la determinación de los límites de cuantificación (LC) y límites de detección (LD) se basó en la relación señal/ruido, el cual es el más empleado para métodos instrumentales cromatográficos. El LC se calculó para la concentración de analito que proporcione una señal 10 veces superior a la señal producida por el ruido de fondo (blanco), el LD es igual a la concentración de analito que proporcione una señal de 3 veces superior a este.

Límite de detección del método (LDM)

Concentración de analito que, cuando se procesa a través del método completo, produce una señal con una probabilidad del 99% de ser diferente del blanco (IDEAM, 2006).

Límite de detección instrumental (LDI)

Concentración de analito que produce una señal superior a cinco veces la relación señal/ruido del instrumento, se determina como 1,645 veces el valor de la desviación estándar de los análisis de blancos. Es muy útil para evaluar la concentración de analito o cantidad de un extracto necesaria para producir una señal que permita calcular un LDM estimado.

En la presente investigación para la extracción de pesticidas en suelo se realizó una extracción asistida por ultrasonido y centrifugación, y para la extracción en agua se realizó extracción en fase sólida (Mosquera, 2012).

3. Metodología

La metodología empleada en esta investigación se desarrolló en tres etapas principales: estandarización del método cromatográfico, optimización de los métodos de extracción para las matrices de suelo y agua, y la aplicación de estos métodos a muestras reales.

Estandarización del método cromatográfico: Inicialmente, se estandarizó el método para la determinación de pesticidas organoclorados mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG-MS). El equipo utilizado fue un cromatógrafo de gases serie 1300 de la marca Thermo Scientific, acoplado a un espectrómetro de masas con fuente de ionización por impacto electrónico y un analizador cuadrupolar. La identificación de los analitos se llevó a cabo utilizando una base de datos de espectros de masas (NIST).

Se prepararon soluciones patrón de pesticidas organoclorados con concentraciones de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 y 3,0 mg/L, utilizando diclorometano como solvente. Los patrones se analizaron por triplicado durante días alternados para asegurar la reproducibilidad y estabilidad del método. Además, se utilizó un estándar de referencia de pesticidas (Mix A, 500 µg/mL de cada componente en acetona, proporcionado por Supelco) para validar la curva de calibración.

Optimización de los métodos de extracción: Se optimizaron métodos específicos de extracción para las matrices de suelo y agua. En el caso de las muestras de suelo, se empleó un proceso de extracción asistida por ultrasonido, seguido de centrifugación. Para las muestras de agua, se utilizó el método de extracción en fase sólida (SPE, por sus siglas en inglés). En ambos casos, se doparon las muestras con concentraciones conocidas de pesticidas organoclorados para evaluar la eficiencia de los métodos de extracción.

El diclorometano se empleó como solvente tanto para los patrones como para las extracciones, siendo también utilizado en los blancos correspondientes para asegurar la consistencia de los resultados.

Aplicación a muestras: Los métodos de extracción optimizados se aplicaron a muestras reales de suelo y agua recolectadas en áreas previamente seleccionadas. Las muestras fueron tratadas y analizadas siguiendo los protocolos descritos, con el fin de cuantificar la presencia de pesticidas organoclorados en el ambiente.

Para la determinación de los límites de detección (LOD) y cuantificación (LOQ), se realizaron pruebas estadísticas, incluyendo el test de Shapiro-Wilk para verificar la normalidad de los datos, la prueba de Levene para evaluar la homogeneidad de varianzas, análisis de varianza (ANOVA) y pruebas post-hoc de Tukey para comparar las concentraciones de los pesticidas en las curvas de calibración. Estos análisis permitieron establecer los valores más adecuados para los LOD y LOQ de cada pesticida en las matrices estudiadas.

Tabla 2

Condiciones del método para la determinación de POC's

Parámetro	Medición
Temperatura del inyector	260 °C
Modo inyección	Splitless
Gas portador	He
Flujo	1,0 mL/min
Rampa Temperatura (Horno)	50 °C por 1 min 50°C hasta 125°C a 25°C/min 125°C hasta 300°C a 10°C/min
Columna	HP-5MS (5% polifenil, 95% polimetilsiloxano)
Volumen Inyección muestra	0,5 µL
Temperatura Línea de transferencia	220°C
Temperatura de la fuente de iones	220°C
Rango de masas (m/z)	100-400
Frente de solvente	5 min
Modo de ionización	Impacto electrónico (IE)

Nota: Elaborado por los autores.

Para la elaboración de la curva de calibración de los pesticidas organoclorados se utilizó un estándar con una mezcla de 7 pesticidas marca Supelco con código de catálogo No. 47727-U, el cual tiene una concentración de 500 µg/mL de cada componente en acetona. Con un 99% de pureza para cada elemento.

Los pesticidas objeto de análisis se enlistan en la Tabla 3 con sus respectivos números CAS, concentración y límites máximos de residuos (LMR), según la Norma de Calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados, Acuerdo No 97A, FAO. Así como también los LMR para el agua en vertimientos puntuales de aguas superficiales y sistemas de alcantarillado público tomados de la Resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Tabla 3

Condiciones del método para la determinación de POC's

Pesticida	No CAS	Concentración (µg/mL)	LMR (mg/kg)	LMR (mg/mL)
Simazina	122-34-9	499,0	0,2	0,002
γ-BHC	58-89-9	499,0	0,01	0,05
Alacloro	15972-60-8	501,0	0,1	0,05
Aldrin	309-00-2	501,0	0,1	0,05
trans-Nonaclor	39765-80-5	501,0	0,1	0,05
Dieldrin	60-57-1	500,0	0,1	0,05
cis-Nonaclor	5103-73-1	500,0	0,1	0,05

Nota: Elaborado por los autores con base al Acuerdo No 97^a de la FAO y la Resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Extracción sólido-líquido asistida por ultrasonido y centrifugación

Metodología de Extracción: La metodología utilizada para la extracción de pesticidas organoclorados en muestras de suelo se basó en el procedimiento descrito por Mojica y Guerrero (2010), quienes analizaron 19 plaguicidas mediante doble extracción con acetato de etilo y metanol, asistida por ultrasonido. Este método fue empleado para evaluar los porcentajes de recobro en suelos con distintas características fisicoquímicas. En la adaptación del procedimiento para la presente investigación, se realizaron varias modificaciones, incluyendo el ajuste de la cantidad de muestra, el volumen de contaminante dopado y el solvente utilizado.

Procedimiento de Extracción: En esta investigación, se pesaron 3 g de suelo en un balón de fondo plano de 125 mL. Las muestras fueron dopadas con volúmenes conocidos de pesticidas a concentraciones específicas y luego dejadas en reposo durante 20 minutos para permitir la adsorción de los contaminantes. Posteriormente, se añadió un total de 20 mL de diclorometano en cuatro alícuotas de 5 mL cada una, con intervalos de 8 minutos entre cada adición, para un tiempo total de extracción de 32 minutos, asistido por ultrasonido.

Tras completar el proceso de extracción, los extractos fueron sometidos a centrifugación durante 10 minutos, filtrados a través de una membrana de fibra de 0,22 μm , y se inyectaron 0,5 μL del sobrenadante en el cromatógrafo de gases acoplado a espectrometría de masas (CG-MS) para su análisis.

Equipos Utilizados: Los equipos utilizados durante el proceso de extracción y análisis incluyeron los presentados a continuación.

Balanza analítica: Precisa XT 220a, con una capacidad de 220 g y una precisión de 0,0001 g.

Cromatógrafo de gases: Modelo TRACE 1300, acoplado con automuestreador de masas ISQLT, marca Thermo Scientific, equipado con un sistema de inyección Split/Splitless y una columna HP-5MS (0,25 mm x 30 m x 0,25 μm). La identificación de los compuestos se realizó con la base de datos de espectros de masas del Instituto Nacional de Normas y Tecnología (NIST).

Centrífuga: CLAY ADAMS® Brand.

Baño de ultrasonido: BRANSON.

Columnas para extracción en fase sólida (SPE): De plástico, con capacidad de 3 mL (Supelco).

Preparación y Dopado de Muestras: Las muestras de suelo se doparon a diferentes concentraciones de pesticidas organoclorados. Las concentraciones específicas para cada

plaguicida fueron las siguientes: Lindano y Aldrin: 0,1; 0,5 y 1,0 mg/kg. Dieldrin: 3,0; 1,0 y 2,0 mg/kg. Para las muestras de agua, las concentraciones dopadas fueron: Lindano y Aldrin: 0,1; 0,3; 0,5; 1,0 y 1,5 mg/L. Dieldrin: 0,3; 0,5; 1,0; 1,5 y 2,0 mg/L.

Estas concentraciones se emplearon para evaluar los porcentajes de recobro y la eficiencia de los métodos de extracción en las diferentes matrices.

Extracción en fase solida (SPE)

La metodología usada para esta extracción se basó en la realizada por Guerrero y Velandia (2014), quienes realizaron una comparación de dos metodologías de extracción para la determinación de 50 plaguicidas de diferentes familias químicas, ampliamente utilizados en Colombia. Cabe resaltar que se realizaron modificaciones para realizar esta extracción, tales como volumen de solvente para acondicionamiento y que no se usó vacío en la adición de la muestra.

Esta extracción se realizó en cartuchos para extracción en fase solida C-18 de 3 mL marca Supelco con 500 mg de adsorbente marca Superclean, inicialmente se acondiciono la columna con 6 mL de metanol y 6 mL de agua Tipo I, luego la muestra contaminada se pasa a través de los cartuchos, una vez se pasa la totalidad de la muestra se seca el cartucho durante 10 min en una corriente de N₂, por último se eluye con 3 volúmenes de 2 mL de diclorometano, se concentra y se transfiere a un balón aforado de 2 mL con diclorometano y se inyecta 0,5 µL al CG-MS.

Aplicación en muestras reales

Las muestras reales de suelo fueron tomadas en el municipio de Suarez, Cauca a una profundidad de 0-20 cm de la capa superficial del suelo. Para las muestras acuosas se tomó agua potable (de grifo) del municipio de Popayán, Cauca, esto debido a que no se contaba con una fuente de agua superficial que tuviera la suficiente contaminación por el uso de pesticidas, y que a su vez la presencia de otras sustancias en dichas aguas tales como metales pesados, sustancias tensioactivas, abonos, desechos orgánicos, entre otros que aportan para que el grado de contaminación sea elevado, causaría mayores interferencias a la hora de determinar los pesticidas

organoclorados, razón por la cual se tomó como blanco agua de grifo, y se contaminó para la optimización de la extracción de pesticidas en muestras acuosas.

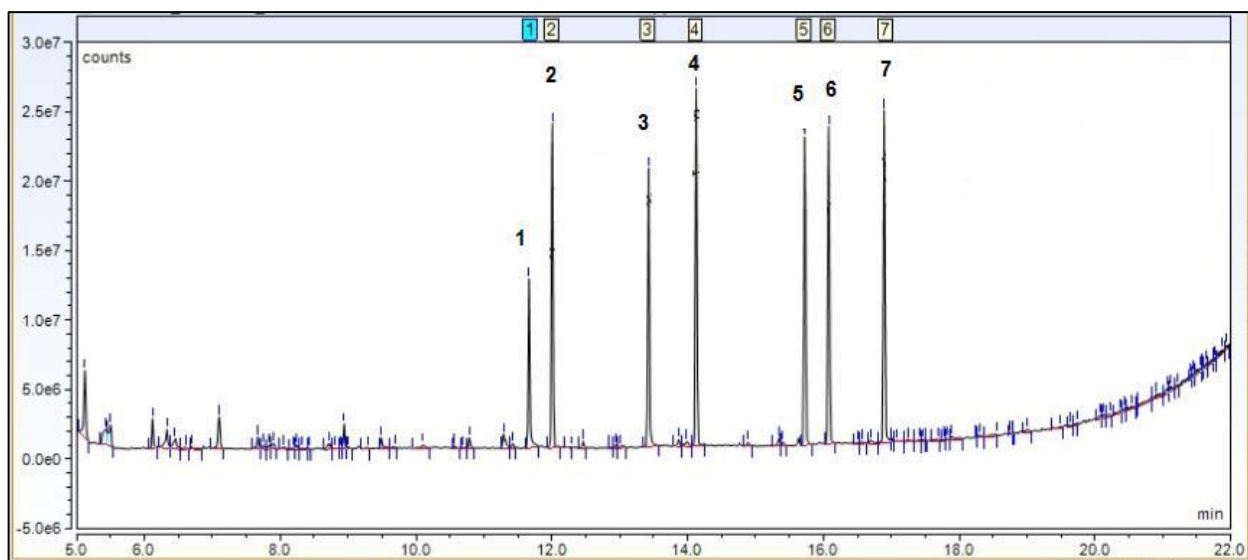
4. Resultados y discusión.

Se hizo un barrido completo para un patrón de 2 $\mu\text{g/mL}$, donde se pudo identificar 7 picos pertenecientes al estándar de pesticidas organoclorados mezcla A marca Supelco, se realizaron 5 métodos diferentes y se escogió el reportado en la Tabla 2, debido que fue el que mejor resolución de picos presentó y en el que no hubo solapamiento entre picos.

El cromatograma obtenido en la separación e identificación de Pesticidas Organoclorados mediante el método reportado en la Tabla 2 para un patrón de 2 $\mu\text{g/mL}$ se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Cromatograma obtenido del patrón de 2 $\mu\text{g/mL}$



Nota: Datos de la investigación.

De forma adicional, en la Tabla 4 se registran los tiempos de retención.

Tabla 4

Tiempo de retención de los pesticidas

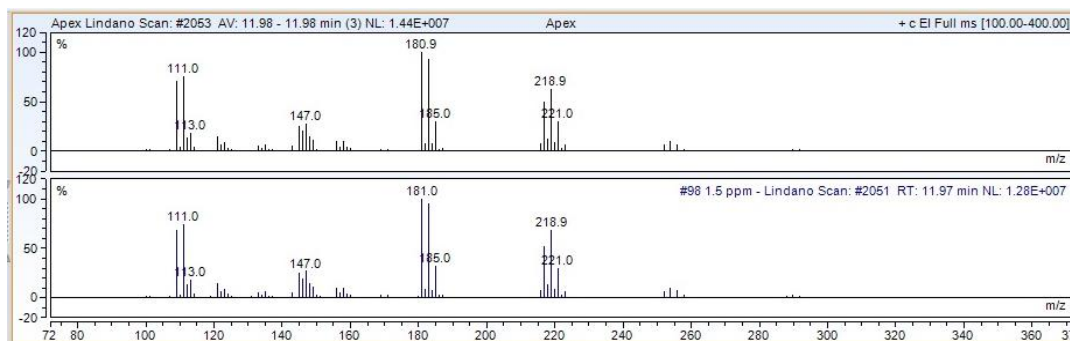
No. Pico	Pesticida	Tiempo de Retención (minutos)
1	Simazina	11,66
2	Lindano	12,01
3	Alacloro	13,43
4	Aldrin	14,13
5	trans-Nonaclor	15,72
6	Dieldrin	16,08
7	cis-Nonaclor	16,89

Nota: Datos de la investigación.

Para verificar la identidad de los pesticidas y asignar los nombres a los 7 picos cromatográficos correspondientes, se tomaron los espectros en masas full para cada pico y se comparó con los de las bases de datos NIST, observando que la probabilidad de que el pico fuera el pesticida reportado en el estándar fuera superior al 90%. En la Figura 2 se muestra la comparación entre el espectro del pico de la base de datos (arriba) frente al experimental (abajo) del Lindano. De la misma manera se procedió para la identificación del resto de los pesticidas analizados.

Figura 2

Comparación del espectro de masas del Lindano



Nota: Datos de la investigación.

Arriba: Espectro de masas del Lindano en la base de datos.

Abajo: Espectro de masas experimental.

Límite de detección y cuantificación

Se calculó la relación señal ruido (S/N) para cada uno de los picos cromatográficos, se realizaron diluciones sucesivas a partir de una solución madre de 5 µg/mL. Los patrones van desde 1,5 µg/mL hasta 0,1 µg/mL. Con la relación señal/ruido obtenida para cada concentración de pesticida frente a la relación señal/ruido del blanco se calculó los límites de detección y cuantificación, para lo cual se multiplica por 3 y por 10 respectivamente la señal producida por el ruido de fondo (blanco). En la Tabla 5 se muestran los resultados para todos los pesticidas.

Tabla 5

Límites de detección y de cuantificación de los pesticidas

Pesticida	Límite de detección (µg/mL)	Límite de cuantificación (µg/mL)
Simazina	0,1	0,3
Lindano	0,015*	0,1
Alacloro	0,025*	0,1
Aldrin	0,015*	0,1
trans-Nonaclor	0,1	0,3
Dieldrin	0,1	0,3
cis-Nonaclor	0,1	0,5

Nota: Datos de la investigación.

*valores teóricos calculados.

Inicialmente los límites de cuantificación se encontraban por debajo de la concentración menor en la curva de calibrado, la cual iniciaba a partir de 0, 5 µg/mL hasta 3 µg/mL para todos los pesticidas, pero debido a que a partir del punto 2 µg/mL la curva perdía linealidad, se tomó valores desde el límite de cuantificación para cada pesticida.

En la Tabla 5 anteriormente presentada, se resalta que para los pesticidas Lindano, Alacloro y Aldrin se reportan los límites de detección teóricos calculados, esto debido que al bajar en la concentración hay mayores interferencias y las señales obtenidas se encontraban muy cercanas al ruido, obteniéndose relaciones señal/ruido menores a 2.

Curva de Calibración y Tratamiento estadístico

Se realizó una curva día durante 4 días consecutivos, teniendo en cuenta el límite de cuantificación de cada pesticida empezando la curva en dicha concentración. Para cada una de las curvas de calibración obtenidas para los pesticidas, se calculó los datos estadísticos que sirven como criterios de confianza del método cromatográfico que se está llevando a cabo, los parámetros calculados son los siguientes: linealidad, repetibilidad, sensibilidad, reproducibilidad y exactitud.

Linealidad

Para verificar la linealidad de las curvas de calibración obtenidas para cada pesticida, se requiere comprobar si el coeficiente de correlación r es realmente significativo mediante el estadístico t de student, para lo cual se toma como hipótesis nula (H_0): que no existe una correlación entre las variables; y como hipótesis alterna (H_1): que existe correlación entre las variables, por lo cual si el t calculado (experimental) es mayor al t tabulado, se rechaza la H_0 y se concluye que la correlación es significativa.

Con los resultados de la Tabla 6 se puede observar que el t experimental es mayor que el t tabulado por lo cual se comprobó que existe una relación lineal significativa en las variables para una probabilidad de 0,05.

Tabla 6

Resultados del t de student

Pesticida	r^2	R	t_{exp}	t_{tab}
Simazina	$0,9891 \pm 0,006$	0,9945	16,4990	3,18
Lindano	$0,9941 \pm 0,003$	0,9970	22,4823	3,18
Alacloro	$0,9857 \pm 0,003$	0,9928	14,3800	3,18
Aldrin	$0,9912 \pm 0,003$	0,9956	18,3818	3,18
trans-Nonaclor	$0,9935 \pm 0,003$	0,9967	21,4121	3,18
Dieldrin	$0,9934 \pm 0,003$	0,9967	21,2493	3,18
cis-Nonaclor	$0,9924 \pm 0,004$	0,9962	19,7928	3,18

Nota: Datos de la investigación.

El valor recomendable para el coeficiente de determinación es ≥ 0.999 , sin embargo, en el caso de impurezas se admite ≥ 0.990 (Usma y Villegas, 2008). Para las curvas de calibración realizadas se obtuvo un coeficiente de determinación (r^2) en promedio ≥ 0.990 , es decir que hubo un comportamiento lineal para cada una de las curvas.

Comparando la linealidad que se obtuvo para el método con resultados obtenidos en diversas investigaciones para pesticidas (Cardona y Giraldo, 2008), se puede observar que obtuvieron coeficientes de determinación mayores a 0.99, resultados muy similares a los reportados.

Repetibilidad

Los resultados para la repetibilidad del método cromatográfico se realizaron mediante las áreas obtenidas de los picos para cada pesticida, la repetibilidad es una medida de la precisión sobre las mismas condiciones de operación, frecuentemente descrito como precisión medida en diferentes días.

Tabla 7

Resultados de la repetibilidad para áreas de todos los pesticidas analizados

Pesticida	Concentración ($\mu\text{g/mL}$)	%CV
Aldrin	0,1	4,08
	0,3	3,67
	0,5	2,60
	1	2,59
	1,5	2,99
Lindano	0,1	6,39
	0,3	1,76
	0,5	2,07
	1	1,82
	1,5	3,29
Alacloro	0,1	8,39
	0,3	6,93
	0,5	4,16
	1	2,35
	1,5	1,83
Simazina	0,3	7,13
	0,5	2,63
	1	5,25
	1,5	1,62
	2	2,90
trans Nonaclor	0,3	5,22
	0,5	2,03
	1	2,15

	1,5	2,99
	2	2,62
Dieldrin	0,3	3,09
	0,5	3,77
	1	2,62
	1,5	3,18
	2	2,15
	0,5	4,06
cis-Nonaclor	1	4,65
	1,5	2,72
	2	3,72
	2,5	3,93

Nota: Datos de la investigación.

El promedio obtenido para el %CV para estimar la repetibilidad para la evaluación del método en cuanto a las áreas obtenidas es inferior al 10% para cada uno de los pesticidas, este valor es aceptable por cumplir lo establecido por la EPA (%CV < 16%) para análisis trazas. Con lo cual se evidencia que el método es repetible.

Sensibilidad

La sensibilidad del método para cada pesticida se tomó como la pendiente de la curva de calibración con su respectiva desviación estándar. En la Tabla 8 se muestra los resultados obtenidos para cada pesticida.

Tabla 8

Resultados para la sensibilidad de método para cada pesticida

Pesticida	Sensibilidad (área/ppm)
Simazina	1,24E+06 ± 875553
Lindano	1,50E+06 ± 577350
Alacloro	2,50E+06 ± 1290994
Aldrin	1,75E+06 ± 957427
trans-Nonaclor	1,41E+06 ± 699550
Dieldrin	2,25E+06 ± 957427
cis-Nonaclor	1,71E+06 ± 589922

Nota: Datos de la investigación.

Exactitud

Para determinar este parámetro se tomó los valores de las concentraciones obtenidas mediante las curvas de calibrado para cada señal dada por el equipo (área) durante los días en que se llevó a cabo el análisis. En la Tabla 9 se muestran los resultados obtenidos de este parámetro, para el Aldrin, vale resaltar que de la misma manera se procedió para todos los pesticidas.

Tabla 9

Resultados obtenidos para la Exactitud –Aldrin

Pesticida	Concentración real (µg/mL)	Conc_{exp} (µg/mL) Día 1	Conc_{exp} (µg/mL) Día 2	Conc_{exp} (µg/mL) Día 3	Conc_{exp} (µg/mL) Día 4	% Error
Aldrin	0,1	0,1704	0,1867	0,1840	0,1896	82
	0,3	0,3224	0,3372	0,2986	0,3135	5,97
	0,5	0,5165	0,5564	0,4654	0,4512	0,53
	1	1,0187	1,2549	1,1100	1,1506	13,36
	1,5	1,7149	1,8579	1,6510	1,6763	15,00

***Nota:* Datos de la investigación.**

En la Tabla 9 se observan los resultados obtenidos para el Aldrin, en relación con la exactitud del método cromatográfico, el error relativo muestra que a partir de la concentración 0,3 a 1,5 µg/mL el error es menor al 20% indicando que a estas concentraciones el Aldrin conserva una exactitud aceptable (Quenguan y Erazo, 2015), mientras que en la concentración de 0,1 µg/mL este supera elevadamente al 20% por lo cual en dicha concentración no hay exactitud, esto se puede contrastar con la prueba de Tukey, en la cual se evidencio que en las concentraciones de menor nivel de la curva no se encontraba diferencia significativa por ende no se logran diferenciar la una de las otras porque tienden a obtener señales parecidas. Así como también que al estar sobre el límite de cuantificación hay mayores interferencias las cuales pueden generar mayor error en los datos obtenidos. Con los resultados obtenidos se pudo observar que en el caso de aldrin, Lindano, alacloro y dieldrin la concentración más baja es la que reporta un % de error relativo superior al 20%, situado justo sobre el punto del límite de

cuantificación, mientras que para el resto de pesticidas los % de error relativos se encuentran dentro del rango $< 20\%$ con una exactitud aceptable.

El tratamiento estadístico se realizó siguiendo las directrices del protocolo para la estandarización de métodos analíticos del IDEAM (2006) y en diferentes trabajos de investigación reportados por la Universidad Tecnológica de Pereira.

Métodos de extracción evaluados

En el presente apartado, vale aclarar que se optimizaron métodos de extracción específicos para las matrices de suelo y agua, los cuales se seleccionaron por su menor tiempo de procesamiento, bajo consumo de solvente y mejores porcentajes de recobro, lo que permitió implementar el quinto principio de la química verde, enfocado en la reducción del uso de sustancias contaminantes. Para la extracción de compuestos en la matriz de suelo, se utilizó un proceso asistido por ultrasonido, seguido de centrifugación. En el caso de la matriz de agua, se empleó el método de extracción en fase sólida. No se aplicó análisis estadístico durante las extracciones, ya que el objetivo fue optimizar los métodos mediante la determinación de porcentajes de recobro tras la adición de estándares, lo que permitió calcular los coeficientes de variación. El análisis estadístico se realizó posteriormente para la estandarización del método.

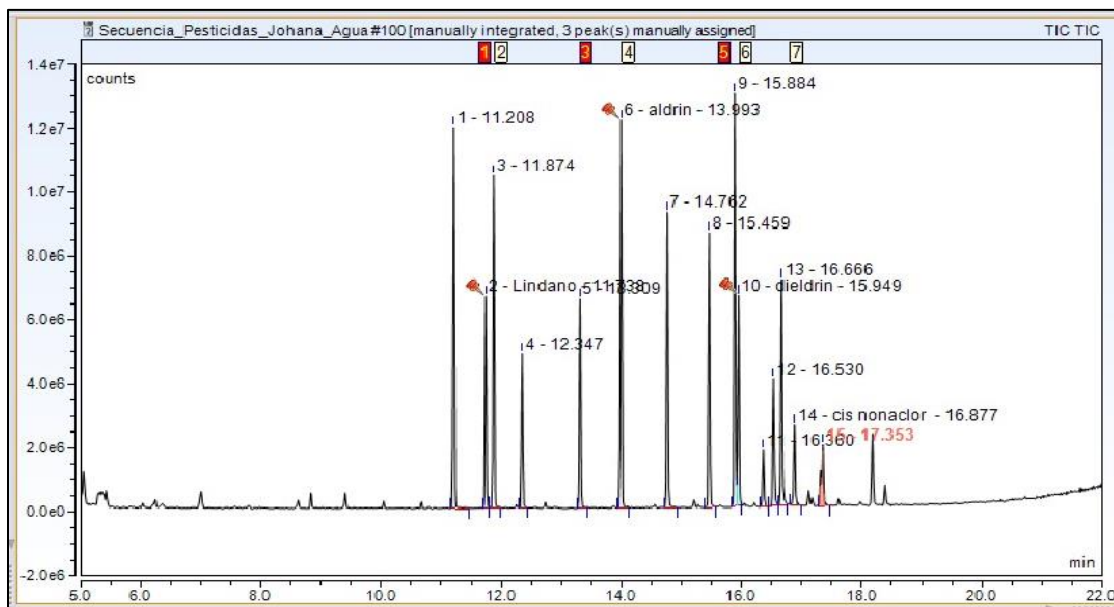
Extracción sólido-líquido asistida por ultrasonido y centrifugación

Los porcentajes de recobro obtenidos mediante esta técnica de extracción se llevaron a cabo con muestras de suelo a tres niveles de concentración, por triplicado, de tal manera que abarque el rango de la curva, se utilizaron niveles bajo, medio y alto, en cada extracción.

Debido a que por problemas de refrigeración el pesticida utilizado para la estandarización del método cromatográfico se evaporó, para las extracciones se utilizó un estándar marca Supelco mezcla TCL – 2000 $\mu\text{g/mL}$ de cada componente en tolueno: hexano (50:50), que contiene 18 pesticidas organoclorados, de los cuales 3 son de interés para este trabajo, dichos pesticidas son: Lindano, aldrin y Dieldrin los cuales eluyen en el mismo orden y a tiempos de retención similares al anterior estándar.

Figura 3

Cromatograma obtenido para el estándar usado en la extracción



Nota: Datos de la investigación.

Los resultados obtenidos para cada extracción se analizaron mediante curva de calibrado representada por la cantidad en microgramos (μg) de pesticida añadidos entre cantidad en microgramos (μg) de pesticida obtenidos, siendo la pendiente de la curva la que estima el valor para el porcentaje de recobro. Los porcentajes de recobro obtenidos se muestran en la Tabla 10:

Tabla 10

Porcentajes de recobro para el método de extracción sólido-líquido asistido por ultrasonido y centrifugación

Pesticida	% Recobro	% CV
Lindano	55	10,74
Aldrin	53	8,04
Dieldrin	41	17,92

Nota: Datos de la investigación.

Como se muestra en la Tabla 10 los porcentajes de recuperación para los pesticidas se encuentran en un rango de 41 a 55%. Estos porcentajes se calcularon mediante relación de áreas de cada muestra y el patrón.

La precisión del método de extracción es expresada en desviación estándar (SD) o porcentaje de coeficiente de variación (CV). El promedio de los valores para el CV es 12,23 menor al 20% (EPA, Method 8081A: Organochlorine pesticides by gas chromatography, 1996) para los tres pesticidas lo cual muestra que el método es reproducible en la extracción.

Cabe resaltar que se espera que el resto de pesticidas sigan el mismo comportamiento y recobros similares en la extracción.

Las características fisicoquímicas del suelo empleado para la optimización del método de extracción (suelo 1) y los utilizados como muestras reales (suelo 2 y 3) se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11

Características fisicoquímicas del suelo

Propiedad	Suelo 1	Suelo 2	Suelo 3
Textura	Franco	Franco Arcillo Arenoso	Franco Arenoso
pH	5,8	5,5	5,6
%Carbono	2,53	1,72	0,86
% MO	4,37	2,97	1,49
Tipo cultivo	Yuca y caña de azúcar en periodo inicial	Pastura	No intervenido presenta cobertura vegetal

Nota: Datos de la investigación.

El suelo 1 se utilizó como blanco para el proceso de extracción, para esto se fortificó con un volumen de pesticida de concentración conocida, de todos los suelos se usó este debido a que era el que mayor %M.O presentaba facilitando así una mayor interacción suelo-pesticida. Una de las razones por las cuales no se obtuvo porcentajes de recobro más altos, se puede deber a las

características fisicoquímicas del suelo ya que ya al tener un contenido de materia orgánica bajo, se pudieron dar mayores interacciones específicas con las arcillas, así como también alguna posible degradación al momento de aplicar el ultrasonido.

Por otra parte, de acuerdo el Lindano muestra una baja afinidad de ligarse al suelo, y tiende a ser móvil en suelos con bajo contenido de materia orgánica, característica que pudo facilitar su extracción. El dieldrin por el contrario una vez liberado en el suelo se liga fuertemente a este y también tiende a volatizarse una vez entra en contacto el suelo, razón por la cual el porcentaje de recobro fue menor que en los demás (FAO, 2019).

Extracción en Fase Sólida (SPE)

Para la extracción de muestras acuosas se usó la técnica de extracción en fase sólida, se llevó a cabo con muestras de agua potable (grifo) para los cinco niveles de concentración de la curva. Los porcentajes de recobro se estimaron como la pendiente de la curva de la relación entre la cantidad añadida y la obtenida. Para esto se fortificó una muestra de agua con diferentes volúmenes de concentración conocida. Los porcentajes de recobro obtenidos para los pesticidas se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12

Porcentajes de recobro para el método de extracción en fase sólida

Pesticida	%Recobro	%CV
Lindano	44	14,46
Aldrin	46	9,74
Dieldrin	62	8,09

Nota: Datos de la investigación.

En la Tabla 12 se muestran los resultados obtenidos en la extracción en fase sólida el pesticida con mayor porcentaje de recobro es el Dieldrin, este pesticida no es soluble en agua al igual que el aldrin, y esta puede ser una de las razones de que tuvo un porcentaje mayor de recuperación, a la vez cabe resaltar que el producto principal de la degradación del aldrin es el dieldrin, lo cual pudo llevar a que este último obtuviera un porcentaje mayor. Sin embargo, el

aldrin en el agua se volatiliza de la superficie y esta puede ser una de las razones del porque su porcentaje de recobro es bajo. Por su parte el Lindano es muy soluble en agua, debido que para esta extracción se usó diclorometano, así como los niveles de la curva están preparados en este mismo solvente, el porcentaje de recobro para este pesticida pudo verse afectado debido a que estos dos solventes no son miscibles entre sí, dificultando así la extracción para este pesticida (FAO, 2019).

La precisión del método de extracción es expresada en desviación estándar (SD) o porcentaje de coeficiente de variación (CV). El promedio de los valores para el CV es 10,76 menor al 20% para los tres pesticidas lo cual muestra que el método es reproducible en la extracción (EPA, 1995).

Análisis de muestras reales

Para la determinación de pesticidas organoclorados en muestras de suelo se adquirió dos muestras de suelo del Municipio de Suarez Cauca, y se analizaron de la misma manera que la muestra empleada para la determinación de los porcentajes de recobro para cada pesticida. Una vez realizado el procedimiento de extracción se inyectó al cromatógrafo de gases acoplado a espectrometría de masas por impacto electrónico.

Para las 2 muestras de suelo analizadas mediante el método de extracción sólido-líquido asistido por ultrasonido y centrifugación no se detectó la presencia de ninguno de los 3 pesticidas que se tuvieron en cuenta en la extracción. Sin embargo, en el suelo 3, se detecta la presencia de o-p' DDE con un 41% de probabilidad, a un tiempo de retención de 15,89 minutos y con un área promedio de 3151,7054 mAU*min.

Para las muestras de agua se fortifico agua potable (agua de grifo) en dos niveles de concentración de la curva, los porcentajes de recobro se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13

Resultados para muestras de agua fortificadas a dos niveles de pesticidas

Pesticida	Concentración ($\mu\text{g/mL}$)	%R	%CV
Lindano	0,1	133,06	0,63
	1,5	46,69	6,24
Aldrin	0,1	61,18	1,03
	1,5	45,78	2,74
Dieldrin	0,1	74,31	0,76
	1,5	50,93	13,07

***Nota:* Datos de la investigación.**

Como se puede observar en la Tabla 13 los coeficientes de variación obtenidos en los porcentajes de recobro son $< 20\%$ y a su vez se encuentran en el rango del 70 al 130% establecido por la EPA como un rango óptimo de extracción, con lo cual se puede concluir que el método propuesto es reproducible y permite la determinación de pesticidas organoclorados en muestras acuosas.

5. Conclusiones

- ✓ Se estandarizo el método por cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas para la identificación, separación y cuantificación de 7 pesticidas organoclorados en suelo y agua.
- ✓ Se evaluaron dos métodos de extracción: sólido-líquido asistida por ultrasonido y centrifugación y extracción en fase sólida para los cuales se obtuvieron porcentajes de recobro de entre 41 al 55% y de 44% al 62% respectivamente para 3 de los 7 pesticidas evaluados.
- ✓ La aplicación de la metodología en muestras reales de suelo no detectó la presencia de pesticidas en la muestra de suelo 2, mientras que en el suelo 3 se detecta la presencia de o-p' DDE., para las muestras de agua se fortificó agua potable en dos niveles, obteniéndose porcentajes de recobro en el rango de 47 a 133% con porcentajes de variación menores al 20% con lo cual se puede concluir que el

método propuesto es reproducible y permite la determinación de POC's y permite la determinación de estos en muestras acuosas.

- ✓ Se obtuvo buenos resultados en los coeficientes de correlación r^2 en la calibración de la técnica cromatográfica con un promedio de 0,9913, siendo mayores de 0,99 mostrando así una buena linealidad en contraste con estudios realizados para análisis de pesticidas en suelo y aguas ya reportados.
- ✓ Se logró una muy buena precisión del método cromatográfico. El promedio de CV para las curvas de calibración es de 3,52% siendo inferior al 10% este valor es aceptable por cumplir lo establecido por la EPA ($\%CV < 16\%$) para el análisis de trazas en muestras complejas reflejando así su precisión.

Por último, se recomienda el uso de otros solventes o mezcla de estos para las metodologías de extracción evaluadas que permita su análisis. Como también que en la extracción sólido-líquido asistida por ultrasonido y centrifugación el solvente se adicione por etapas para mejorar así los porcentajes de recobro en el solvente empleado.

Referencias bibliográficas

- EPA. (1996). *Method 8081A: Organochlorine pesticides by gas chromatography*. <http://www.caslab.com/EPA-Methods/PDF/8081a.pdf>
- FAO. (1990). *Depósito de documentos de la FAO*. <http://www.fao.org/docrep/W1604S/w1604s04.htm>
- FAO. (acceso 2019). *Depósito de documentos de la FAO*. <http://www.fao.org/3/x2570s/X2570S10.htm>
- Guerrero, J., y Velandia, N. (2014). *Comparación de dos metodologías para la determinación de residuos de plaguicidas en agua potable*. *Revista Colombiana de Química*, 43(1), 17-24.
- Gulbakan, B., Uzun, C., Celikbicak, O., Guven, O., & Salih, B. (2008). *Solid phase extraction of organochlorine pesticides with modified poly (styrene-divinylbenzene) microbeads using homemade solid phase extraction syringes*. *Reactive y Functional Polymers*, 68, 580-593.
- Gutiérrez, M., & Droguet, M. (2002). *La cromatografía de gases y la espectrometría de masas: identificación de compuestos causantes de mal olor*. *Boletín Intexter (U.P.C)*(122), 35-41.

- Herrera, M. (2011). *Implementación de una metodología para la determinación de glifosato en muestras de agua*. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- IDEAM. (2006). *Estandarización de métodos analíticos. Protocolo de Estandarización*, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Linn, D., Carski, T., Brusseau, M., & Chang, F. (1993). *Sorption and Degradation of Pesticides and Organic Chemicals in Soil*. Soil Science Society of America. (D. Linn, T. Carski, M. Brusseau, & F. Chang, Edits.) Madison, Wisconsin, USA.
- Marin, J. (2011). *Dinámica de fungicidas en suelos de viñedo enmendados con sustratos postcultivo de hongos*. Universidad de Salamanca, Salamanca.
- Martínez, J., & Páez, M. (2017). *Diseño de experimentos aplicado en la optimización del método de extracción quechers para la determinación de plaguicidas organoclorados y organofosforados en suelos*. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 33(4), 559-573.
- Mendieta, C., Ortega, N., Solano, N., & Figueroa, J. (2017). *Metodología para la determinación de pesticidas organoclorados mediante cromatografía de gases acoplado espectrometría de masas y detector de captura de electrones*. Revista Politécnica, 40(1), 1-8.
- Mosquera, D. (2012). *Estandarización de un método para la cuantificación de pesticidas organoclorados y organofosforados en suelos por cromatografía de gases con detectores FID y ECD*. Trabajo de grado, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.
- Muñoz, B. (2012). *Impacto de fertilizantes y pesticidas en la calidad del suelo y el agua*. Bilbao: Euskal Herriko Unibertsitateko Argitalpen Zerbitsua.
- Murillo, W., & Salazar, D. (2011). *Tendencias verdes en la agricultura para el manejo y control de plagas*. Revista Tumbaga, 6, 63-92.
- Navarro, S., Vela, N., & Navarro, G. (2007). *Review. An overview on the environmental behaviour of pesticide residues in soils*. Spanish Journal of Agricultural Research, 5(3), 357-375.
- OMS. (2009). *The WHO Recommended Classification of Pesticides by Hazard and Guidelines to Clasification*. https://www.who.int/ipcs/publications/pesticides_hazard_2009.pdf?ua=1
- Pérez, E. (2011). *Determinación de plaguicidas organoclorados en agua de pozos adyacentes a zonas agrícolas mediante CG-MS*. Universidad de Carabobo, Bárbula.

- Ramírez, A. (2011). Estandarización de la técnica GC-MS para análisis de cocaína y caracterización de sus principales adulterantes en el eje cafetero. Trabajo de grado, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.*
- Ravelo, L. (2009). Metodologías analíticas alternativas para la determinación de plaguicidas en aguas y productos agroalimentarios. España.*
- Salemi, A., Khaleghifar, N., & Mirikaram, N. (2019). Optimization and comparison of membrane-protected micro-solid-phase extraction coupled with dispersive liquid-liquid microextraction for organochlorine pesticides using three different sorbents. Microchemical Journal, 144, 215-220.*
- Usma, J., y Villegas, C. (2008). Evaluación del grado de contaminación por pesticidas organoclorados del río Otun, departamento de Risaralda, mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.*

RETOS TECNOLÓGICOS PARA EL CAMPELINADO DE LA SUBREGIÓN DEL ORIENTE ANTIOQUEÑO EN COLOMBIA, UN ACERCAMIENTO METODOLÓGICO DESDE EL SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE (SENA)

Technological Challenges for the Eastern Antioquia Sub-Region in Colombia. A Methodological Approach from the National Training Service (SENA)

Manuel Steven Guzmán Muñoz - Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA. Correo electrónico: msguzman@sena.edu.co

Esteban Ocampo Ordoñez - Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA. Correo electrónico: eocampoo@sena.edu.co

Resumen

El campesinado en Colombia es un actor clave en el desarrollo social, económico y ambiental del país. Sin embargo, ha sido relegado en diversos aspectos, entre ellos el tecnológico. Esta investigación consultó fuentes primarias y, posteriormente realizó un trabajo de campo con asociaciones campesinas del Oriente Antioqueño, enfocándose en las principales líneas productivas de la región. El objetivo fue identificar, de manera conjunta, las problemáticas que afectan sus sistemas productivos y definirlas como retos tecnológicos. A partir de este análisis, se llevaron a cabo espacios de innovación abierta, donde se propusieron soluciones conceptuales para estos desafíos, con el fin de que puedan ser adoptadas y desarrolladas por potenciales inventores.

Palabras clave: Tecnología, Campesinado, Innovación abierta.

Abstract

The peasantry in Colombia plays a pivotal role in the social, economic, and environmental development of the country. However, it has been marginalized in various aspects, including the technological one. This research drew upon primary sources and subsequently conducted fieldwork with peasant associations in Eastern Antioquia, focusing on the region's primary productive lines. The objective was to collectively identify the challenges affecting their productive systems and categorize them as technological issues. Based on this analysis, open innovation spaces were held, where conceptual solutions for these challenges were proposed, so that they can be adopted and developed by potential inventors.

Keywords: Technology, Peasants, Open innovation.

1. Introducción

El campesinado en Colombia ha sido uno de los actores más importantes para el desarrollo del país. Su capacidad de producir alimentos de manera continua en vastas áreas del territorio nacional ha dinamizado las economías locales, desde la época poscolonial. Igualmente, esta población, alberga un fuerte arraigo cultural hacia la zona geográfica que habita, representado en diversidad de costumbres, creencias y representaciones gastronómicas. Tal y como lo indica Granados (2020), para quien el territorio campesino, no es solo un espacio geográfico delimitado, sino una construcción social, en la que confluyen las dinámicas políticas, económicas, históricas y culturales, de un grupo de personas con una identidad definida y con condiciones ecológicas y productivas similares.

Históricamente este colectivo ha desempeñado un papel protagónico en el cuidado del ambiente biológico que habita, en la medida que su producción se lleva a cabo en pequeña escala, sin afectar de forma drástica los recursos naturales que utiliza en sus actividades productivas y cotidianas. Así pues, adopta un esquema de trabajo, en el cual todos los miembros de la familia se ven incluidos, relacionando de este modo, los conceptos de campesinado y agricultura familiar (Carmagnani, 2008).

Al respecto Altieri & Nicholls (2009) manifiesta que la agricultura familiar, se destaca como una respuesta a las necesidades globales, relacionadas con la búsqueda de la seguridad y la soberanía alimentaria, la adaptación al cambio climático, las acciones contra la pobreza y la sostenibilidad ambiental. Según los autores, el logro de estos objetivos se puede alcanzar mediante el reconocimiento del trascendental trabajo que ha desempeñado el campesinado y las comunidades indígenas en la búsqueda de soluciones para los retos que emergen en la agricultura y la ruralidad.

Este análisis demuestra la resiliencia del campesinado, su capacidad de convivir con el entorno y su potencialidad para producir alimentos sanos. En este sentido, el Ministerio de Agricultura enfatiza que la agricultura campesina, familiar y comunitaria es la responsable de la producción de más del 70% de los alimentos en el país, es la actividad que más empleos genera en la ruralidad, además de cumplir una labor preponderante en la preservación de la agrobiodiversidad (Comisión de la verdad, 2020).

A pesar de su importancia estratégica a nivel nacional y global, el campesinado colombiano ha sido relegado, por situaciones sociales y políticas, que no le han permitido aportar aún más, al crecimiento integral del país. Así lo reconoce Santacoloma-Varón, (2015), quien señala que la sociedad olvida el papel económico de los campesinos y las campesinas, no sólo como productores de alimentos, sino también, como generadores de divisas para el país y propulsores de la principal fuerza de trabajo en el sector rural. La propia autora enfatiza en la necesidad de aceptar que el campesinado puede propiciar un camino alternativo para el desarrollo económico y social, siempre y cuando se le apoye, a través de programas masivos, que le permitan dotarse de medios de producción adecuados, con miras a su consolidación económica y cultural.

En este sentido y ahondando en el ámbito tecnológico, el campesinado colombiano se ha visto relegado en el desarrollo y adopción de herramientas que le permitan alcanzar mejoras sustanciales en sus actividades agro productivas. Este rezago corresponde a diversos factores, entre los cuales se destacan: las condiciones geográficas particulares donde se concentra la población campesina y su producción, caracterizadas principalmente por un relieve montañoso y de difícil acceso; los altos costos para adoptar tecnología proveniente de otros países; el limitado

acceso a servicios de asistencia técnica y extensión rural y a la prevalencia de investigación hacia plantaciones netamente comerciales (BBC News Mundo, 2022).

Sobre este último aspecto, Ardila (2010) destaca que, desde la década del ochenta, la mayoría de los esfuerzos en torno a investigación agropecuaria, han estado dirigidos bajo el paradigma de orientar sus desarrollos hacia cultivos comerciales, bajo modelos de monocultivos especializados, cuyo único objetivo es la obtención de una ganancia económica.

Situación que va en contra de la llamada tecnología apropiada o alternativa, la cual de acuerdo con Soriano & Aguirre (2008) debe ser el resultado de un proceso de entendimiento, en el cual se valore la realidad cultural de los productores, además de sus saberes previos, al mismo tiempo que se promueve el uso de materiales de la región al ser de fácil adquisición, más económicos y con un menor impacto ambiental.

Con la aprobación del acto legislativo que reconoce al campesinado como sujeto político de derechos y de especial protección constitucional en Colombia, se abren posibilidades sin precedentes para este grupo poblacional en diversos sectores, incluido el tecnológico, en tanto establece que “el campesinado es sujeto político de derechos y de especial protección”, igualmente se reconoce que “las comunidades campesinas tienen un particular relacionamiento con la tierra basado en la producción de alimentos” (Función Pública, 2023). Del mismo modo, hace hincapié en la relevancia de garantizar la seguridad y soberanía alimentaria, mejorar la productividad agrícola, impulsar tecnologías de transformación y estrategias comerciales, además de proteger el medio ambiente y conservar la cultura campesina (Erazo, s.f.).

Así pues, es necesario generar procesos de generación y adopción tecnológica para el campesinado colombiano, pues como apunta Lopera (2022) las investigaciones que se concentran, por ejemplo, en el desarrollo de habilidades digitales en las comunidades rurales son exiguas, del mismo modo que, las experiencias en las cuales se contemple un abordaje de abajo hacia arriba, es decir, teniendo en consideración las percepciones de los propios campesinos, a pesar de que la propia literatura ha indicado que éste es el camino para que exista una verdadera apropiación del conocimiento.

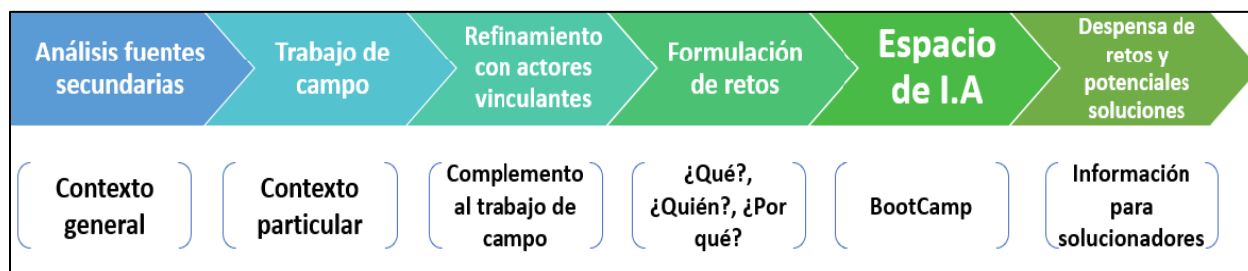
Con base en este contexto y en el marco de la estrategia CampeSENA desarrollada por el SENA y la cual tiene entre sus objetivos, facilitar el acceso de la población campesina a los diferentes programas y servicios del SENA (SENA, s.f.), el Tecnoparque Nodo Rionegro, del Centro de la Innovación, la Agroindustria y la Aviación localizado en Rionegro, Antioquia y con un campo de acción en el Oriente de este Departamento, desarrolló en compañía de asociaciones campesinas de este territorio y otros actores involucrados en el sector agropecuario, un trabajo para el levantamiento de retos tecnológicos para la población campesina, los cuales podrán ser atendidos por desarrolladores, a través de un proceso de innovación abierta, además quedarán consignados en una despesa de retos, para su posterior consulta, ajuste y/o actualización.

2. Metodología

El desarrollo de este trabajo se realizó a través de la consulta de fuentes primarias y secundarias, además de encuentros focales con actores clave, para posteriormente definir las necesidades más sentidas en los procesos productivos de la comunidad campesina del Oriente Antioqueño, las cuales deben ser susceptibles de ser atendidas mediante su definición como retos tecnológicos. La Figura 1 ilustra detalladamente las fases que se desarrollaron en el proceso de investigación, proporcionando una visión clara de la propuesta metodológica seguida.

Figura 1

Propuesta metodológica



Nota: Elaboración propia.

Análisis del contexto general: Con el propósito de estudiar las cadenas y temáticas definidas en términos de las demandas tecnológicas para el sector agropecuario, se efectuó la lectura y análisis del Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación para el sector Agropecuario - PECTIA, tanto a nivel nacional, como para el Departamento de Antioquia (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, s.f.). Esta herramienta que tiene como propósito servir de insumo para el diseño de políticas públicas en materia de ciencia, tecnología e innovación para este sector y que tiene una vigencia de una década, contada a partir de 2017, permitió la priorización de las cadenas más importantes, en términos sociales y económicos para la población campesina del Oriente Antioqueño. Del mismo modo, se consiguió definir las temáticas más relevantes, en cuanto a demandas tecnológicas para el sector agropecuario de esta subregión del departamento.

Trabajo de campo: Las visitas en campo permitieron contextualizar en el territorio las demandas tecnológicas para el sector agropecuario definidas en el PECTIA, este ejercicio se llevó a cabo inicialmente a través de una lluvia de ideas, en la cual los campesinos identificaban sus necesidades en los eslabones de la cadena productiva: Producción - Transformación - Comercialización.

Posteriormente se efectuó su categorización, de acuerdo a la similitud de sus conceptos, para finalmente priorizar de manera participativa los requerimientos a ser definidos como retos tecnológicos. Esta metodología facilitó la intervención activa de los actores, pues como explica Figueiredo (2015), la inmersión de los participantes en una investigación, permite mayor grado de credibilidad, y esto se logra a través de observaciones y diálogos prolongados en los cuales, los involucrados reconocen que la información obtenida es una verdadera aproximación a los que ellos sienten y piensan.

Refinamiento con actores vinculantes: Se realizaron reuniones con actores asociados a las cadenas productivas, como empresarios, representantes de asociaciones de productores, comercializadores, funcionarios de las secretarías de agricultura municipales, entre otros. Estos encuentros se lideraron bajo la metodología de grupo focal, lo cual permitió conocer una mirada más amplia del sector, tal y como lo establecen Hamui-Sutton & Varela-Ruiz (2013), esta técnica

posibilita que los participantes sean encaminados por medio del respeto, la empatía y la interacción grupal hacia el abordaje de diferentes temáticas, inclusive aquellas de complejo abordaje. De esta manera, fue posible establecer coincidencias entre la óptica campesina y la mirada más técnica y comercial, lo cual facilitó la escogencia de las necesidades en cada una de las líneas productivas.

Formulación de retos: El establecimiento de retos fue realizado de forma conjunta con los asistentes a los diferentes talleres, a través de la respuesta a las siguientes cuestiones: ¿Qué se pretende desarrollar?, ¿A quién se beneficia con el desarrollo propuesto?, ¿Por qué es importante dar respuesta a la necesidad encontrada? (Universidad de Cansas, s.f.) Posteriormente, el reto se construyó siguiendo la estructura detallada a continuación: Cómo + Verbo en infinitivo + Sustantivo + Complemento. Esta configuración permitió establecer de manera concreta el reto que pretende ser atendido en la fase posterior (Ras, 2016).

Espacio de Innovación abierta: Una vez definidos los retos se llevó a cabo un encuentro con aprendices del centro de formación e integrantes del Tecnoparque, el objetivo de este ejercicio fue conformar un equipo multidisciplinar que abordara los retos presentados y contextualizados con anterioridad. Todo esto bajo una metodología Bootcamp que permitiese la inmersión de los participantes en la búsqueda de soluciones conceptuales para las necesidades del campesinado en el Oriente Antioqueño. Sobre esta metodología es importante apuntar que se destaca por la participación de integrantes multidisciplinarios, de distintas edades y niveles de conocimiento, de manera que se presenta como un punto positivo al momento de dar a conocer la solución a los retos planteados, entendiendo que éstos deben partir de las necesidades de los sectores que se desean impactar (Castañeda, 2020).

Así pues, tras una jornada de ideación, creatividad, prototipado y presentación de soluciones, fue posible obtener un listado de retos y respuestas conceptuales, susceptibles de convertirse en proyectos formativos o acompañamientos especializados por parte de Tecnoparque.

3. Resultados y discusión

En primera medida con la lectura del Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación para el sector agropecuario - PECTIA, logró establecerse un total de 18 de 32 cadenas productivas priorizadas para el departamento de Antioquia, siendo éstas: hortalizas, cacao, láctea, panela, carne bovina, café, cítricos, aguacate, ovino – caprino, caucho, plantas aromáticas, mora, forestal, papa, fique, pasifloras, apícola y banano. Posteriormente, a través de un análisis del contexto productivo del Oriente Antioqueño, se plantea un trabajo conjunto con asociaciones campesinas en las líneas de: café, panela, piscicultura, aguacate, hortalizas, flores y lácteos, con los cuales, por medio de encuentros focales y visitas en campo se establecieron veinticuatro (24) retos en sus sistemas productivos, presentadas a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1

Listado de retos establecidos inicialmente con las asociaciones

Reto	Sector
¿Cómo mejorar el proceso de selección de tomates, de acuerdo a su tamaño y color, en el municipio de El Peñol, Antioquia?	Hortalizas
¿Cómo moderar el uso de agrotóxicos en el sistema productivo del tomate de mesa?	Hortalizas
¿Cómo disminuir los costos de producción, relacionados con la alimentación, de la piscicultura de tilapia en el municipio de San Carlos, Antioquia?	Piscícola
¿Cómo aprovechar las tilapias de descarte para posteriores procesos agroindustriales?	Piscícola
¿Cómo mejorar las técnicas de secado utilizadas en el beneficio del café producido en el municipio de Granada?	Café
¿Cómo mejorar las técnicas de tostión empleadas por las asociaciones y caficultores del municipio de Granada?	Café
¿Cómo potenciar la denominación de origen “paz” del café producido en el municipio de Granada?	Café
¿Cómo hacer más eficiente la combustión en los hornos utilizados para el proceso agroindustrial de la caña panelera en el municipio de Cocorná?	Panela
¿Cómo alcanzar una mayor vida útil en la miel de panela obtenida en el proceso agroindustrial de la panelera en el municipio de Cocorná?	Panela

¿Cómo moderar el uso de agro tóxicos en el sistema productivo de la hortensia en el Oriente Antioqueño?	Flores
¿Cómo efectuar un mejor tratamiento foliar en las diferentes fases del cultivo de hortensia en los municipios del Oriente Antioqueño?	Flores
¿Cómo hacer más cómodo el trabajo para los colaboradores de los cultivos de hortensia en el Oriente Antioqueño?	Flores
¿Cómo mejorar la trazabilidad en las diversas fases de la cadena productiva de la hortensia en el Oriente Antioqueño?	Flores
¿Cómo determinar las características particulares de los micro climas de las veredas productoras de aguacate del municipio de Sonsón, Antioquia?	Aguacate
¿Cómo propiciar el uso de micro organismos eficientes de montaña en los procesos agronómicos del cultivo de aguacate en el sector aguacatero del municipio de Sonsón?	Aguacate
¿Cómo posicionar el aguacate de origen “Sonsón” en el mercado regional, nacional e internacional?	Aguacate
¿Cómo aprovechar los subproductos derivados de la producción de quesos, de manera que se pueda fortalecer la agroindustria láctea local?	Lácteos
¿Cómo producir cuajo de manera local, garantizando su calidad para el proceso productivo?	Lácteos
¿Cómo disminuir la migración de los jóvenes rurales hacia los centros urbanos?	Transversal
¿Cómo propiciar en los productores rurales el uso de registros contables básicos en sus actividades, de forma práctica y sencilla?	Transversal
¿Cómo propiciar una asistencia técnica oportuna para las labores agrícolas y pecuarias de las unidades productivas campesinas?	Transversal
¿Cómo mejorar el transporte de productos finales y materia prima en relieves montañosos y con vías de acceso des pavimentadas y estrechas?	Transversal
¿Cómo masificar la generación y uso de bio insumos en las actividades agrícolas y pecuarias de las unidades productivas campesinas?	Transversal
¿Cómo potenciar el comercio directo entre campesinos y consumidores finales?	Transversal

Nota: Datos de la investigación 2023.

Posterior a ello, por medio de encuentros con actores complementarios, tales como empresarios, miembros de los equipos de las secretarías municipales de agricultura e instructores del Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA, del programa Sena Emprende Rural - SER, se llevaron a cabo sesiones de refinamiento, de modo que, en el último momento del ejercicio, estuvieran presentes los ocho (8) retos más representativos, en términos técnicos, sociales, ambientales y comerciales. Los cuales se dan a conocer en la Tabla 2.

Tabla 2

Listado de retos definidos con actores complementarios

Reto	Sector
¿Cómo disminuir la migración de los jóvenes rurales hacia los centros urbanos? ¿Cómo disminuir los costos de producción, relacionados con la alimentación, de la piscicultura de tilapia en el municipio de San Carlos, Antioquia?	Transversal
¿Cómo propiciar una asistencia técnica oportuna para las labores agrícolas y pecuarias de las unidades productivas campesinas?	Piscicultura
¿Cómo moderar el uso de agrotóxicos en el sistema productivo del tomate de mesa?	Transversal
¿Cómo potenciar el comercio directo entre campesinos y consumidores finales?	Hortalizas
¿Cómo masificar la generación y uso de bio insumos en las actividades agrícolas y pecuarias de las unidades productivas campesinas?	Transversal
¿Cómo propiciar en los productores rurales el uso de registros contables básicos en sus actividades, de forma práctica y sencilla?	Transversal
¿Cómo aprovechar los subproductos derivados de la producción de quesos, de manera que se pueda fortalecer la agroindustria láctea local?	Transversal Lácteos

Nota: Datos de la investigación 2023.

El espacio de innovación abierta liderado por el equipo Tecnoparque Nodo Rionegro, bajo la metodología de Bootcamp, permitió el encuentro de 50 aprendices del centro de formación de diferentes especialidades (agrícola, industria, desarrollo de software, turismo, gestión), con los cuales se constituyeron equipos multidisciplinarios, prestos a proponer soluciones conceptuales a

los retos previamente definidos. A continuación, la figura 2 presenta la E-card invitación Bootcamp denominado CampeSENA.

Figura 2

E-card invitación Bootcamp CampeSENA



Nota: Elaboración propia.

Dichas soluciones se concentraron en la generación y uso de herramientas tecnológicas, para facilitar los procesos productivos, técnicos y comerciales de las asociaciones campesinas

acompañadas en el presente estudio y se encuentran alineados a la coyuntura nacional actual, ejemplo de ello es la creciente preocupación de las instituciones en torno al relevo generacional del agro colombiano, a raíz de lo cual se han empezado a implementar proyectos como el liderado por AGROSAVIA, denominado: “apoyo para generar oportunidades a jóvenes rurales para su integración generacional en el campo” en el cual se ha propiciado la integración de 20 instituciones educativas del país (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, 2023).

Del mismo modo, que la generación de concentrados para piscicultura, en un proceso conjunto entre un equipo de la Universidad Pontificia Bolivariana y piscicultores del Municipio de San Carlos, Antioquia (Universidad Pontificia Bolivariana , 2021).

En cuanto a la mejora de la asistencia técnica o extensión agropecuaria, a través del uso de herramientas tecnológicas, también se tienen avances importantes, como la implementación de estrategias de micro aprendizaje por parte de la Federación Nacional de Cafeteros (Federación Nacional de Cafeteros, 2022).

Estos son algunos casos de la implementación de estrategias conjuntas entre actores institucionales y comunidades rurales, que vinculan procesos de generación y transferencia tecnológica, teniendo en consideración las características de los territorios.

En seguida, la Tabla 3 resume la lista de retos abordados y las propuestas de solución, planteadas en el escenario de Bootcamp como prototipos conceptuales.

Tabla 3

Listado de retos trabajados en el Bootcamp y potenciales soluciones

Reto	Potencial solución
¿Cómo disminuir la migración de los jóvenes rurales hacia los centros urbanos?	App que integre toda la información pertinente para esta población y que promueva su estadia en el sector rural.

¿Cómo disminuir los costos de producción, relacionados con la alimentación, de la piscicultura de tilapia en el municipio de San Carlos, Antioquia?	Elaboración y estandarización de concentrados con materias primas locales.
¿Cómo propiciar una asistencia técnica oportuna para las labores agrícolas y pecuarias de las unidades productivas campesinas?	Asistencia técnica mediada por celular con metodología de micro aprendizaje
¿Cómo moderar el uso de agro tóxicos en el sistema productivo del tomate de mesa?	Paquete técnico en agricultura orgánico especializado en tomate y disponible en la web.
¿Cómo potenciar el comercio directo entre campesinos y consumidores finales?	<i>E-commerce</i> administrados por alcaldías.
¿Cómo masificar la generación y uso de bio insumos en las actividades agrícolas y pecuarias de las unidades productivas campesinas?	Bio fábricas municipales con herramientas de automatización en sus procesos.
¿Cómo propiciar en los productores rurales el uso de registros contables básicos en sus actividades, de forma práctica y sencilla?	App con interfaz amigable que permita cálculos sencillos y efectivos para la economía campesina.
¿Cómo aprovechar los subproductos derivados de la producción de quesos, de manera que se pueda fortalecer la agroindustria láctea local?	Cápsulas de aprendizaje técnico mediadas por WhatsApp.

Nota: Datos de la investigación 2023.

5. Conclusiones

El campesinado en Colombia ha sido históricamente un actor relegado en el desarrollo del país, sin embargo, su capacidad de resiliencia y adaptabilidad le ha permitido resistir a diferentes adversidades de índole social, ambiental y económico. En este sentido es necesario apoyar su labor mediante la incorporación de tecnologías apropiadas en sus labores cotidianas, de manea que sus actividades puedan ser más productivas y mejor remuneradas.

Este propósito se puede alcanzar si los procesos de ciencia, tecnología e innovación permiten el diálogo con las comunidades rurales y campesinas, pues son éstas las poseedoras de la sabiduría popular de los territorios que habitan y los productos que cultivan. Es necesario conjugar las diversas estrategias planteadas en la presente investigación, con aquellas que ya vienen siendo implementadas, de manera que se establezca una estrategia colectiva que genere un mayor impacto.

Este primer ejercicio constituye un ejemplo a seguir para otras instituciones y regiones del país, en el cual sean los jóvenes quienes impulsen los desarrollos tecnológicos para el sector agropecuario, por medio del diálogo directo con sus habitantes, de modo que éstos se encuentren contextualizados a las características sociales, económicas, culturales y ambientales de cada comunidad.

Agradecimientos

Agradecimientos especiales para las asociaciones campesinas del Oriente Antioqueño que nos permitieron conocer directamente sus procesos productivos y vivencias diarias en las fincas y centros de acopio y comercialización.

Igualmente, agradecemos a los aprendices e instructores que participaron tanto en la definición de retos como en el espacio de innovación abierta.

Referencias bibliográficas

- Altieri, M. Á., y Nicholls, C. (2009). Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas. leisa revista de agroecología , 5-8.*
- Ardila, J. (2010). Extensión rural para el desarrollo de la agricultura y la seguridad alimentaria: Aspectos conceptuales, situación y una visión de futuro . San José: NSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA.*

BBC News Mundo. (2022). Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-63140225>

Carmagnani, M. (2008). La agricultura familiar en América Latina. Problemas del desarrollo, 11-56.

Castañeda, M. O. (2020). Bootcamp como estrategia de aprendizaje inmersivo. Bogotá: Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA.

Comisión de la verdad. (2020). Comisión de la verdad. Obtenido de <https://web.comisiondelaverdad.co/actualidad/noticias/campesinos-damos-comer-colombia-pero-no-reconocen-la-precariedad-vida-campo>

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. (2023). ¿Cómo va el relevo generacional en el agro colombiano? Obtenido de <https://www.agrosavia.co/noticias/c%C3%B3mo-va-el-relevo-generacional-en-el-agro-colombiano>

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA. (s.f.). PECTIA :Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del sector Agropecuario colombiano (2017-2027). Obtenido de <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/12759>

Erazo, K. (s.f.). Fundación Pares. Obtenido de <https://www.pares.com.co/post/se-aprueba-proyecto-de-reconocimiento-al-campesinado-como-sujeto-de-derechos#:~:text=El%20reconocimiento%20del%20campesinado%20como%20sujeto%20de%20derechos%20es%20un,respete%20el%20importante%20papel%20que>

Federación Nacional de Cafeteros. (2022). Informe del Gerente 90 Congreso Nacional de cafeteros . Bogotá: Federación Nacional de Cafeteros .

Figueiredo, G. d. (2015). Investigación Acción Participativa: una alternativa para la epistemología social en Latinoamérica. Revista de Investigación, 271-290.

Función Pública . (s.f.). Acto Legislativo 01 de 2023.

Granados, M. S. (2020). Conceptualización del campesinado en Colombia. Bogotá: Instituto Colombiano de Antropología e Historia.

Hamui-Sutton, A., & Varela-Ruiz, M. (2013). La técnica de grupos focales. Investigación en Educación Médica , 55-60.

Lopera, Á. M. (2022). Apropiación social de las TIC y asociaciones agrícolas del sector rural: revisión sistemática de la literatura 2010-2020. Texto livre, 1-16.

Ras, J. (2016). 3 pasos para definir un reto de innovación. Obtenido de <https://www.sociedaddelainnovacion.es/3-pasos-definir-reto-innovacion/>

Santacoloma-Varón, L. E. (2015). Importancia de la economía campesina en los contextos contemporáneos: una mirada al caso colombiano. Entramado, 38-50.

SENA, S. N. (s.f.). Obtenido de <https://sena.edu.co/es-co/campesena/Paginas/index.aspx>

Soriano, V. B., & Aguirre, F. L. (2008). Participación campesina para la generación de tecnología alternativa. Nueva Antropología, 113-129.

Universidad de Cansas. (s.f.). Sección 1. Desarrollar un plan para identificar recursos y necesidades locales. Obtenido de <https://ctb.ku.edu/es/tabla-de-contenidos/valoracion/valorar-las-necesidades-y-recursos-comunitarios/desarrollar-un-plan/principal>

Universidad Pontificia Bolivariana . (2021). Comunidad e investigadores producen alimento para peces a base de Spirulina sp. Obtenido de <https://www.upb.edu.co/es/noticias/comunidad-e-investigadores-producen-alimento-para-peces-a-base-de-spirulina-sp>

ENSEÑANZA EN INGENIERÍA DE MINAS Y METALURGIA A TRAVÉS DE LA CREACIÓN DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN EN LA FACULTAD DE MINAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

EDUCATION IN MINING AND METALLURGY ENGINEERING THROUGH THE CREATION OF RESEARCH SEEDBEDS AT THE SCHOOL OF MINES OF THE UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.

Oscar Jaime Restrepo Baena - Profesor Titular. Departamento de Materiales y Minerales.
Correo electrónico: ojrestre@unal.edu.co

Manuel Zacarías Salgado Cabeza - Estudiante de Maestría en Ingeniería: Recursos Minerales. Correo electrónico: mzsalgadoc@unal.edu.co

Juan Pablo Carmona Pérez - Estudiante de Pregrado Ingeniería de Minas y Metalurgia.
Correo electrónico: jpcarmonap@unal.edu.co

Grupo de investigación IGNEA. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia

Resumen

En este artículo se analiza el papel de los semilleros de investigación en la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, como una estrategia formativa que integra la educación teórica con conocimientos prácticos, lo cual promueve la producción científica y la divulgación de conocimiento. En la Facultad de Minas los semilleros de investigación se conciben como espacios que permiten desarrollar habilidades de investigación científica, que fomentan la formación integral de los estudiantes y su preparación para contribuir con la generación de soluciones enfocadas en las problemáticas actuales del sector minero y metalúrgico. En el presente artículo se destacan algunos de los semilleros más importantes del Grupo IGNEA del programa de Ingeniería de Minas y Metalurgia de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional

de Colombia, Sede Medellín, y su impacto en la formación de futuros ingenieros. Evidenciando, a través, de la experiencia, que los semilleros de investigación fomentan el aprendizaje extracurricular y la cooperación entre estudiantes y docentes de diferentes áreas, promoviendo una conciencia de responsabilidad social y sostenibilidad en los futuros ingenieros y científicos que forman parte de la mencionada estrategia.

Palabras clave: Semilleros de investigación, Formación en investigación, Sector Minero, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia.

Abstract

This article analyzes the role of research centers at the School of Mines of the Universidad Nacional de Colombia, Medellin Campus, as an educational strategy that integrates theoretical training with practical knowledge, which promotes scientific production and the dissemination of knowledge. At the School of Mines, research centers are conceived as spaces that allow the development of scientific research skills that promote the comprehensive training of students and their preparation to contribute to the generation of solutions focused on current problems in the mining and metallurgical sector. This article highlights some of the most important centers of the IGNEA research group of the program of Mining and Metallurgy Engineering at the School of Mines of the Universidad Nacional de Colombia, Medellin Campus, and their impact on the training of future engineers. The experience shows that research centers promote extracurricular learning and collaboration among students and teachers from different fields, thus fostering an awareness of social responsibility and sustainability in future engineers and scientists, which is part of the aforementioned strategy.

Keywords: Research incubators, Research education, Mining sector, School of Mines, Universidad Nacional de Colombia.

1. Introducción

Los semilleros de investigación son una estrategia clave para la formación de habilidades de investigación científica que, en la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, permiten abordar problemas sociales, económicos y ambientales en las comunidades mineras, orientando la investigación hacia la generación de soluciones concretas y sostenibles. Los semilleros propician un espacio que posibilita que los estudiantes participen activamente en la producción científica y en el desarrollo de conocimientos, que para el caso expuesto en el presente artículo se enfocan en el sector minero y metalúrgico.

Para un estudiante que inicia en el camino de la investigación, pertenecer a un Semillero implica un compromiso personal por alcanzar una formación integral e interdisciplinaria, que le permita generar el hábito de la formulación de preguntas inteligentes en referencia a los problemas locales, adquiriendo conocimiento y habilidades para la movilización de acciones tendientes a abordar dichos problemas desde una postura científica (Hernández, 2005). En este sentido, vale destacar, que los semilleros no solo enriquecen el aprendizaje académico, sino que también contribuyen a fortalecer la relación entre la universidad, la sociedad, la empresa y el Estado.

Por último, este artículo presenta desde la experiencia los diferentes semilleros de investigación liderados en la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, describiendo su dinámica e impacto. El propósito es identificar cómo estos espacios de formación se convierten en una herramienta fundamental para el desarrollo integral de los estudiantes, Impulsando, además, una cultura científica inclusiva y contribuyendo con la formación en investigación como una herramienta esencial para el desarrollo sostenible en los territorios mineros de Colombia.

2. Concepto de Semilleros de Investigación

Los semilleros de investigación son comunidades de aprendizaje o grupos de estudiantes que tienen como propósito desarrollar un autoaprendizaje a partir de la práctica investigativa.

Estos espacios de formación contribuyen en la interacción entre estudiantes y docentes, permitiendo el intercambio de saberes y aplicaciones de técnicas y estrategias que buscan dinamizar la gestión de conocimiento (Londoño Palacio, 2011). De acuerdo con Londoño (2011, p. 200):

Los semilleros de investigación son ante todo una estrategia de iniciación en la vida científica, pues tienen como finalidad promover la capacidad investigativa, propiciar la interacción entre profesores, investigadores y estudiantes, con miras al fortalecimiento de la excelencia académica, al desarrollo social y el progreso científico de la comunidad, así como a la generación de la capacidad de trabajo en grupo y la interdisciplinariedad, al fomento de una cultura de aprendizaje y a la participación en redes de investigación que faciliten la comunicación entre las instituciones de educación en Colombia.

En Colombia, el movimiento de los semilleros surgió como una respuesta a la necesidad de democratizar el acceso a la investigación en el contexto educativo, facilitando que estudiantes de pregrado pudieran experimentar y formarse en investigación sin esperar hasta niveles avanzados de posgrado (Hernández, 2005).

De esta forma, los semilleros constituyen una estrategia de investigación formativa, que a partir de teorías busca construir conocimiento válido y aceptado por las comunidades académicas, donde los integrantes del semillero dejar de ser un espectador pasivo para convertirse en un participante activo en relación con la generación de conocimiento. Lo cual demanda del docente la capacidad de encaminar el aprendizaje de los estudiantes hacia la comprensión del mundo y de sí mismo en permanente interrelación e interacción, aspecto que influye directamente en las prácticas educativas e investigativas de quienes la realizan (Londoño Palacio, 2011).

Al respecto Londoño (2011, p. 203) establece que “la investigación formativa es un proceso pedagógico, donde el estudiante se forma desarrollando unas competencias pertinentes y adecuadas para comprender y transformar su entorno, y el docente debe ser un facilitador de dichas competencias”.

Abordar el concepto de semilleros de investigación permite identificar el alcance de estos espacios como laboratorios que integran la investigación, docencia y extensión, dinamizando un rol activo del estudiante como protagonista de su aprendizaje, comprometido con la construcción de su propio conocimiento y de adquirir las actitudes y aptitudes propias del ejercicio de la investigación (Numa y Márquez, 2019).

3. Semilleros de Investigación creados en la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

El presente artículo muestra la dinámica de la enseñanza en Ingeniería de Minas y Metalurgia a través de la creación y consolidación de semilleros de investigación. A continuación, se presenta la sistematización de la experiencia de los semilleros que actualmente forman parte de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. A partir de lo cual, se evidencian los principales aportes de los semilleros en el ámbito de una formación integral y en la contribución del fortalecimiento de la calidad académica de los pregrados impactados por la gestión de los semilleros.

3.1 SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN ÍGNEA

El Semillero de Investigación en Minerales y Materiales IGNEA nace de la fusión del semillero de investigación en metalurgia y materiales y del semillero IGNEA, es un espacio físico y virtual conformado por estudiante de diferentes niveles formativos pertenecientes a la Facultad de Minas, Facultad de Arquitectura, grupo estudiantil American Ceramic Society - ACS Medellín y el grupo de investigación CEMATCO. Los estudiantes están congregados alrededor de un cúmulo de objetivos dentro de los cuales está la agremiación, el aprendizaje extracurricular y la cooperación mutua para fomentar actividades investigativas que promuevan el desarrollo integral de dichos estudiantes. En este espacio además busca modelar dinámicas de una región, analizando las interacciones entre los elementos del territorio y simulando procesos para la toma de decisiones sobre la gestión adecuada del territorio y sus recursos.

El Grupo del cemento y materiales de construcción y el capítulo estudiantil de la American Ceramic Society (ACS), buscan de manera articulada, desarrollar investigaciones en torno a la ciencia e innovación de materiales. Los encadenamientos productivos en la industria extractiva y la adecuada gestión de los recursos del subsuelo son el eje central para la generación de un desarrollo sostenible del territorio. La filosofía de la gestión de los recursos del subsuelo en los territorios incluye la sostenibilidad de la industria minero-energética y la gestión integral del agua y riesgos, en una investigación abierta y participativa. La secuencia metodológica valoración permite identificar la cadena de valor de recursos, procesos y productos y la ruta de los recursos en el mercado. Este análisis dimensional incluye la permanente evaluación integral del riesgo, garantía de éxito en la transformación y compensación de capitales. La articulación con los grupos de investigación está orientada al trabajo multidisciplinar y de manera articulada proyecta la visión de la ingeniería integral. Se espera que el Semillero sea el impulsador de fomento a la investigación en los estudiantes iniciales y además de ello ser una plataforma de identificación de oportunidades profesionales según las diversas líneas de la investigación.

El objetivo del semillero es promover actividades investigativas realizadas por los estudiantes orientados a la producción científica y su divulgación, con el propósito de contribuir a la formación integral de dichos estudiantes y el fortalecimiento de la relación Universidad-Sociedad-Empresa y Estado en el análisis de los procesos de la gestión de los recursos del subsuelo.

Este semillero busca crear un espacio inductivo que fortalezca y fomenta los procesos de investigación en los estudiantes y sea una plataforma para oportunidades según las líneas base del grupo de investigación. Se define como una estrategia de construcción del conocimiento, mediante la interacción de actores a partir de sus necesidades e intereses, encaminadas a generar soluciones en los territorios por medio de metodologías de innovación abierta. Además, se busca el desarrollo de herramientas y proyectos para la valoración de los capitales del territorio mediante la gestión tecnológica, la gestión de amenazas y riesgos, la siembra de conocimientos, la gobernanza, la formalización minera, la tecnificación y la industrialización con responsabilidad y sostenibilidad.

3.2 SEMILLERO INGENIERÍA DE MINAS Y METALURGIA SME - CAPÍTULO ESTUDIANTIL

El capítulo estudiantil Society of Mining, Metallurgy and Exploration - SME Medellín, es un grupo de estudiantes de las carreras de Ingeniería de Minas y Metalurgia e Ingeniería Geológica, congregados alrededor de un cúmulo de objetivos dentro de los cuales está la agremiación, el aprendizaje extracurricular y la cooperación mutua.

Este semillero se crea con el fin de posicionar de manera formal el grupo estudiantil SME dentro de la Facultad de Minas y la Universidad Nacional en general. El grupo lleva funcionando más de diez (10) años y se ha sostenido con la voluntad e interés de sus miembros que, a través del tiempo, han pasado su legado a los estudiantes de primeros semestres. Por tal razón, se considera necesario un mayor reconocimiento del grupo estudiantil para que pueda abrir nuevos caminos en la búsqueda del objetivo máximo: ayudar y acompañar a los estudiantes de Ingeniería de Minas y Metalurgia e Ingeniería Geológica en su crecimiento académico y profesional con compromiso social y trabajo mancomunado con la industria minera.

Actualmente el enfoque del grupo estudiantil SME Medellín ha pretendido tener un acercamiento a las comunidades para así descubrir de qué manera se articula la minería con las dinámicas sociales.

3.3 SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN TEACHING KIDS

"Teaching Kids" es una iniciativa educativa dirigida a jóvenes y niños de instituciones educativas, llevada a cabo por estudiantes de Ingeniería de Minas, Ingeniería Geológica e Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Colombia. Este proyecto nació en el año 2013 como respuesta a la falta de conocimiento sobre las prácticas de minería responsable en Colombia. Es liderado por el Capítulo Estudiantil SME (Society for Mining, Metallurgy and Exploration) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

El propósito es compartir conocimientos sobre las geociencias de manera didáctica y atractiva, haciendo hincapié en la importancia de la identificación del uso de los minerales en la

vida diaria y de la minería responsable y sostenible en la sociedad. En este sentido, Teaching Kids recibió el primer lugar del “*Move Mining Competition 2018*” en el marco de la conferencia anual SME MINEXCHANGE, realizada en la ciudad de Minneapolis, Estados Unidos, frente a concursantes de países como Estados Unidos, Nigeria, Sudáfrica, Perú y Filipinas, al mejor proyecto para elevar la perspectiva de la minería en las personas.

El grupo ha trabajado por llegar a más lugares y compartir con muchas más personas acerca de la importancia de los minerales y la minería en la vida diaria, trabajando principalmente con grupos de estudiantes del valle de Aburrá, a través de la iniciativa de los miembros del proyecto. Además, se ha colaborado con empresas mineras como Gramalote, Anglo Gold Ashanti en 2018 y con Mineros Aluvial en 2023, llegando a comunidades dentro de sus áreas de influencia impactando a más de 500 niños y jóvenes. En el año 2023 se realizaron 28 talleres impactando cerca de 300 niños y 500 jóvenes de las diferentes instituciones visitadas. Para el primer trimestre de 2024 se ha llegado a más de 450 estudiantes de los municipios de Andes y Cisneros en Antioquia.

3.4 SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN INGENIERIA HUMANITARIA

El semillero de Ingeniería Humanitaria tiene como objetivo integrar el trabajo sociotécnico en la Universidad y se dedica al desarrollo de soluciones ingenieriles para problemas sociales en comunidades mineras, inculcando un sentido de responsabilidad social y ética en los futuros ingenieros. Ingeniería Humanitaria se centra en el desarrollo de soluciones que provee la ingeniería y en particular la Ingeniería de Minas y Metalurgia para problemas sociales y humanitarios en comunidades afectadas por la minería. Este semillero promueve la empatía y el compromiso con el bienestar social, formando ingenieros que son conscientes de su impacto en las comunidades y que buscan implementar prácticas responsables y sostenibles.

En 2024 se convocó a un grupo de estudiantes interesados en continuar con el trabajo sociotécnico que se había adelantado con la comunidad minera de Frontino, Antioquia y así, en menos de 4 meses y con situaciones adversas académicas, el semillero se posiciona como líder

en su enfoque en la Facultad de Minas, dando ejemplo en implementar e integrar el trabajo sociotécnico.

3.5 SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN EN SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO MINERO (SESATMIN)

El semillero de investigación en Seguridad y salud en el trabajo minero (SESATMIN) fundado en el 2021 por el profesor Juan Eugenio Monsalve, se creó con el fin de generar un espacio académico que contribuya con el sector minero en temas específicos y críticos en el país en temas referentes a la seguridad y salud en el trabajo, a través de aportes de investigación, realizados a partir de trabajos de grado y proyectos académicos, logrando contribuciones que tienen un aporte e impacto significativo y el fortalecimiento de la confianza en la minería.

Hasta el presente año se ha podido ejecutar diferentes proyectos que han ayudado a lograr el objetivo, como la Norma técnica Colombiana NTC 6620 "Requisitos para la elaboración de planes de sostenimiento para operaciones mineras y obras civiles subterráneas" publicada el 19 de octubre de 2022, realizada como trabajo de grado de dos estudiantes del semillero. También la "Infografía de Prevención de accidentes geomecánicos" trabajo conjunto con el Consejo Colombiano de Seguridad, además proyectos académicos como "Caracterización de la accidentabilidad minera en Colombia", el cual se llevó el primer puesto en el primer seminario de Investigación en Recursos Minerales de la Universidad Nacional de Colombia- Sede Medellín, además también ha sido presentado en seminarios tanto a nivel nacional como internacional y trabajos conjuntos con empresas que permiten investigación como el proyecto "Tratamiento de los efectos psicosociales en los trabajadores mineros", este último trabajo junto con "NTC. requisitos para la elaboración de Planes de Ventilación para operaciones mineras y obras civiles subterráneas", se encuentran en proceso de revisión para su próxima publicación.

Actualmente, el grupo se encuentra en gestión con la Agencia Nacional de Minería para impartir por parte del grupo de seguridad y salvamento minero los cursos de promotores y coordinadores en salvamento minero. Lo anteriormente mencionado evidencia un avance, que

permite proyectar un semillero que trae una mejora en las condiciones de seguridad y salud en el trabajo en cuanto a las operaciones productivas mineras y de su entorno, como un aporte preventivo a los sucesos críticos y mortales presentados en esta industria en Colombia.

3.6 SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN ARMA: ASOCIACIÓN AMERICANA DE MECÁNICA DE ROCAS (ARMA)

Capítulo fundado en la Universidad nacional de Colombia en agosto de 2021, asociación que nace del interés en esta área del conocimiento que acoge a varios programas académicos de la facultad de minas y que busca y promueve la interacción entre especialistas, practicantes, académicos y educadores en mecánica y geomecánica de rocas en todos los aspectos, incluida la física multidisciplinaria de rocas y el avance de la tecnología de ingeniería de rocas y aplicaciones tecnológicas para ingeniería.

A lo largo de estos tres años, se ha tenido la oportunidad de crear ambientes de interacción entre estudiantes de ingeniería civil, ingeniería de minas, ingeniería de petróleos e ingeniería geológica interesados en esta área que está asociada a la construcción de túneles, recuperación de petróleo y gas, creación de ambientes óptimos de trabajo en minería y problemas socioeconómicos relacionados con la geografía. Proporcionando foros y recursos de información para nuestros miembros, organizaciones relacionadas y el público, mientras que nuestra sólida membresía estudiantil garantiza la continuidad futura.

Como parte de esta interacción se ha logrado reunir a un buen número de estudiantes que han empezado a interesarse por esta área y por ende se han realizado conferencias de gran interés para los asistentes, ya que contribuyen a su conocimiento extracurricular y en algunos casos a fortalecer conocimientos ya adquiridos, también se ha querido llegar a ellos y a quienes no conocen nada de la mecánica de rocas a través de nuestras redes sociales, siendo estas un canal de interacción de todo el público interesado.

En las publicaciones en las redes sociales se han tocado temas desde lo más básico en términos del área tal como la definición de “esfuerzo” hasta temas un poco más complejos como

“Por qué y Para qué de los ensayos de rocas y geotécnicos”. Se espera seguir creciendo, seguir contribuyendo en conocimiento e interacción de nuestros miembros con el medio de la mecánica de rocas y la geomecánica.

3.7 SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN FITOMINERÍA

Fitominería es un grupo estudiantil de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Está compuesto por estudiantes de diversos programas curriculares de toda la sede, unidos por un interés común: aprender y compartir los conocimientos de las comunidades mineras de Colombia, así como profundizar en el estudio de la flora y fauna locales.

Fitominería se fundó a mediados de 2023. Este proyecto tenía como objetivo inicial investigar cómo el mucílago del yarumo ayuda a separar el oro de las arenas negras, una técnica ancestral utilizada en el barequeo. Se realizaron visitas a comunidades mineras en el Bajo Cauca antioqueño y en el departamento del Chocó. Durante estas visitas, se aprendió de primera mano cómo se usa el mucílago en la práctica minera y descubrió que, además del yarumo, existen más de 17 plantas que las comunidades emplean en el proceso de bateo. El interés por el mucílago y su interacción con diferentes metales llevó al grupo a organizar talleres de bateo y reconocimiento de plantas. Estos talleres tienen el propósito de difundir la técnica ancestral que contrarresta el uso de mercurio en la minería artesanal.

Además de las actividades de campo, fitominería ha llevado a cabo diversas pruebas de laboratorio para entender mejor la eficacia del mucílago en la recuperación de oro. Estas pruebas incluyen ensayos al fuego, lixiviación, absorción atómica, medición de densidad y pH del mucílago, entre otros. Utilizando muestras minerales traídas de Zaragoza, Antioquia, durante una visita de campo en octubre de 2023, el grupo ha evaluado la tasa de recuperación de oro utilizando el mucílago de yarumo. Estos experimentos han proporcionado datos valiosos que respaldan la efectividad de esta técnica ancestral y han abierto nuevas líneas de investigación sobre el uso de mucílagos de otras plantas.

Se ha participado activamente en diversos escenarios académicos, incluyendo ferias de grupos estudiantiles y semilleros de investigación. La presencia del grupo en estos eventos ha sido fundamental para dar a conocer sus proyectos y resultados, así como para establecer redes de colaboración con otros investigadores y estudiantes interesados en la minería sostenible. Además, se ha participado de 2 eventos internacionales, II congreso internacional de semilleros de investigación e innovación UPAO 2023 y al 4EISI encuentro de semilleros de investigación ingeniando territorios desarrollo endógeno y organización PREXIA 2023.

El aprendizaje adquirido durante las visitas a las comunidades mineras y la realización de talleres ha llevado a fitominería a desarrollar nuevos proyectos y futuras iniciativas. Uno de los objetivos del grupo es documentar y sistematizar el uso de plantas en la minería artesanal para crear un manual que pueda ser utilizado por otras comunidades y grupos interesados. Este manual incluiría descripciones detalladas de las plantas utilizadas, métodos de extracción y preparación del mucílago, así como las mejores prácticas para su aplicación en el proceso de bateo, lo cual permitiría crear una cartilla fitominera.

3.8 SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN MINERÍA ESPACIAL

El grupo de minería espacial existe desde abril del 2021 como una de las líneas de trabajo presentes en el semillero de investigación de minerales y materiales IGNEA, el grupo nació por la pasión de los estudiantes por la minería y la exploración espacial, quienes identificaron que la exploración espacial necesita de manera fundamental la minería para aprovechar los recursos del espacio.

El grupo ha recibido estudiantes de diferentes disciplinas y ha participado de retos y congresos sobre recursos espaciales o robótica, pues son necesarios para que los estudiantes aprendan y adapten la minería a las nuevas condiciones del espacio; tal fue el ejemplo del World Mining Congress del 2023, donde presentaron un diseño para una mina de regolito en la luna, y recientemente el evento Odyssey Competition que se realizó este año 2024 en el Desierto de la Tatacoa, donde una pequeña delegación de grupo asistió y aprendió sobre los avances de robótica que se pueden realizar en el país; además, el grupo ha estado trabajando en el programa de

GLEE (Great Lunar Exploration for Everyone), desde el año 2023, aprendiendo sobre la programación de pequeños LunaSats, los cuales se esperan que puedan ser enviados en las próximas misiones Artemis de la NASA, con la participación del grupo de minería espacial UNAL en este programa, se podrá acceder a la información que estos LunaSats recopilen sobre la superficie lunar.

4. CONCLUSIONES

Los semilleros de investigación en el programa de Ingeniería de Minas y Metalurgia de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, son esenciales para la formación integral de los estudiantes, aportando en el desarrollo de habilidades específicas en investigación desde etapas tempranas, esto a través, del diseño y gestión de propuestas de investigación que propician una participación activa de los miembros.

En el contexto de la educación superior, los semilleros de investigación cumplen un papel crucial en la generación de una cultura científica, estos grupos proporcionan una plataforma para la aplicación práctica de conocimientos teóricos, la innovación en el campo de la minería y metalurgia y el desarrollo de habilidades cruciales para enfrentar los desafíos contemporáneos del sector. La participación en estos semilleros no sólo enriquece la experiencia académica de los estudiantes, sino que también los prepara para contribuir de manera significativa al avance de la industria y la sociedad en general.

En conclusión, estos espacios concebidos para la investigación formativa tienen un impacto positivo en el aprendizaje y en la construcción social del conocimiento científico. Su consolidación y expansión son esenciales para fortalecer un sistema de educación superior basado en la investigación, en el desarrollo tecnológico y la innovación, lo cual conlleva a contribuir al desarrollo de una sociedad del conocimiento, preparando a futuros profesionales capaces de liderar la innovación y el desarrollo científico en sus áreas de especialización.

Referencias bibliográficas

- González, J. (2008). *Semilleros de investigación: una estrategia formativa. Psicología. Avances de la disciplina*, 2(2), 185-190. Universidad de San Buenaventura, Bogotá, Colombia. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=297225162006>
- Hernández, U. (2005). *Propuesta curricular para la consolidación de los semilleros de investigación como espacios de formación temprana en investigación. Revista ieRed: Revista Electrónica de la Red de Investigación Educativa*, 1(2), 1-12. <http://revista.iered.org>
- Londoño Palacio, OL (2011). *Desarrollo de la competencia investigativa desde los semilleros de investigación. Revista Científica General José María Córdova*, 9(9), 187-207. Escuela Militar de Cadetes "General José María Córdova", Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476248850008>
- Numa Sanjuan, Nahín, y Márquez Delgado, Rodolfo Alfonso. (2019). *Los Semilleros como espacios de investigación para el investigador novel. Propósitos y Representaciones*, 7(1), 230-239. <https://doi.org/10.20511/pyr2019.v7n1.289>

MINERÍA Y SOSTENIBILIDAD: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LITERATURA EN EL PERIODO DE 2020 A 2024

Mining and Sustainability: A Systematic Literature Review from 2020 to 2024

*Lizeth Cristina Chatez Ortega – Grupo de Investigación Minero Ambiental - SENA.
Correo electrónico: lcchatez@sena.edu.co Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6873-3062>*

Resumen

El presente estudio busca contribuir desde la revisión de literatura especializada a la identificación y comprensión de los diversos resultados de investigación en el sector minero desde el ámbito de la sostenibilidad en el periodo de 2020 a 2024, buscando reconocer y promover un conocimiento que contribuya a una minería sostenible y ambientalmente responsable. Para lo que se identificaron cinco acciones de sostenibilidad alrededor de las cuales se planteó el referencial teórico y el análisis de resultados. Se destaca la sostenibilidad y la minería a pequeña escala como una acción de sostenibilidad emergente a partir del análisis de los documentos encontrados. Este artículo podría ser tomado como una base teórica que puede ser enriquecida, ampliada y enfocada espacialmente, con el objetivo de analizar las tendencias de minería sostenible a nivel local. Por último, de acuerdo a los hallazgos de la presente revisión, se recomienda que futuras investigaciones en el campo de la minería y la sostenibilidad se enfoquen en líneas como energías renovables y eficiencia energética, centrando los estudios en los desafíos y oportunidades del desarrollo asociado con el aumento de la minería debido a la transición energética.

Palabras clave: Revisión sistemática de literatura, minería, sostenibilidad.

Abstract

This study aims to contribute to the identification and understanding of the various research results in the mining sector in the field of sustainability in the period from 2020 to 2024, through a review of specialist literature, with the aim of identifying and promoting knowledge that contributes to sustainable and environmentally responsible mining. For this purpose, five sustainability actions have been identified, around which the theoretical framework and the analysis of the results have been proposed. Sustainability and small-scale mining are highlighted as an emerging sustainability action based on the analysis of the documents found. This article is established as a theoretical basis that can be enriched, expanded and spatially focused with the aim of analyzing sustainable mining trends at the local level. Finally, based on the results of this review, it is recommended that future research in the field of mining and sustainability focus on lines such as renewable energy and energy efficiency, centering studies on the challenges and opportunities of development associated with the increase in mining due to the energy transition.

Keywords: Education, teaching, integration. Systematic literature review, Mining, Sustainability.

1. Introducción

La extracción de recursos minerales posibilita el desarrollo económico y tecnológico en la sociedad actual, ejerciendo una alta presión en los ecosistemas y generando una huella ecológica preocupante para la conservación de la biodiversidad en el planeta. Razón por la cual la industria minera enfrenta un creciente desafío por avanzar hacia la transición de una industria extractiva sostenible. En este contexto, el presente artículo de revisión de literatura especializada tiene como objetivo identificar las principales tendencias referentes a acciones de sostenibilidad en la industria minera, buscando contribuir con el fomento de una minería orientada a minimizar el impacto ambiental.

Para abordar este objetivo, el artículo se encuentra estructurado en secciones, en la primera el referencial teórico, aporta un marco conceptual identificando acciones de sostenibilidad, con base en las cuales se desarrolla el análisis de resultados. La segunda sección referente al

procedimiento metodológico, detalla el proceso de revisión empleado para seleccionar y revisar la literatura relevante. En la tercera sección, se realiza una presentación descriptiva de los principales resultados, articulado con los hallazgos referentes a las tendencias identificadas en la literatura. La última sección concluye sintetizando los hallazgos más relevantes y realizando recomendaciones para futuros estudios en el ámbito de la minería sostenible.

Este artículo de revisión ofrece una visión del panorama en la literatura científica con relación a las principales acciones de sostenibilidad identificadas en la industria minera, estableciendo retos y oportunidades. Por último, se realizan recomendaciones para futuras investigaciones en el campo de la minería y la sostenibilidad

2. Referencial teórico

En términos generales, la minería hace referencia a la actividad industrial y económica que abarca la extracción, procesamiento y comercialización de minerales presentes en la corteza terrestre, existen diferentes tipos, como la minería a cielo abierto, subterránea, aluvión, entre otras. El sector minero aporta el 45% de la economía mundial (Minería sostenible de Galicia, 2022), los minerales extraídos son esenciales para diferentes industrias que permiten el desarrollo material de la sociedad.

No obstante, la industria minera enfrenta desafíos relacionados con diversos temas, entre los cuales se destaca la sostenibilidad. Identificar las tendencias de investigación hacia la transición de una minería ambientalmente responsable, necesariamente conlleva a estudiar esta actividad desde el ámbito de la sostenibilidad, ámbito que integra, además, aspectos tecnológicos, sociales, económicos y técnicos.

El presente estudio busca contribuir desde la revisión de literatura especializada a la identificación y comprensión de los diversos resultados de investigación en el sector minero desde el ámbito de la sostenibilidad, buscando reconocer y promover un conocimiento que contribuya a una industria sostenible y ambientalmente responsable. A continuación, se desarrollan los principales tópicos que se tendrán como base teórica del estudio.

2.1 Minería y sostenibilidad

El acelerado desarrollo de la sociedad moderna evidencia la presión que la minería extractivista ejerce sobre los recursos naturales. Como lo indican Bebbington y Bury (2010), las tensiones actuales en el sector minero se originan en tres aspectos fundamentales: la correcta gestión de la actividad minera, la gestión del agua y el desarrollo local. Un desafío adicional implica la falta de comunicación entre los sistemas de conocimiento del sector minero y los de las comunidades locales.

La literatura especializada encontrada en el presente estudio, evidencia que, en territorios, como Colombia, Venezuela, Ecuador, México, Perú, Guatemala, Chile, donde se concentran actividades de extracción minera enfrentan grandes desafíos en términos de sostenibilidad, lo cual genera conflictos sociales relacionados con el desarrollo de dicha economía extractivista. Aspecto que pone de manifiesto la necesidad de generar una discusión académica que permita identificar desde la literatura científica los aportes del sector minero al desarrollo local estableciendo los factores determinantes en la sostenibilidad de la industria minera.

De este modo, se evidencia una tendencia hacia la adopción de tecnologías y prácticas para reducir los impactos ambientales en la industria minera. Las empresas han implementado iniciativas para mitigar los impactos adversos sobre el suelo y los recursos hídricos, desarrollando dinámicas novedosas mediante programas comunitarios y ambientales. Estas iniciativas pueden incluir el respaldo a la producción agrícola, la mejora de la educación y el desarrollo de infraestructuras, entre otras (Bebbington y Bury, 2010).

Sin embargo, tales iniciativas pueden no tener el impacto esperado, tal y como lo refieren Bebbington y Bury (2010), los efectos sobre la sostenibilidad de iniciativas desarrolladas por las empresas mineras son variados, por ejemplo, los autores mencionan que una importante empresa transnacional minera tuvo que reconsiderar su programa de sostenibilidad, debido que, tras quince años de operaciones, se evidenció un impacto bastante limitado en la mejora de la sostenibilidad en las comunidades del área de influencia de la compañía.

La agenda 21 promovida por la Organización de las Naciones Unidas definió el desarrollo sostenible como la base para la gestión de los impactos humanos en el ambiente, lo cual propició que las políticas de los países mineros y las estrategias de la industria se enfocaran hacia la protección ambiental y la integración del desarrollo económico y social (Vargas, 2004).

En este contexto, en los últimos años, se han observado avances significativos en la industria minera global, en cuanto a sus objetivos de responsabilidad social, lo cual abarca la integración de las comunidades locales desde las fases iniciales de planificación de las operaciones, la implementación de procesos estratégicos en la gestión de la salud y la promoción de una cultura de seguridad industrial efectiva (Vargas, 2004).

Por tanto, es posible establecer que la minería sostenible implica la implementación de estrategias diseñadas para reducir al mínimo las repercusiones ambientales y sociales derivadas de la actividad extractiva. En este sentido, Vargas (2004), afirma que la responsabilidad social corporativa es fundamental en el establecimiento de acuerdos que en el largo plazo generen un impacto positivo en el ámbito social y ambiental del territorio intervenido.

De acuerdo con Carmona et al. (2017), la correcta gestión ambiental no solo es un aspecto de cumplimiento legal, sino que diferentes grupos de interés han motivado al sector minero a incluirlo como un instrumento que aporta a la competitividad del negocio, incorporándolo como un componente integral de la sostenibilidad minera. En tal aspecto, es importante destacar que para la pequeña minería la inclusión del concepto de sostenibilidad representa un valor agregado para sus productos y sin duda, para las grandes empresas se relaciona con el cumplimiento de compromisos adquiridos con los grupos de interés.

Por otra parte, los marcos normativos y las políticas enfocadas hacia la sostenibilidad, algunos tales como leyes de protección ambiental, normas técnicas, certificaciones y convenios globales, juegan un papel fundamental en guiar las prácticas mineras hacia estándares más responsables, propendiendo por el uso racional de los recursos, por una mayor responsabilidad social que contribuya con el desarrollo local y regional y a la consolidación de una minería

tendiente a la modernización y tecnificación de las operaciones, buscando una mayor eficiencia ambiental de los procesos (Vargas, 20004).

Por último, teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto a continuación, se presentan las acciones de sostenibilidad a abordar en la actividad minera, las cuales se identificaron en la literatura especializada consultada y la encontrada en el presente estudio.

2.2 Acciones de sostenibilidad en minería

En la actualidad se evidencia que el compromiso con la conservación de la biodiversidad se ha convertido en un componente fundamental del desarrollo sostenible para el sector minero, reconociendo cada vez más el papel crucial que juegan las empresas, los gobiernos y la sociedad civil en el desarrollo de una minería sostenible (Consejo Internacional de Minería y Metales - ICMM, 2013). En el presente tópico se abordarán tendencias referentes a acciones de sostenibilidad en minería.

Rehabilitación de Ecosistemas y Responsabilidad Ambiental: La rehabilitación de ecosistemas afectados por la minería es una prioridad creciente. Esto incluye aspectos, tales como, la restauración de la vegetación, la gestión de residuos mineros y la protección de recursos hídricos.

El Plan de Rehabilitación de las áreas afectadas por la actividad minera, como componente esencial del proyecto minero, debe incluir la identificación de los impactos ambientales, junto con las medidas mitigadoras o correctoras correspondientes. Además, debe contemplar un plan de rehabilitación del entorno alterado, un plan de seguimiento y control, y un presupuesto destinado a la gestión ambiental (Perdomo, 2023).

Esta perspectiva subraya la responsabilidad tanto de los empresarios como de los gobernantes de planificar y ejecutar acciones que remedien o mitiguen los efectos adversos de la minería. Por lo tanto, es imperativo que toda operación minera concluida garantice la rehabilitación del medio ambiente degradado (Perdomo, 2023).

La planificación adecuada del cierre de minas, la restauración ecológica de paisajes mineros degradados y la rehabilitación de ecosistemas afectados son áreas cruciales para mitigar los impactos a largo plazo de la minería. La implementación de prácticas de restauración ecológica puede restaurar la biodiversidad y la funcionalidad de los ecosistemas, asegurando que los terrenos mineros puedan ser utilizados de manera sostenible en el futuro (Jones y Smith, 2020).

Responsabilidad Social Corporativa (RSC) en empresas

mineras: La Responsabilidad Social Corporativa (RSC) ha tomado un papel central en las operaciones mineras. Las empresas en una tendencia en aumento están adoptando políticas que les permitan articularse con las comunidades locales. Trabajos de investigadores como el de Jenkins y Yakovleva (2006), destacan que una RSC efectiva puede mejorar las relaciones comunitarias y asegurar la licencia social para operar en un determinado territorio, lo cual es estratégico para la realización a largo plazo de las operaciones mineras.

En este sentido, es importante destacar que la noción de sostenibilidad incluye el desarrollo económico, protección ambiental y cohesión social. Aspectos a lograrse en la industria minera, a través, del compromiso con la mejora ambiental y socioeconómica continua (Jenkins y Yakovleva, 2006). Lo cual se logra con inversión en Ciencia, Tecnología e Investigación, generando conocimiento que contribuya al avance en la discusión académica de la explotación de los bienes comunes, mal llamados “recursos naturales”, dónde más que la generación de riqueza, debe primar la búsqueda de alternativas que contribuyan a la conservación del suelo, de la biodiversidad y del tejido social.

En muchas ocasiones la oposición social a la actividad minera se basa en el amplio conocimiento científico generado sobre los efectos negativos que trae esta actividad a un territorio, razón por la cual la industria minera tiene un alto compromiso social con el desarrollo de conocimiento que le permita transitar hacia una industria más sostenible. Al respecto, como indican Jenkins y Yakovleva (2006), la RSE es un marco conceptual útil para considerarse en el ámbito corporativo en relación a las partes interesadas.

Gestión de Residuos y Economía Circular: La gestión de residuos es un factor determinante en la minería sostenible, llevando a la industria minera a desarrollar métodos para la reutilización y reciclaje de residuos mineros, lo cual permite promover una economía circular dentro de la industria. Estudios de autores como Lenis et al. (2023), han examinado la viabilidad de reutilizar residuos de la minería para la fabricación de materiales de construcción, lo que no solo contribuye a reducir el impacto ambiental, sino que también aporta valor económico a los residuos generados (Lenis et al, 2023).

Los enfoques innovadores para la gestión responsable de los residuos mineros y la conservación de recursos demandan necesariamente avances en la ciencia que permitan perfeccionar las técnicas de tecnologías existentes e impulsar el desarrollo de soluciones que contribuyan realmente a mitigar el impacto ambiental de la actividad minera. En ese sentido, otro estudio como el de Hamraoui et al. (2024), aborda la temática referente al reciclaje de agua, la cual es destacada como una solución fundamental en la conservación del recurso hídrico, además contribuyendo a mitigar riesgos a largo plazo.

Energías Renovables y Eficiencia Energética: Promover un enfoque en el sector minero que incremente de forma significativa su inversión en energías renovables y tecnologías de eficiencia energética en sus operaciones, como por ejemplo, fuentes de energía solar, eólica y geotérmica, contribuirá en la reducción de la dependencia de la industria minera de combustibles fósiles, cambio que no solo disminuye la huella de carbono, sino que también puede reducir costos a largo plazo. Investigaciones como las de Igogo et al. (2021), han mostrado que la adopción de energías renovables en minería es una estrategia efectiva para mejorar la sostenibilidad ambiental y económica de las operaciones mineras (Igogo et al., 2021).

Por otra parte, los minerales extraídos a partir de la actividad minera posibilitarán el desarrollo de tecnologías verdes que apunten a sistemas energéticos eficientes, lo cual evidencia la urgencia de abordar los desafíos asociados con una industria minera ambientalmente responsable. Las tecnologías de energía renovable dependen de la extracción de aproximadamente 30 minerales prioritarios (USAID, 2021).

De acuerdo con el informe de la US Agency for International Development – USAID (2021), existen estudios exhaustivos sobre las proyecciones de oferta y demanda de minerales, pero pocos estudios se han centrado en los desafíos y oportunidades de desarrollo asociado con el aumento de la minería debido a la transición energética, lo cual podría aumentar dramáticamente los impactos negativos asociados a las acciones mineras, entendiendo que la actividad minera se caracteriza por la diversidad de intereses de varios actores en cadenas de valor complejas y globales.

Automatización, Digitalización y Analítica Avanzada en la Minería: La implementación de tecnologías ha permitido a las empresas mineras mejorar la eficiencia operativa, reducir costos, minimizar el impacto ambiental, mejorar la seguridad y generar valor al proyecto. La transición hacia una actividad minera sostenible necesariamente requiere la integración de procesos de automatización, digitalización y analítica avanzada, lo cuales otorgan herramientas que optimizan y brindan parcialmente una independencia a la operación (Torres et al., 2021).

Nuevas tecnologías como la robótica, la inteligencia artificial o el aprendizaje automático, no solo optimizan los procesos de extracción, sino que también contribuyen en toda la etapa del proceso minero, desde la explotación, extracción, hasta el procesamiento y transporte de minerales.

Investigadores como la de Torres et al. (2021), han destacado cómo la implementación de estas herramientas contribuye en la productividad y la sostenibilidad de las operaciones mineras, a través, del control de operaciones, modelamiento geológico, planeamiento de minas, levantamiento topográfico por drones y análisis de minerales, optimizando de esta forma la productividad, rentabilidad y seguridad en la industria minera (Torres et al., 2021).

3. Procedimiento metodológico

Esta investigación se concibe a partir del análisis del perfil de las publicaciones realizadas en los últimos 4 años con respecto a las tendencias de sostenibilidad ambiental en la industria minera en el período de tiempo 2020 a 2024. Para la recolección de datos en el presente estudio se tomaron fuentes de alta relevancia académica, teniendo como base la realización de una investigación bibliográfica.

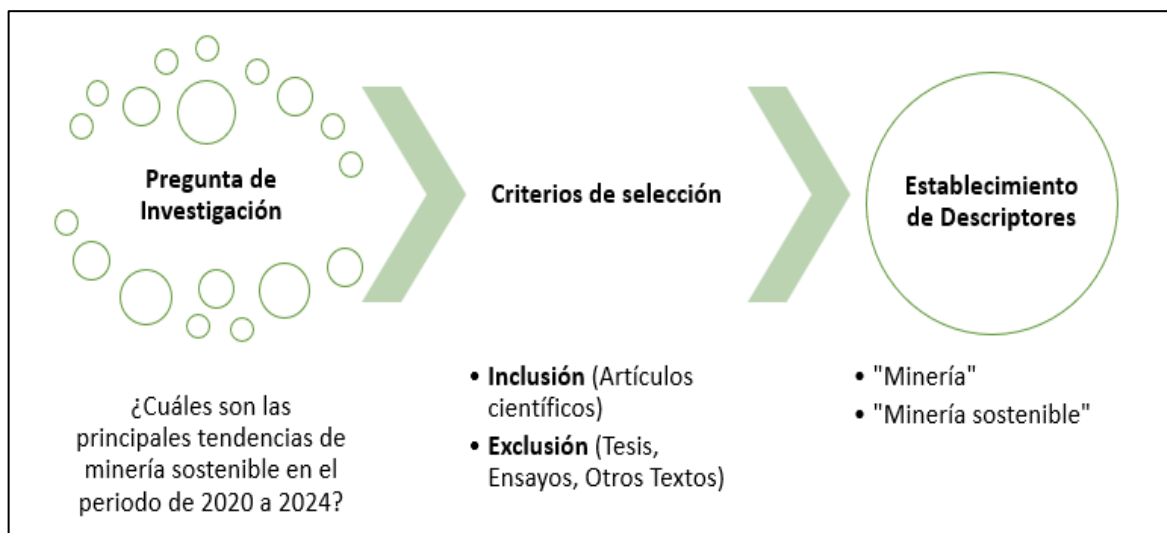
La investigación bibliográfica se puede definir como la recopilación de documentos disponibles sobre un tema específico, que contienen información, ideas, datos y evidencia escrita desde un punto de vista particular. Esta recopilación permite evaluar de manera eficaz los documentos seleccionados en relación con la investigación que se pretende desarrollar (Hart, 1998).

Para el mencionado propósito se parte de una revisión sistemática de literatura, la cual es definida por Cronin et al. (2008), como una investigación exhaustiva que, a diferencia de una revisión tradicional o narrativa, utiliza un enfoque más riguroso para revisar la literatura en una temática específica. Razón por la que la descripción metodológica de la recuperación de los documentos cobra importancia en el presente apartado.

En este contexto, es importante describir el proceso de recuperación de los estudios incluidos en la presente revisión. La Figura 1 muestra los aspectos más relevantes del proceso metodológico empleado.

Figura 1

Proceso Metodológico Revisión Sistemática de Literatura



Nota. Elaboración propia.

Como se evidencia en la figura anteriormente presentada, inicialmente, se formuló la pregunta orientadora que guió la investigación hacia la identificación de las tendencias en minería sostenible durante el periodo 2020-2024. En este sentido, vale resaltar que la identificación de estas tendencias es un proceso estratégico que permite establecer y analizar los resultados de diversas investigaciones en el sector minero desde una perspectiva de sostenibilidad. Este enfoque no solo facilita la comprensión de los avances y desafíos en el ámbito minero, sino que también promueve la generación de conocimiento orientado a optimizar las prácticas en la industria minera, contribuyendo a su alineación con principios de responsabilidad ambiental y desarrollo sostenible.

Posterior a la pregunta de investigación, se definieron criterios de selección y se establecieron los descriptores empleados en la búsqueda. Cabe destacar que la revisión sistemática de la literatura se llevó a cabo entre el 3 de mayo y el 28 de junio de 2024. La búsqueda de los documentos se realizó en base de datos como, Google Académico, Proquest, Web of science y Science Direct, obteniendo un total de 231 artículos encontrados. En la tabla 1,

presentada a continuación, se evidencia el descriptor utilizado, las bases de datos seleccionadas y la cantidad de documentos encontrados en relación a cada uno de los descriptores y repositorios utilizados.

Tabla 1

Descriptor utilizado, base de datos y número de trabajos encontrados.

Descriptor	Base de datos	Número de trabajos encontrados Minería	Número de trabajos encontrados Minería sostenible
Minería	Google académico	67	
Minería sostenible	Google académico		1
Minería	Proquest	81	
Minería sostenible	Proquest		3
Minería	Web of Science	32	
Minería sostenible	Web of Science		12
Minería	ScienceDirect	12	
Minería sostenible	ScienceDirect		10
Minería	Scopus	12	
Minería sostenible	Scopus		1
Total		204	27
		231	

Nota: Datos de la investigación, 2024.

Una vez recuperados los 231 documentos, estos se revisaron teniendo en cuenta aspectos, tales como: el período de publicación (2014-2020), artículos que respondieran a la temática a abordar y la precisión de los temas tratados, permitiendo de esta forma definir con claridad los tópicos centrales del referencial teórico, de los que se realizó un desarrollo con el objetivo de alcanzar una investigación clara y acertada.

De los 231 artículos encontrados, 50 estudios fueron seleccionados. Selección basada en la revisión de aspectos como el título, resumen, palabras claves e introducción. Por último, se destaca que los descriptores incluidos necesariamente debían aparecer en los tópicos revisados de los artículos seleccionados, principalmente en el título y el resumen del documento. Al respecto, los criterios de inclusión y exclusión permitieron analizar de forma más sucinta el panorama reciente de las investigaciones científicas en el campo de estudio de interés para el presente artículo.

4. Presentación de resultados

El presente estudio muestra el conocimiento generado referente a las principales tendencias de minería sostenible en el período de 2020 a 2024 en la literatura científica, lo cual contribuye con investigadores y formuladores de políticas públicas para tomar decisiones con un sustento teórico.

En este contexto, la generación de conocimiento desde el ámbito académico es de vital importancia en el sector minero, esto si se busca demostrar con argumentos científicos a los grupos de interés como la academia, la comunidad y organismo gubernamentales que la actividad minera se encuentra de forma constante en proceso de transición y que es posible realizarla bajo parámetros de sostenibilidad.

Al respecto, es importante destacar que lograr que las economías mineras apoyen la sostenibilidad implica enfrentar diversos retos, cuyas características subrayan la importancia de integrar la investigación básica y aplicada, junto con el conocimiento producido de forma conjunta con actores locales (Bebbington y Bury, 2010). Este enfoque necesariamente debe integrar los principios del desarrollo sostenible, abarcando la administración responsable de los recursos, la disminución de emisiones contaminantes, la restauración de los ecosistemas afectados y el fomento del bienestar en las comunidades locales.

A continuación, se presenta el contexto de las publicaciones analizadas, los estudios encontrados y la discusión de las investigaciones más relevantes incluidas en la presente revisión.

4.1 Contexto de las publicaciones analizadas

En la tabla 2, presentada a continuación se muestran los hallazgos de la investigación, identificando los artículos encontrados en relación a los autores, el título y la temática central; además, ampliando el panorama de cada uno de los estudios, los cuales son identificados con un número (No) para posteriores análisis.

Tabla 2

Estudios seleccionados.

No	Autor(es)	Título	Asunto principal/Objeto de estudio
1	Oswaldo Aduvire	Gestión ambiental en minería: certificaciones para iniciar y Finalizar la actividad minera	Identificación de los instrumentos de gestión ambiental de mayor implicancia en el desarrollo de actividades mineras.
2	Wiliam Aguilar Baldosea, Isabel Cristina López Ramírez, Leydi Yhona Chávez Mosquera, Leyser Rengifo Murillo, Julio Cesar Halaby Guerrero	Efecto de la minería en macro invertebrados acuáticos de la Ciénaga plaza seca, Atrato, chocó	Determinar el efecto de la contaminación minera aurífera en la ciénaga Plaza Seca, cuenca Media del Atrato, Chocó, Colombia.
3	José Rafael Lozada, Lionel Hernández, Yrma Andreina Carrero	Amenazas en el Parque Nacional Canaima y áreas protegidas por la minería indígena ilegal en Venezuela	Análisis de la minería indígena ilegal y sus consecuencias, en el Parque Nacional Canaima y otras áreas protegidas
4	Francisco Alonso Requielme Paladines, Nancy Marlene Vera Zhuma	La minería a gran escala y su incidencia en la recaudación tributaria: El caso de la Provincia de Zamora Chinchipe-Ecuador	Examina la incidencia de la explotación minera a gran escala en la provincia de Zamora Chinchipe sobre la recaudación tributaria nacional en Ecuador
5	Gabriela Carolina Higido Ferrer, Camilo Andrés Baquero Castilla, Karina Paola Torres Cervera, Adriana Carolina Royero Ibarra, Yecid Gafit Acevedo Duran	Eficiencia del uso de las especies como (Gramíneas y Fabáceas) en suelos disturbados por minería de arcilla en la mina "El cielo" corregimiento de Valencia de Jesús-Cesar	Implementar de diferentes especies para evaluar la eficiencia de estas en suelos disturbados por la minera de arcilla.
6	Claudia X. Martínez, Edier H. Pérez, José A. Gall	Impacto de la minería de oro sobre las principales propiedades del suelo en el noroccidente del departamento del Cauca, Colombia.	Determinar las propiedades físicas y químicas de los suelos seleccionados en sitios explotados con actividades mineras, se determinaron los cambios respecto a un suelo no intervenido (Estrato Alto), la calidad del suelo y su potencial uso agrícola.
7	Gloria Catalina Gheorghe	Modelo en la prevención y mitigación de explosiones de metano y polvo de carbón en la minería subterránea	Presentar un modelo de gestión con el propósito de prevenir y mitigar las explosiones subterráneas en la minería de carbón.
8	Luz Adriana Muñoz Duque, Mauricio Alexander Arango, Mauricio Hernando Bedoya Hernández	La formalización neoliberal en minería. Ruta de precarización de los pequeños mineros en Colombia	Comprender el proceso de formalización minera en Colombia como una estrategia de gobierno
9	Mariana Ramírez Herrera, Eduardo Rodríguez Gutiérrez, Alicia Monserrath Gutiérrez Mauricio, Juan Armando Flores de la Torre	Minería: salud en riesgo y pobreza en Fresnillo, Zacatecas	Ofrecer una aproximación a los efectos de los metales pesados en la salud humana, presentar evidencia sobre esta contaminación en espacios agrícolas, así como destacar la escasa relación que existe entre la minería como actividad económica y el bienestar producido sobre las comunidades donde se asienta.
10	O'Niell R. Tedrow, Peter F. Lee	Uso del Arroz Silvestre (Zizania palustris L.) en Bioensayos a Escala de Arrozal para Evaluar el Uso Potencial de Agua Influenciada por la Minería para Riego.	Evaluar el uso potencial de aguas con niveles elevados de sulfato influenciados por la minería con concentraciones bajas o no detectables de metales para el riego de arroz silvestre, una especie de gran importancia cultural y económica.
11	Ángel Alejandro Brugés Burgos, Danny Daniel López Juvinao	Innovación tecnológica en la minería de arcilla del departamento de la Guajira, Colombia	Analizar la innovación tecnológica existente en la minería de arcilla en los municipios de Riohacha y Manaure en La Guajira, Colombia

12	Sarah Doyle, Linda Figueroa	Eliminación de molibdeno del agua afectada por la minería mediante sorción en lodos ricos en manganeso	Evaluar el potencial de eliminación de molibdeno mediante sorción en lodos ricos en manganeso de una planta de tratamiento de agua de mina que utiliza cal para eliminar metales a Ph 10.
13	Haijun Xie, Jingrui Li, Zhiqiang Li, Sheng Li	Análisis de las características de influencia y efecto de corrección del método de corriente continua en la detección avanzada de la cavidad de la calzada en minería	Se analizó el principio de detección avanzada, que está basado en el modelo físico esférico, a través de métodos de "análisis comparativos" y "simulados" a través del software Cosmol Multiphysics.
14	Paloma Ortega Arriaga, Carlos Andrés López Morales, Karina Caballero Güendulain, Alfredo Ortega Rubio	Minería versus conservación de servicios ecosistémicos: el caso de Sierra La Laguna	Ofrece una valoración económica de la pérdida de servicios ecosistémicos asociada a la operación de un proyecto minero a tajo abierto en la Reserva de la Biósfera Sierra La Laguna
15	Hao Tan, Xuexiang Yu, Mingfei Zhu, Shenshen Chi, Chao Liu, Hengzhi Chen	Estudio sobre deformaciones de amplia gradiente en áreas de minería con base en tecnología InSAR-PEK	Para resolver la deformación de amplia gradiente en las áreas donde no está disponible la información SAR (del inglés Synthetic Aperture Radar), se propuso un método que combina el modelo PIM Exponent Knothe (PEK) y tecnología InSAR (InSAR-PEK) para pronosticar la subsidencia inducida por la operación y obtener dinámicamente la deformación de amplia gradiente.
16	Danny Daniel López Juvinao, Fabio Orlando Moya Camacho, Carlos Alberto Socarras Bertiz	Estrategias ambientales para el control de los impactos en la minería de arcilla en la Guajira, Colombia	proponer estrategias para controlar los impactos ambientales generados por la minería de arcilla en La Guajira, Colombia.
17	Josaly Moreno, Beatriz Barraza Amador, Laura Osorno Bedoya, Nelson Walter Osorio Vega, Ana Medina Buelvas	Efecto de la inoculación con microorganismos promotores del crecimiento vegetal en suelos degradados de minería aluvial	Mejorar el crecimiento y la adaptación de <i>Leucaena leucocephala</i> en suelos degradados por minería aurífera de aluvión del municipio de Istmina, Chocó-Colombia, mediante la inoculación con <i>Azospirillum brasilense</i> , <i>Mortierella</i> sp. y <i>Rhizoglosum fasciculatum</i> .
18	Efraín Casadiego Quintero, Wilmar Gómez Ríos, Edgar R. Monroy, Jeniffer L. Sanchez Londoño	La minería de oro sostenible: implicaciones del uso de los residuos como agregado para hormigón	En este estudio, por medio de la petrografía y la difracción de rayos X se encontró un contenido importante de sílice proveniente de cuarzo, plagioclasas y micas. El contenido moderado a alto de cuarzo y la selección granulométrica influyen en los buenos resultados de la resistencia a la compresión para utilizar el agregado como base o subbase o para concreto.
19	Héctor Javier Fuentes López, Cindy Carolina Ferrucho Parra, William Alexander Martínez González	La minería y su impacto en el desarrollo económico en Colombia	Se examina el proceso histórico de la minería en Colombia, con el ánimo de comprender su trascendencia y su correlación espacial con variables sociales.
20	Jeffer Darío Buitrago Betancourt	Minería, comercio internacional e impactos ambientales en el páramo El Rabanal de Samacá, Boyacá	Se analizan algunos efectos e impactos ambientales derivados del incremento coyuntural de la producción carbonífera en el páramo El Rabanal durante la última década.
21	Cristina Espinosa	Conocimiento como causa y medio de resistencia a la minería de gran escala: casos heurísticos del Ecuador	Argumentar cómo la producción de conocimiento se ha convertido en una práctica central en los procesos de resistencia y oposición a proyectos mineros de gran escala.
22	Roger Merino, Carlos Quispe Dávila	¿Héroes, víctimas o villanos? Defensores ambientales, minería y securitización de la Amazonía peruana	Analizar el rol ambivalente de la securitización: por un lado, como un componente esencial del desarrollo económico al resguardar las actividades que ayudan a reducir la pobreza; y, por otro lado, como fundamento para proteger a personas especialmente expuestas a riesgos en sus derechos humanos, individuales y colectivos.

23	David Madrigal González, Valeria Guarneros Meza	Responsabilidad social empresarial en la minería de Cananea, Sonora, y Cerro de San Pedro, San Luis Potosí	El propósito de este trabajo es la elaboración de un marco conceptual comparativo que ayude a entender cómo, en México, la responsabilidad social empresarial se entreteje con el paradigma extractivista.
24	Yordán Rodríguez Ruíz, Elizabeth Pérez Mergarejo, Walter Alejandro Barrantes Pastor	Procedimiento para la prevención de desórdenes musculoesqueléticos: aplicación en trabajos de minería subterránea	La incidencia y prevalencia de los desórdenes musculoesqueléticos de origen laboral es en la actualidad uno de los desafíos más importantes que enfrenta el sector minero. En este trabajo se propone un procedimiento para prevenir estas enfermedades, sustentado en la participación activa de los trabajadores.
25	Orlando Gahona Flores	Valoración de la calidad en la cadena de suministro de la minería del cobre en Chile	El objetivo de esta investigación es generar nuevo conocimiento sobre la valoración de la calidad en la cadena de suministro de la minería del Cobre localizada en la región de Antofagasta en Chile, a través de la información obtenida en la aplicación de una encuesta a directivos de las compañías mineras.
26	Jorge Eliecer Mariño Martínez, Rubén Darío Chanci Bedoya, Angélica Julieth González Preciado	Emisiones de metano de la minería del carbón a cielo abierto en Colombia	Se analiza la medición realizada por Colombia respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por las emisiones de la minería de carbón.
27	Jeffer Darío Buitrago Betancourt	Minería, comercio internacional e impactos ambientales en el páramo El Rabanal de Samacá, Boyacá	Analizar algunos efectos e impactos ambientales derivados del incremento coyuntural de la producción carbonífera en el páramo El Rabanal durante la última década.
28	Danilo Arturo Velilla Avilez, Oscar Jaime Restrepo Baena	Oportunidades para la formulación de un modelo de negocio sostenible en torno a la minería aurífera informal a pequeña escala	Este artículo se enfoca en trabajar bajo la línea de la sostenibilidad en proyectos de minería informal de oro a pequeña escala, específicamente en Colombia.
29	Shuilin Wang, Songyong Liu, Fanping Meng	Diagnóstico de fallas de engranajes y cojinetes para equipos de minería de carbón en entornos geológicos complejos	Propone un nuevo método de investigación del mecanismo de diagnóstico de fallas en engranajes y cojinetes para equipos de minería de carbón.
30	Sara Lucía Domínguez Rave, Laura Cristina Torra Ruiz, Lady Rocío Romero Bejarano, Yolanda Lucía López Arango	Valoración participativa de impactos socioambientales y sanitarios en minería de oro: Buriticá (Antioquia), Colombia	Conocer la valoración que habitantes de Buriticá, Antioquia, hacen de los impactos socioambientales y sanitarios por la actividad minera aurífera en la región.
31	Wilson Vilela Pincay, Marbelle Espinosa Encarnación, Ana Bravo González	La contaminación ambiental ocasionada por la minería en la provincia de El Oro	Identificar el nivel de participación social en el cuidado y preservación por la naturaleza.
32	Orlando Gahona Flores	Criterios de selección de proveedores sostenibles en la cadena de suministro de la minería del cobre en Chile	Identificar los criterios para la selección de proveedores sustentables en la cadena de suministro de la minería del cobre ubicada en la región de Antofagasta en Chile, a través de la información obtenida de la aplicación de una encuesta a ejecutivos de todas las empresas mineras de la región de Antofagasta.
33	Jorge Armando Tarra Almarino, Oscar Jaime Restrepo Baena	Diversificación económica y creación de contenido local en el marco del desarrollo de la minería aurífera en Colombia	Se hace una revisión corta y precisa del ambiente para hacer negocios en Colombia con base al estudio "Doing Business" realizado anualmente por el Banco mundial, donde se mide el comportamiento de las economías con relación a la facilidad de desarrollan los proyectos minero-auríferos.
34	Claudia Catalina Estrada Montoya, Narmer Fernando Galeano Vanegas, Gloria María Restrepo Franco	Evaluación de la remoción de cianuro y metales pesados en efluentes líquidos provenientes del beneficio de oro de la pequeña minería, mediante adsorción con carbón activado y peróxido de hidrógeno en Segovia, Antioquia	Evaluar la remoción de cianuro y metales pesados, en efluentes líquidos del beneficio de oro, mediante la adsorción con carbón activado y peróxido de hidrógeno.

35	Adrián Raúl Restrepo Parra	La elusiva seguridad humana del Tratado de Libre Comercio Colombia-Canadá. La minería en el municipio de Buriticá, Antioquia	Este artículo aporta elementos de evaluación del Tratado de Libre Comercio (TLC) Colombia-Canadá a partir del estudio de la implementación de la minería en el municipio de Buriticá, departamento de Antioquia, donde la empresa Continental Gold dirige la explotación de una de las minas de oro más importantes del país.
36	Nicolás Pardo, Guillermo Penagos, Mauricio Correa y Esperanza López	Desarrollo de morteros de bajo impacto ambiental a partir de residuos sílico-aluminosos activados alcalinamente del sector minero	Se generaron morteros a partir de residuos mineros activados alcalinamente.
37	Sol`ene Rey Coquais	Experiencia territorial y la creación de normas globales: Cómo la mesa de diálogo de Quellaveco cambió las reglas del juego de la regulación minera en Perú.	Analizar La experiencia de Quellaveco en relación a un nuevo estándar para la gobernanza minera.
38	Fernando Campos Medina, Ivan Ojeda Pereira, Joao Guzmán, Valentina Rodillo Aspillaga, Javier Santibáñez Ferreira	¿Qué investigamos cuando investigamos sobre relaves mineros en Chile? Un enfoque interpretativo	Este artículo describe el estado actual de la investigación sobre depósitos de relaves en Chile a través del análisis de publicaciones académicas.
39	Jorge Salem, Khyati Thakkar, Yash Amonkar, Nicolas Maennling, Upmanu Lall, Luc Bonnafous	Un análisis de Perú: ¿Está el agua impulsando los conflictos mineros?	Este artículo utiliza Perú como estudio de cas para explorar los factores que impulsan el conflicto social con un énfasis particular en el papel del acceso al agua.
40	Aaron Malone, Linda Figueroa, Weishi Wang, Nicole M. Smith, James F. Ranville, David C. Vuono, Weishi Wang, Francisco D. Alejo Zapata, Lino Morales Paredes, Jonathan O. Sharp, Christopher Bellona	Dinámicas de transición del procesamiento con mercurio al procesamiento con cianuro en la minería de oro artesanal y de pequeña escala: Consideraciones sociales, económicas, geoquímicas y ambientales.	Este artículo utiliza un enfoque transdisciplinario que combina las ciencias naturales y sociales para identificar los impactos del procesamiento del oro con mercurio y cianuro.
41	Rosa J. Spalding	Las políticas de implementación: movimientos sociales y la implementación de políticas mineras en Guatemala	Este estudio examina la manera en que los movimientos antiminereros guatemaltecos se relacionaron con la burocracia estatal durante el proceso de implementación de políticas.
42	PERLA SHIOMARA DEL CARPIO OVANDO	Factores psicosociales de riesgo de la minería artesanal del ámbar de Simojovel, Chiapas	Este artículo tiene como objetivo identificar y analizar factores psicosociales de riesgo de la minería artesanal del ámbar que realiza la población tsotsil de Simojovel, Chiapas, México.
43	Marcelo Jara ruiz caroline StaMM	Emociones y activismo ambiental en la gran minería. Análisis de un proyecto de minería de cobre en la Región Metropolitana de Santiago, Chile	El artículo aborda, desde la perspectiva afectiva de los activistas ambientales, el conflicto asociado a un proyecto minero, cuyos impactos de gran escala en un contexto de cambio climático y escasez hídrica, generan una amenaza ambiental para los habitantes de la Región intervenida.
44	Germán Santacruz de León, Daniel Jacobo Marín, Gabriela Rodríguez Cárdenas	La minería metálica y sus efectos en el acceso al agua en comunidades rurales de Zacatecas, México. Una perspectiva centrada en la desigualdad.	El artículo analiza la extracción de minerales metálicos en Zacatecas (México) y sus efectos en el acceso al agua en comunidades rurales.
45	Ángel Carmelo Prince Torres	La minería ilegal como mecanismo de vulneración a los derechos ambientales en Latinoamérica durante tiempos de pandemia	Este artículo analizó la vulneración de derechos ambientales por causa de la minería ilegal en pandemia dentro de Latinoamérica.

46	Weichi Chen, Wenping Li, Zhi Yang, Qiqing Wang	Análisis de la variación del nivel freático inducida por la minería y los beneficios potenciales para la vegetación ecológica: un estudio de caso de la mina de carbón Jinjitan en el área minera de Yushenfu, China	En este estudio, se investigaron la variación del nivel del agua freática y sus efectos ecológicos mediante pruebas in situ y teledetección.
47	Levi Campos, Cristian Mardones	Una evaluación económica de los daños a la salud y a la agricultura causados por la minería del cobre en Chile.	Este estudio evalúa el daño ambiental causado por la minería del cobre en los cuerpos de agua superficiales en Chile.
48	Matthew M. Jones, Robert L Runkel, Diane M. McKnight	¿Remediar o no? Identificación de fuentes en un arroyo con drenaje ácido de mina, Warden Gulch, Colorado	Se implementó un estudio sinóptico de la calidad del agua en Warden Gulch, un arroyo de cabecera afectado por metales que provienen tanto de fuentes naturales como de fuentes impactadas por la minería.
49	Faith Furaha Mlewa, Mary Nelima Ondiaka,	Contaminación del Agua Superficial Cerca de una Zona de Minería de Oro Artesanal: el Caso de la Mina Macalder, Kenia	Este estudio investigó la contribución de las actividades de minería y procesamiento de oro artesanal en la mina Macalder, Kenia, a los niveles de hierro (Fe), cobre (Cu), plomo (Pb), zinc (Zn) y níquel (Ni) en el agua potable del cercano arroyo Macalder y el río Kuja.
50	Georgios Louloudis, Christos Roumpos, Eleni Mertiri, Francis Pavloudakis, Konstantinos Karalidis	Datos e Índices de Teledetección para Apoyar la Gestión del Agua: Un Enfoque Holístico Post-minería para la Minería de Lignito en Grecia	Esta investigación propone un enfoque integrado para evaluar el perfil hidrológico de una gran y compleja zona de minería a cielo abierto de lignito, basado en datos de teledetección.

Nota: Datos de la investigación, 2024.

La tabla 1 realizada a partir de los trabajos seleccionados es relevante para mostrar el panorama, a investigadores interesados en esta área, sobre los artículos identificados en el presente estudio. De forma relacionada, en la tabla 2, se presenta el origen de las publicaciones identificando las instituciones a la cual pertenecen los autores, el lugar de donde proviene la publicación en términos geográficos y la revista científica donde se publicaron los artículos de investigación incluidos en la presente revisión.

Tabla 2

Instituciones, lugar y revista científica de publicación.

No	Institución	Lugar	Revista científica
1	Facultad de Ciencias e Ingeniería. Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP)	Perú	Revista de medio ambiente minero y minería – Bolivia
2	Centro de investigación en biodiversidad y habita Universidad Tecnológica del Chocó	Colombia	Revista politécnica – Colombia
3	Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Instituto de Investigaciones para el Desarrollo Forestal (INDEFOR)	Venezuela	Revista Geográfica Venezolana
4	Universidad Técnica Particular de Loja-Ecuador	Ecuador	La Revista Económica (RVE) de Ecuador
5	Universidad Popular del Cesar	Colombia	Revista politécnica – Colombia
6	Universidad del Cauca	Colombia	Suelos ecuatoriales – Colombia
7	Servicio Nacional de Aprendizaje SENA	Colombia	Revista Ruta Minera – Colombia
8	Universidad de Antioquia	Colombia	Revista CS – Colombia

9	Universidad Autónoma de Zacatecas	México	Revista RELIGACIÓN de Ciencias Sociales y Humanidades - Ecuador
10	Vermilion College	Estados Unidos	Mine Water and the Environment -Revista de la Asociación Internacional de Agua de Minas (IMWA)- Estados Unidos
11	Universidad de La Guajira, Colombia	Colombia	Revista de Ciencia y Tecnología de las Américas – Interciencia –Venezuela
12	Escuela de Minas de Colorado	Estados Unidos	Mine Water and the Environment -Revista de la Asociación Internacional de Agua de Minas (IMWA)- Estados Unidos
13	Facultad de Geología y Medio Ambiente, Universidad de Ciencia y Tecnología de Xi'an	China	Earth Sciences Research Journal UNAL – Colombia
14	Facultad de Economía de la Universidad Nacional Autónoma de México	México	Economía, Sociedad y Territorio -México
15	Escuela de Geomática, Universidad de Ciencia y Tecnología de Anhui, Huainan	China	Earth Sciences Research Journal UNAL – Colombia
16	Universidad de La Guajira, Colombia	Colombia	Revista de Ciencia y Tecnología de las Américas - Interciencia – Venezuela
17	Universidad Libre	Colombia	Revista Acta Agronómica -Colombia
18	Fundación Universitaria Agraria de Colombia	Colombia	Revista Inventum - Colombia
19	Universidad Distrital Francisco José de Caldas	Colombia	Revista Apuntes del CENES – Colombia
20	Universidad Nacional de Colombia	Colombia	Revista INTROPICA – Colombia
21	Instituto de Ciencias Sociales Ambientales y Geografía de la Universidad de Friburgo	Alemania	Revista de Ciencias Sociales ICONOS
22	Universidad del Pacífico - Universidad Nacional Mayor de San Marcos	Perú	Revista Uniandes Latin American Law Review – Colombia
23	El Colegio de San Luis, San Luis Potosí - Montfort University, Leiceste	México	Revista de Ciencias Sociales DESACATOS -México
24	Universidad de Antioquia, Universidad Pontificia Bolivariana, ABSP Consultoría y Capacitación EIRL	Colombia	Revista DUAZARY – Universidad del Magdalena Colombia
25	Universidad de Antofagasta	Chile	BOLETIN DE CIENCIAS DE LA TIERRA - Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín
26	Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia	Colombia	Revista DYNA -Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín
27	Universidad Nacional de Colombia	Colombia	Revista INTROPICA – Colombia
28	Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín	Colombia	BOLETIN DE CIENCIAS DE LA TIERRA - Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín
29	Escuela de Ingeniería Mecatrónica, Universidad de Minería y Tecnología de China	China	Earth Sciences Research Journal UNAL – Colombia
30	Universidad de Antioquia	Colombia	Revista Facultad Nacional de Salud Pública - Universidad de Antioquia - Colombia
31	Universidad Técnica de Machala	Ecuador	Revista Internacional de Administración
32	Universidad Católica del Norte	Chile	Revista Ingeniería e Investigación – Universidad Nacional de Colombia
33	Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín	Colombia	BOLETIN DE CIENCIAS DE LA TIERRA - Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín
34	Universidad de Manizales, Universidad Católica de Manizales	Colombia	Revista DYNA -Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín
35	Universidad de Antioquia	Colombia	Revista de Estudios Políticos - Universidad de Antioquia Colombia
36	Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Universidad Politécnica de Cataluña, Universidad de Antioquia	Colombia	Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio – España
37	Escuela Doctoral en Geografía de París	Francia	The Extractive Industries and Society - Reino Unido
38	Universidad de Chile	Chile	The Extractive Industries and Society - Reino Unido
39	Universidad de Cumbria	Estados Unidos	Resources policy - Reino Unido

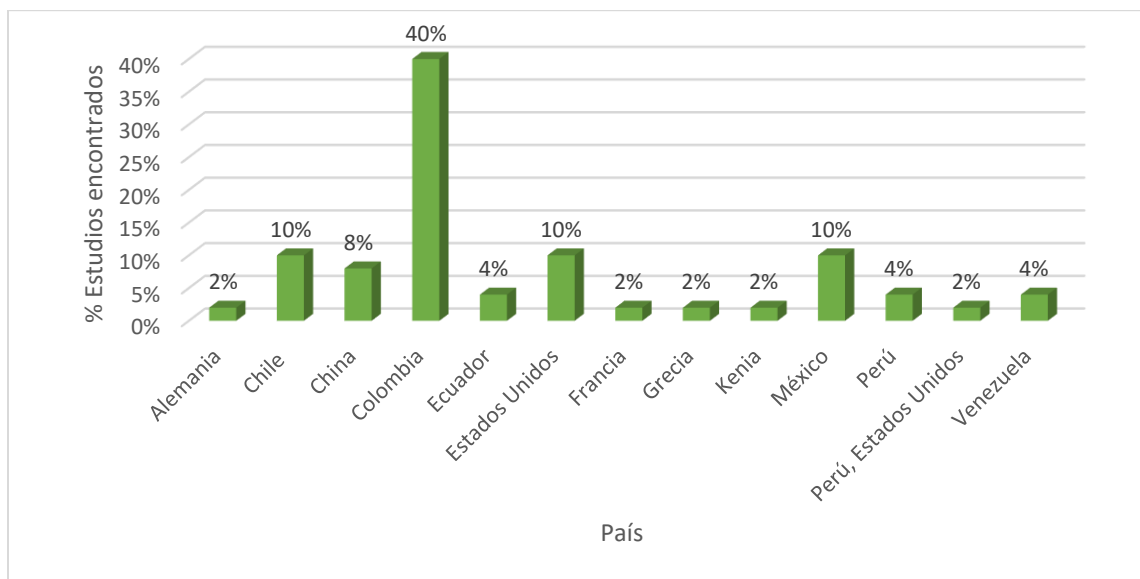
40	Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Escuela de Minas de Colorado	Perú, Estados Unidos	Science of the Total Environment
41	Departamento del Ciencias Políticas, Universidad de Paul	Estados Unidos	The Extractive Industries and Society
42	Universidad de Guanajuato, Campus Celaya-Salvatierra	México	Revista Culturales – México
43	Universidad Central de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile	Chile	Revista Austral de Ciencias Sociales - Chile
44	El Colegio de San Luis, México, Universidad de Jaén, España	México	Revista Población y Sociedad - Argentina
45	Instituto Universitario Pedagógico "Monseñor Rafael Arias Blanco"	Venezuela	Revista Justicia & Derecho - Chile
46	Universidad de Minería y Tecnología, China	China	Revista de hidrogeología - Estados Unidos
47	Universidad de Concepción, Chile	Chile	Latin American Research Review - Estados Unidos
48	University of Colorado	Estados Unidos	Mine Water and the Environment
49	Taita Taveta University	Kenia	Mine Water and the Environment
50	University of Western Macedonia, Kozani, Greece	Grecia	Mine Water and the Environment

Nota: Datos de la investigación, 2024.

Entre la información identificada en la anterior tabla, es importante destacar las revistas científicas en las que se encontraron estudios referentes a las principales tendencias de minería sostenible, entre las cuales se encuentran, la Revista de la Asociación Internacional de Agua de Minas (IMWA) de Estados Unidos, BOLETIN DE CIENCIAS DE LA TIERRA y la Revista DYNA de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, entre otras. La importancia del panorama anteriormente identificado aporta información relevante para investigadores respecto a revistas científicas de altos estándares interesadas en la generación de conocimiento en el ámbito de la minería y la sostenibilidad. Por otra parte, la figura 2 presenta el porcentaje de estudios encontrados en relación al lugar de donde proviene la publicación en términos geográficos.

Figura 2

Estudios realizados por país



Nota: Datos de la investigación, 2024.

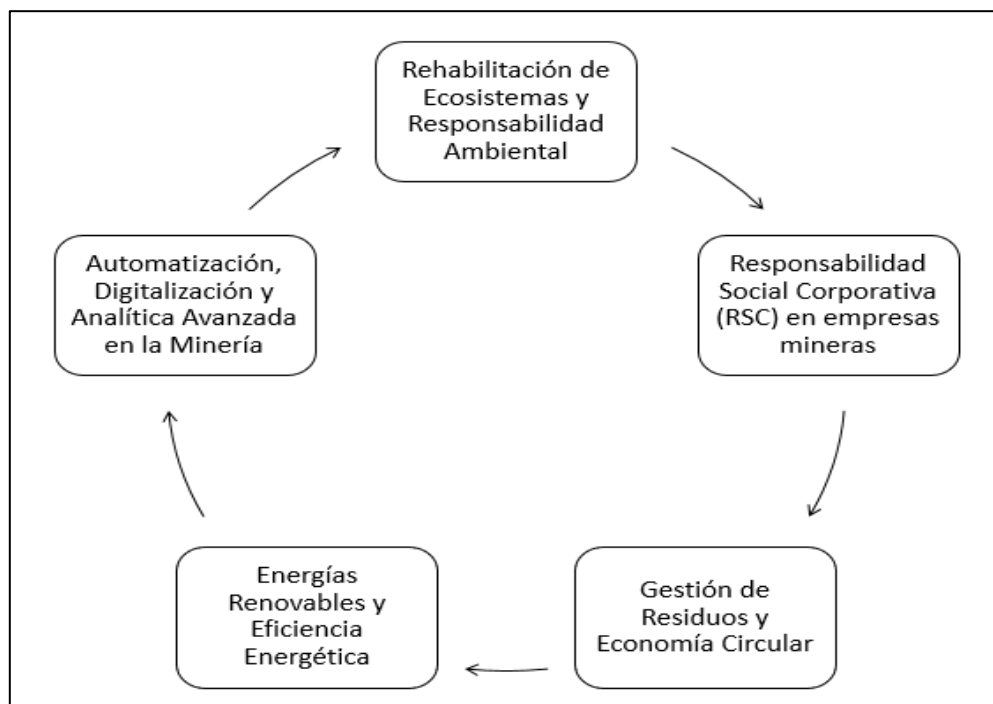
De acuerdo a la figura 2, es posible destacar que entre los mayores porcentajes de los lugares de donde provienen los estudios realizados, se encuentra Colombia con un 40%, Chile, Estados Unidos y México en igual proporción con un 10%. Una vez realizada una presentación descriptiva de los estudios encontrados, es preciso analizarlos con respecto a las acciones de sostenibilidad en la industria minera identificadas en el referencial teórico.

4.2 Acciones de sostenibilidad en minería

De los estudios seleccionados en la presente investigación se analizarán los más relevantes teniendo como punto de referencia las acciones de sostenibilidad desarrolladas con anterioridad, las cuales se identificaron a partir de la literatura encontrada y otros documentos adicionales, sin embargo, vale aclarar que el análisis no está sujeto de manera estricta a las mencionadas acciones, esto por la diversidad y cantidad de estudios identificados.

Figura 3

Acciones de sostenibilidad identificadas en la industria minera



Nota. Elaboración propia.

La figura 3 muestra las tendencias de sostenibilidad evidenciadas en la industria minera a partir de la revisión de fuentes de alta relevancia académica como artículos de investigación. Las mencionadas tendencias son desarrolladas a continuación, analizando el panorama de los estudios encontrados.

Rehabilitación de Ecosistemas y Responsabilidad Ambiental:

Autores como Aduvire (2023), Perdomo (2023) y Jones y Smith (2020), establecen que acciones de sostenibilidad en la minería, como la rehabilitación de ecosistemas y la responsabilidad ambiental, son fundamentales para minimizar los impactos negativos de la actividad minera. En el mismo sentido, Aduvire (2023), plantea que, en la actualidad, el desarrollo de proyectos mineros sostenibles requiere la planificación desde la apertura hasta el cierre de la operación, así

como la implementación de procesos innovadores que valoren y aprovechen los residuos mineros como recursos potenciales. Esta orientación promueve el uso racional de los recursos naturales y reduce el volumen de residuos, presentando también oportunidades de negocio y mejorando el control ambiental. El mismo autor indica que la legislación ambiental impulsa el uso de técnicas innovadoras como la bioingeniería y la biorremediación, esenciales para equilibrar la actividad minera, conservar los ecosistemas y rehabilitar terrenos.

Al respecto, autores como Torres et al. (2023), indican que la implementación de especies como, Gramíneas, Fabáceas y Leguminosas aportan macronutrientes (calcio, magnesio, potasio, fósforo y azufre) y micronutrientes (cobre, zinc, boro y hierro) al suelo disturbado por la minería de arcilla, mejorando en este caso las condiciones iniciales. Lo que evidencia que la interacción de este tipo de especies es pertinente en el proceso de remediación del suelo. Lo anteriormente planteado es un precedente importante a ser evaluado por minerías diferentes a la mencionada por el autor.

La responsabilidad ambiental es un aspecto al que no solo se encuentra sujeto, la minería a gran escala, sino que también debe ser un compromiso a asumir por parte de las comunidades y sus miembros en el desarrollo de actividades mineras artesanales y a pequeña escala, en este contexto Lozada et al. (2020), evidencian los impactos de la minería ilegal indígena a través de un estudio realizado en el Parque Nacional Canaima en Venezuela y áreas cercanas, en el cual los autores concluyen que la minería no es sostenible para estas comunidades y podría llevar a un auto-etnocidio, debido que la adopción de métodos de minería comercial destructivos como el uso del mercurio en el proceso, perjudican significativamente el entorno. No obstante, autores como Martínez et al. (2022), indican que la actividad minera artesanal no muestra un efecto significativo en las propiedades de los suelos.

La variedad de resultados en los estudios encontrados, con relación a las actividades mineras artesanales y a pequeña escala, sugiere abordar las particularidades de cada caso a la luz de la experiencia científica disponible para el avance del conocimiento.

Responsabilidad Social Corporativa (RSC) en empresas

mineras: Este es un punto clave al cual las empresas mineras deben responder con estrategias efectivas que permitan mitigar y contrarrestar los daños medioambientales causados por la actividad extractivista. Daños documentados por autores como Aguilar et al. (2022), quienes al investigar el impacto de la minería aurífera en los macroinvertebrados acuáticos de la ciénaga Plaza Seca, en la cuenca media del río Atrato, Chocó, Colombia, evidenciaron que la actividad minera influye significativamente en las variables fisicoquímicas del agua, reflejándose en la baja diversidad de macroinvertebrados.

Estudios similares, como los realizados por Ramírez et al. (2023), Fuentes et al. (2021) y López et al. (2023), evidencian que la minería genera daños en materia de salud, profundiza la situación de pobreza de las comunidades aledañas a las minas, degrada el suelo, transforma el paisaje y emite material particulado, lo cual evidencia la urgencia en el compromiso de la industria minera por la aplicación de estrategias ambientales que contribuyan en la orientación de un enfoque sostenible.

En cuanto a los beneficios económicos de un proyecto minero, autores como Ortega et al. (2023), subrayan que dichos beneficios son principalmente para agentes externos al territorio explotado. No obstante, Requelme y vera (2024), muestran en su estudio que, aunque la minería a gran escala afecta de forma significativa la recaudación de impuesto, generando beneficios económicos y empleos, es muy importante equilibrar dichos beneficios con la gestión sostenible de recursos y la mitigación de impactos ambientales y sociales, esto debido que los costos ambientales impactan por generaciones los territorios y comunidades intervenidas.

Los estudios anteriormente presentados, evidencian la urgencia de una RSC de la industria minera que genere un desarrollo económico sostenible, teniendo como eje la protección ambiental y la conservación del tejido social del territorio intervenido con fines de explotación minera.

Gestión de residuos y economía circular: La gestión de residuos es un factor determinante en la minería sostenible, Al respecto, estudios como el de Tedrow y Lee (2022), son un referente para el uso potencial de aguas influenciadas por la minería, en el estudio el agua se utilizó para el riego de una variedad específica de arroz, los resultados evidenciaron que el cultivo creció y se desarrolló sin efectos adversos significativos. El estudio sugiere que el uso de aguas influenciadas por la minería puede ser una opción viable para el riego agrícola.

De forma similar, Doyle y Figueroa (2022), en su estudio denominado “Eliminación de molibdeno del agua afectada por la minería mediante sorción en lodos ricos en manganeso” concluyen que el uso de lodo rico en manganeso puede ser una solución efectiva para tratar el agua contaminada por la minería, minimizando el impacto ambiental asociado con el tratamiento de aguas residuales mineras. Otras investigaciones como las realizadas por Pardo et al. (2020) y Casadiego et al. (2021), estudian las implicaciones del uso de los residuos de minería de carbón y oro como una alternativa para generación de materia prima en el ámbito de la construcción.

Es importante resaltar que la economía circular para la gestión de residuos del sector minero, se presenta como una acción de sostenibilidad que puede generar soluciones efectivas en la reutilización de residuos mineros como materia prima, aspecto para el cual se encuentra una amplia literatura científica la cual se puede tomar como base en el desarrollo de futuras investigaciones.

Energías Renovables y Eficiencia Energética: En relación con la acción de sostenibilidad sobre Energías Renovables y Eficiencia Energética, el presente estudio no encontró literatura especializada relevante que contribuya a dicha acción. Este resultado sugiere la necesidad para futuros estudios de investigación de formular descriptores más específicos que faciliten la identificación de literatura relacionada con este aspecto. No obstante, vale destacar que de acuerdo con el informe de la US Agency for International Development – USAID (2021), existen pocos estudios centrados en los desafíos y oportunidades del desarrollo asociado con el aumento de la minería debido a la transición energética.

Automatización, Digitalización y Analítica Avanzada en la Minería: El estudio realizado por Xie et al. (2023), demuestra la aplicación de la automatización, digitalización y analítica avanzada en la minería a través de varias técnicas integradas. Los autores utilizaron simulaciones avanzadas y modelos físicos esféricos en el software COMSOL Multiphysics para automatizar y digitalizar el proceso de detección de cuerpos geológicos anormales en las minas. Lo cual permitió realizar análisis comparativos y simulaciones numéricas detalladas para evaluar cómo las cavidades en la calzada afectan la precisión de la detección. Además, se emplearon métodos analíticos avanzados para calcular un coeficiente de corrección basado en los datos de resistividad aparente, mejorando así la exactitud y resolución de las detecciones geológicas.

Otro estudio donde se combinan la automatización, digitalización y analítica avanzada en minería es en el de los autores Tan et al. (2023), quienes abordaron la deformación del terreno en áreas mineras utilizando un modelo matemático automatizado (PEK) para predecir el colapso del terreno, integrando datos digitales de imágenes satelitales (InSAR) que permiten medir con precisión los desplazamientos del terreno. Estos datos se analizaron mediante técnicas avanzadas de simulación y estadística para ajustar y validar las predicciones del modelo, mejorando así la precisión y eficiencia del monitoreo de la deformación del terreno en las áreas mineras.

Estudios como los presentados anteriormente muestran un panorama sobre la tendencia de la automatización, digitalización y analítica avanzada en el sector minero, aspecto clave para el avance hacia una industria minera sostenible.

4.3 Sostenibilidad y minería a pequeña escala:

El presente ítem, podría ser considerado como una acción de sostenibilidad emergente a partir de la revisión de las investigaciones seleccionadas en el presente estudio, acción que, sin duda, se encuentra alineada con las identificadas en el referencial teórico. En este contexto, se

destacan diversos autores y puntos de vista que pueden ser de interés para los investigadores enfocados en esta línea de estudio.

Al respecto, Velilla y Restrepo (2021), exploran las oportunidades para crear un modelo de negocio sostenible en el contexto de la minería aurífera informal a pequeña escala en Colombia, los autores examinan la Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) desde una perspectiva empresarial, identificando los desafíos y proponiendo un modelo enfocado en la sostenibilidad y formalización del sector. La propuesta tiene como objetivo contribuir a la formalización del sector minero, mejorar las condiciones laborales y ambientales, y promover el desarrollo económico sostenible, esto teniendo como base la política impulsada por el Gobierno Nacional de Colombia para la formalización minera a nivel nacional. No obstante, los autores resaltan los desafíos de los complejos contextos sociales de los territorios en los que se ejecutan las actividades mineras.

Por otra parte, Muñoz et al. (2023), afirma que la política estatal para el proceso de formalización de la minería artesanal como empleo minero en Colombia, empobrece y precariza a quienes se han dedicado ancestralmente a la extracción minera, dado que, al forzar a los sujetos a formalizarse, estos no tienen la capacidad de asumir los costos y consecuencias de hacerlo. De forma contraria, autores como Tarra y Restrepo (2021), determinan que Colombia posee un gran potencial en recursos naturales, en este contexto, minerías como la aurífera podría jugar un papel determinante en la reactivación económica de una región. Los mismos autores señalan que esto es posible lograrse teniendo como base una actividad minera controlada y supervisada en el marco de un sistema de gobernanza efectivo que garantice un correcto aprovechamiento de los recursos naturales.

Los estudios referentes a la minería de pequeña escala, evidencian el impacto de esta actividad en un desarrollo económico equilibrado que aporte al avance sostenible de la industria minera, contexto en el cual el marco normativo debe propender por una minería responsable.

5. Conclusiones

La minería sostenible representa una evolución necesaria en la industria minera, integrando avances tecnológicos y marcos normativos que promueven prácticas más responsables y beneficios duraderos para la sociedad y el medio ambiente. La colaboración de actores como investigadores, comunidades, reguladores y empresas es esencial para avanzar hacia una minería sostenible. Tarra y Restrepo (2021) indican, que la desarticulación de dichos actores, puede generar como consecuencia un ambiente adverso para el desarrollo de la actividad minera.

Uno de los actores con mayor protagonismo son las comunidades que habitan los territorios en los cuales interviene la industria minera. Como lo indican Salem et al. (2021), inicialmente las empresas y gobiernos deben involucrar a las comunidades afectadas por la minería en la etapa inicial del proceso abordando sus preocupaciones y generando confianza, debido a que en la generación de un conflicto la empresa minera pierde la licencia social para operar, lo que genera un ambiente hostil que puede llevar incluso a la obstaculización del desarrollo de proyectos mineros en un territorio.

Al respecto Bebbington y Bury (2010), determinan que involucrar a las comunidades aledañas a las minas y utilizar métodos de seguimiento y evaluación comprensibles para ellos, podría contribuir en disminuir la desconfianza y la incertidumbre, ayudando así a resolver algunas fuentes de conflicto. Iniciativa que debe surgir de forma previa a la intervención de la empresa minera al territorio, como una forma de generar confianza y no como una acción para solucionar conflictos.

En este sentido, se evidencia la necesidad de generar un conocimiento científico de una forma participativa, lo cual genere una mayor confianza e integración en el territorio intervenido por la extracción minera, contribuyendo de esta forma a mitigar los conflictos sociales generados alrededor de la actividad minera y a la preservación del medio ambiente.

Por otra parte, las acciones de sostenibilidad como las identificadas en el presente estudio son fundamentales para la transición hacia una minería sostenible. Estas tendencias no solo

permiten una operación más amigable con el medio ambiente, sino que también mejoran las relaciones con las comunidades locales y posibilitan el uso futuro de los terrenos afectados para nuevos fines. En el mismo sentido, la legislación ambiental dirigida a la minería a gran escala y a la minería artesanal debe propender por impulsar el uso de técnicas innovadoras que contribuyan a equilibrar la actividad minera, conservar los ecosistemas y rehabilitar terrenos.

Con respecto a los hallazgos de la presente revisión, se recomienda que futuras investigaciones en el campo de la minería y la sostenibilidad se enfoquen en líneas como energías renovables y eficiencia energética, centrando los estudios en los desafíos y oportunidades del desarrollo asociado con el aumento de la minería debido a la transición energética. Adicional, vale señalar que el presente estudio se establece como una base teórica que puede ser enriquecida, ampliada y enfocada espacialmente, con el objetivo de analizar las tendencias de minería sostenible a nivel local.

Para finalizar, es preciso enfatizar en que la decisión de conservar, proteger o intervenir un ecosistema estratégico en un determinado territorio no puede tener como base únicamente un análisis de costos y beneficios económicos, debido que los impactos ambientales pueden tener efectos irreversibles en los ecosistemas (Buitrago, 2020).

No obstante, la relación costos - beneficios económicos y mitigación de impactos ambientales que aporten a la preservación de ecosistemas no es necesariamente una dicotomía, sino que puede ser una relación sinérgica, que impulse a la industria minera hacia procesos de innovación que contribuyan en una operación más eficiente y sostenible, generando de esta forma ventajas competitivas que les permitan mejorar su rentabilidad y sostenibilidad en el largo plazo.

Referencias bibliográficas

Aduvire, Osvaldo. (2023). *Gestión ambiental en minería: Certificaciones para iniciar y finalizar la actividad minera*. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, 8(1), 32-41.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522023000100004&lng=es&tlng=es.

- Aguilar-Baldosea, W., López- Ramírez, I. C., Chávez- Mosquera, L., Rengifo Murillo, L. y Halaby- Guerrero, J. C. (2022). *Efecto de la minería en macroinvertebrados acuáticos de la ciénaga plaza seca, Atrato, Chocó. Revista Politécnica*, 18(35), 9–23. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v18n35a1>
- Bebbington, AJ y Bury, JT (2010). *Minería, instituciones y sostenibilidad: desencuentros y desafíos. Antropológica del Departamento de Ciencias Sociales*, XXVIII (28), 53-84.
- Buitrago, J. D. (2020). *Minería, comercio internacional e impactos ambientales en el páramo El Rabanal de Samacá, Boyacá. Intropica*, 15(1), 42–54. <https://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica/article/view/3426>
- Carmona-García, Uriel, Cardona-Trujillo, Harold, & Restrepo-Tarquino, Inés. (2017). *Gestión ambiental, sostenibilidad y competitividad minera. Contextualización de la situación y retos de un enfoque a través del análisis del ciclo de vida. DINA*, 84 (201), 50-58. <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n201.60326>
- Casadieago, E., Gómez, W., Monroy, E. y Sanchez, J. (2021). *La minería de oro sostenible: implicaciones del uso de los residuos como agregado para hormigón. Revista Inventum*, 16 (31), 71-77. doi: 10.26620/uniminuto.inventum.16.31.2021.71-77
- Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM). (2013). *Guía de buenas prácticas para la minería y la biodiversidad. ICMM.* <https://www.oficemen.com/wp-content/uploads/2017/05/Gu%C3%ADa-de-buenas-pr%C3%A1cticas-para-la-mineria-y-la-biodiversidad.pdf>
- Cronin, P., Ryan, F. y Coughlan, M. (2008). *Undertaking a literature review: a step-by-step approach. British Journal of Nursing*. 17,1, 38-43.
- Doyle, S., Figueroa, L. (2022). *Removal of Molybdenum from Mining-Impacted Water by Sorption onto Manganese-Rich Sludge. Mine Water Environ* 41, 721–730. <https://doi.org/10.1007/s10230-022-00893-4>
- Fuentes, H., Ferrucho, C., y Martínez, W. (2021). *La minería y su impacto en el desarrollo económico en Colombia. Apuntes del Cenes*, 40(71). 189 - 216. <https://doi.org/10.19053/01203053.v40.n71.2021.12225>
- Hamraoui, L., Bergani, A., Ettoumi, M., Aboulaich, A., Taha, Y., Khalil, A., Neculita, CM y Benzaazoua, M. (2024). *Towards a Circular Economy in the Mining Industry: Possible Solutions for Water Recovery through Advanced Mineral Tailings Dewatering. Minerales*, 14(319) <https://doi.org/10.3390/min14>
- Hart, C. (1998) *The literature review in research. En C. Hart (Ed.) Doing a literature review (1-25). Sage Publications.*

- Igogo, T., Awuah-Offei, K., Newman, A., Lowder, T., Engel-Cox, J. (2021). *Integrating renewable energy into mining operations: Opportunities, challenges, and enabling approaches*. *Applied Energy*, 300, 117375. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117375>.
- Jenkins, H., y Yakovleva, N. (2006). *Corporate social responsibility in the mining industry: Exploring trends in social and environmental disclosure*. *Journal of Cleaner Production*, 14(3-4), 271-284. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.10.004>
- Jones, K., y Smith, J. (2020). *Ecological Restoration of Degraded Mining Landscapes*. *Environmental Management Journal*, 32(4), 211-225.
- Lenis, J. A. et al. (2023), "Desarrollo de morteros de construcción con geopolímeros obtenidos a partir de suelos degradados por la minería en El Bajo Cauca Antioquia," *Rev. UIS Ing.*, vol. 22, (3), 17-11. doi: <https://doi.org/10.18273/revuin.v22n3-2023002>.
- López, D. D., Moya, F. O., Socarras, C. A. (2023). *Estrategias ambientales para el control de los impactos en la minería de arcilla en la Guajira, Colombia*. *Revista de Ciencia y Tecnología de América*, 48 (4), 197-203. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8946149>
- Lozada, J. R., Hernández, L., y Carrero, Y. A. (2020). *Amenazas en el Parque Nacional Canaima y áreas protegidas por la minería indígena ilegal en Venezuela*. *Revista Geográfica Venezolana*, 61(2), 380-395.
- Martínez, C. X., Pérez, E. H., y Gallo, J. A. (2022). *Impacto de la minería de oro sobre las principales propiedades del suelo en el noroccidente del Departamento del Cauca, Colombia*. *Suelos Ecuatoriales*, 52(1 y 2), 43-50. [https://doi.org/10.47864/SE\(52\)2022p43-50_155](https://doi.org/10.47864/SE(52)2022p43-50_155)
- Minería Sostenible de Galicia. (2022). *Economía mundial y el sector minero*. *Minería Sostenible*. <https://minariasostible.gal/es/economia-mundial-y-el-sector-minero/#:~:text=La%20miner%C3%ADa%20representa%20alrededor%20del,de%20servicios%20y%20apoyo%20directo>
- Ministerio de Minas y Energía, & Ministerio del Medio Ambiente. (2002). *Guía Minero Ambiental de Exploración*. República de Colombia.
- Muñoz-Duque, Luz Adriana, Arango-Tobón, Mauricio Alexander, y Bedoya-Hernández, Mauricio Hernando. (2023). *La formalización neoliberal en minería. Ruta de precarización de los pequeños mineros en Colombia*. CS, (39), 61-83. <https://doi.org/10.18046/recs.i39.5446>

- Ortega-Arriaga, P., López Morales, C. A., Caballero Güendulain, K., & Ortega-Rubio, A. (2023). *Minería versus conservación de servicios ecosistémicos: El caso de Sierra La Laguna. Economía, Sociedad y Territorio*, 23(72), 467-491. <http://dx.doi.org/10.22136/est20231802>
- Pardo, N., Penagos, G., Correa, M., y López, E. (2020). *Desarrollo de morteros de bajo impacto ambiental a partir de residuos sílico-aluminosos activados alcalinamente del sector minero. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. 62 (1). 11-25. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2021.09.003>
- Perdomo-Millán, Anabel. (2023). *El desarrollo sostenible socioambiental y económica en la rehabilitación minera. Minería y Geología*, 39(1), 55-64. Epub 31 de marzo de 2023. Recuperado en 06 de junio de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1993-80122023000100055&lng=es&tlng=es.
- Ramírez-Herrera, M., Flores de la Torre, JA, Rodríguez Gutiérrez, E., & Gutiérrez Mauricio, AM (2023). *Minería: salud en riesgo y pobreza en Fresnillo, Zacatecas. Religación*, 8 (36), <https://doi.org/10.46652/rgn.v8i36.1068>
- Requelme Paladines, F. A., y Vera Zhuma, N. M. (2024). *La minería a gran escala y su incidencia en la recaudación tributaria: El caso de la Provincia de Zamora Chinchipe-Ecuador. Revista Económica*, 12(1), 55-56. <https://doi.org/10.54753/rve.v12i1.1860>
- Salem, J., Amonkar, Y., Maennling, N., Lall, U., Bonnafoos, L., y Thakkar, K. (2021). *An analysis of Peru: Is water driving mining conflicts? Resources Policy*, 74, 101270. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.09.010>
- Tan, H., Yu, X., Zhu, M., Chi, S., y Chen, H. (2023). *Study on Large-gradient deformation of mining areas based on InSAR-PEK technology. Earth Sciences Research Journal*, 27(2), 191-201. <https://doi.org/10.15446/esrj.v27n2.107056>
- Tarra, J. A. y Restrepo, O.J. (2021). *Economic diversification and creation of local content within the framework of gold mining development in Colombia. Boletín de Ciencias de la Tierra*. 50. 64-73. <https://doi.org/10.15446/rbct.n50.92933>
- Tedrow, O.R., Lee, P.F. (2022). *Use of Wild Rice (Zizania palustris L.) in Paddy-Scale Bioassays for Assessing Potential Use of Mining-Influenced Water for Irrigation. Mine Water Environ* 41, 938–953 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10230-022-00908-0>
- Torres, Cervera, K. P., Higido-Ferrer, G. C., Baquero-Castilla, C. A., Royero-Ibarra, A. C., y Acevedo-Duran, Y. G. (2023). *Eficiencia del uso de las especies como (Gramíneas y Fabáceas) en suelos disturbados por minería de*

- arcilla en la mina "El cielo" corregimiento de Valencia de Jesús-Cesar. Revista Politécnica, 19(38), 38–53.*
<https://doi.org/10.33571/rpolitec.v19n38a3>
- Torres Guerra, J. A., Mejía Cáceres, D., Moreyra Ramos, P., Oré Grados, J., y Oscoco Barrientos, S. (2021). *Geometalurgia y el futuro de la minería digital en el Perú. Revista Del Instituto De investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias geográficas, 24(47), 163-179.* <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i47.20661>
- US Agency for International Development - USAID. (2021). *MINING AND GREEN ENERGY: INTERNATIONAL DEVELOPMENT CHALLENGES AND OPPORTUNITIES.* <https://www.land-links.org/document/mining-and-the-green-energy-transition-review-of-international-development-challenges-and-opportunities/>
- Vargas Pimiento, E. (2004). *La política minera para el desarrollo sostenible. Boletín de Ciencias de la Tierra, (16), 121–134.* <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/view/95577>
- Velilla, D. A. y Restrepo, O. J. (2021). *Oportunidades para la formulación de un modelo de negocio sostenible en torno a la minería aurífera informal a pequeña escala. Boletín de Ciencias de la Tierra, (49), 24-36.* <https://doi.org/10.15446/rbct,n49.93106>
- Xie, H., Li, J., Li, Z., & Li, S. (2023). *Analysis of the influence characteristics and correction effect of the mine direct current method in advance detection of roadway cavities. Earth Sciences Research Journal, 27(1), 183-190.* <https://doi.org/10.15446/esrj.v27n2.86211>

EVALUACIÓN FISICOQUÍMICA DE MUESTRAS DE AGUA SUPERFICIAL EN EL BAJO CAUCA ANTIOQUEÑO - COLOMBIA

Physicochemical evaluation of surface waters sampled in Bajo Cauca Antioqueño - Colombia

*Deysi Yessenia Arismendi Mazo - Grupo de Investigación Minero Ambiental SENA.
Correo electrónico: darismendi@sena.edu.co*

*Lina Marcela Cantero Domínguez - Grupo de Investigación Minero Ambiental SENA.
Correo electrónico: lmcantero@sena.edu.co*

*Karen Vanessa Peñates Álvarez - Grupo de Investigación Minero Ambiental SENA.
Correo electrónico: kvpentes@sena.edu.co*

Ricardo José Hoyos Tirado - Grupo de Investigación Minero Ambiental SENA. Correo electrónico: rjhoyos@sena.edu.co

Resumen

El presente estudio abarca el análisis de los parámetros fisicoquímicos de una muestra de agua superficial recolectada en la quebrada Villa, ubicada en el municipio de El Bagre, Antioquia, con el fin de determinar el índice de Calidad del Agua (ICA). Los parámetros evaluados incluyen conductividad eléctrica, pH, turbidez, temperatura, sólidos suspendidos totales, sólidos totales, acidez total, alcalinidad total, oxígeno disuelto, y demanda química de oxígeno. La quebrada Villa es una de las fuentes naturales más importantes, debido a que abastece al acueducto municipal para la disposición del recurso hídrico a la población y al sistema de acueducto de la empresa Mineros S.A. Caracterizar la calidad del agua es una actividad estratégica para la implementación de acciones que contribuyan en mejorar la salud ambiental de la quebrada, buscando impactar en el bienestar de la población y en la regeneración ambiental de los recursos naturales de la

región. Como resultado general, se obtuvo un valor numérico que califica la calidad del agua como aceptable, lo cual indica que puede ser adecuada para algunos usos.

Palabras clave: Índice de Calidad del Agua.

Abstract

This study presents an analysis of the physicochemical parameters of a surface water sample collected in Villa Stream, situated within the municipality of El Bagre, Antioquia. The parameters evaluated include electrical conductivity, pH, turbidity, temperature, total suspended solids, total solids, total acidity, total alkalinity, dissolved oxygen, and chemical oxygen demand. The Villa Stream is a significant natural resource, serving as a primary source of water for the municipal aqueduct and the Minero S.A. company's aqueduct system. The characterization of water quality represents a pivotal step in the implementation of measures aimed at enhancing the environmental health of the stream, with the ultimate objective of improving the well-being of the population and facilitating the regeneration of the region's natural resources. The overall result of this process is the attainment of a value for the indicator that categorizes the Villa stream water as suitable for the computation of the Water Quality Index (WQI).

Keywords: Water Quality Index.

1. Introducción

El agua es uno de los recursos fundamentales para el sostenimiento de la vida en el planeta y para el desarrollo de las actividades socioeconómicas que impulsan el progreso de un territorio. No obstante, el crecimiento demográfico, las actividades industriales y la expansión agrícola han aumentado la presión sobre el recurso hídrico, principalmente sobre cuerpos de agua superficiales, contribuyendo a su degradación tanto en términos de calidad como de cantidad (Torres et al., 2010).

En este escenario, los índices de calidad del agua (ICA) se han convertido en herramientas fundamentales para la evaluación y monitoreo de los recursos hídricos, permitiendo establecer la calidad del agua a través de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que reflejan los impactos de las actividades antropogénicas (Aguirre et al., 2016; Gil et al., 2018).

La subregión del Bajo Cauca, en el departamento de Antioquia se caracteriza por su gran riqueza hídrica, recurso fundamental para las comunidades locales y diversas actividades productivas, incluyendo la agricultura y la minería. Dichas actividades generan una presión significativa sobre la calidad del agua, en cuerpos hídricos como las quebradas y ríos que surten a la población de agua potable. La minería, en particular, ha sido identificada como una fuente importante de contaminación debido a la liberación de metales pesados y otros contaminantes que deterioran la calidad del agua (Piedrahita, 2018).

De esta forma, el presente estudio se enfoca en la evaluación fisicoquímica de una muestra de agua superficial en el Bajo Cauca Antioqueño, con el fin de determinar el estado actual de la calidad del agua y su idoneidad para diversos usos, como el abastecimiento doméstico y el consumo humano. El concepto de agua superficial hace referencia a la corriente hídrica que viaja a diferentes velocidades sobre la superficie terrestre y lo hace por lo general sobre cauces ya establecidos (Corporación Autónoma Regional del Tolima, sf).

La evaluación a realizarse en la presente investigación se basa en el análisis de parámetros como la conductividad eléctrica, pH, sólidos totales, oxígeno disuelto y demanda química de oxígeno. Algunos de estos parámetros han demostrado ser indicadores clave para identificar los niveles de contaminación y su impacto en los ecosistemas acuáticos (Aguirre et al., 2016).

En este sentido, la evaluación de la calidad del agua se realizó siguiendo la metodología del índice de Calidad del Agua (ICA) propuesta por el IDEAM (2011) en el marco de la Política Nacional para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico. Esto debido a que los antecedentes consultados coinciden en que el uso de índices de calidad del agua es una herramienta efectiva para evaluar el estado de los recursos hídricos en diferentes contextos (Piedrahita, 2018; Rubio et al., 2014; Torres et al., 2010).

De esta forma, el presente trabajo pretende contribuir al monitoreo y gestión de los recursos hídricos en la región, brindando información relevante que permita a las autoridades locales y a los usuarios del recurso hídrico tomar decisiones informadas respecto a su conservación y uso sostenible (Torres et al., 2010).

2. Marco teórico

El agua es un bien esencial para la vida en el planeta, indispensable tanto para la preservación de los ecosistemas y para el desarrollo de las actividades humanas. Razón por la cual, la calidad del agua es uno de los aspectos más relevantes en la gestión de los recursos hídricos, especialmente en áreas donde los cuerpos de agua se encuentran expuestos a contaminación por actividades antrópicas, como la agricultura, la minería y el desarrollo urbano (Gil-Marín et al., 2018). En el contexto de Colombia, la subregión del Bajo Cauca Antioqueño ha sido históricamente afectada por la minería y otras actividades extractivas, que han generado una presión significativa sobre sus recursos hídricos (Piedrahita, 2018). A continuación, se desarrollan los principales tópicos que se tendrán como base teórica del estudio.

Evaluación de la Calidad del Agua

Uno de los métodos más utilizados para evaluar la calidad del agua es el Índice de Calidad del Agua (ICA), que facilita la representación simplificada de los niveles de contaminación de un cuerpo de agua a partir de un conjunto de variables fisicoquímicas y microbiológicas. Entre las variables más comunes utilizadas en el cálculo del ICA se encuentran el pH, la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto, la demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos suspendidos totales (SST) (Piedrahita, 2018; Rubio et al., 2014; Torres et al., 2010). Los parámetros del índice permiten obtener una visión general del estado del agua, facilitando la comparación entre diferentes sitios y momentos, así como la identificación de las fuentes de contaminación (Aguirre et al., 2016).

En Colombia, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM implementa el ICA en el monitoreo de corrientes superficiales, lo cual es clave para la gestión sostenible del recurso hídrico (IDEAM, 2011). El ICA no solo facilita la toma de decisiones al sintetizar información compleja en un valor numérico, sino que también permite clasificar la calidad del agua en diferentes categorías (Buena, Aceptable, Regular, Mala, Muy mala), como se muestra en la tabla 1 (Aguirre et al., 2016; IDEAM, 2011).

Tabla 1

Calificación de la calidad del agua

Calificación de la calidad del agua	Categoría de valores que puede tomar el indicador	Color
Buena	0,91 - 1,00	Azul
Aceptable	0,71 - 0,90	Verde
Regular	0,51 - 0,70	Amarillo
Mala	0,26 - 0,50	Naranja
Muy mala	0,00 - 0,25	Rojo

Nota: IDEAM (2011).

EL IDEAM, ofrece la siguiente definición del índice de Calidad del Agua:

Es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco o seis variables, registradas en una estación de monitoreo j en el tiempo t (IDEAM, 2011, p. 1).

Los valores obtenidos del indicador se contrastan con los que figuran en la tabla de interpretación, lo que permite clasificar la calidad del agua en las categorías definidas por la metodología. Esta clasificación, apoyada en las cinco categorías y sus colores, facilita la interpretación de los resultados, permitiendo identificar de manera sencilla las tendencias en la calidad del agua, como su deterioro, estabilidad o mejora, y proporciona una base clara para

definir los usos potenciales de los cuerpos de agua y para la toma de decisiones por parte de las autoridades competentes (IDEAM, 2011).

Impacto de las Actividades Antrópicas

Las actividades antrópicas han sido identificadas como una de las principales fuentes de contaminación hídrica, generando graves consecuencias para los ecosistemas acuáticos y la salud humana. Afectando gravemente la vida silvestre y limitando el acceso a agua limpia para las comunidades humanas.

Al respecto, la minería, junto con la expansión agrícola y la deforestación, son algunas de las causas de contaminación de cuerpos hídricos. Estas actividades pueden introducir al agua metales pesados, materia orgánica, entre otros, afectando negativamente la calidad de los cuerpos de agua superficiales. Estudios han demostrado que la actividad minera es una de las principales causas del deterioro de la calidad del agua en regiones con alta predominancia de dicha actividad económica (Piedrahita, 2018).

Herramientas y Métodos de Evaluación

El uso de herramientas como el ICA permite establecer de manera integral el estado de la calidad del agua, facilitando la identificación de las fuentes de contaminación y su impacto en los ecosistemas y la salud pública (Piedrahita, 2018). Estudios previos han demostrado la eficacia del ICA en la toma de decisiones, al proporcionar un marco estandarizado que simplifica el monitoreo de los cuerpos de agua y su gestión (Gil et al., 2018).

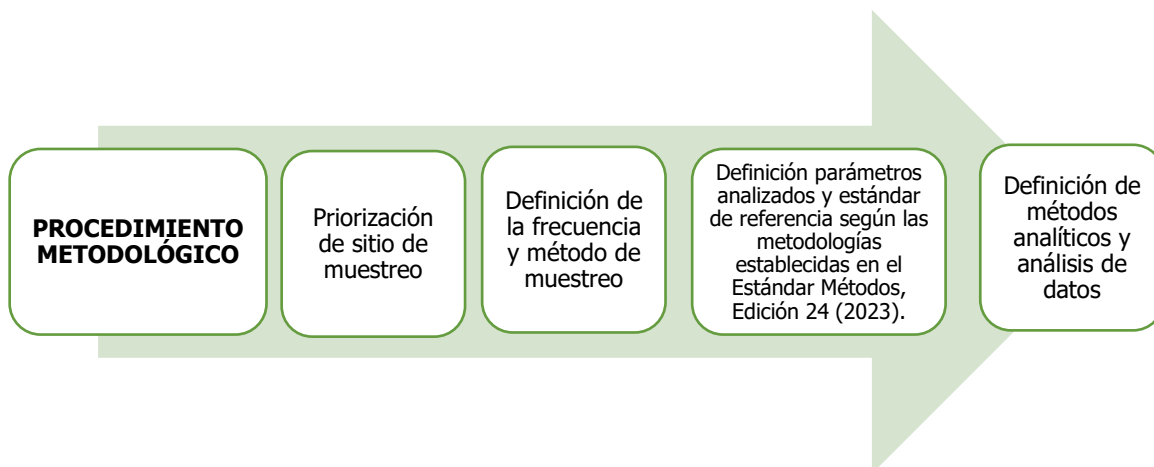
La evaluación fisicoquímica del agua superficial en el Bajo Cauca Antioqueño resulta crucial para garantizar el uso sostenible del recurso hídrico. La implementación de metodologías estandarizadas como el ICA facilita el seguimiento de la calidad del agua y promueve la adopción de políticas y medidas de conservación (Aguirre et al., 2016; Gil et al., 2018).

3. Metodología

Este estudio se realizó mediante una revisión bibliográfica y análisis de laboratorio. La Figura 1 presentada a continuación, muestra detalladamente las etapas desarrolladas en el proceso de investigación, ofreciendo una visión clara de la metodología adoptada.

Figura 1

Propuesta metodológica



Nota: Elaboración propia.

Con respecto a la priorización del sitio de muestreo, vale aclarar, que el presente estudio se centró en la evaluación de la calidad del agua superficial en la subregión del Bajo Cauca Antioqueño, la cual es conocida por sus intensivas actividades mineras y agrícolas. En este sentido, se seleccionó estratégicamente un punto de muestreo en un cuerpo de agua de relevancia ecológica y económica. La muestra se recolectó en condiciones adecuadas para el análisis fisicoquímico, asegurando que se recogiera a una profundidad apropiada para obtener una representación precisa de la calidad del agua.

El procedimiento guía para la toma de muestra es el descrito en el protocolo de monitoreo y seguimiento del agua 2021, referente a la toma de muestra en aguas superficiales. Al respecto el protocolo indica que:

Las mediciones se hacen recolectando las muestras puntuales en un lugar representativo del cuerpo de agua, se pueden tomar con recolectores para el caso de ríos profundos, lagos, embalses, estuarios o el mar, que permiten recolectar las muestras a una profundidad determinada. En ríos de poca profundidad o arroyos se puede tomar directa la muestra, introduciendo el envase recolector en el agua. Se debe considerar que la medición no implique un riesgo para el personal que realiza la medición, en caso de muestrear en ríos un poco más profundos se deben utilizar las medidas de seguridad respectivas para salvaguardar la vida del personal (IDEAM e INVAMEN, 2021, p. 521).

Para el análisis de la muestra de agua recolectada, se consideraron parámetros fisicoquímicos fundamentales, que incluyen conductividad eléctrica, pH, sólidos totales, oxígeno disuelto, y demanda química de oxígeno, en función del Índice de Calidad del Agua (ICA). Como se indicó con anterioridad, este índice clasifica la calidad del agua en cinco categorías, permitiendo la comparación de los resultados con estudios que antecedieron la presente investigación, de esta forma ofreciendo una evaluación general de la calidad del agua superficial en el municipio de El Bagre. Adicional, es importante establecer que de acuerdo con el protocolo de monitoreo y seguimiento del agua 2021 los parámetros como el Ph, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y temperatura se realizaron en campo.

A continuación, se desarrollarán los aspectos definidos en la propuesta metodológica presentada en la Figura 1.

Sitio de muestreo: La Quebrada Villa, ubicada en el municipio de El Bagre, en el departamento de Antioquía, es la fuente hídrica que abastece de agua al sistema de acueducto de la empresa Minero S.A y al acueducto del municipio de El Bagre. La muestra fue tomada en ese sitio, debido a que era de fácil acceso y brinda una buena homogenización de la muestra, tal como lo especifica el documento guía referente al protocolo de monitoreo y seguimiento del agua 2021.

Figura 2

Punto de muestreo, Quebrada Villa



Nota: Registro fotográfico realizado por los autores.

Frecuencia y método de muestreo: Se realizó una toma de muestra puntual en la quebrada Villa, teniendo como guía el protocolo de monitoreo y seguimiento del agua - IDEAM 2021, el cual estipula este tipo de muestreo para aguas superficiales. La profundidad de la quebrada es alrededor de 50 cm y la muestra fue tomada aproximadamente a una profundidad de 25-30 cm. Para realizar la toma de la muestra, se utilizaron materiales tales como: baldes, cuerdas, epp, cavas, recipientes para el almacenamiento, equipos de medición in – situ, entre otros.

Figura 3

Toma de muestra y materiales utilizados



Nota: Registro fotográfico realizado por los autores.

Parámetros analizados y estándar de referencia según las metodologías establecidas en el Estándar Métodos, Edición 24 (2023): pH (SM:4500 H+-B. Método Electrométrico), conductividad eléctrica (SM:2510 B), temperatura (SM:2550 B), oxígeno disuelto (SM:4500 O-G. Método de membrana electrodo), turbidez (SM:2130 B), sólidos totales (SM:2540 B), sólidos sedimentables (SM:2540 F), alcalinidad total (SM:2320 B), acidez total (SM:2310 B), demanda química de oxígeno (SM:5220 C).

Métodos analíticos y análisis de datos: Los equipos y controles de calidad utilizados se realizaron teniendo en cuenta lo establecido en cada uno de los apartados de control de calidad y de las técnicas metodológicas descritas en el Estándar Métodos, Edición 24: 2023. Con respecto

al análisis de datos, estos fueron analizados siguiendo la metodología del índice de Calidad del Agua (ICA) propuesta por el IDEAM (2011).

4. Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la evaluación de la calidad del agua, aplicando el Índice de Calidad del Agua (ICA) propuesto por el IDEAM (2011) y siguiendo el proceso metodológico planteado para la presente investigación. La tabla 2, resume los datos obtenidos a partir del análisis de laboratorio, realizado a la muestra de agua recolectada.

Tabla 2

Resultados de los parámetros fisicoquímicos evaluados

PARAMETRO	METODOLOGÍA	RESULTADO	UNIDADES
pH	SM:4500 H ⁺ -B	5,64	pH
Conductividad eléctrica	SM:2510 B	34,4	μS/cm
Oxígeno disuelto	SM:4500 O-G	5,72	mg de O ₂ /L
Sólidos totales	SM:2540 B	210,00	mg ST/L
Demanda química de oxígeno	SM:5220 C	15,00	mg de O ₂ /L
Turbidez	SM:2130 B	174	NTU
Sólidos sedimentables	SM:2540 F	0,30	mL SSED/L
Alcalinidad total	SM:2320 B	12,26	mg CaCO ₃ /L
Acidez total	SM:2310 B	3,02	mg CaCO ₃ /L
Demanda química de oxígeno	SM:5220 C	15,00	mg de O ₂ /L

Nota: Datos de la investigación.

Como se mencionó anteriormente el Índice ICA es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco variables, la fórmula de cálculo del indicador es:

$$ICA = \sum_{i=1}^6 (subi * wi)$$

Donde,

Subi: Subíndice del parámetro i.

Wi: Pesos relativos asignados a cada parámetro (Subi), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

El ICA se calcula mediante la ponderación de cinco variables clave (pH, Oxígeno Disuelto, Conductividad eléctrica, Demanda química de oxígeno y Sólidos suspendidos totales). Cada una de estas variables recibe un peso relativo como se evidencia en la tabla 3.

Tabla 3

Pesos relativos asignados a los parámetros del ICA

Variable	Unidad de medida	Wi (peso relativo)
Oxígeno Disuelto OD	% saturación	0,2
Sólidos suspendidos totales SST	mg/l	0,2
Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/l	0,2
Conductividad Eléctrica CE	μS/cm	0,2
pH	Unidades de pH	0,2

Nota: IDEAM (2011).

De acuerdo con el cálculo del indicador (tabla 4), el valor ICA obtenido fue de 0,72. Al comparar el resultado con los valores de referencia definidos en las tablas de interpretación es posible clasificar la calidad del agua, en la categoría de aceptable, la cual a su vez se asocia a color verde en la escala de colorimetría.

Tabla 4

Cálculo del ICA

Variable	Subi	ICA
Oxígeno Disuelto - OD	0,9	0,18
Sólidos suspendidos totales - SST	0,44	0,08
Demanda Química de Oxígeno - DQO	0,91	0,18
Conductividad Eléctrica - CE	0,94	0,18
pH	0,49	0,10
ICA		0,72

Nota: Datos de la investigación.

Por último, es posible afirmar que el agua de la quebrada Villa presenta condiciones que, si bien no son óptimas, permiten su uso bajo condiciones adecuadas y de acuerdo con el propósito de uso. Esta clasificación, representada por el color verde, indica que el agua no presenta niveles de alarmantes de contaminación.

5. Conclusiones

En conclusión, los resultados del análisis fisicoquímico y del cálculo del ICA sugieren que el agua de la quebrada Villa es apta para ciertos usos, pero con necesidad de monitoreo continuo. Las acciones de manejo y conservación deben enfocarse en mantener o mejorar los parámetros que influyen de manera directa en la calidad del recurso hídrico para asegurar su sostenibilidad. Finalmente, es posible realizar las siguientes consideraciones respecto a los resultados de la presente investigación:

- El ICA obtenido refleja las condiciones fisicoquímicas del agua de la quebrada villa, el cual permite categorizar el valor obtenido en aceptable, indicando así el uso que se le puede dar para determinadas actividades.

- A lo largo del estudio realizado, se obtuvo una recopilación de datos bibliográficos respecto al índice de calidad del agua de la quebrada villa desde el año 2012 a 2018, donde la categorización se ha mantenido en aceptable.
- Se requiere un estudio más detallado, incluyendo análisis microbiológicos y químicos, para identificar el índice de contaminación (ICOMI, ICOMO, ICOSUS, ICOTRO).

Referencias bibliográficas

- Aguirre Cordón, M. R., Vanegas Chacón, E. A., y García Álvarez, N. (2016). *Aplicación del Índice de Calidad del Agua (ICA). Caso de estudio: Lago de Izabal, Guatemala*. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 25(2), 39-43.
- Corporación Autónoma Regional del Tolima (CORTOLIMA). (sf). ¿Qué es agua superficial?. <https://cortolima.gov.co/servicio-al-ciudadano/glosario/591-que-es-agua-superficie>
- Gil-Marín, J. A., Vizcaino, C., y Montañó-Mata, N. J. (2018). *Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Cuenca del Río Guarapiche, Monagas, Venezuela*. Anales Científicos, 79(1), 111-119. <https://doi.org/10.21704/ac.v79i1.1146>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) e Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR). (2021). *Protocolo de monitoreo y seguimiento del agua*. Bogotá, DC, Colombia: IDEAM. <https://cortolima.gov.co/servicio-al-ciudadano/glosario/591-que-es-agua-superficial>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2011). *Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1,00). Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia - Indicadores de Calidad del agua superficial*. 10 p.
- Piedrahita Vera, J. E. (2018). *Análisis del Índice de Calidad del Agua (ICA) e Índice de Contaminación del Agua (ICOS) en quebrada Villa ubicada en El Bagre, Antioquia (Tesis de especialización)*. Universidad Santo Tomás, Bogotá, D.C.
- Rubio Arias, H. O., Ortiz Delgado, R. C., Quintana Martínez, R. M., Saucedo Terán, R. A., Ochoa Rivero, J. M., y Rey Burciaga, N. I. (2014). *Índice de calidad de agua (ICA) en la presa La Boquilla en Chihuahua, México*. Revista Científica, 1(2), 139-150.

Torres, P., Cruz, C. H., Patiño, P., Escobar, J. C., y Pérez, A. (2010). Aplicación de índices de calidad de agua (ICA) orientados al uso de la fuente para consumo humano. Ingeniería e Investigación, 30(3), 86-95.

PUBLICACIÓN DE MEMORIAS DE EVENTO DE DIVULGACIÓN TECNOLÓGICA EN ARTICULACIÓN CON EL CENTRO DE FORMACIÓN PARA EL DESARROLLO RURAL Y MINERO – CEDRUM DE LA REGIONAL NORTE DE SANTANDER

1er Encuentro Regional de Servicios Tecnológicos del Centro de Formación para el Desarrollo Rural y Minero – CEDRUM – MINERIA Y MEDIO AMBIENTE

Equipo Directivo

Director general
Jorge Eduardo Londoño Ulloa
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA

Director Regional Antioquia
Carlos Arturo Contreras Monroy
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA

Subdirector
Centro de Formación para el Desarrollo Rural y Minero -
CEDRUM
Freddy Abelardo Calderon Orduz
Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

Activador Nacional de Servicios Tecnológicos
Cristina Camilo Buitrago Escamilla
Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA

Comité Organizador y Compiladores de las memorias

Marisabel Garcia Navarro
Responsable de Servicios Tecnológicos - CEDRUM
Regional Norte de Santander
Colombia

Daniel Mauricio Reyes Rodriguez
Responsable de Sistema de Gestión de Servicios Tecnológicos -
CEDRUM
Regional Norte de Santander
Colombia

Jenny Paola Parra Cañas
Responsable de la Gestión Técnica – Laboratorio de Calidad de
Aire - CEDRUM
Regional Norte de Santander
Colombia

Nancy Lorena Zapata Rosas
Personal Técnico – Laboratorio de Calidad de Aire - CEDRUM
Regional Norte de Santander
Colombia

Lady Johana Moreno Villamizar
Responsable de la Gestion Técnica – Laboratorio de Calidad de
Carbón - CEDRUM
Regional Norte de Santander
Colombia

Joan Arlexis Patiño Villamil
Personal Técnico – Laboratorio de Calidad de Carbón -
CEDRUM
Regional Norte de Santander
Colombia

Preámbulo

La presente publicación forma parte de un número especial que el comité editorial de la Revista Ruta Minera ha decidido difundir con el objetivo de promover espacios para la divulgación del conocimiento científico. En este sentido, se presentan las memorias del Evento de Divulgación Científica organizado por el Centro de Formación para el Desarrollo Rural y Minero - CEDRUM de la Regional Norte de Santander, evento que fue denominado “Primer Encuentro Regional de Servicios Tecnológicos del Centro de Formación para el Desarrollo Rural y Minero - CEDRUM.

Desde el comité editorial de la Revista Ruta Minera, reconocemos que la apropiación de la ciencia, la tecnología y la cultura de la innovación es un eje fundamental de la estrategia nacional de SENNOVA. Por ello, buscamos fomentar un flujo constante de conocimiento a través de la divulgación y la apropiación social del mismo. En este contexto, los Eventos de Divulgación Científica adquieren una relevancia significativa para contribuir a dicha estrategia nacional.

Al generar un espacio para la publicación de las memorias de este evento, que se llevó a cabo en el Centro de Formación para el Desarrollo Rural y Minero, un centro de formación con líneas de trabajo afines a las del Centro de Formación Minero Ambiental de El Bagre, estamos abriendo oportunidades para que centros aliados compartan información valiosa que inspire e impulse el avance de la minería en el país. A continuación, se presenta el contenido compilado y enviado para publicación por Centro de Formación para el Desarrollo Rural y Minero - CEDRUM de la Regional Norte de Santander.

Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Investigación - SENNOVA

Daniel Mauricio Reyes Rodríguez - Responsable del Sistema de Gestión Servicios Tecnológicos, Centro de Formación para el Desarrollo Rural y Minero – CEDRUM. Correo electrónico: dmreyes@sena.edu.co

El Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación del SENA (SENNOVA) es una estrategia institucional para promocionar y apoyar la formación integral y la inclusión de procesos de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación - I+D+i en las regiones, buscando contribuir al desarrollo tecnológico, la competitividad de las empresas del país, así como al fomento de la gestión en investigación, innovación y el conocimiento, a través de diferentes acciones que incentiven el desarrollo de proyectos y/o estrategias que generan resultados cuantificables y verificables en el sector productivo, la formación profesional integral y la formación para el trabajo.

SENNOVA se fundamenta en tres ejes de trabajo: Investigación e innovación, Apropiación de la CTeI y Servicios especiales de I+D+i que soportan la ejecución de nueve líneas programáticas. Estas líneas son: Modernización Tecnológica de Ambientes de Formación, Grupos de Investigación y Semilleros, Red Nacional de Tecnoparque, Servicios Tecnológicos, Extensionismo Tecnológico, Fomento a la Innovación en las Empresas y Tecnoacademia. También se cuenta con dos líneas transversales: Cultura de la Innovación y la Competitividad y Gestión del Conocimiento. Por medio de estas acciones, los aprendices e instructores tienen la oportunidad de generar nuevo conocimiento y de responder a las necesidades del sector social y productivo, en las regiones y el país.

La estrategia de I+D+i del Centro de Formación para el Desarrollo Rural y Minero, implementada mediante SENNOVA, tiene como propósito desarrollar habilidades en Ciencia, Tecnología e Innovación para fortalecer la educación y apoyar la productividad, competitividad y generación de conocimiento. Esto se logra a través de las diversas líneas programáticas que han

influido de manera positiva en las áreas clave del Centro de Formación para el Desarrollo Rural y Minero, como la agroindustria, la agropecuaria, la minería y el medio ambiente.

Servicios Tecnológicos, Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA

Marisabel García Navarro - Responsable de Servicios Tecnológicos, Centro de Formación para el Desarrollo Rural y Minero – CEDRUM. Correo electrónico: marigarcia@sena.edu.co

Los Servicios Tecnológicos son escenarios de apoyo al sector productivo y a la formación con servicios especializados, técnicos y de laboratorios, en temas asociados a la calidad, normalización, acreditación, metrología e investigación aplicada; a través de los cuales, EL SENA vincula la investigación aplicada, la innovación, el recurso humano especializado, los ambientes de formación con infraestructura tecnológica avanzada y su red de laboratorios para generar valor agregado en todos los niveles de la cadena productiva propias de la región.

Esta oferta de Servicios Tecnológicos para las empresas tiene como fundamento jurídico la Ley 119 DE 1994. Capítulo I Art. 4 núm. 14, en donde se establece como una de las funciones del SENA, la prestación de servicios tecnológicos en función de la formación profesional integral, cuyos costos serán cubiertos plenamente por los beneficiarios.

De igual forma, en el Decreto 585 de 1991, Título III. Artículo 28. numeral 3. Al Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA, se especifica que corresponde: El Consejo Directivo Nacional del Sena podrá crear y organizar centros de servicios tecnológicos e investigación aplicada y reorientar los existentes.

Por otra parte, el Decreto 249 de 2004 Art. 27 número 22. Establece: Organizar y prestar los servicios tecnológicos en función y para el fortalecimiento de los programas de Formación Profesional Integral. Las acciones de Servicios Tecnológicos se enmarcan en el enfoque de desarrollo tecnológico, las políticas estatales de Ciencia y tecnología y el fortalecimiento de los

programas de Formación Profesional Integral. En consecuencia, SENA, amplía el contexto de "Servicios Tecnológicos" bajo el marco del Acuerdo 008 de 1997 SENA.

En razón al contexto jurídico expuesto anteriormente, los servicios tecnológicos de SENA, se ofrecen a los sectores productivos, educativos y a la comunidad en general, para satisfacer una demanda real, dirigida a suministrar información, asistencia y consultoría técnica y tecnológica sobre la operación y mantenimiento de nuevas tecnologías, prestar servicios de laboratorios de ensayos y calibración, servicios técnicos (Consultoría, Asistencia y Asesoría Técnica, Diseño y Fabricación de Prototipo) y servicios especiales (Automatización, TICs, Investigación Aplicada) y realizar simulaciones o aplicaciones de plantas pilotos, así como servicios de normalización, metrología y calidad.

Laboratorio de Calidad de Aire, Centro de Formación para el Desarrollo Rural y Minero - CEDRUM

Jenny Paola Parra Cañas - Responsable Gestión Técnica Servicios Tecnológicos, Servicio Nacional de Aprendizaje, Centro de Formación para el Desarrollo Rural y Minero - CEDRUM. Correo electrónico: jpparrac@sena.edu.co

El Laboratorio de Calidad de Aire hace parte del Centro de Formación para el desarrollo Rural y Minero, Regional Norte de Santander, código de dependencia presupuestal (SIIF) línea programática 68- fortalecimiento de la oferta de servicios tecnológicos para las empresas, perteneciente a la Línea técnica ambiental (agua, suelos y calidad de aire), este laboratorio nace de la necesidad de contribuir con la política de prevención y control de la contaminación del aire adoptada por el gobierno nacional tiene como objetivo "impulsar la gestión de la calidad del aire en el corto, mediano y largo plazo, con el fin de alcanzar los niveles de calidad de aire adecuados para proteger la salud y el bienestar humano, en el marco del desarrollo sostenible". A través de la prestación de servicios de ensayo de calidad al sector productivo de la región que permitan monitorear las inmisiones y emisiones de contaminantes atmosféricos.

En el año 2017 se inicia la idea de implementar un laboratorio de calidad del aire en las instalaciones del SENA – CEDRUM, el cual comienza su etapa de documentación e implementación del Sistema de Gestión bajo la norma NTC ISO/IEC 17025:2017 a través del proyecto SGPS 8592 2021, durante el año 2022, se realiza fortalecimiento del Sistema de Gestión y se presenta ante la primera auditoría interna logrando un avance de implementación del 86% a través del proyecto SGPS 9098 2022, en el año 2023 bajo el proyecto SGPS 17025 se logra alcanzar una madurez del Sistema de Gestión del 96%, en la presente vigencia se pretende el fortalecimiento del portafolio de servicios por medio del proyecto SGPS 12098, para una determinación más amplia de los parámetros ambientales que incluya emisiones de NO₂ y SO₂, PMT en fuentes fijas, y la acreditación de material particulado PM₁₀ y PM_{2.5} y mediciones de emisión de ruido y ruido ambiental cumpliendo con los requerimientos del Sistema de Gestión implementado bajo la norma NTC ISO/IEC 17025:2017 en el laboratorio de calidad de aire.

Se cuenta con un portafolio de servicios que incluye mediciones de contaminantes atmosféricos como material particulado de tamaño de 2.5 µm y 10 µm, emisión de ruido y ruido ambiental, así mismo se prestan servicios de medición de gases de combustión en fuentes fijas y móviles. En la actualidad se está ampliando el portafolio de servicios para la medición de contaminantes en fuentes fijas como: material particulado total, dióxido de azufre SO₂, óxidos de nitrógeno NO_x.

Laboratorio de Calidad de Carbón, Centro de Formación para el Desarrollo Rural y Minero - CEDRUM

Lady Johana Moreno Villamizar - Responsable Gestión Técnica de Laboratorio de Calidad de Carbón, Servicio Nacional de Aprendizaje, Centro de Formación para el Desarrollo Rural y Minero - CEDRUM. Correo electrónico: ljmorenov@sena.edu.co

Joan Arlexis Patiño Villamil - Personal Técnico de Laboratorio de Calidad de Carbón, Servicio Nacional de Aprendizaje, Centro de Formación para el Desarrollo Rural y Minero - CEDRUM. Correo electrónico: joapatino@sena.edu.co

El Laboratorio de Calidad de Carbón hace parte del Centro de Formación para el desarrollo Rural y Minero - CEDRUM, Regional Norte de Santander, código de dependencia presupuestal

(SIIF) línea programática 68 – Fortalecimiento de la oferta de servicios tecnológicos para las empresas. La actividad Minera del carbón ha sido fundamental para Colombia tanto por sus aportes macroeconómicos y sus contribuciones al desarrollo de las regiones productoras, y que ahora busca cumplir con los estándares ambientales y producir carbón de mayor calidad es fundamental para lograr alcanzar metas de reducción de emisiones al año 2030 y neutralidad de carbono 2050. En este sentido, la creación del Laboratorio de Calidad de Carbón - CEDRUM permitirá realizar análisis precisos y confiables de las propiedades del carbón, proporcionando información valiosa para producir carbón de mayor calidad contribuyendo en la reducción de emisiones de azufre, esto coherente con las metas ambientales nacionales, mejora de la calidad del aire y la salud de la población.

Por lo anterior, el Laboratorio de Calidad de Carbón de CEDRUM, cuenta actualmente con un portafolio de servicios que incluye cinco metodologías: Análisis de Humedad Total, Determinación de Azufre Total, Determinación de Poder Calorífico Bruto, Análisis de Tamaño de Partícula, Determinación de Cenizas en Muestras de Carbón y Coque, con un sistema de Gestión de acuerdo con la norma NTC ISO/IEC 17025:2017 que permita garantizar la confiabilidad de los resultados al sector productivo.

El laboratorio surge de la pregunta problema ¿Cómo documentar un sistema de gestión que cumpla con los requisitos de la norma NTC ISO/IEC 17025, cuyo objetivo sea asegurar la confiabilidad de resultados de los ensayos para la determinación de la calidad del carbón en el departamento de Norte de Santander? y se enmarca en el proyecto denominado "Fortalecimiento del Laboratorio de Calidad de Carbón de Norte de Santander, elaborando un sistema de gestión bajo la norma ISO/IEC 17025:2017, para prestar servicios con resultados confiables al sector productivo y a los programas de formación de la regional".

Atención de Eventos o Episodios de Contaminación Atmosférica

Miguel Antonio Ramírez Salcedo. Ingeniero Ambiental de la Subdirección de Medición y Análisis Ambiental de Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR). Correo electrónico: rguerrero@corponor.gov.co

Los niveles de calidad del aire en centros urbanos están determinados principalmente por las emisiones generadas dentro de la ciudad y por el comportamiento de la meteorología. Sin embargo, ocurren situaciones en las que fuentes de emisión que se ubican fuera de la ciudad se les denomina eventos regionales de contaminación y corresponden a una carga de contaminantes que ingresa a la ciudad pero que se genera fuera de ella.

Las fuentes de contaminación son naturales y antropogénicas, las fuentes naturales corresponden accidentes geográficos o entidades naturales como: volcanes, incendios forestales, erosión del suelo, entre otras; Las antropogénicas, son fuentes fijas y móviles, las fuentes fijas hacen referencia a las industrias, las fuentes móviles corresponden los vehículos motorizados, estos a su vez se dividen como fuentes dentro de la vía y fuentes fuera de la vía.

Existen varios contaminantes atmosféricos, pero nos centramos especialmente en tres, los cuales son el material particulado correspondientes a partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire, o coloquialmente llamado hollín, estos son peligrosos debido a su tamaño y composición y se dividen en dos materiales particulados: PM10 el cual tiene el poder potencial de llegar y penetrar las vías respiratorias recibiendo el nombre de la fracción respirable y, el material particulado de PM 2.5 que puede llegar hasta los alveolos pulmonares, esta es una fracción fina de este contaminante, siendo así, las industrias del coque con un 24% y la industria de la arcilla con un 46.6 % los que presentan mayor aportación a las emisiones de la ciudad de Cúcuta; las fuentes móviles contribuyen con el 53% del total de las emisiones con las motocicletas.

CORPONOR cuenta con cuatro estaciones de monitoreo de material particulado ubicadas en las siguientes localidades: El centro, Barrio comuneros, Barrio El salado y el Barrio punto

blanco, con el objeto de realizar el monitoreo diario de la ciudad de Cúcuta y poder tomar acciones de prevención ante cualquier evento que perjudique la salud humana y contaminación por emisiones atmosféricas fuera de los límites permisibles por la normatividad.

El aire en movimiento favorece las condiciones de dispersión de contaminantes Inversión térmica: Este fenómeno se presenta cuando la temperatura del aire a nivel del suelo es muy frío dificultando la dispersión de contaminantes e incrementando la concentración de los mismos.

Efectos Asociados a La Contaminación del Aire en Municipios de Norte de Santander

Miryam Reyes Ortega. P.U. Coordinadora Subgrupo Vigilancia y Control de Salud Pública en el Instituto Departamental de Salud, Norte de Santander. Correo electrónico: saludambiental@ids.gov.co

Jenny Carolina Gallego Rodríguez. Profesional vinculada al equipo de vigilancia en Salud Pública del Instituto Departamental de Salud, Norte de Santander. Correo electrónico: saludambiental@ids.gov.co

El Instituto Departamental de Salud de Norte de Santander, a través de la coordinación de salud Ambiental, lleva a cabo acciones de promoción, prevención, inspección y vigilancia de los eventos relacionados con el agua, aire, el cambio climático, el saneamiento básico, la seguridad química y los entornos saludables. Así mismo, se realiza atención a las problemáticas sanitarias generadas por fuentes de contaminación atmosférica, con el propósito de implementar pautas que ayuden a mitigar, minimizar y prevenir afectaciones a la salud de la población.

Las actividades económicas realizadas en algunos municipios del departamento de Norte de Santander pueden generar eventos relacionados con enfermedades asociadas a la calidad del aire, que pueden afectar a los trabajadores y a la comunidad. Estos eventos son considerados de interés público y son objeto de seguimiento por parte de la coordinación de vigilancia epidemiológica en salud pública de nuestra entidad.

Minería Verde: Estrategias para una Industria Sostenible

Cristhiam Humberto Jiménez Arévalo. Secretario de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Sostenibilidad, Gobernación de Norte de Santander. Correo electrónico: secambiente@nortedesantander.gov.co

En Colombia se tiene vocación minera, la minería se puede clasificar en: pequeña (oro=150 Ha), mediana (150 a 5000 Ha) o gran escala (5000 a más Ha), actualmente existen 9602 títulos en explotación minera que comprende entre otros: Carbón, oro, arcilla, los cuales involucran el tema de recursos naturales como el petróleo, etc. Norte de Santander (N. de S.) es un departamento minero, la producción se da en carbón, arcilla, roca fosfórica y materiales de construcción. Así como se tiene minería legal a nivel nacional, también se tiene de carácter ilegal.

En N. de S. en los últimos años ha incrementado la informalidad del sector minero a causa de diferentes situaciones que se vive en los contextos de la región, por ej. Poco conocimiento de los empresarios para pasar a una formalización minera; impactos negativos al medio ambiente de la minería, no solamente ha sido de la minería ilegal sino también de la minería legal principalmente la minería a gran escala (impactos por generación de escombros, deforestación, destrucción de acuíferos, entre otros), la utilización de agua en la minería es importante teniendo en cuenta la demanda del agua en la actividad minera; es decir, la huella ecológica de la minería es grande.

No es posible mencionar el desarrollo de una minería verde o ecológica en Colombia, pero si es evidente el desarrollo de una minería moderada que a través de los años y la legislación ha logrado tener planes de manejo ambiental para tratar de compensar esa huella ecológica irreversible, también ha tomado medidas de compensación para retribuir a las comunidades afectadas por cualquier proyecto minero, obra o actividad minera, además, han adelantado acciones mediante proyectos, por ej.: proyectos de restauración, reforestación, para reparar las condiciones del medio ambiente afectado, medidas de mitigación a los impactos y efectos negativos, medidas de prevención.

Respecto a los impactos negativos, se debe cambiar el paradigma, este debe ser “Producir más, dañar menos”, involucrar dentro del proceso de la industria de N. de S. una minería moderada, con menos impactos al ambiente, reducir la huella medio ambiental, minería de carácter legal, y esa minería que está por fuera de la legislación, que está generando algunas afectaciones, geológicas, biológicas: afluentes hídricos, alguna minería ilegal que utiliza recursos hídricos de zona de paramo. Frente a la realidad, se debe fortalecer todas las herramientas de carácter jurídico para entrar a combatir la ilegalidad, hablar de una minería moderada, aunque es importante la rentabilidad económica, se debe tener en cuenta los compromisos a nivel mundial correspondientes a garantizar los recursos naturales.

Tener responsabilidad ambiental frente al cambio climático, impulsa la implementación de tecnologías limpias en la industria minera a mediano y largo plazo; para lo cual, se debe considerar instalaciones de turbinas eólicas con vientos consistentes, realizar las actividades de manera responsable con el cuidado al medio ambiente, recurso hídrico, lo que requiere una normatividad más fuerte, que la estructura legislativa este de la mano con el medio ambiente. Para hablar de economía y minería, se debe hablar del término de transición energética, como se contempla en el Plan Nacional de Desarrollo Departamental, a la altura de los retos del sector minero con una conciencia ambiental.

En Norte de Santander el sector primario, la economía de explotación de recursos naturales tiene que ir encaminado a poder tener proyectos de medio ambiente con los objetivos de cuidar los ecosistemas y uso de combustibles más amigables, el Plan Integral de Cambio Climático Departamental, da cuenta de la articulación interinstitucional para un plan de choque. Se necesita empezar a trabajar de manera articulada con la academia en general, la autoridad ambiental, alcaldías como entes territoriales y demás instituciones para aportar al desarrollo de un territorio resiliente al clima, entendiendo que para hablar de paz hay que hablar de seguridad ambiental.

Para hablar de una minería verde, ecológica, sostenible en Colombia, hay que hablar de una minería moderada, entender el contexto en el que estamos, proteger nuestros recursos naturales para garantizar la permanencia de la humanidad y demás seres vivos en el planeta.

Minería de Carbón en Norte de Santander

Andrea Margarita Cárdenas Rangel. Profesional de la Secretaría de Gestión Minero Energética Sostenible del Departamento de Norte de Santander. *Correo electrónico:* secminas@nortedesantander.gov.co

Yarokcy Bautista Uribe. Profesional de la Secretaría de Gestión Minero Energética Sostenible del Departamento de Norte de Santander. *Correo electrónico:* secminas@nortedesantander.gov.co

La minería respecto al carbón genera 5000 empleos de forma directa y 16000 empleos de forma indirecta una cifra importante en lo que concierne a ese impacto social en la economía, contamos con dos principales tipos de carbones que son el carbón térmico y el carbón coquizable. El Carbón térmico Tiene un alto poder calorífico y bajos contenidos de azufre, cenizas y humedad, lo que lo hace muy reconocido en el mundo por su excelente calidad, usado para generar calor y cuyos principales consumidores son las empresas generadoras de energía, como las termoeléctricas, industrias como la cementera, y las ladrilleras. y todas aquellas que utilizan procesos de calentamiento por medio de calderas. Su producción anual se encuentra entre 1,5 y 2,0 millones de toneladas al año.

El Carbón coquizable en Norte de Santander es carbón metalúrgico bajo en fósforo, único en el mundo, lo cual le ha abierto a este producto el acceso a diferentes mercados y en los últimos años ha venido consolidando a Colombia como un proveedor confiable de este producto para la industria mundial de las ferroaleaciones, el carbón coquizable se caracteriza por una propiedad física principal que es el índice de hinchamiento.

En Norte de Santander el carbón incentivo el 40 % de los puestos de trabajo en más de 18 municipios donde existe actividad minera. El departamento cuenta en la actualidad con doscientos noventa y siete (297) títulos mineros activos que explotan Carbón, de ellos dos (2) títulos mineros se encuentran en exploración, diez (10) en etapa de construcción y montaje, y doscientos ochenta y cinco (285) en etapa de explotación para la producción de carbón, dentro de Norte de Santander

a grandes rasgos cuenta con dos clases de carbón térmico: usado para el consumo interno en la generación de energía eléctrica en todo el país. Tipo exportación (coquizable): posterior a un proceso de beneficio es exportado, contando así, con una amplia lista de países a donde su material explotado, es exportado a continentes como Europa, Asia, África, América del Norte y América del Sur. Cuando el recurso mineral tiene como destino la exportación, el comercializador internacional tiene la obligación de acreditar ante la DIAN el pago de la correspondiente regalía.

Gestión de Atmósferas Contaminadas en Minería Subterránea de Carbón

Raimundo Alonso Pérez Gómez. Docente-Investigador adscrito al Departamento Geotecnia y Minería y al Grupo de Investigación GEOENERGIA del Programa de Ingeniería de Minas de la Universidad Francisco de Paula Santander. Correo electrónico: planingminas@ufps.edu.co

De acuerdo con información suministrada por la Agencia Nacional de Minería ANM, con fecha de corte 18 de abril de 2024, en el periodo 2005 a 2024 se presentaron en la industria minera en Colombia 1880 emergencias que generaron un total de 2135 fatalidades. Por causa de atmósferas viciadas o contaminadas se generaron 300 emergencias (15.95% del Total) y 362 fatalidades (16.96% del Total).

El gas metano está incluido dentro de uno de los gases que contaminan la atmósfera minera subterránea, disminuyendo la concentración de oxígeno; igualmente, el polvo de carbón en suspensión también es un factor contaminante de la atmosfera minera. Ambos factores de riesgo tienen seria incidencia en detrimento de la salud de los trabajadores, la medida preventiva y de control más eficiente para prevenir la generación de explosiones por gas metano es el diseño e implementación de un circuito principal de ventilación mecanizado, complementado con la instalación de ventilación auxiliar y los elementos de regulación pertinentes, que garantice el suministro del caudal de aire requerido en cada frente de trabajo.

Es necesario que cada empresa minera realice un estudio técnico para cuantificar y caracterizar el polvo de carbón que se acumula en las labores mineras, con el fin de diseñar e implementar un programa de inertización con polvo de caliza, el cual es el método más recomendado para suspender la posible generación de explosiones de polvo de carbón, cuando fallan las dos primeas fronteras de defensa.

Referencias bibliográficas

Agencia Nacional de Minería (sin fecha). <https://www.anm.gov.co/?q=anna-mineria>

Agencia Nacional de Minería (2022).

Agencia Nacional de Minería. (2024). Estadística de Accidentabilidad, Tipología Colombia 2005 – 2024.

Asociación de Carboneros del Norte - ASOCARBONO. (4 de marzo de 2023). La voz del carbón en Norte de Santander

Asocarbor - Cúcuta - Colombia. <https://asocarbor.com/la-voz-del-carbon-en-norte-de-santander/>

Decreto 1076 de 2015 (Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible).

Decreto 001649 de 2021 (Gobernación de Norte de Santander).

Decreto 1886 de 2015 (Ministerio de Minas y Energía).

Decreto 944 de 2022 (Ministerio de Minas y Energía).

Fortalecimiento del laboratorio de calidad de aire, manteniendo el SG implementado bajo la norma ISO/IEC 17025:

2017 garantizando resultados confiables, para prestar servicios al sector productivo y a programas académicos de la regional Norte de Santander durante la vigencia 2024. Proyecto SGPS-12098, derechos de autor SGPS-SIPRO © 2023.

Gobernación de Norte de Santander. (2024-2027). Plan de Desarrollo Departamental. Sensor vital "Medimos para la vida" (sin fecha). <https://sensorvital.com/>

Grupo SENNOVA. Sistema de Investigación y Desarrollo Tecnológico - SENNOVA. [Online].; 2022. <https://www.sena.edu.co/es-co/formacion/paginas/tecnologia-innovacion.aspx>

Grupo Gestión de la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica y Formativa. (2023). Cap. 4. Perfiles Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación Sennova. En Guía para la Contratación de Perfiles Sennova en las Regionales y Centros de Formación. (pp. 29). Bogotá, Colombia.

Instituto Departamental de Salud de Norte de Santander. <https://ids.gov.co/>

Ministerio de Minas. (2020). Minería de Carbón en Colombia Transformado el futuro de la industria. Gobernador Co.

<https://www.minenergia.gov.co/static/mineriaco/src/document/documento%20carbon.pdf>.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (sin fecha). <https://www.minambiente.gov.co/>

Plan de Calidad del Aire Cúcuta – Región. (marzo de 2022). Plan prevención, reducción y control de la contaminación del Aire Cúcuta-Región. <https://corponor.gov.co/web/wp-content/uploads/2022/05/Plan-prevencion-reduccion-control-contaminacion-Cucuta-Region.pdf>

Resolución 2254 de 2017 (Ministerio del Medio Ambiente).

Resolución 18-1467 de 2011 (Ministerio de Minas y Energía).

Resolución 40209 de 2022 (Ministerio de Minas y Energía).

Sistema Nacional de Vigilancia en Salud Pública -SIVIGILA. Norte de Santander.

<https://www.ins.gov.co/Direcciones/Vigilancia/Paginas/SIVIGILA.aspx>

Unidad de Producción Minero Energética (sin fecha). <https://www1.upme.gov.co/simco>