

**APOYO TÉCNICO-AMBIENTAL EN LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS  
OPERATIVOS DE LA EMPRESA FURA EN COSCUEZ BOYACÁ**

**NICOLLE DALILA RUEDA PORRAS**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS – SECCIONAL TUNJA  
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL  
INGENIERIA AMBIENTAL  
2025**

**APOYO TÉCNICO-AMBIENTAL EN LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS  
OPERATIVOS DE LA EMPRESA FURA EN COSCUEZ BOYACÁ**

**NICOLLE DALILA RUEDA PORRAS**

**Proyecto de opción de grado para optar por el título de:  
INGENIERIA AMBIENTAL**

**Director:  
M.Sc. Ing. Alexander Saavedra**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS – SECCIONAL TUNJA  
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL  
INGENIERIA AMBIENTAL  
2025**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero dedicar un momento especial para expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido pilares fundamentales en mi vida y que me han acompañado a lo largo de este camino hacia la culminación de mi proyecto de opción de grado.

En primer lugar, a mis queridos padres, Gloria Stella Porras y José Isaias Rueda. Su amor incondicional ha sido el motor que me ha impulsado a seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles. A pesar de la distancia, su apoyo constante y sus palabras de aliento han resonado en mí, recordándome siempre la importancia de perseverar y luchar por mis sueños. Ustedes me han enseñado el valor del esfuerzo, y por eso les estaré eternamente agradecida.

A mi hermana, Catrinn Rueda, y a mi sobrina, quienes han llenado mi vida de alegría y amor. A ti, pequeña sobrina, te agradezco por recordarme la belleza de la inocencia y la importancia de disfrutar cada momento. Su amor me ha brindado la fuerza necesaria para seguir adelante.

A la Universidad Santo Tomás, quiero expresar mi gratitud por brindarme una formación académica sólida y completa. Cada clase, cada profesor y cada experiencia compartida ha contribuido a moldear no solo mis conocimientos profesionales, sino también mi carácter. Estoy profundamente agradecida por las oportunidades que se me han presentado durante mi tiempo aquí y por el ambiente enriquecedor que he podido disfrutar.

Agradezco sinceramente a la empresa FURA Gems por permitirme realizar mis prácticas profesionales. La experiencia adquirida en esta empresa ha sido fundamental para aplicar los conocimientos teóricos aprendidos en la universidad. Gracias a su confianza en mí, he podido crecer profesionalmente y desarrollar habilidades que serán esenciales en mi futuro laboral. Estoy muy agradecida por cada oportunidad brindada durante esta etapa.

Finalmente, quiero rendir un homenaje especial a mis amigas Luisa, Ximena y Angie. Ustedes no solo han sido compañeras de estudios, sino también amigas leales que siempre han estado ahí para apoyarme. Gracias por las risas compartidas en los momentos de estrés académico y por ser un pilar fundamental en los altibajos de este camino. Su amistad es un tesoro que valoro profundamente.

A todos ustedes, gracias desde el fondo de mi corazón. Sin su apoyo incondicional, este logro no habría sido posible. Espero poder seguir haciendo honor a todo lo que he aprendido gracias a ustedes.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. OBJETIVOS .....</b>	<b>11</b>
1.1.1. Objetivo general .....	11
1.1.2. Objetivos específicos .....	11
<b>3. MARCO TEORICO.....</b>	<b>15</b>
3.1. ESTADO DEL ARTE .....	18
3.2. MARCO LEGAL .....	22
<b>4. Metodología.....</b>	<b>24</b>
4.1 Diagrama 1. Metodología .....	24
4.2 Fase 1. Gestión integral de lixiviados del sistema de compost	
4.2.1 Diagnóstico y Revisión Bibliográfica: Revisión documental y bibliográfica26	
4.3 Fase 3. Educación ambiental y reforestación en ZODME.....	36
<b>5. RESULTADOS Y ANALISIS.....</b>	<b>37</b>
5.1 Localización .....	37
5.1.1 Fase 1: Diagnóstico y Revisión Bibliográfica .....	38
5.2.2 Recolección de muestra .....	39
5.3 Fase 2. Elaboración de Cartilla .....	45
5.4 Fase 3: Educación Ambiental y Reforestación en ZODME.....	48
5.4.1 Informe Encuestas De Satisfacción Talleres De Educación Ambiental.....	51
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>55</b>
6.1 RECOMENDACIONES.....	50
<b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>67</b>

## LISTADO DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Marco jurídico de investigación.....	23
Tabla 2.Parámetro fisicoquímico.....	29
Tabla 3.Parámetro Nutrientes.....	32
Tabla 4.Parámetros materia orgánica.....	33
Tabla 5.Resultados del análisis bibliográfico de experiencias similares (2018–2024). .....	38
Tabla 6.. Recolección de muestra .....	39
Tabla 7.Parámetros Normativos .....	41
Tabla 8. Resultados de laboratorio y Parámetros Normativos .....	41
Tabla 9.Resultados Parámetro fisicoquímico .....	46
Tabla 10.Parámetros de Nutrientes.....	47
Tabla 11.Parámetro de materia orgánica .....	47

## LISTADO DE ILUSTRACIONES

	<b>Pág.</b>
Ilustración 1 Metodología .....	25
Ilustración 2 .Localización .....	37
Ilustración 3.Microalgas .....	43
Ilustración 4. Microorganismos. ....	43
Ilustración 5. Portada Cartilla de Lixiviados .....	45
Ilustración 6. Registro fotográfico educación ambiental Coscuez S.A .....	49
Ilustración 7. Encuesta de Satisfacción .....	51
Ilustración 8. Respuesta de Talleres Ambientales.....	52
Ilustración 9.Respuesta de Talleres Ambientales.....	52
Ilustración 10.Respuesta de Talleres Ambientales.....	53

Ilustración 11.Respuesta de Talleres Ambientales.....	54
Ilustración 12. Restauración Ecológico.....	55

## ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo 1.Registro de asistencia.....	67
Anexo 2.Registro de asistencia.....	67
Anexo 3.Registro de asistencia.....	68
Anexo 4.Registro de asistencia.....	68

## **RESUMEN**

En el marco de una pasantía en Ingeniería Ambiental desarrollada con FURA GEMS en su operación de Coscuez (Boyacá), se diseñó una estrategia integral de gestión ambiental centrada en la caracterización y aprovechamiento del lixiviado generado por el sistema de compostaje EarthGreen SAC-4500. El análisis fisicoquímico de este subproducto reveló condiciones estables y un alto contenido de nutrientes (nitrógeno, fósforo y carbono orgánico), confirmando su potencial como biofertilizante líquido dentro de los estándares establecidos por la normativa nacional. A partir de estos hallazgos, se elaboró una cartilla técnica que sistematiza su manejo seguro y eficiente. Además, se implementaron programas de educación ambiental y reforestación en las Zonas de Depósito de Material Estéril (ZODME), fortaleciendo la conciencia ecológica en trabajadores y comunidades. Este proyecto no solo aportó soluciones técnicas sostenibles, sino que también promovió una minería responsable que articula productividad, restauración ecológica y participación comunitaria.

## **ABSTRACT**

As part of an Environmental Engineering internship conducted with FURA GEMS at its Coscuez (Boyacá) operation, a comprehensive environmental management strategy was designed focused on the characterization and utilization of the leachate generated by the EarthGreen SAC-4500 composting system. The physicochemical analysis of this byproduct revealed stable conditions and a high nutrient content (nitrogen, phosphorus, and organic carbon), confirming its potential as a liquid biofertilizer within the standards established by national regulations. Based on these findings, a technical booklet was developed that systematizes its safe and efficient management. In addition, environmental education and reforestation programs were implemented in the Sterile Material Deposit Zones (ZODME), strengthening ecological awareness among workers and communities. This project not only provided sustainable technical solutions but also promoted responsible mining that articulates productivity, ecological restoration, and community participation.

## INTRODUCCIÓN

En el contexto de una pasantía realizada en el marco de la Ingeniería Ambiental, surge la oportunidad de contribuir significativamente al desarrollo sostenible de FURA GEMS, una destacada compañía minera internacional especializada en la extracción de piedras preciosas como rubíes, zafiros y esmeraldas. Con presencia en países como Mozambique y Australia, su operación en Colombia específicamente en la vereda Coscuez, municipio de San Pablo de Borbur, Boyacá, ha cobrado especial relevancia por su enfoque en la explotación de esmeraldas bajo criterios de responsabilidad ambiental y social.

Esta pasantía se enmarca dentro del compromiso de FURA GEMS con una minería sostenible, y se enfoca en brindar apoyo técnico en el diseño, implementación y fortalecimiento de estrategias ambientales en tres ejes fundamentales. El primero corresponde al manejo técnico de los lixiviados generados por el equipo EarthGreen modelo SAC-4500, que trata residuos orgánicos derivados de las operaciones mineras, específicamente del casino. Para ello, se plantea una evaluación integral que incluye revisión bibliográfica de métodos de tratamiento, así como una caracterización físico-química de los lixiviados en el laboratorio de la Universidad Santo Tomás. Este análisis contempla parámetros como pH, conductividad, nutrientes esenciales, con el objetivo de determinar su viabilidad como fertilizante orgánico en las Zonas de Depósito de Material Estéril (ZODME), promoviendo así la recuperación de suelos y el cierre progresivo de pasivos ambientales. (Montesinos González, 2013)

El segundo componente del proyecto consiste en la elaboración de una cartilla técnica que documenta de forma clara y sistemática todo el proceso de gestión de lixiviados. Este material servirá como herramienta de consulta para futuras aplicaciones dentro de las operaciones de FURA GEMS, así como para otros actores del sector minero interesados en adoptar prácticas sostenibles. Finalmente, se desarrollan programas ambientales complementarios centrados en procesos educativos de sensibilización ambiental y en la ejecución de un plan de reforestación en las ZODME. Estas acciones buscan no solo restaurar la biodiversidad local afectada por la actividad minera, sino también generar una conciencia ambiental colectiva entre los trabajadores y las comunidades vecinas. (Sánchez, 2023)

Finalmente, se desarrollan programas ambientales complementarios centrados en procesos educativos de sensibilización ambiental y en la ejecución de un plan de reforestación en las ZODME. Estas acciones buscan no solo restaurar la biodiversidad local afectada por la actividad minera, sino también generar una conciencia ambiental colectiva entre los trabajadores y las comunidades vecinas. (LANDIN, 2023)

De este modo, el presente proyecto de pasantía no solo representa una valiosa experiencia académica y profesional, sino también una contribución directa al fortalecimiento de una minería más consciente, alineada con los principios de sostenibilidad ambiental y responsabilidad social. La estrategia integral implementada por FURA GEMS demuestra que es posible armonizar la productividad minera con la protección del entorno natural y el bienestar de las comunidades locales.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. Objetivo general**

Contribuir con el apoyo técnico para la mejora de la gestión operativa y ambiental de FURA GEMS con la implementación de soluciones innovadoras y sostenibles que optimicen sus procesos.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Evaluar las características fisicoquímicas, nutrientes y ambientales de los lixiviados generados en el sistema de compostaje EarthGreen SAC-4500, con el fin de determinar su potencial de aprovechamiento y sus implicaciones en el manejo ambiental responsable.
- Establecer lineamientos técnicos para el uso y manejo adecuado del lixiviado en consolidados de una cartilla de divulgación que facilite su aplicación segura y eficiente en el contexto local.
- Promover campañas de educación ambiental y reforestación en ZODME para empleados y la comunidad en general e implementar un plan de reforestación en las ZODME con especies nativas para prevenir la erosión, recuperar la biodiversidad y fomentar la iniciativa de conservación y restauración ambiental.

## **2. Antecedentes**

En las últimas décadas, el sector minero ha intensificado sus esfuerzos por incorporar prácticas sostenibles que mitiguen los impactos ambientales derivados de sus operaciones. Sin embargo, aún persisten desafíos significativos, especialmente en la gestión de residuos líquidos como los lixiviados provenientes de procesos de compostaje o disposición de residuos orgánicos. Diversos estudios han demostrado que estos lixiviados pueden contener compuestos altamente

contaminantes, entre ellos materia orgánica disuelta, nutrientes en altas concentraciones y metales pesados (Mendoza-Burguete, 2024), los cuales representan un riesgo para los suelos y las fuentes hídricas si no se gestionan adecuadamente.

En Colombia, estudios centrados en el uso de lixiviados para restaurar suelos han evidenciado resultados alentadores (MinasMedellin, 2016). Por ejemplo, (Torrez, 2018) encontraron que al tratar adecuadamente los lixiviados, estos pueden actuar como biofertilizantes capaces de mejorar la estructura y fertilidad de suelos degradados. Esta estrategia, además de reducir los impactos ambientales, contribuye a la economía circular y al cierre de ciclos en la producción minera y agroindustrial.

Investigaciones como la de González, (2013) y MinasMedellin, (2016) han resaltado que los lixiviados provenientes de residuos orgánicos pueden transformarse en abonos líquidos de alto valor agronómico, siempre que pasen por un proceso de estabilización y análisis adecuado. Cuando se manejan adecuadamente, estos subproductos no solo disminuyen la contaminación, sino que también proporcionan nutrientes importantes como nitrógeno, fósforo y potasio, que son esenciales para la recuperación de suelos que han sido degradados por actividades de extracción según biotech,(2023).

Por su parte, ANSORENA MINER, (2016) subraya la necesidad de realizar una caracterización detallada de los lixiviados antes de definir su destino. La ausencia de información sobre parámetros como la DQO, sólidos disueltos, conductividad eléctrica, carbono orgánico total y presencia de metales pesados dificulta establecer si estos residuos representan un riesgo o si pueden ser aprovechados. Esta omisión es común en muchos sistemas de compostaje, donde se prioriza la disposición rápida sobre un análisis ambiental riguroso.

En línea con esto, el enfoque adoptado por Chile a través de su Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos, citado por Coalition & Colation (2021), muestra que la transformación de residuos en insumos agrícolas ha generado beneficios en términos ambientales y productivos. Esta experiencia puede replicarse en entornos mineros como el colombiano, promoviendo el reemplazo de fertilizantes químicos por alternativas más sostenibles.

Asimismo, la incorporación de la educación ambiental como eje transversal en proyectos de restauración ecológica ha sido ampliamente reconocida como una herramienta efectiva para promover la participación comunitaria y fomentar una cultura de sostenibilidad (Revolution, 2024). Las experiencias de empresas mineras que han vinculado programas de capacitación con la rehabilitación ambiental han demostrado que estos procesos aumentan la aceptación social de los proyectos y mejoran los resultados ecológicos a largo plazo.

En cuanto al componente educativo, Espinoza (2023) argumenta que la educación ambiental debe centrarse en cambiar hábitos y actitudes, más allá de solo transmitir conocimientos. En contextos mineros, involucrar activamente a niños y jóvenes contribuye a consolidar una cultura de sostenibilidad que perdure más allá del proyecto.

Por otra parte, en contextos mineros como el de la vereda Coscuez (Boyacá), los desafíos relacionados con la restauración de Zonas de Depósito de Material Estéril (ZODME) aún requieren mayores esfuerzos técnicos y estratégicos. Según informes del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (BECERRA, 2024), las acciones de reforestación con especies nativas en áreas impactadas por minería han contribuido significativamente a la recuperación de biodiversidad y al control de erosión, especialmente cuando se complementan con el uso de bioinsumos derivados del compostaje.

La Guía Metodológica de Cobertura Vegetal del Ministerio de Ambiente (2022) establece parámetros técnicos para intervenir áreas afectadas. Se recomienda el uso de especies nativas, fertilizantes orgánicos y herramientas de bioingeniería como geomantos, con el fin de restaurar eficazmente las zonas degradadas, principios que ya se aplican parcialmente en las actividades de FURA GEMS.

Desde el punto de vista pedagógico, autores como Kolb (2022) y López (2016) destacan que los aprendizajes más significativos provienen de experiencias prácticas. Actividades como sembrar, recolectar muestras o reciclar permiten a los participantes comprometerse más activamente con el cuidado del ambiente, fortaleciendo su sentido de pertenencia con el territorio.

León (2023) y extension.okstate,(2022) analizó cómo el compost puede contrarrestar los efectos del drenaje ácido de minas, concluyendo que su uso puede disminuir la acidez del suelo y controlar la movilización de metales. Esto respalda el aprovechamiento de lixiviados compostados como insumo en zonas afectadas, siempre que se validen técnicamente sus propiedades.

Gallo (2023), por otro lado, identificó que la valorización de residuos orgánicos como biofertilizantes es una tendencia creciente a nivel global. No obstante, advierte sobre la necesidad de marcos normativos claros que regulen su uso. En Colombia, esta falta de regulación representa tanto un reto como una oportunidad para liderar innovaciones desde el sector minero.

Finalmente, Red de árboles (2025) presenta casos exitosos en países vecinos, donde las empresas han impulsado procesos de reforestación en colaboración con escuelas locales. Estas vivencias no solo han ayudado a restaurar ecosistemas, sino que también han mejorado la percepción de la minería, demostrando la importancia de combinar educación, restauración y manejo.

FURA GEMS, como empresa minera con presencia internacional, ha reconocido la necesidad de avanzar hacia una minería responsable. No obstante, enfrenta problemáticas concretas en sus operaciones, como la ausencia de un manejo adecuado de lixiviados, la limitada sistematización técnica de sus procesos y la falta de estrategias de restauración ecológica integradas. Estos antecedentes ponen en evidencia la importancia de diseñar e implementar proyectos que articulen el conocimiento técnico con soluciones sostenibles a nivel local, y que puedan, a su vez, ser replicables en otros contextos internacionales.

### 3. MARCO TEORICO

El fundamento teórico de este proyecto se basa en una estructura conceptual y técnica que une la gestión del medio ambiente, la mejora de operaciones en el ámbito minero y el impulso de la sostenibilidad a través de la economía circular y la formación ambiental. La intervención en la empresa FURA, situada en el corregimiento de Coscuez (en el municipio de San Pablo de Borbur, Boyacá), propone un enfoque integral que combina aspectos técnicos y ambientales, buscando optimizar procesos en áreas críticas como el manejo de lixiviados de compost, la gestión de Zonas de Depósito de Material Estéril (ZODME), la reforestación y el fortalecimiento del tejido comunitario. Definición de conceptos clave: Para entender correctamente los elementos técnicos y ambientales que se tratan en este proyecto, se presentan a continuación algunos términos esenciales: Esmeraldas: Son gemas de la familia del berilo, que se distinguen por su intenso color verde, resultado de la presencia de cromo y vanadio. Colombia se destaca como uno de los principales países productores de esmeraldas a nivel global, con regiones como Muzo, Coscuez y Chivor que son reconocidas por la calidad y pureza de sus yacimientos.

La extracción de esmeraldas se realiza a través de actividades mineras que, aunque generan beneficios económicos, también pueden provocar impactos negativos en el medio ambiente si no se gestionan adecuadamente (Esmeralda, 2024). ZODME (Zonas de Depósito de Material Estéril): Se refiere a áreas designadas dentro de un proyecto minero donde se almacenan materiales extraídos que no tienen valor económico, como rocas, tierra o desechos.

A pesar de no ser peligrosos por sí mismos, estos materiales pueden poner en riesgo la estabilidad del suelo, modificar el paisaje y provocar erosión. Por lo tanto, las ZODME deben ser manejadas siguiendo criterios técnicos que abarquen la estabilidad geotécnica, la reforestación y el control de escorrentías (GODOY, 2018). Lixiviados: Son líquidos que se producen por la descomposición de materia orgánica o al pasar agua a través de residuos sólidos, como restos orgánicos o desechos. Dichos líquidos pueden contener nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, además de contaminantes orgánicos o metales pesados.

En los procesos de compostaje, los lixiviados pueden utilizarse como fertilizantes líquidos siempre que sean caracterizados adecuadamente y cumplan con los parámetros técnicos y ambientales (Soto, 2020). En el contexto minero, una correcta gestión de estos líquidos previene la contaminación del suelo y de cuerpos de agua cercanos. La gestión de operaciones en el sector de la extracción busca optimizar recursos, minimizar pérdidas y aumentar la eficiencia en la producción, sin descuidar la responsabilidad socioambiental. Según Beltrán Orjuela (2021), las

metodologías de gestión de procesos pueden adaptarse al entorno minero para llevar a cabo actividades como el aprovechamiento de subproductos orgánicos, la planificación de tareas de restauración ecológica y el fortalecimiento de protocolos internos de conservación ambiental.

En esta dirección, la creación de métodos para el manejo de lixiviados y su uso en proyectos de revegetalización representa un modelo práctico que intenta integrar residuos con potencial de valorización en los ciclos productivos, en línea con los principios de la economía circular. Los lixiviados que se generan al compostar residuos orgánicos poseen altos niveles de nutrientes, como nitrógeno, fósforo y potasio, además de posibles trazas de metales pesados. Un manejo inadecuado de estos lixiviados puede conllevar efectos perjudiciales sobre el suelo y los cuerpos de agua cercanos (Soto, 2020).

No obstante, si se analizan y tratan de manera adecuada, este subproducto puede convertirse en un recurso valioso para actividades de restauración ambiental. Según Escobar (2020), el uso de lixiviados para la recuperación de suelos deteriorados responde a una lógica de eficiencia ambiental, donde el residuo se transforma de un pasivo en un recurso valioso que contribuye al cierre del ciclo productivo. Las Zonas de Depósito de Material Estéril (ZODME) exhiben condiciones ecológicas vulnerables debido a la intervención mecánica, pérdida de vegetación y compactación del suelo. Para su restauración se necesita un plan técnico que considere criterios de estabilidad, fertilización y revegetalización con especies autóctonas. De acuerdo al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente, 2022).

La revegetalización de áreas mineras es un requisito ambiental que ayuda a disminuir la erosión, controlar la dispersión de partículas y restaurar la biodiversidad de la región. Dentro de este marco, el uso de lixiviados como un fertilizante orgánico se presenta como una solución técnica económica y de gran impacto, ya que mejora las propiedades físico-químicas del suelo, favorece la infiltración de agua y estimula el crecimiento radicular de especies pioneras.

La participación activa de las comunidades en iniciativas de educación ambiental y restauración ecológica refuerza el sentido de pertenencia y la corresponsabilidad con su entorno. El Ambiente (2024) destaca que la educación ambiental crítica no solo imparte conocimientos, sino que empodera a las personas para que tomen decisiones responsables frente a las problemáticas ambientales de su contexto más cercano. Este proyecto incluye la implementación de estrategias educativas dirigidas tanto al personal de FURA como a integrantes de comunidades aledañas, con el objetivo de concienciar sobre el uso de residuos, la conservación de fuentes de agua y la protección de áreas de amortiguamiento ecológico.

La economía circular aboga por la revalorización de materiales y residuos con el fin de reducir el uso de recursos naturales y minimizar impactos ambientales. En el sector minero, este enfoque ha comenzado a aplicarse mediante el reciclaje de agua, la recuperación de minerales sobrantes y el aprovechamiento de residuos orgánicos (Espinoza, 2023). El manejo y aprovechamiento de los lixiviados producidos a partir del compostaje es un ejemplo claro de economía circular. Aquí, los desechos que se originan en comedores o campamentos pueden ser tratados y devueltos al suelo como fertilizante, beneficiando áreas que han sido afectadas.

Este proceso disminuye la cantidad de basura generada, aumenta la eficiencia operacional de la empresa y contribuye a cumplir con metas de sostenibilidad. La implementación del proyecto en el entorno universitario aplica el principio de aprendizaje a través de la experiencia (Kolb, 2022), donde el saber se adquiere mediante la interacción activa con el entorno. La participación del estudiante en trabajos de campo, análisis de lixiviados, apoyo en actividades de reforestación y elaboración de planes de educación ambiental propiciará una formación completa enfocada en la resolución de problemáticas reales, al mismo tiempo que desarrollará habilidades técnicas, éticas y profesionales (López, 2016).

### 3.1. ESTADO DEL ARTE

Este apartado aborda la recopilación de información actualizada sobre la gestión de lixiviados y la implementación de programas ambientales en el sector minero, con el objetivo de sustentar teóricamente los componentes del proyecto y analizar experiencias similares en el ámbito regional, nacional e internacional. Se examinan los avances en el tratamiento y aprovechamiento de lixiviados generados por sistemas de compostaje, así como las estrategias de educación ambiental y reforestación en las Zonas de Depósito de Material Estéril (ZODME), con base en estudios recientes y casos de éxito.

#### Gestión de Lixiviados

El manejo adecuado de los lixiviados es crucial para mitigar los riesgos ambientales. Según estudios como los de (Díaz González, 2024), el tratamiento de lixiviados generados por residuos orgánicos mediante métodos biológicos y químicos, como la conversión de estos lixiviados en fertilizantes orgánicos, ha demostrado ser una estrategia eficaz para reducir su impacto ambiental. Esta tecnología no solo permite reciclar los lixiviados, sino que también ofrece una forma de reducir su toxicidad mediante la remoción de nutrientes y metales pesados, convirtiéndolos en productos útiles para la agricultura o la rehabilitación de suelos.

En Guaduas, Cundinamarca, Rodríguez (2020) analizó la gestión de residuos sólidos orgánicos en el PGIRS local, enfocándose en los desechos generados en la plaza de mercado. Su estudio resaltó el potencial de estos residuos como materia prima para compostaje, lombricultura o biogás, y propuso medidas para optimizar su aprovechamiento y reducir impactos sanitarios.

Desde Perú, Asencios Cerna (2018) diagnosticó el sistema de residuos en Aucayacu, encontrando fallas en la recolección, baja participación ciudadana y deficiente infraestructura. A partir de ello, recomendó fortalecer la educación ambiental y mejorar el sistema de cobro y disposición.

En Málaga, Santander, García (2018) evaluó el manejo domiciliario de residuos desde la economía circular. Su trabajo evidenció que la participación activa de instituciones y comunidad es esencial para cumplir con las metas del PGIRS, promoviendo una gestión más sostenible y replicable.

Por su parte, Reyes (2004) investigó el uso de lixiviados derivados de residuos agrícolas en el control de la Sigatoka negra en plátano, demostrando su eficacia como alternativa ecológica a los productos químicos tradicionales. Este enfoque plantea una solución sostenible que reutiliza residuos como insumo agrícola.

En la región de Huancavelica, Baldeon et al. (2023) evaluaron lixiviados orgánicos de relleno sanitario como fertilizante en el cultivo de flores. Sus resultados mostraron un mayor crecimiento en plantas regadas con lixiviado diluido, evidenciando su potencial en la agricultura sostenible.

De forma similar, Stephany (2020) probó lixiviados de *Hermetia illucens* en el cultivo de pimiento, obteniendo mejoras en el rendimiento comparado con otros abonos orgánicos. Asimismo, Huayllasi (2024) demostró que lixiviados de estiércol, junto con micronutrientes, incrementan significativamente la producción de fresa bajo acolchado.

Estos estudios refuerzan la idea de que los residuos orgánicos no son desechos sin valor, sino insumos valiosos cuando se gestionan adecuadamente. En este sentido, la caracterización del lixiviado generado por el sistema EarthGreen en FURA GEMS representa una oportunidad para aplicar estos conocimientos en contextos mineros, aportando al desarrollo de soluciones agrícolas y ambientales sostenibles.

## Educación Ambiental y Reforestación en ZODME

Los programas de educación ambiental y la reforestación en ZODME son elementos esenciales para asegurar la sostenibilidad de las actividades mineras y restaurar los ecosistemas afectados. Investigaciones como las (Agudelo, 2021) y (Suntasig-Negrete) muestran que las Zonas de Depósito de Material Estéril (ZODME), que son áreas utilizadas para almacenar materiales sobrantes de la minería, pueden ser recuperadas mediante programas de reforestación utilizando especies nativas. Estos programas no solo ayudan a prevenir la erosión y la pérdida de biodiversidad, sino que también favorecen la regeneración de los suelos, contribuyendo a la restauración del ecosistema local.

Diversos estudios han abordado la gestión ambiental y la educación como herramientas clave para transformar la relación entre los seres humanos y el medioambiente. En esta línea, Cosano Delgado y Acosta García (2009) proponen que la gestión ambiental puede contribuir al replanteamiento estratégico de las empresas, si se comprende la compleja interdependencia entre la actividad humana y la naturaleza. Los autores resaltan que el cambio ambiental no será posible sin una transformación cultural profunda que integre el desarrollo material con la sostenibilidad ecológica.

Otro aspecto relevante es la calidad de los procesos de reforestación. Wightman y Cruz (2003) analizan cómo el éxito de los programas de restauración forestal en México está condicionado por una cadena de factores, desde la selección de semillas hasta el mantenimiento de las plantas en campo. Su investigación subraya que mejorar la coordinación y asegurar la calidad en cada etapa del proceso es esencial para aumentar la tasa de supervivencia en zonas reforestadas.

En cuanto al ámbito educativo, Calixto Flores (2012) sostiene que la investigación en educación ambiental debe centrarse en articular lo pedagógico con lo ambiental, con el fin de generar cambios reales en la forma en que las personas se relacionan con su entorno. Su enfoque integral permite construir estrategias educativas eficaces que respondan a los retos socioambientales actuales, formando ciudadanos más conscientes.

Desde un enfoque aplicado, Salazar (2013) evalúa la implementación de medidas de compensación ambiental en un proyecto de perforación exploratoria en Colombia. Esta investigación destaca la importancia de revisar los procedimientos empleados para garantizar que las acciones compensatorias sean coherentes, eficaces y realmente mitiguen los impactos ambientales y sociales. Aunque se reconoce que los daños a la naturaleza no siempre son completamente reversibles, se plantea la necesidad de mejorar continuamente dichas medidas.

Por otro lado, Ojeda-González (2023) examina las tensiones entre los Proyectos Ambientales Escolares (PRAE) y la Educación Ambiental Comunitaria (EAC) en el contexto colombiano. A través del análisis documental, la autora identifica puntos de convergencia y desencuentro en las orientaciones curriculares, sugiriendo que, aunque la EAC no está explícitamente nombrada, podría estar implícita en las prácticas educativas escolares. Este estudio ofrece insumos valiosos para fortalecer la coherencia de las propuestas educativas en el país.

En el ámbito de la minería, Ducat Montero (2022) analiza las prácticas de una mina de agregados pétreos en Riohacha, encontrando que la empresa ha implementado acciones como la reforestación y la optimización del uso del agua. Esta investigación evidencia que es posible aplicar medidas de responsabilidad ambiental en sectores extractivos, siempre que haya compromiso institucional y cumplimiento normativo.

A nivel teórico, Martínez (2023) plantea la necesidad de transitar desde un paradigma mecanicista hacia uno ambiental en la educación, integrando la formación ética y estética. Esta visión busca superar una educación centrada en el uso instrumental de la naturaleza y promover una comprensión más sensible y holística de la relación entre humanos y medioambiente, lo cual resulta esencial para una transformación educativa real.

Finalmente, Guevara Herrero, Pérez Martín y Bravo Torija (2023) realizan una revisión sistemática de la investigación en educación ambiental tras la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Los autores hallan un cambio progresivo desde enfoques teóricos hacia estudios prácticos, aunque también evidencian una cierta desconexión entre las investigaciones educativas y su dimensión social, lo que indica la necesidad de fortalecer esta relación.

En conjunto, estas investigaciones revelan una evolución constante en el campo de la gestión y educación ambiental, cada una desde perspectivas distintas, pero complementarias. Todas coinciden en la importancia de fomentar cambios estructurales, ya sea en la cultura, la educación, la gestión empresarial o las políticas públicas. Esta revisión permite sustentar nuestro proyecto al mostrar cómo el conocimiento actual respalda la necesidad de implementar estrategias integrales para la gestión de lixiviados, educación ambiental y restauración ecológica en contextos como el minero. Las investigaciones consultadas nos orientan hacia una intervención que no solo responda a requerimientos técnicos, sino que también contribuya a una transformación cultural y educativa coherente con los desafíos ambientales contemporáneos.

### **3.2. MARCO LEGAL**

El proyecto se enmarca dentro de un conjunto de normativas nacionales que rigen la gestión ambiental y operativa en actividades industriales, en particular aquellas relacionadas con el manejo de residuos, lixiviados, reforestación y restauración ecológica en zonas de depósito de material estéril (ZODME). La Ley 99 de 1993 establece la estructura del Sistema Nacional Ambiental (SINA), el cual guía todas las actividades que involucren impactos al medio ambiente, como la caracterización

de residuos o la reforestación de áreas intervenidas. Esta ley, junto con la Ley 1333 de 2009, regula el manejo de residuos líquidos peligrosos como los lixiviados, promoviendo la adopción de medidas preventivas y correctivas que protejan el entorno.

En el contexto específico del proyecto con FURA GEMS, la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente define los límites máximos permisibles para vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y sistemas de alcantarillado, lo cual es fundamental para la caracterización técnica de los lixiviados generados por el compostaje en el sistema modelo SAC-4500. Paralelamente, la reforestación y recuperación de las ZODME encuentra soporte legal en la Ley 99 de 1993, así como en el Plan Nacional de Restauración Ecológica y la Resolución 157 de 2016, que orientan la rehabilitación ecológica con especies nativas en zonas degradadas. La Ley 1549 de 2012, que promueve la educación ambiental como herramienta de participación y conciencia ciudadana, también respalda las campañas que se desarrollarán con empleados y comunidades. Así, el marco normativo proporciona una base sólida y coherente con los objetivos de sostenibilidad y responsabilidad ambiental del proyecto.

*Tabla 1. Marco jurídico de investigación.*

Norma	Observaciones
Ley 99 de 1993	Crea el SINA y establece principios rectores de protección ambiental; base jurídica para la reforestación, manejo de residuos y conservación de la biodiversidad.
Ley 1333 de 2009	Regula el procedimiento sancionatorio ambiental; establece obligaciones frente al manejo inadecuado de residuos o afectación de cuerpos de agua por lixiviados.
Resolución 0631 de 2015	Define los límites máximos permisibles para vertimientos, incluyendo lixiviados; guía los parámetros fisicoquímicos para su caracterización.
Resolución 157 de 2016 (MADS)	Regula la restauración ecológica con criterios de sostenibilidad; promueve el uso de especies nativas en procesos de reforestación.
Ley 1549 de 2012	Fortalece la educación ambiental formal y no formal; respalda las campañas de concienciación dirigidas a empleados y comunidad.

Ley 1252 de 2008	Establece disposiciones para la gestión integral de residuos peligrosos, entre ellos los lixiviados industriales.
<i>Resolución No. 00150</i>	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelos para Colombia.
Decreto 1076 de 2015 (Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente)	Reúne disposiciones reglamentarias sobre calidad del agua, manejo de residuos y responsabilidad ambiental de las empresas.

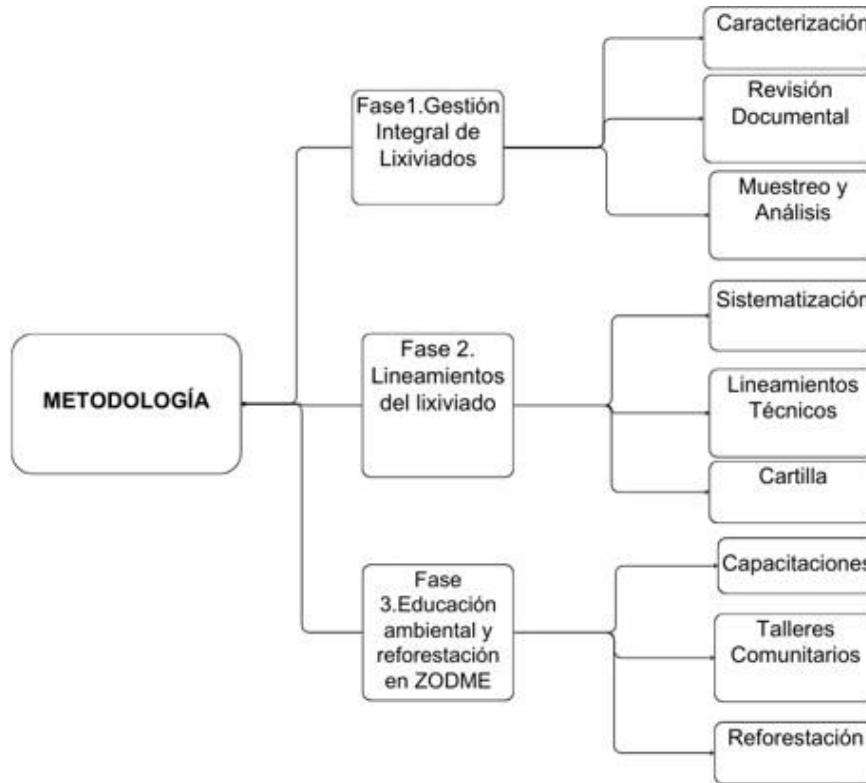
*Fuente: Autor.*

#### **4. METODOLOGIA**

En esta sección, se establecen los objetivos de la investigación experimental y se plantean los posibles desafíos que podrían surgir en la consecución de dichos objetivos. Se reitera brevemente la importancia de la investigación y se proporciona un contexto para comprender los métodos empleados.

## 4.1 Diagrama 1. Metodología.

Ilustración 1 Metodología



Fuente: Autor.

A continuación, se describe detalladamente la metodología que se llevará a cabo para alcanzar los objetivos planteados en el proyecto. La gestión de lixiviados, la implementación de programas educativos y de reforestación. Cada actividad ha sido estructurada para garantizar la eficiencia en la recolección de datos, análisis y resultados, empleando técnicas analíticas y equipos adecuados para asegurar el éxito del proyecto.

### 4.2 Fase 1. Gestión integral de lixiviados del sistema de compost

La primera fase del proyecto se enfoca en la gestión técnica y ambiental de los lixiviados generados por el sistema de compostaje EarthGreen modelo SAC-4500. Esta fase contempla un diagnóstico preliminar mediante la revisión de literatura científica y normativa aplicable, así como la recolección y análisis fisicoquímico de muestras del lixiviado. El objetivo es caracterizar sus propiedades para determinar

su viabilidad como fertilizante o su necesidad de tratamiento, todo en cumplimiento con la normativa ambiental vigente. La caracterización se llevará a cabo en los laboratorios especializados de la Universidad Santo Tomás, siguiendo protocolos normalizados para asegurar precisión y confiabilidad.

#### **4.2.1. DIAGNÓSTICO Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA: REVISIÓN DOCUMENTAL Y BIBLIOGRÁFICA**

En esta etapa se lleva a cabo una recolección exhaustiva de información bibliográfica relacionada con el manejo de lixiviados generados en sistemas de compostaje. Se consultan fuentes académicas, normativas ambientales, manuales técnicos, tesis de grado y artículos científicos nacionales e internacionales. El propósito es construir un marco teórico y técnico que permita comprender los procesos físicos, químicos y biológicos que influyen en la composición de los lixiviados, así como los métodos más utilizados para su tratamiento, reutilización y análisis. Esta revisión permite contextualizar el proyecto dentro de las mejores prácticas reconocidas y establecer una base sólida para las fases siguientes.

#### **4.2.2. Análisis de experiencias comparadas**

Paralelamente a la revisión bibliográfica, se realiza un análisis de casos y experiencias similares aplicadas en contextos mineros tanto en Colombia como en otros países. Se priorizan ejemplos donde se haya utilizado el compostaje como estrategia de gestión de residuos orgánicos y donde el lixiviado generado haya sido caracterizado o reutilizado, particularmente en zonas de influencia minera. Este análisis permite identificar enfoques exitosos, dificultades enfrentadas y aprendizajes clave que puedan ser transferidos y adaptados al contexto específico de la vereda Coscuez, donde opera la compañía COSCUEZ S.A.

#### **4.2.3 Identificación de parámetros clave para la caracterización**

Con base en la información recolectada, se identifican los principales parámetros que deben medirse para evaluar la calidad y el potencial del lixiviado. Estos parámetros incluyen características fisicoquímicas como el pH, los sólidos totales disueltos (TDS) y la demanda química de oxígeno (DQO); nutrientes esenciales como el nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ), amonio ( $\text{N-NH}_4^+$ ), fosfato ( $\text{P-PO}_4^{3-}$ ) y potasio ( $\text{K}^+$ ); así como posibles contaminantes como metales pesados (cadmio, plomo, mercurio y arsénico), en caso de que estén presentes. También se incluye la medición del carbono orgánico total (COT), como indicador de la carga de materia orgánica. Esta

selección permitirá una caracterización técnica integral que facilite evaluar su reutilización como fertilizante o su disposición segura.

#### **4.2.4 Recolección y manejo inicial de lixiviado**

Una vez generado el lixiviado en el sistema de compostaje tipo EAR (modelo SAC-4500), el proceso de recolección se realiza de manera continua, conduciendo los líquidos percolados hacia un recipiente primario donde se almacenan temporalmente. Este almacenamiento inicial permite garantizar que el lixiviado recolectado sea representativo del sistema y esté libre de contaminaciones externas, asegurando así su idoneidad para el análisis posterior. Luego de un periodo de reposo que favorece la sedimentación de sólidos, se procede a preparar una mezcla homogénea con una proporción del 10 % de lixiviado sedimentado y 90 % de agua, siguiendo un protocolo de Bernat, (2020) y Cardoso, (2019).

#### **Cálculo para 2 litros (2000 mL)**

- $10\% \times 2000 \text{ mL} = 200 \text{ mL}$
- $90\% \times 2000 \text{ mL} = 1800 \text{ mL}$

**Lixiviado:** 200 mL

- Agua: 1800 mL
- Total: 2000 mL (2 L)

#### **4.2.5 Envío a laboratorio y preparación para análisis**

Una vez recolectadas y homogeneizadas, las muestras de lixiviado se trasladan al laboratorio de la Universidad Santo Tomás para su respectivo análisis técnico. Durante este proceso, se garantiza el cumplimiento de las condiciones de conservación, especialmente la refrigeración, para preservar la integridad de los compuestos presentes en el lixiviado. Al llegar al laboratorio, se realiza una verificación cuidadosa de la identificación de cada frasco, asegurando que los rótulos estén legibles y completos, a fin de evitar errores durante la caracterización y asegurar la trazabilidad de las muestras.

**Preparación de la muestra:** Antes de iniciar los análisis de laboratorio, las muestras de lixiviado deben ser adecuadamente preparadas para garantizar resultados representativos y confiables. El lixiviado previamente reposado y

sedimentado se homogeneiza cuidadosamente para asegurar una distribución uniforme de sus componentes. Si contiene partículas sólidas visibles, se realiza una filtración utilizando papel filtro o tamiz fino. Posteriormente, se toman alícuotas representativas y se envasan en frascos plásticos o de vidrio previamente esterilizados. Cada muestra se rotula con la información correspondiente (fecha, origen, tipo de análisis) y se conserva a una temperatura entre 4 °C y 6 °C hasta el momento de su análisis, con el fin de evitar alteraciones en sus propiedades fisicoquímicas.

Al concluir el proceso de envío y preparación de las muestras, es fundamental señalar que todas las etapas se realizaron conforme a metodologías validadas por literatura técnica especializada. Se aplicaron los lineamientos del Manual de compostaje para hogares y comunidades del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (publication, 2022), los cuales establecen criterios precisos para el almacenamiento, identificación y transporte de lixiviados. También se tomaron en cuenta las recomendaciones de Suliasih (2010), quien resalta la necesidad de estabilizar, homogeneizar y filtrar adecuadamente los lixiviados para conservar sus propiedades antes del análisis. De igual forma, se siguieron los procedimientos sugeridos por Larco (2004) en su trabajo sobre la gestión de lixiviados derivados de la lombricultura, especialmente en lo relacionado con el uso de frascos esterilizados, el control de temperatura y el etiquetado correcto. La adopción de estas metodologías permitió asegurar la integridad de las muestras y la confiabilidad de los análisis fisicoquímicos realizados.

Al concluir el proceso de envío y preparación de las muestras, es importante resaltar que, aunque no existe un protocolo específico del IDEAM para el tratamiento de lixiviados, sí se adoptaron metodologías alineadas con los lineamientos generales de calidad del agua establecidos por esta entidad, especialmente aquellos aplicables a aguas superficiales (IDEAM, 2017; IDEAM, 2020). Los análisis fisicoquímicos y de nutrientes se realizaron siguiendo procedimientos reconocidos en la literatura técnica, lo que permitió garantizar la integridad de las muestras y la validez de los resultados obtenidos. Esta adopción de protocolos estandarizados refuerza la confiabilidad del estudio y su aplicabilidad dentro del marco ambiental colombiano.

- **Análisis fisicoquímico (IDEAM, 2017)**

Tabla 2. Parámetro fisicoquímico

Parámetro	Técnica / Método	Equipo utilizado
PH	Potenciometría	pH-metro calibrado
Sólidos Totales Disueltos (TDS)	Método gravimétrico	Estufa a 105 °C, balanza analítica
DQO (Demanda Química de Oxígeno)	Método colorimétrico cerrado	Digestor y espectrofotómetro UV-VIS
Conductividad eléctrica	Conductimetría	Conductímetro

Fuente: Autor.

### Medición directa del pH

- Calibrar el pH-metro con soluciones buffer de pH 4.00, 7.00 y 10.00 antes de medir.
- Enjuagar el electrodo con agua destilada entre cada paso.
- Sumergir el electrodo en la muestra líquida (sin tocar el fondo) y esperar que la lectura se estabilice.
- Registrar el valor del pH

### Protocolo de Sólidos Totales Disueltos (TDS) por Método Gravimétrico

La medición de los Sólidos Totales Disueltos (TDS) se llevó a cabo utilizando el método gravimétrico, conforme a las directrices que marcan los protocolos técnicos nacionales. La muestra fue filtrada y, después, se secó en un horno a 105 °C hasta alcanzar un peso estable. La variación en el peso del recipiente antes y después del proceso de secado hizo posible calcular la concentración de TDS en mg/L. Este método asegura que la medición de la cantidad de sólidos disueltos en el lixiviado sea precisa.

### Preparación de la cápsula

- Se utilizan cápsulas de aluminio.
- Se secan en estufa a 103–105 °C durante 2 h, luego se enfrían en desecador y se pesan (Peso A)

### **Evaporación de la muestra**

- Se selecciona un volumen entre 100 mL de muestra previamente filtrada.
- Se coloca en la cápsula y se evapora hasta casi sequedad sobre una placa calefactora, evitando salpicaduras

### **Secado y pesaje**

- Las muestras se secan en estufa a 103–105 °C durante 2 h (o hasta peso constante).
- Se enfría en desecador y se pese inmediatamente (Peso B)

### **Cálculo**

$$\text{TDS (g)} = \text{Peso final (B)} - \text{Peso inicial (A)}$$

$$\text{TDS} = 4.0406 \text{ g} - 4.0371 \text{ g} = 0.0035 \text{ g}$$

Este valor corresponde a un volumen filtrado de 100 mL.

- $\text{TDS (mg/L)} = (0.0035 \text{ g} \times 1000) / 0.1 \text{ L} = 35 \text{ mg/L}$

### **Protocolo de Demanda Química de Oxígeno (DQO) por método colorimétrico (IDEAM,2024).**

Para calcular la Demanda Química de Oxígeno (DQO) utilizando el método colorimétrico cerrado y los datos que proporcionas, el procedimiento general implica una reacción entre el dicromato de potasio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) y la materia orgánica presente en la muestra. Luego se mide la absorbancia en un espectrofotómetro para determinar cuánta cantidad de oxidante fue consumida, lo cual es proporcional a la cantidad de materia orgánica (expresada como  $\text{mg O}_2/\text{L}$ ).

### **Cálculo de DQO**

- 2.5 mL de muestra
- 1.5 mL de dicromato de potasio (0.1 N)
- 3.5 mL de ácido sulfúrico con sulfato de plata

**Digestión:** 2 horas a 150 °C en termorreactor

**Medición:** Lectura en espectrofotómetro UV-VI

### Fórmula para calcular la DQO:

$$\text{DQO (mg O}_2\text{/L)} = \frac{(A_{\text{blanco}} - A_{\text{muestra}}) \times C_{\text{estándar}} \times 1000}{V_{\text{muestra}}}$$

- A blanco = Absorbancia del blanco (3.4)
- A muestra = Absorbancia medida de tu muestra
- C estándar = Concentración equivalente (mg O<sub>2</sub>/mL) basada en la curva de calibración, que depende del dicromato usado (para 0.1 N, aprox. 8.0 mg O<sub>2</sub>/mL si no tienes curva)
- V muestra = 2.5 mL

$$\text{DQO} = \frac{(3.4 - 2.1) \times 8.0 \times 1000}{2.5} = \frac{10.4 \times 1000}{2.5} = 4160 \text{ mg O}_2\text{/L}$$

### Medición de Conductividad Eléctrica (CE)

**Preparación:** Se enjuaga la sonda con agua destilada para evitar contaminaciones cruzadas entre muestras.

**Estabilización de la lectura:** Se espera a que la lectura se estabilice (usualmente entre 30 segundos y 2 minutos).

- Sumergir el electrodo en la muestra líquida (sin tocar el fondo) y esperar que la lectura se estabilice.
- Registrar el valor del

- **Análisis de nutrientes**

*Tabla 3. Parámetro Nutrientes*

Nutriente	Método	Equipo
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Método de reducción con cadmio	Espectrofotómetro UV-VIS
Amonio (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	Método de Nessler	Espectrofotometría UV-VIS
Fosfatos (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	Método del ácido ascórbico	Espectrofotómetro
Potasio (K <sup>+</sup> )	Fotometría de llama	Fotómetro de llama

*Fuente: Autor.*

### **Análisis de Nutrientes (IDEAM,2020)**

#### **Nitratos (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)**

Método: Reducción con cadmio

Equipo: Espectrofotómetro UV-VIS

- La muestra se filtra si contiene sólidos.
- Se le añade un reactivo reductor con cadmio para transformar los nitratos en nitritos.
- Luego, se usa un reactivo colorimétrico para producir un color proporcional a la concentración.
- Se mide la absorbancia en el espectrofotómetro a una longitud de onda específica.
- Se calcula la concentración con base en una curva de calibración.

#### **Fosfatos (P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)**

Método: Método del ácido ascórbico

Equipo: Espectrofotómetro UV-VIS

- Se agrega a la muestra una mezcla de reactivos, incluyendo ácido ascórbico y molibdato de amonio.
- Se forma un complejo azul cuya intensidad se mide con el espectrofotómetro.
- Se calcula la concentración de fosfato a partir de una curva de calibración.

- **Análisis de materia orgánica**

*Tabla 4. Parámetros materia orgánica*

Parámetro	Método	Equipo
Carbono Orgánico Total (COT)	Oxidación húmeda con dicromato o TOC analyzer	Digestor y espectrofotómetro

*Fuente: Autor.*

### **Procedimiento**

- Para medir el COT, la muestra se homogeneiza previamente y, si es necesario, se filtra para eliminar sólidos.
- En el método de oxidación húmeda, se añade a la muestra una mezcla de dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado. Esta reacción oxida la materia orgánica presente.
- Luego, se aplica calor en un digestor para acelerar la oxidación.
- La cantidad de dicromato reducido (o remanente) se mide mediante espectrofotometría, y la diferencia permite estimar el contenido de carbono orgánico.
- Alternativamente, si se dispone de un analizador de TOC, el equipo realiza la oxidación automáticamente, midiendo el CO<sub>2</sub> generado durante el proceso.

- **Análisis químicos relevantes**

- **Carbonato de Calcio - CaCO<sub>3</sub>** : Este kit HANNA instruments (HI 3812) está diseñado para medir dureza total (principalmente calcio y magnesio) en agua, expresada como carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>). Es útil para análisis en aguas de riego, fertilizantes líquidos y suelos (en extractos acuosos).

- Llena el vial hasta la línea de 10 mL con la muestra.
- Titulación con EDTA  
Llena la jeringa con la solución EDTA 0.01M.  
Añade EDTA gota a gota mientras agitas suavemente.
- La muestra se tornará roja/vino si hay dureza presente.

- Punto final: La solución cambiará de rojo a azul (indica que toda la dureza ha sido quelada).
- Cálculo de la Dureza  
Anota el volumen de EDTA gastado

Usa la fórmula:

$$\text{Dureza (mg/L CaCO}_3\text{)} = \text{Vol. EDTA (mL)} \times 300$$

$$\text{Dureza (mg/L CaCO}_3\text{)} = 0.65 \text{ mL} \times 300 = 195 \text{ mg/L CaCO}_3$$

#### ➤ **Acidez**

El HI 3820 es un kit de titulación química diseñado para medir acidez en aguas, suelos. A continuación, te explico su funcionamiento, método y aplicaciones.

- Adición del Indicador: Agregar 2–3 gotas de fenolftaleína.
  - Titulación con NaOH
  - Llenar la jeringa con NaOH 0.1N.
  - Añadir gota a gota mientras se agita suavemente.
  - Punto final: La solución se tornará rosa pálido (pH ≈ 8.3).
  - Cálculo de la Acidez:
- $$\text{Acidez (mg/L CaCO}_3\text{)} = \text{Vol. NaOH (mL)} \times 500$$
- $$0.2 \text{ mL NaOH} \times 500 = 100 \text{ mg/L CaCO}_3$$

#### Alcalinidad Total

##### 1. Preparar

- Llena el tubo hasta 10 mL con tu muestra (agua o fertilizante líquido).

##### 2. Añadir Indicador

- Agrega 2 gotas del indicador.

##### 3. Titular

- Añade 1 gota del reactivo ácido, agita y observa.
- Repite hasta que el color cambie a amarillo.
- Cuenta las gotas usadas

#### 4. Calcular

- Fórmula:  
Alcalinidad = N° de gotas × 20

$$\text{Concentración (mg/L CaCO}_3\text{)} = \text{N}^\circ \text{ de gotas} \times 20$$

$$10 \times 20 = 200 \text{ mg/L CaCO}_3.$$

#### ➤ Sulfatos

Medición de Sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) con el Kit HANNA HI 38001

#### 1. Preparación de la Muestra

- Llenar el tubo hasta 10 mL con el fertilizante líquido.
- Añadir 10 gotas del reactivo de BaCl<sub>2</sub> (genera un precipitado blanco si hay sulfatos).
- Agitar suavemente y esperar 1 minuto para que se forme la turbidez.

#### 2. Calcular

$$\text{SO}_4^{2-} \text{ (ppm o mg/L)} = \text{Lectura del equipo} \times 10,000$$

$$\text{SO}_4^{2-} \text{ (ppm)} = 0.008 \times 10,000 = \boxed{80 \text{ ppm (mg/L)}}$$

### 4.3 Fase 2. Elaboración de Cartilla Técnica

#### Sistematización de resultados del análisis de lixiviados

Una vez obtenidos los resultados de laboratorio del lixiviado generado por el sistema de compostaje EarthGreen, se procederá a su organización y análisis detallado. Esta sistematización incluirá la clasificación de los datos según parámetros fisicoquímicos y microbiológicos relevantes (como pH, conductividad eléctrica,

nutrientes, metales pesados, entre otros), con el fin de interpretar su potencial uso agrícola y sus implicaciones ambientales. A partir de estos datos, se elaborarán cuadros comparativos, gráficos y resúmenes que faciliten la comprensión de los resultados, permitiendo establecer criterios técnicos para su manejo adecuado y seguro.

#### **4.3.1 Redacción de la cartilla con buenas prácticas de manejo y aprovechamiento del lixiviado como fertilizante**

Con base en la información sistematizada y las referencias bibliográficas revisadas, se redactará una cartilla técnica orientada a la divulgación de buenas prácticas para el manejo del lixiviado. Esta cartilla incluirá contenidos claros y accesibles sobre los beneficios y riesgos del lixiviado, instrucciones para su uso como fertilizante líquido, recomendaciones de dilución y aplicación, así como precauciones ambientales y de salud.

#### **4.3.2 Diseño gráfico de la cartilla**

La cartilla contendrá:

- Logo, Colores, Iconos.
- ¿Qué es el lixiviado?
- Beneficios del lixiviado
- Precauciones antes de usar
- Parámetros clave
- Frecuencia de uso
- Almacenamiento

### **4.3 Fase 3. Educación ambiental y reforestación en ZODME**

La Fase 3 del proyecto se enfoca en fortalecer la conciencia ambiental y restaurar ecológicamente las ZODME, mediante programas de educación para la comunidad y trabajadores, reforestación con especies nativas adaptadas al entorno y el uso del lixiviado tratado como fertilizante orgánico para recuperar suelos degradados.

Educación ambiental:

- Diseño de talleres, charlas y actividades pedagógicas.
- Enfoque en el manejo sostenible del lixiviado y conservación de la biodiversidad.
- Participación de trabajadores y comunidad local.

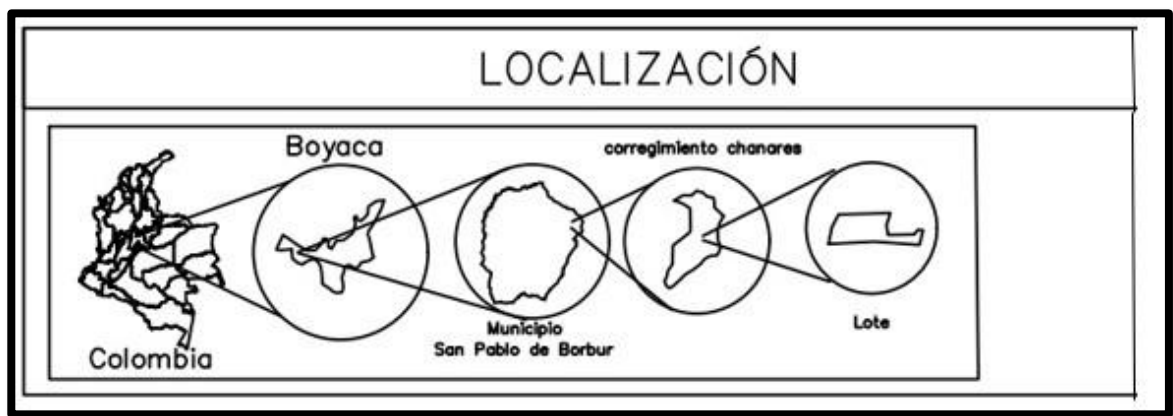
Selección de especies nativas:

- Evaluación ecológica de las ZODME.
- Criterios: adaptabilidad, función ecológica y bajo requerimiento hídrico.
- Propagación en vivero y posterior plantación.

## 5. RESULTADOS Y ANALISIS

### 5.1 Localización

*Ilustración 2 .Localización*



*Fuente: Autor*

San Pablo de Borbur es un municipio colombiano ubicado en la provincia de Occidente del departamento de Boyacá. Se caracteriza por su actividad minera, especialmente en la extracción de esmeraldas. Entre sus principales centros poblados se encuentran Coscuez, San Martín y Santa Bárbara. El proyecto se desarrolla en la vereda Coscuez, una zona minera de gran importancia en la región.

### 5.1.1 Fase 1: Diagnóstico y Revisión Bibliográfica

Se recopiló y sistematizó información bibliográfica relevante sobre el manejo de lixiviados en sistemas de compostaje, destacando prácticas eficientes de tratamiento y aprovechamiento en contextos agrícolas y ambientales. Además, se analizaron experiencias en minería a nivel nacional e internacional que integran el uso de lixiviados tratados como fertilizante líquido, identificando casos exitosos en recuperación de suelos y reducción de impactos. Se definieron los parámetros clave para la caracterización del lixiviado, tales como pH, conductividad eléctrica, sólidos totales, nutrientes (N, P, K), DBO, DQO y metales pesados. Finalmente, se recolectaron muestras del lixiviado generado por el sistema de compostaje EarthGreen (modelo SAC-4500), el cual fue enviado al laboratorio de la Universidad Santo Tomás para su análisis técnico.

*Tabla 5. Resultados del análisis bibliográfico de experiencias similares (2018–2024).*

Autor / Año	Origen del lixiviado	Aplicación / Contexto	Resultados clave
Buechel (2020)	Compost de residuos orgánicos	Tratamiento de lixiviado por biofiltro	Remoción de ~80 % SST, DQO y N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
León (2023)	Residuos urbanos/mineros	Tratamiento de drenaje ácido de mina	Reducción >95 % metales pesados (Fe, Al, Mn)
Sánchez D. (2024)	Compost + borra de café	Relaves auríferos	Reducción de Cu y sulfatos; aumento de biomasa vegetal
Medina, (2019)	Compost doméstico	Tratamiento en biorreactor anaerobio	Eliminación de nitrógeno total (TKN)
Flores Chávez (2014)	Pulpa de café	Fertilización de maíz	Mejoras en pH del suelo, K, Mn y crecimiento de plantas


Gallo (2023)	Lixiviado de residuos municipales	Evaluación como biofertilizante	Cumplimiento de normas europeas; alto contenido de NPK
Mejía (2025)	Compost líquido fermentado	Uso agrícola y reducción de residuos	Reducción del impacto ambiental; alternativa a fertilizantes químicos
Nunez (2023)	Compost orgánico	Aplicación en relaves auríferos	Aumento de humedad, nutrientes y vida microbiana en suelos mineros



*Fuente: Autor.*

Los estudios analizados evidencian que el lixiviado proveniente de residuos orgánicos tiene una alta efectividad como enmienda orgánica en contextos mineros, contribuyendo a la mejora de suelos degradados, remoción de metales pesados y sustitución de fertilizantes químicos convencionales.

### 5.2.2. . Recolección de muestra

*Tabla 6.. Recolección de muestra*

Recolección inicial	Los lixiviados generados por el sistema de compostaje se recogen continuamente en un recipiente primario	
---------------------	--	---

<p>Reposo y sedimentación</p>	<p>-El lixiviado se deja en reposo en el segundo recipiente durante un período de 5 a 6 días.</p> <p>-Este tiempo permite que los sólidos suspendidos se sedimenten y que los componentes químicos del lixiviado comiencen a estabilizarse, mejorando su calidad para futuros usos o análisis.</p>	
<p>Dilución y homogeneización</p>	<p>-Una vez finalizado el periodo de reposo, se realiza una mezcla homogénea utilizando una proporción de 90 % de agua y 10 % de lixiviado sedimentado.</p> <p>-Esta dilución facilita la aplicación segura del lixiviado en prácticas de fertilización o estudios experimentales.</p>	

*Fuente: Autor.*

### 5.2.3. Resultados de Análisis de Laboratorio y Comparación con Parámetros Normativos

Estas tablas presentan los resultados analíticos de un fertilizante, comparados con los límites establecidos en la Resolución ICA 150 de 2022 y la Norma Técnica Colombiana NTC 5167 (ICONTEC).

Tabla 7. Parámetros Normativos

Parámetro	Límite/Norma	Referencia Legal
pH	5.5 - 8.5	Res. ICA 150/2022, Anexo 3
Nitrógeno Total (N)	0.8 - 3.0% (p/v)	NTC 5167, Sec. 5.2.1
Fósforo (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	0.5 - 2.0% (p/v)	Res. 631/2015, Art. 12
Alcalinidad Total (CaCO <sub>3</sub> eq.)	≤ 500 mg/L	Res. ICA 150/2022, Art. 8
Sólidos Totales Disueltos (TDS)	≤ 2000 mg/L	NTC 5167, Sec. 6.3
DQO (Demanda Química de Oxígeno)	≤ 1000 mg/L	Res. 631/2015, Art. 12
Conductividad Eléctrica (CE)	≤ 5 dS/m (5000 μS/cm)	Res. ICA 150/2022, Anexo 3
Carbono Orgánico Total (COT)	≤ 3.0%	NTC 5167, Sec. 5.4
Carbonato de Calcio (CaCO <sub>3</sub> )	≤ 1000 mg/L	Res. ICA 150/2022, Anexo 3
Acidez (CaCO <sub>3</sub> eq.)	≤ 300 mg/L	NTC 5167, Sec. 6.2
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	≤ 500 mg/L	Res. 631/2015, Anexo 1
Metales Pesados	Cd ≤ 10 mg/kg, Pb ≤ 150 mg/kg	Res. ICA 150/2022, Art. 10

Fuente: Autor.

Tabla 8. Resultados de laboratorio y Parámetros Normativos

Parámetro	Resultado	Límite Normativo	¿Cumple?
pH	7.42	5.5 - 8.5	<input checked="" type="checkbox"/> Sí
Nitrógeno Total (N)	1.8	0.8 - 3.0% (p/v)	<input checked="" type="checkbox"/> Sí
Fósforo (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	10.000ppm	0.5 - 2.0% (5000-20,000 ppm)*	<input checked="" type="checkbox"/> Sí

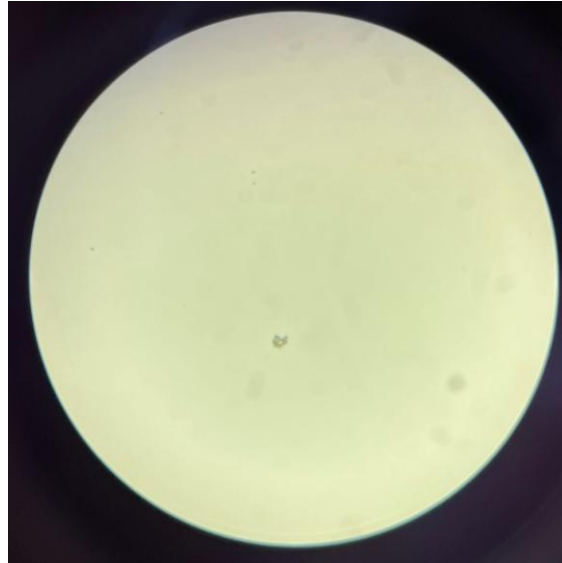
Alcalinidad Total (CaCO <sub>3</sub> eq.)	200 mg/L CaCO <sub>3</sub> eq.	≤ 500 mg/L CaCO <sub>3</sub> eq.	<input checked="" type="checkbox"/> Sí
Sólidos Totales Disueltos (TDS)	35 mg/L	≤ 2000 mg/L	<input checked="" type="checkbox"/> Sí
DQO (Demanda Química de Oxígeno)	860 mg O <sub>2</sub> /L	≤ 1000 mg O <sub>2</sub> /L	<input checked="" type="checkbox"/> Sí
Conductividad Eléctrica (CE)	2282 μS/cm	≤ 5 dS/m (5000 μS/cm)	<input checked="" type="checkbox"/> Sí
Carbono Orgánico Total (COT)	2.0 %	≤ 3.0% (30,000 mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/> Sí
Carbonato de Calcio (CaCO <sub>3</sub> )	195 mg/L	≤ 1000 mg/L	<input checked="" type="checkbox"/> Sí
Acidez (CaCO <sub>3</sub> eq.)	100 mg/L CaCO <sub>3</sub> eq.	≤ 300 mg/L CaCO <sub>3</sub> eq.	<input checked="" type="checkbox"/> Sí
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	80 ppm (mg/L)	≤ 500 mg/L	<input checked="" type="checkbox"/> Sí

*Fuente: Autor.*

#### **5.2.4. Observación microscópica de microorganismos y microalgas**

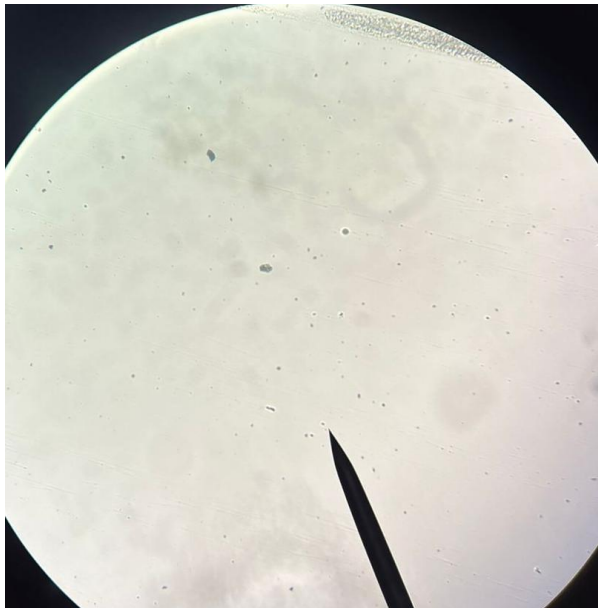
Como parte del análisis complementario del lixiviado, se realizó una observación microscópica directa utilizando un microscopio óptico compuesto con aumentos de 40x y 100x. Para ello, se prepararon láminas portaobjetos con una gota de muestra sin teñir. Durante la observación se identificó la presencia de microorganismos diversos, incluyendo bacterias móviles y estructuras compatibles con microalgas, lo que sugiere actividad biológica en el lixiviado generado por el compostaje.

*Ilustración 3. Microalgas*



*Fuente: Autor.*

*Ilustración 4. Microorganismos.*



*Fuente: Autor.*



### 5.3 Fase 2. Elaboración de Cartilla

Durante la Fase 2 se consolidó la información obtenida en campo y laboratorio sobre el lixiviado, lo que permitió estructurar una propuesta técnica y educativa para su uso seguro y eficiente como fertilizante líquido. A partir de estos insumos, se elaboró una cartilla práctica dirigida a operarios y comunidad local.

Figura 2. Cartilla Técnica: Buenas Prácticas para el Manejo y Aprovechamiento del lixiviado

Esta cartilla está diseñada como una herramienta educativa para fomentar el uso responsable del lixiviado en actividades agroambientales. Su aplicación debe realizarse bajo criterios técnicos para asegurar su efectividad y prevenir impactos ambientales.

*Ilustración 5. Portada Cartilla de Lixiviados*



*Fuente: Autor*

## ¿Qué es el lixiviado?

El lixiviado es el líquido que se genera durante el proceso de compostaje, producto de la descomposición de residuos orgánicos. Este fluido contiene nutrientes esenciales que pueden ser aprovechados como fertilizante líquido si se maneja de forma adecuada.

### Beneficios del lixiviado

- Rico en nutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K).
- Mejora la fertilidad del suelo y la actividad microbiana.
- Favorece el crecimiento de las plantas.
- Reduce la necesidad de fertilizantes químicos.
- Apoya la economía circular mediante el aprovechamiento de residuos orgánicos.

### Precauciones antes de usar

- No aplicar sin diluir, ya que puede tener alta concentración de sales o compuestos orgánicos.
- Usar guantes y equipo de protección personal.
- Evitar el contacto directo con piel, ojos y fuentes de agua.

-  **Análisis fisicoquímico**

*Tabla 9. Resultados Parámetro fisicoquímico*

Parámetro	Resultado	Beneficio / Utilidad
PH	7.42	Óptimo para absorción de nutrientes
Sólidos Totales Disueltos (TDS)	35 mg/L	Baja salinidad, seguro para suelos sensibles
DQO (Demanda Química de Oxígeno)	860 mg O <sub>2</sub> /L	Indica carga orgánica moderada
Conductividad eléctrica	2282 µS/cm	Nivel adecuado para fertilización

*Fuente: Autor.*

-  **Análisis de nutrientes**

*Tabla 10. Parámetros de Nutrientes*

Nutriente	Resultado	Beneficio / Utilidad
Nitrógeno Total (N)	1.8	Promueve crecimiento vegetativo y síntesis de proteínas
Fósforo ( $\text{PO}_4^{3-}$ )	10.000ppm	Esencial para desarrollo radicular y floración

*Fuente: Autor.*

-  **Análisis de materia orgánica**

*Tabla 11. Parámetro de materia orgánica*

Parámetro	Resultado	Beneficio / Utilidad
Carbono Orgánico Total (COT)	2.0%	Mejora estructura del suelo y retención de humedad

*Fuente: Autor.*

**Frecuencia de uso:** 1 vez cada 7 días

**Almacenamiento:** Conservar en lugar fresco y ventilado.

#### **5.4 Fase 3: Educación Ambiental y Reforestación en ZODME**

Durante esta fase, se desarrollaron 90 jornadas de capacitación ambiental dirigidas tanto a los trabajadores de COSCUEZ S.A. como a miembros de la comunidad del área de influencia, estructuradas en torno a fechas clave del Calendario Ambiental. Estas fechas fueron utilizadas como oportunidades educativas para fortalecer el compromiso con la conservación del entorno y fomentar la participación activa.

Se abordaron temáticas como el manejo adecuado de residuos, la restauración ecológica, el reciclaje, la biodiversidad y el cambio climático. Algunas actividades se realizaron en fechas destacadas como:

De manera complementaria, todos los viernes durante los cuatro meses de ejecución del proyecto, se llevó a cabo un programa educativo ambiental dirigido a niños y niñas entre los 6 y 14 años en la Academia FURA. Este programa tuvo como propósito inculcar valores ambientales desde temprana edad mediante actividades lúdicas y pedagógicas sobre el cuidado de la naturaleza, el reciclaje, la protección del agua y la importancia de los árboles. Se estima que participaron alrededor de 160 niños a lo largo del proceso, fortaleciendo el componente comunitario y educativo del proyecto.

Además, se realizaron visitas programadas a diferentes instituciones educativas del área de influencia directa de COSCUEZ S.A., donde se impartieron talleres adaptados al contexto local, reforzando los procesos de educación ambiental en entornos escolares rurales. Estas actividades permitieron llevar el mensaje de sostenibilidad a un público más amplio, involucrando a docentes, estudiantes y directivos en el fortalecimiento de una cultura ambiental participativa.

Ilustración 6. Registro fotográfico educación ambiental Coscuez S.A.







*Fuente: Autor.*

#### **5.4.1 Informe Encuestas De Satisfacción Talleres De Educación Ambiental**

Durante los cuatro meses de implementación del programa, se aplicaron más de 60 encuestas de satisfacción en las sedes educativas de Coscuez y Santa Bárbara. Estas encuestas fueron fundamentales para medir el impacto de las capacitaciones, talleres y actividades ambientales desarrolladas tanto con estudiantes como con la comunidad. Este proceso de evaluación permitió valorar la calidad de los programas impartidos, identificar oportunidades de mejora y fortalecer las estrategias pedagógicas empleadas. Gracias a la retroalimentación obtenida, se logró ajustar e impulsar iniciativas más efectivas que fomentan la conciencia ambiental y promueven el desarrollo sostenible en el área de influencia directa del proyecto.

*Ilustración 7. Encuesta de Satisfacción*

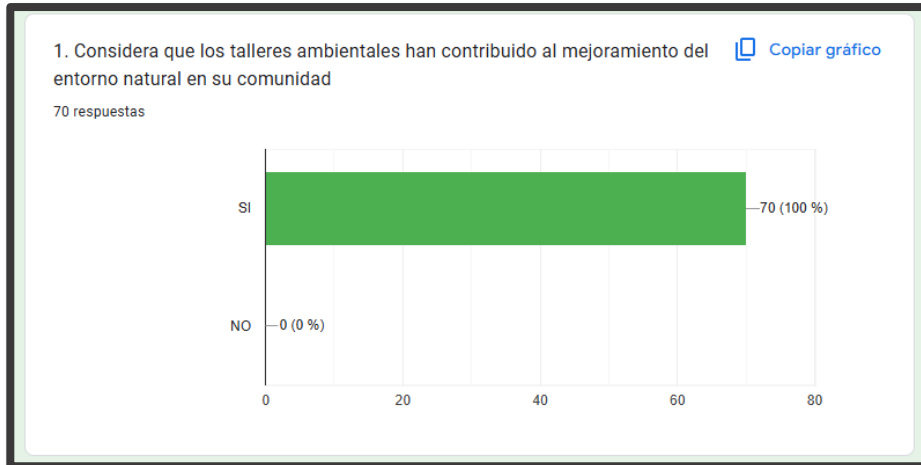


*Fuente: Autor.*

Enlace de encuesta de satisfacción:

[https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSeeeu0vSxUfwR\\_F7n0jxDQb-e4bA9BMc0837gY3NGZffwt5vg/viewform?usp=header](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSeeeu0vSxUfwR_F7n0jxDQb-e4bA9BMc0837gY3NGZffwt5vg/viewform?usp=header)

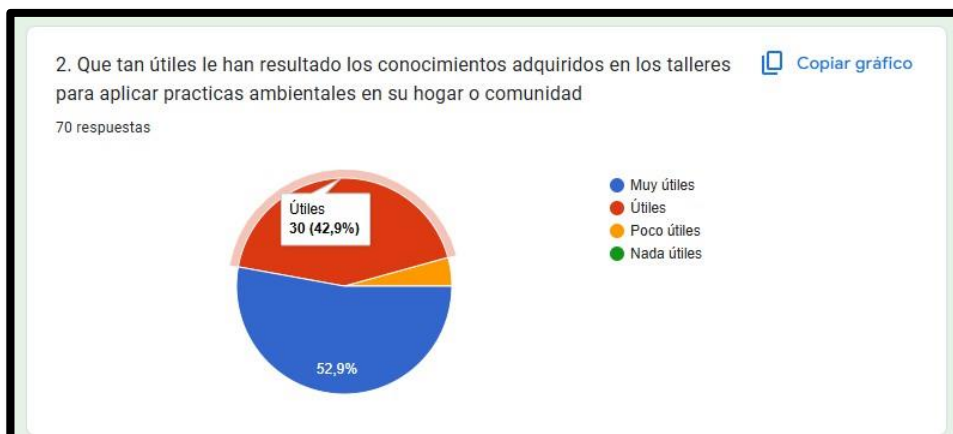
*Ilustración 8. Respuesta de Talleres Ambientales*



*Fuente: Autor.*

La figura 3. muestra que el 100% de los encuestados considera que los talleres ambientales han contribuido al mejoramiento del entorno natural en su comunidad. Con 70 respuestas afirmativas y ninguna negativa, estos resultados reflejan el impacto positivo de las actividades ambientales realizadas, evidenciando que los participantes perciben mejoras en su entorno gracias a la educación y las acciones promovidas en los talleres. Este dato refuerza la importancia de seguir implementando estrategias de sensibilización y participación comunitaria para la protección del medio ambiente.

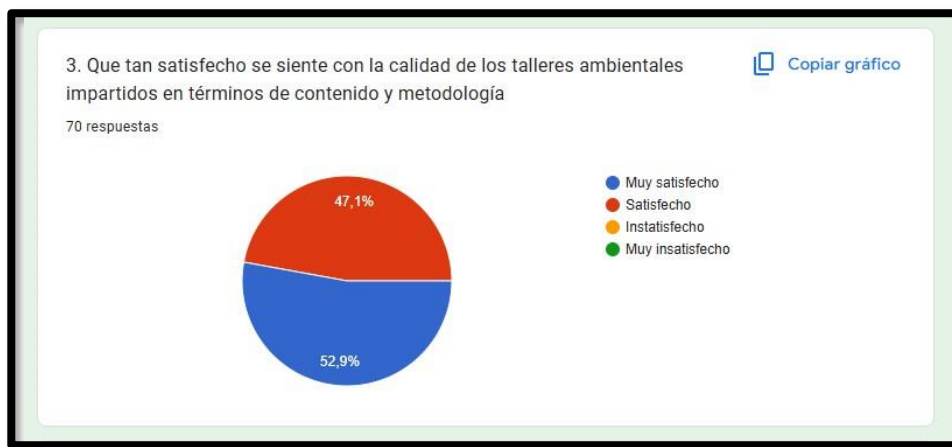
*Ilustración 9. Respuesta de Talleres Ambientales*



*Fuente: Autor.*

La figura 4. evalúa la utilidad de los conocimientos adquiridos en los talleres ambientales para la aplicación de prácticas sostenibles en los hogares y comunidades. Los resultados indican que el 52.9% de los encuestados considera que la información ha sido muy útil, mientras que un 42.9% la califica como útil. Solo un pequeño porcentaje encuentra los conocimientos poco útiles, y no se registran respuestas que los consideren nada útiles. Estos datos reflejan que la mayoría de los participantes han logrado aplicar lo aprendido, consolidando hábitos más sostenibles en su vida cotidiana.

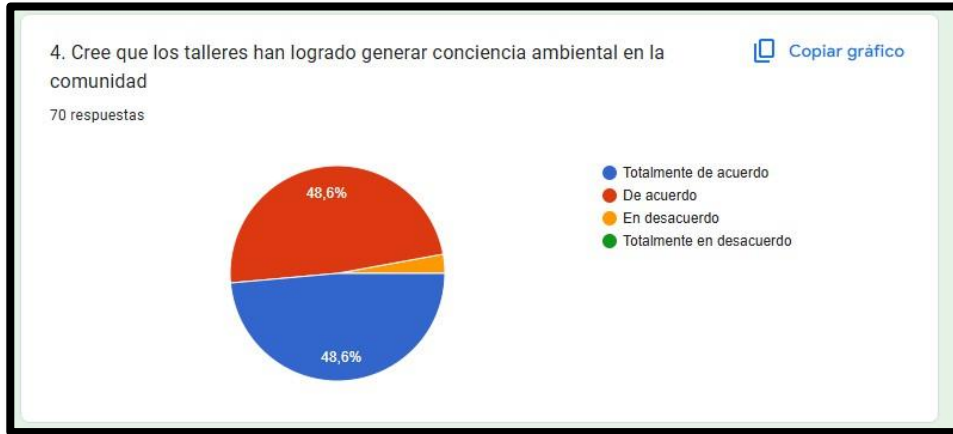
*Ilustración 10. Respuesta de Talleres Ambientales*



*Fuente: Autor.*

La figura 5. muestra el nivel de satisfacción de los participantes con la calidad de los talleres ambientales en términos de contenido y metodología. Los resultados reflejan que el 52.9% de los encuestados se siente muy satisfecho, mientras que un 47.1% se encuentra satisfecho. No se registraron respuestas en las categorías de insatisfecho o muy insatisfecho, lo que indica que los talleres han cumplido con las expectativas de los participantes y han brindado información relevante y de calidad.

*Ilustración 11. Respuesta de Talleres Ambientales*



*Fuente: Autor.*

La figura 6. analiza la percepción sobre si los talleres han logrado generar conciencia ambiental en la comunidad. Los resultados muestran que el 48.6% de los encuestados está totalmente de acuerdo y un 48.6% está de acuerdo, lo que representa una valoración muy positiva del impacto generado. Un pequeño porcentaje manifestó estar en desacuerdo, pero no hubo respuestas en la categoría de totalmente en desacuerdo. Estos datos reflejan que los talleres han sido efectivos en la sensibilización ambiental y han fomentado un mayor compromiso con la sostenibilidad dentro de la comunidad

#### 5.4.2 Reforestación Zona de Depósito de Material Estéril (Zodme)

Como parte de las acciones de restauración ecológica en la Zona de Depósito de Material Estéril (ZODME), se implementó un proceso técnico de siembra y adecuación del terreno, siguiendo las recomendaciones del ingeniero forestal de la compañía y los lineamientos establecidos en el Plan de Manejo Ambiental.

Inicialmente, se realizó la adecuación del terreno, dándole una inclinación controlada entre 30° y 35°, conforme a las especificaciones del diseño del ZODME. Posteriormente, se perfiló el talud y se adicionó una capa vegetal compuesta por material orgánico que favorece la retención de humedad y mejora la estructura del suelo. Sobre esta capa se aplicó una mezcla de semillas y se instaló un geomanto biodegradable, que ayuda a estabilizar el sustrato, evita la erosión superficial y facilita la germinación.

Para la revegetalización, se utilizaron especies nativas como pata de vaca (*Bauhinia* spp.), frijolillo (*Erythrina fusca*) y mata ratón (*Gliricidia sepium*), seleccionadas por su capacidad de fijar nitrógeno, adaptarse a suelos degradados y propiciar condiciones adecuadas para el establecimiento de otras especies. Además, se sembraron árboles maderables y de sombra como cedro rosado (*Cedrela odorata*), caracolí (*Anacardium excelsum*), algarrobo (*Hymenaea courbaril*) y samán (*Samanea saman*), que ofrecen múltiples beneficios ecológicos y contribuyen a la restauración funcional del ecosistema.

*Ilustración 12. Restauración Ecológica*





*Fuente: Autor.*

## 6. CONCLUSIONES

La caracterización técnica de los lixiviados derivados del proceso de compostaje evidenció condiciones fisicoquímicas estables, con un pH neutro (7.42), baja salinidad (TDS: 35 mg/L) y adecuada conductividad eléctrica (2282  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), en conformidad con los parámetros establecidos por la Resolución ICA 150 de 2022 y la NTC 5167. Su elevada concentración de nutrientes esenciales, como nitrógeno (1.8%) y fósforo (10,000 ppm), junto con un contenido significativo de carbono orgánico (2.0%), confirman su potencial como biofertilizante líquido. Además, la ausencia de metales pesados en concentraciones críticas y una DQO controlada (860 mg  $\text{O}_2/\text{L}$ ) refuerzan su viabilidad ambiental. La presencia de microorganismos benéficos y microalgas, detectada mediante observación microscópica, añade un valor agrobiológico relevante, promoviendo la actividad microbiológica del suelo y su regeneración natural.

Como consecuencia del estudio realizado, se obtuvo la información esencial para crear una guía técnica que describe de forma clara y exacta la caracterización, el manejo correcto y el aprovechamiento del lixiviado producido en el sistema de compostaje modelo SAC-4500 de EarthGreen. La caracterización fisicoquímica mostró condiciones adecuadas para su utilización en agricultura, subrayando un pH neutro, baja salinidad, gran concentración de nutrientes y la falta de contaminantes importantes. Estos hallazgos permiten establecer directrices técnicas para su manejo seguro y eficiente, promoviendo una gestión ambientalmente responsable y un aprovechamiento productivo de este subproducto orgánico.

La ejecución de iniciativas de educación ambiental y reforestación en las Zonas de Depósito de Material Estéril (ZODME) ayudó a reforzar la conexión entre la comunidad, los trabajadores y el medio ambiente. A través de 90 sesiones educativas, actividades escolares y programas para niños, se logró sensibilizar a diferentes grupos sobre temas ecológicos cruciales, impulsando la apropiación del territorio y el compromiso activo. La revisión de los talleres mostró altos niveles de satisfacción y beneficios, evidenciando un efecto positivo en la conciencia y las acciones ambientales de los asistentes. Al mismo tiempo, el plan de reforestación técnica utilizando especies nativas y maderables no solo ayudó a la recuperación ecológica de las ZODME, sino que también evitó procesos erosivos, mejoró la calidad del suelo y aumentó la biodiversidad local. Estos resultados respaldan la eficacia del enfoque integral adoptado, estableciendo una base sólida para futuras iniciativas de restauración y educación ambiental en la zona.

## 7. Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos, se recomienda fomentar el uso del lixiviado como biofertilizante líquido, dada su composición fisicoquímica estable y alto contenido nutricional, promoviendo su aplicación responsable en la agricultura. Es esencial establecer un monitoreo periódico para asegurar que sus parámetros continúen cumpliendo con la normativa vigente y prevenir posibles impactos negativos. Además, se aconseja replicar y ampliar los programas de educación ambiental y reforestación en zonas intervenidas, fortaleciendo la participación comunitaria, especialmente infantil, mediante espacios educativos permanentes como la Academia FURA. La reforestación con especies nativas debe mantenerse como estrategia clave para la recuperación ecológica, junto con un plan de seguimiento post-siembra que garantice su sostenibilidad. Finalmente, la cartilla técnica diseñada debe servir como herramienta de consulta y orientación para el manejo seguro y eficiente del lixiviado en futuros procesos.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Agudelo, A. N. (2021). Apoyo en la ejecución del plan de educación ambiental en el sector minero. *Revista de Sostenibilidad y Medio Ambiente*, \*8\*(3), 102–111. <https://dspace.tdea.edu.co/handle/tdea/2379>

Ambiente, Ministerio de. (2024, 15 de mayo). #SINAContigo fortalece la educación ambiental. <https://www.minambiente.gov.co/sinacontigo-fortalece-la-educacion-ambiental>

Ansorena Miner, J. (2016). El compost de biorresiduos: Normativa, calidad y aplicaciones. Ediciones Paraninfo.

Asencios Cerna, D. J. (2018). Gestión de residuos sólidos en Aucayacu, Perú [Tesis de maestría]. Universidad Nacional Hermilio Valdizán. <http://190.12.84.13:8080/bitstream/handle/20.500.13084/2768/ASENCIOS%20CERNA%20DESCARTE%20JAIRO.pdf>

Baldeón, J. J. (2023). Aprovechamiento de lixiviados de residuos orgánicos [Tesis de pregrado]. Universidad Continental. [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13410/1/IV\\_FIN\\_107\\_TE\\_Cordova\\_Taype\\_Capcha\\_2023.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13410/1/IV_FIN_107_TE_Cordova_Taype_Capcha_2023.pdf)

Becerra, L. Á. (2024). Guía de buenas prácticas para la exploración minera. Agencia Nacional de Minería. <https://www.anm.gov.co/sites/default/files/2024-12-20-Guia-buenas-practicas-exploracion-estimacion-recursos-reservas-carbon.pdf>

Bernat, K. (2020). Biological treatment of leachate from stabilization of biodegradable waste. *International Journal of Environmental Science and Technology*, \*17\*(8), 4321–4332. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02915-6>

Biotech, N. (2023). *Cómo los biofertilizantes mejoran la salud del suelo*. Nostoc Biotecnología.

<https://nostoc.es/como-los-biofertilizantes-mejoran-la-salud-del-suelo/>

Buechel, T. (2020). Uso del lixiviado de compost en sustratos. *Premier Tech Horticulture*. <https://www.pthorticulture.com/es-us/centro-de-formacion/uso-del-lixiviado-de-compost-en-sustratos/>

Cañón, J. (2023). ¿Qué es la economía circular? Plan de Recuperación Español. <https://planderecuperacion.gob.es/noticias/que-es-la-economia-circular-prtr>

Cardoso, J. (2019). Viability of the use of leachates from a mechanical-biological treatment plant as a fertilizer. *Recycling*, \*4\*(1), 8. <https://doi.org/10.3390/recycling4010008>

Climate and Clean Air Coalition. (2021). Estrategia de residuos orgánicos en Perú. <https://www.ccacoalition.org/es/news/inspired-chiles-national-organic-waste-strategy-peru-aims-transform-sector>

Colonia Acho, D. P. (2024). Filtro de biocarbón para lixiviados [Tesis de pregrado]. Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20500.12692/159636>

Díaz González, C. M. (2024). Gestión de lixiviados urbanos [Revisión sistemática]. Universidad de Valencia. <https://hdl.handle.net/11000/32430>

Escobar, M. F. (2020). Biofiltros para tratamiento de lixiviados [Tesis de maestría]. Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/a0008898-c529-4948-b342-4a7844168a3c/content>

Espinoza, A. (2023). Economía circular: Origen y evolución. *Revista Alfa*, \*25\*(49), 1-20. <https://doi.org/10.18601/01245996.v25n49.06>

Extension.okstate.edu. (2022, agosto). *Causa y efectos de la acidez del suelo* [Hoja informativa]. Universidad Estatal de Oklahoma. <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/causa-y-efectos-de-la-acidez-del-suelo.html>

Flores, R. C. (2012). Investigación en educación ambiental. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, \*17\*(54), 1015-1033. <https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-66662012000400002>

Flores Chávez, A. (2014). Humus de lombriz en cultivos [Tesis de pregrado]. Universidad Autónoma de Aguascalientes. <http://hdl.handle.net/11317/872>

Gallo, N. A. (2023). Valorización de residuos orgánicos [Revisión técnica]. CECAR. <https://repositorio.cecar.edu.co/server/api/core/bitstreams/6aa19920-1469-42bf-93ab-54e5bdf4e202/content>

García, B. K. (2014). Protección ambiental y recursos naturales [Tesis de pregrado]. Universidad Privada Antenor Orrego. [https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12759/209/ALVA\\_KATHERIN\\_FORTALECIMIENTO\\_PROTECCION\\_AMBIENTE.pdf](https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12759/209/ALVA_KATHERIN_FORTALECIMIENTO_PROTECCION_AMBIENTE.pdf)

García, D. A. (2018). Economía circular en gestión de residuos [Tesis de maestría]. Universidad de Manizales. [https://ridum.umanizales.edu.co/bitstream/handle/20.500.12746/3399/Machuca\\_Garc%C3%ada\\_Dora\\_Ang%C3%a9lica\\_2018.pdf](https://ridum.umanizales.edu.co/bitstream/handle/20.500.12746/3399/Machuca_Garc%C3%ada_Dora_Ang%C3%a9lica_2018.pdf)

Gómez, R. B. (2006). Compostaje de residuos orgánicos [Tesis doctoral]. Universidad Autónoma de Barcelona. <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5307/rbg1de1.pdf>

Gurnham, C. F. (1960). Limitations of sewage treatment plants. *Journal of Water Pollution Control*, \*32\*(6), 645-658. <https://www.jstor.org/stable/25034087>

Herrero, G. (2023). ODS en educación ambiental. *Revista Eureka*, \*20\*(1), 1-15. <http://hdl.handle.net/10498/28435>

Huayllasi, F. E. (2024). Lixiviados orgánicos en fertilización [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco. [https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/8996/253T20240437\\_TC.pdf](https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/8996/253T20240437_TC.pdf)

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2006). *Métodos analíticos de suelos*. IGAC.

Kolb, D. (2022). *Teoría del aprendizaje experiencial*. Liderazgo Space. <https://liderazgo.space/teoria-del-aprendizaje-experiencial-de-kolb/>

Landín, C. (2023). Educación ambiental y reforestación [Tesis de pregrado]. Universidad Estatal del Sur de Manabí. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/4866>

León, A. S. (2023). Compostaje de residuos para drenaje ácido. *Revista Alfa*, \*7\*(19), 201-215. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i19.201>

Llivicura, M. F. (2023). Vermicompost leakage in pepper crops. *Recia*, \*9\*(2), 1–10. <https://revistas.unisucre.edu.co/index.php/recia/article/view/e>

López, H. G. (2016). Modelo de aprendizaje experiencial. *Revista Iberoamericana*, \*78\*(2), 1-15. <https://www.redalyc.org/pdf/3578/357848839002.pdf>

Márquez-Huitzil, R. (2023). Restauración ecológica en minería. *Acta Botánica Mexicana*, \*129\*, 1-20. <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.2019>

Martínez, D. A. (2023). Impacto de residuos en quebrada La Unión [Tesis de pregrado]. Universidad de Nariño. <https://sired.udenar.edu.co/1946/>

Martínez, J. P. (2023). Ética y estética en educación ambiental [Tesis doctoral]. Universidad Pedagógica Nacional. <http://rixplora.upn.mx/jspui/bitstream/RIUPN/178593/1/2934%20-%20UPN092LPPAJE2023.pdf>

Medina, E. M. (2019). Biofiltros para lixiviados [Tesis de maestría]. Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/a0008898-c529-4948-b342-4a7844168a3c/content>

Mejía, A. (2025). Planta de compostaje: Prefactibilidad [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/67900>

Mendoza-Burguete, Y. (2024). Soil contaminated with leachate. *ScienceOpen*. <https://www.scienceopen.com/document?vid=3bc09e57-64c2-4935-b5c6-7d2a>

Ministerio de Ambiente. (2022). Guía de restauración vegetal. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/03/Guia-Methodologica-PT-Cobertura-Vegetal.pdf>

Ministerio de Vivienda. (2021). Resolución 541 de 1994. [https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion\\_minambiente\\_rma54194.htm](https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_minambiente_rma54194.htm)

Monroy-Licht, A. (2020). Eichhornia crassipes en tratamiento de aguas. *Environmental Science and Pollution Research*, \*27\*(15), 2–10. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09688-y>

Montero, M. A. (2022). Responsabilidad ambiental en minería. *Investigación e Innovación*, \*10\*(1), 45-60. <https://doi.org/10.18273/revion.v31n1-2018010>

Montesinos González, D. G. (2013). Lixiviados para biol en pastos [Tesis de pregrado]. Universidad de Cuenca. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/items/7dbecc65-89a8-4a18-b2d3-252a3489ad2f>

Novas, A. Y. (2018). Manejo ambiental de lixiviados [Tesis de maestría]. Universidad Militar Nueva Granada. <https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/a2f2fdad-1c78-4917-95fd-33bdc9309185/content>

Nuñez, J. (2023). Biomasa fúngica en biorremediación. *Scientia Agropecuaria*, \*14\*(1), 45-58. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.008>

Pérez, L. A. (2011). Estrategia para educación ambiental. *Revista Electrónica UCM*, \*12\*(2), 1-12. <https://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/187>

Reyes, E. S. (2004). Lixiviados de compost y lombricompost [Informe técnico]. CATIE.  
[https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4776/Desarrollo\\_y\\_evaluacion\\_de\\_lixiviados.pdf](https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4776/Desarrollo_y_evaluacion_de_lixiviados.pdf)

Rodríguez, F. H. (2020). Manejo de residuos en Guaduas [Tesis de maestría]. Universidad de Manizales.  
[https://ridum.umanizales.edu.co/bitstream/handle/20.500.12746/4427/Garcia\\_Rodriguez\\_Fredy%2c2020.pdf](https://ridum.umanizales.edu.co/bitstream/handle/20.500.12746/4427/Garcia_Rodriguez_Fredy%2c2020.pdf)

Rodríguez, J. A. (2021). Eichhornia crassipes en fitorremediación [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.  
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/40340/jajimenezrodr.pdf>

Sánchez, D. (2024). Geopolímeros y lixiviación de arsénico [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Trujillo. <https://dspace.unitru.edu.pe/items/9f58a370-0a28-4545-a492-f36f88f2d6d5>

Sánchez, G. M. (2023). Cartografía participativa. Revista Colombiana de Educación, \*86\*, 1-24. <https://doi.org/10.19053/01233769.13785>

Soto, N. E. (2020). Microorganismos en tratamiento de lixiviados [Tesis de pregrado]. Universidad Continental.  
[https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8572/4/IV\\_FIN\\_107\\_TE\\_Liberato\\_Soto\\_2020.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8572/4/IV_FIN_107_TE_Liberato_Soto_2020.pdf)

Stephany, B. C. (2020). Lixiviado de *Hermetia illucens* [Tesis de pregrado]. Universidad Agraria del Ecuador.  
[https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/BURGOS%20CHECA%20SHAKIRA%20STEPHANY\\_compressed\(1\)-comprimido.pdf](https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/BURGOS%20CHECA%20SHAKIRA%20STEPHANY_compressed(1)-comprimido.pdf)

Suntasig-Negrete, E. R. (2024). Restauración de suelos mineros. SciELO Venezuela, \*15\*(2), 1-20. <https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S2665-02902024000200021>

Torrez, V. M. (2018). Caracterización de lixiviados. Revista de Ingeniería, \*31\*(1), 10-25. <https://doi.org/10.18273/revion.v31n1-2018010>

UNESCO. (2022). Education for sustainable development. <https://www.unesco.org/en/sustainable-development/education>

Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. (2016). *Crean proyecto para tratamiento y manejo de lixiviados en el oriente antioqueño*. Facultad de Minas. <https://minas.medellin.unal.edu.co/noticias/1164-crean-proyecto-para-tratamiento-y-manejo-de-lixiviados-en-el-oriente-antioquen>

Uribe, K. J. S. (2022). Lixiviados para fertilidad de suelos [Tesis de maestría]. Universidad Politécnica del Centro.

Wightman, K. E., & Cruz, B. S. (2003). Cadena de reforestación y calidad de plantas. Revista Forestal, \*5\*(2), 1-12. <https://www.redalyc.org/pdf/497/49750108.pdf>

Zhou, J.-M. (2020). Eichhornia crassipes en remoción de metales. Environmental Science and Pollution Research, \*27\*(27), 34523-34531. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09688-y>

Zolano, J. J. (2020). Reforestación en zonas mineras [Tesis de pregrado]. Universidad Pontificia Bolivariana. [https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/11486/191\\_1%20%281%29.pdf](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/11486/191_1%20%281%29.pdf)

## 7. ANEXOS

### Anexo 1.Registro de asistencia

FURA		LISTADO DE ASISTENCIA				COSCUEZ S.A.	
		SAN PABLO DE BORBUR					
		SECTOR: Cap (Academia Ma)		FECHA: 02/07/2024			
		EVENTO: Capacitación - Conocimiento actual					
No.	NOMBRES Y APELLIDOS	Nº. DOCUMENTO	VEREDA O SECTOR	CELULAR	CORREO ELECTRONICO	OCCUPACION	FIRMA
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							

\* Acepto recibir mensajes de Whatsapp de carácter gratuito por parte de la compañía Coscuez S.A. los cuales son parte de la plataforma de comunicaciones de la empresa para el relacionamiento continuo y transparencia en la información a sus grupos de interés.  
 \* Doy consentimiento irrevocable de los derechos de autor, uso, divulgación y reproducción de las fotografías que me sean tomadas por Coscuez S.A. en el marco de sus actividades. Hago extensivo este mismo consentimiento para registro fotográfico de los menores de edad que represento (si aplica).  
 \* Autorizo el tratamiento de mis datos personales, los cuales serán parte de la base de datos de Coscuez S.A. Declaro que Coscuez S.A. me ha informado que mi información se mantendrá en estricta confidencialidad y que será usada exclusivamente para el relacionamiento con comunidades.

Fuente: Autor.

### Anexo 2.Registro de asistencia

FURA		LISTADO DE ASISTENCIA				COSCUEZ S.A.	
		SAN PABLO DE BORBUR					
		SECTOR: Escuela Cadena		FECHA: 16/09/2024			
		EVENTO: Urea educativa - actividades prácticas					
No.	NOMBRES Y APELLIDOS	Nº. DOCUMENTO	VEREDA O SECTOR	CELULAR	CORREO ELECTRONICO	OCCUPACION	FIRMA
1			La Caden			Estudiante	
2			La Caden			Estudiante	
3			La Caden			Estudiante	
4			La Caden			Estudiante	
5			La Caden			Estudiante	
6			La Caden			Estudiante	
7			La Caden			Estudiante	
8			La Caden			Estudiante	
9			La Caden			Estudiante	
10			La Caden			Estudiante	
11			La Caden			Estudiante	
12			La Caden			Estudiante	
13			La Caden			Estudiante	
14			La Caden			Estudiante	
15			La Caden			Estudiante	
16			La Caden			Estudiante	
17			La Caden			Estudiante	
18			La Caden			Estudiante	
19			La Caden			Estudiante	
20							

\* Acepto recibir mensajes de Whatsapp de carácter gratuito por parte de la compañía Coscuez S.A. los cuales son parte de la plataforma de comunicaciones de la empresa para el relacionamiento continuo y transparencia en la información a sus grupos de interés.  
 \* Doy consentimiento irrevocable de los derechos de autor, uso, divulgación y reproducción de las fotografías que me sean tomadas por Coscuez S.A. en el marco de sus actividades. Hago extensivo este mismo consentimiento para registro fotográfico de los menores de edad que represento (si aplica).  
 \* Autorizo el tratamiento de mis datos personales, los cuales serán parte de la base de datos de Coscuez S.A. Declaro que Coscuez S.A. me ha informado que mi información se mantendrá en estricta confidencialidad y que será usada exclusivamente para el relacionamiento con comunidades.

Fuente: Autor.

Anexo 3.Registro de asistencia

FURA EMERALDS • RUBIES • SAPPHIRES		LISTADO DE ASISTENCIA					COSCUEZ S.A. UNA COMPAÑIA DE FURA GEMS
		SECTOR: <u>Vivero de alta calidad</u>		SAN PABLO DE BORBUR		FECHA: <u>20 de Oct 2024</u>	
		EVENTO: <u>Docuación</u>		Vivero La Cadenca			
No.	NOMBRES Y APELLIDOS	No. DOCUMENTO	VEREDA O SECTOR	CELULAR	CORREO ELECTRONICO	OCCUPACION	FIRMA
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							

\* Acepto recibir mensajes de Whatsapp de carácter gratuito por parte de la compañía Coscuez S.A., los cuales son parte de la plataforma de comunicaciones de la empresa para el relacionamiento continuo y transparencia en la información a sus grupos de interés.  
 \* Doy consentimiento irrevocable de los derechos de autor, uso, divulgación y reproducción de las fotografías que me sean tomadas por Coscuez S.A. en el marco de sus actividades. Hago extensivo este mismo consentimiento para registro fotográfico de los miembros de edad que represento (si aplica).  
 \* Autorizo el tratamiento de mis datos personales, los cuales serán parte de la base de datos de Coscuez S.A. Declaro que Coscuez S.A. me ha informado que mi información se mantendrá en estricta confidencialidad y que será usada exclusivamente para el relacionamiento con comunidades.

Fuente: Autor.

Anexo 4.Registro de asistencia

FURA EMERALDS • RUBIES • SAPPHIRES		LISTADO DE ASISTENCIA					COSCUEZ S.A. UNA COMPAÑIA DE FURA GEMS
		SECTOR: <u>Colectivo</u>		SAN PABLO DE BORBUR		FECHA: <u>24 de Oct 2024</u>	
		EVENTO: <u>RESTAURACION ECOLOGICA</u>		Zona 7 MIVERA			
No.	NOMBRES Y APELLIDOS	No. DOCUMENTO	VEREDA O SECTOR	CELULAR	CORREO	OCCUPACION	FIRMA
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							

\* Acepto recibir mensajes de Whatsapp de carácter gratuito por parte de la compañía Coscuez S.A., los cuales son parte de la plataforma de comunicaciones de la empresa para el relacionamiento continuo y transparencia en la información a sus grupos de interés.  
 \* Doy consentimiento irrevocable de los derechos de autor, uso, divulgación y reproducción de las fotografías que me sean tomadas por Coscuez S.A. en el marco de sus actividades. Hago extensivo este mismo consentimiento para registro fotográfico de los miembros de edad que represento (si aplica).  
 \* Autorizo el tratamiento de mis datos personales, los cuales serán parte de la base de datos de Coscuez S.A. Declaro que Coscuez S.A. me ha informado que mi información se mantendrá en estricta confidencialidad y que será usada exclusivamente para el relacionamiento con comunidades.

Fuente: Autor.

