



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
DE ALTA CALIDAD
MULTICAMPUS
RESOLUCIÓN 3910 DE 2015 MEN / 6 AÑOS

ENTREGABLE C

**Documento con los resultados de aplicación
de pilotos del plan preventivo y correctivo**

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC-1162-2024	
Universidad Pedagógica y Tecnológica De Colombia- UPTC	Ministerio de Minas y Energía OFICINA DE ASUNTOS AMBIENTALES Y SOCIALES

Tabla de Contenido

Siglas	7
Glosario	8
Resumen ejecutivo	11
1. Capítulo I: Generalidades.....	13
1.1. Introducción	13
1.2. Antecedentes	15
1.3. Proceso de selección de zonas para desarrollar los pilotos según entregable B	18
2. Capítulo II: Subproducto 1 Informe de ejecución de los 15 pilotos del Plan Preventivo de Eventuales Pasivos Ambientales Mineros (PPEPAM)	23
2.1. Metodología	23
2.2. Ejecución pilotos del (PPEP)	37
2.2.1 Pilotos zona Centro	41
2.2.2 Pilotos zona Magdalena/Cauca Medio	49
2.2.3 Pilotos zona Pacífico	56
2.2.4 Pilotos zona Amazonía.....	62
2.2.5 Pilotos zona Norte	69
2.3. Resultados, aprendizajes y recomendaciones por Zona	82
2.4. Ampliación ejercicio autoridades ambientales	85
2.5. Análisis de resultados pilotos preventivos	89
2.6. Análisis de medidas preventivas por problemática/ necesidad de mejora.....	108
2.7. Conclusiones y recomendaciones pilotos preventivos	116
3. Capítulo III: Subproducto 2 Informe de ejecución del piloto correctivo	119
3.1. Justificación	119
3.2. Objetivo	120
3.3. Alcance del piloto correctivo	120
3.4. Selección de lugares y actores	120
3.4.1 Antecedentes	123
3.5. Descripción metodológica	124
3.5.1. Fase 0 – Alistamiento	125
3.5.2. Fase 1 – Caracterización y estimación	126
3.5.3. Fase 2 – Planteamiento de acciones correctivas	127
3.5.4. Estructura del prototipo móvil.....	129
3.5.4. Fase 3. Verificación de cumplimiento	133
3.5.5 Fase 4 – Cierre	134
3.6. Resultados técnicos y validación experimental	135

3.6.1 Resultados experimentales y discusión	136
3.7 Gestión de Activos	167
3.8 Plan Correctivo	172
3.8.1. Medidas correctivas propuestas.....	172
3.8.2. Costos y estimación de recursos.....	173
3.8.3. Actividades y responsables.....	174
3.8.4. Priorización sectorial.....	174
3.8.5. Enfoque estratégico e institucional	176
3.9 Registro de evidencias del desarrollo del piloto	177
3.10 Conclusiones.....	186
3.11 Recomendaciones.....	187
Anexos	187
Bibliografía	188

Lista de Tablas

Tabla 1. Reclasificación por categoría tomando la calificación final.....	21
Tabla 2. Valoración de susceptibilidad de configuración de Pasivo ambiental minero por proyecto minero.	22
Tabla 3. Resumen medidas según intervención en campo.....	32
Tabla 4. Ejecución de pilotos del PPEP en mesas y/o talleres intersectoriales presenciales	37
Tabla 5. Resumen de Propuesta de Estrategia de Gestión de Pasivos Ambientales – MADS.	105
Tabla 6. Muestras representativas obtenidas mediante homogenización en laboratorio	136
Tabla 7. Caracterización química de las muestras	138
Tabla 8. Comportamiento de la ley metálica por mesa Wilfley.....	144
Tabla 9. Resultados de concentración gravimétrica	144
Tabla 10. Comportamiento de la ley metálica por flotación.....	145
Tabla 11. Resultados de flotación espumante	146
Tabla 12. Activos adquiridos - Contrato GGC No. 1162 de 2024.....	167
Tabla 13. Plan correctivo desarrollado/propuesto.....	172
Tabla 14. Costos estimados del funcionamiento prototipo móvil/mes	173
Tabla 15. Actividades y responsables del piloto correctivo	174

Lista de Figuras

Figura 1. Variables de nivel 1 definidas por zonas.	19
Figura 2. Variables del nivel 2.	20
Figura 3. Proceso general de aplicación pilotos.	29
Figura 4. Formato de identificación medidas preventivas.	34
Figura 5. Formato propuesto de prevención.	34
Figura 6. Propuesta metodológica a través de características o factores clave.	38
Figura 7. Actores identificados y convocados.	38
Figura 8. Diagrama utilizado en la presentación de mesa intersectorial.	40
Figura 9. Mapa piloto IKM-09471.	41
Figura 10. Mapa piloto 2 HIM 13531.	45
Figura 11. Mapa piloto 3 OCD-08331.	47
Figura 12. Mapa piloto 4 ODB-09011.	50
Figura 13. Mapa piloto 5 JJE-08042-001.	51
Figura 14. Piloto 6 LJF-14411.	54
Figura 15. Piloto 7 JDN-16071.	56
Figura 16. Piloto 8 IIA-16453X.	58
Figura 17. Piloto 9 IIA-16451.	60
Figura 18. Mapa piloto 10 ARE-508031.	62
Figura 19. Mapa piloto 11 502329.	64
Figura 20. Mapa piloto 12 LK2-15081.	66
Figura 21. Mapa Piloto 13 MAK-11341.	69
Figura 22. Mapa piloto 14 501591.	70
Figura 23. Mapa piloto 15 FBIL-03.	71
Figura 24. Mapa piloto 16 NJJ-16261.	74
Figura 25. Mapa piloto 17 ODA-10191.	77
Figura 26. Piloto 18 18881.	78
Figura 27. Piloto 19 3799.	79
Figura 28. Categorías de las medidas preventivas.	90
Figura 29. Resultado componentes de las medidas preventivas.	92
Figura 30. Resultado prioridad de atención medidas preventivas.	92
Figura 31. Resultado plazos de ejecución medidas preventivas.	93
Figura 32. Resultados responsables medidas preventivas.	94
Figura 33. Diagrama etapa 0.1 Fase 1 - Plan Preventivo UNAL.	97
Figura 34. Diagrama etapa 0.2 fase 0- Plan Preventivo UNAL.	98
Figura 35. Diagrama etapa 0.3 fase 0- Plan Preventivo UNAL.	101
Figura 36. Diagrama etapas 1.1 y 1.1 fase 1- Plan Preventivo UNAL.	102
Figura 37. Diagrama Etapa 2.1 fase 2- Plan Preventivo UNAL.	104
Figura 38. Categorías de las medidas preventivas por problemática.	109
Figura 39. Resultado componentes de las medidas preventivas por problemática.	114
Figura 40. Resultado prioridad de atención medidas preventivas.	115
Figura 41. Resultado plazos de ejecución medidas preventivas por problemática.	115
Figura 42. Resultados responsables medidas preventivas por problemática.	116
Figura 43. Delimitación geográfica piloto correctivo. Contrato de concesión JDN-16071	122
Figura 44. Consolidado Fase 0- Verificación de cumplimiento. Plan UNAL-Piloto UPTC	126
Figura 45. Consolidado Fase 1- Verificación de cumplimiento. Plan UNAL-Piloto UPTC	127
Figura 46. Consolidado Fase 2- Verificación de cumplimiento. Plan UNAL-Piloto UPTC	129

Figura 47. Proceso de remediación propuesto por el equipo técnico de la UPTC e implementado en el prototipo móvil.....	132
Figura 48. Consolidado Fase 3- Verificación de cumplimiento. Plan UNAL-Piloto UPTC	134
Figura 49. Consolidado Fase 4- Verificación de cumplimiento. Plan UNAL-Piloto UPTC	135
Figura 50. Difractogramas de Rayos X de las muestras de estudio: a) CM1-1, b) CM1-2, c) CM2. En el gráfico de la derecha se presenta un gráfico de pastel con los porcentajes relativos de las fases cristalinas identificadas mediante análisis cuantitativo.	140
Figura 51. Curvas TGA y DTG de las muestras a) CM1-1, b) CM1-2, c) CM2. (Condiciones: Instrument SDT Q600 V20.9 Build 20. Module→ TGA Standard. Size→32.0800→mg. Ramp 10.00 ° C/min)	141
Figura 52. Distribución metálica en los productos de concentración obtenidos por mesa Wilfley	144
Figura 53. Distribución metálica en los productos de concentración obtenidos por flotación espumante.....	146
Figura 54. Diagramas de estabilidad para mercurio (a), arsénico (b) y plomo (c) con EDTA 0.5 M. Elaborados con software MEDUSA©.....	148
Figura 55. Potencial Zeta.	150
Figura 56. Extracción acuosa de los metales de estudio en el prototipo fijo (laboratorios UPTC-Tunja)	152
Figura 57. Micrografías del material en bruto (a) y lixiviado (b).	153
Figura 58. Extracción acuosa de los metales de estudio a escala del prototipo móvil	156
Figura 59. Adsorción de arsénico, mercurio y plomo con resinas de intercambio iónico	157
Figura 60. Micrografías (MEB) de las resinas empleadas, a) resinas en blanco, b) resinas activadas con HCl, c) resinas cargadas (post contacto con el licor de lixiviación).	159
Figura 61. Diagramas de flujo prototipo móvil de remediación	160
Figura 62. Diseño exterior y distribución estructural interna	165

Lista de Fotografías

Fotografía 1. Desarrollo de la construcción colectiva.	43
Fotografía 2. Desarrollo de la construcción colectiva.	45
Fotografía 3. Desarrollo de la construcción colectiva.	49
Fotografía 4. Construcción colectiva.	53
Fotografía 5. Ejecución de mesa intersectorial.	55
Fotografía 6. Realización de mesa intersectorial.	57
Fotografía 7. Construcción colectiva de medidas preventivas.	59
Fotografía 8. Realización de mesa intersectorial.	61
Fotografía 9. Desarrollo de mesa intersectorial.	63
Fotografía 10. Desarrollo de mesa intersectorial.	65
Fotografía 11. Mesa intersectorial con actores título minero LK2-15081 – Inírida.	68
Fotografía 12. Desarrollo de mesa intersectorial.	73
Fotografía 13. Desarrollo de mesa intersectorial.	75
Fotografía 14. Desarrollo de mesa intersectorial.	81
Fotografía 15. Visita al área del polígono JDN-16071, a 2 km de Cértégui, sin asentamientos humanos y se informa sobre presencia ocasional de barequeros con fines económicos.	177
Fotografía 16. Reunión técnica con representantes de entidades territoriales.	178
Fotografía 17. Salida a campo con actores territoriales para ejecución de muestreo manual y reconocimiento preliminar del potencial mineralógico.	178
Fotografía 18. Muestreo manual en territorio abierto mediante recolección aleatoria, uso de herramientas simples, conformación de muestras compuestas, registro detallado y control de contaminación.	179
Fotografía 19. Secado de muestras a temperatura ambiente para eliminar humedad sin alterar las fases minerales presentes.	179
Fotografía 20. Conminución de las muestras mediante trituración para reducir tamaño y facilitar su homogeneización y análisis.	180
Fotografía 21. Clasificación granulométrica por tamizado para separar fracciones según tamaño de partícula, facilitando análisis específico.	181
Fotografía 22. Caracterización química mediante MP-AES para determinar concentración elemental con alta precisión y sensibilidad.	181
Fotografía 23. Calcinación de muestras para oxidar compuestos y confirmar cualitativamente la presencia de sulfuros mediante cambio de color y formación de óxidos.	182
Fotografía 24. Ensayos de concentración y beneficio para evaluar la recuperación y calidad del mineral mediante técnicas físicas y químicas.	182
Fotografía 25. Lixiviaciones preliminares para evaluar la solubilidad y recuperación inicial de metales presentes en las muestras.	183
Fotografía 26. Lixiviación escala prototipo móvil.	183
Fotografía 27. Construcción prototipo móvil.	184



Siglas

AAU: Autoridades Ambientales Urbanas
ANM: Agencia Nacional de Minería
AMEAS: Áreas Mineras en Estado de Abandono
ARE: Área de Reserva
CARs: Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible
CPACA: Código de Procedimiento Administrativo y de lo Contencioso Administrativo
EIA: Estudio de Impacto Ambiental
EVOA: Evidencias de Explotación de Oro de Aluvión
LA: Licencia Ambiental
LAG: Licencia Ambiental Global
LAT: Licencia Ambiental Temporal
MADS: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
MME: Ministerio de Minas y Energía
PA: Pasivo Ambiental
PAM: Pasivo Ambiental Minero
PDET: Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial
PMA: Plan de Manejo Ambiental
PORH: Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico
POT: Plan de Ordenamiento Territorial
PND: Planificación Nacional de Desarrollo
PTE: Plan de Trabajos de Explotación
PTI: Programa de Trabajos e Inversiones
PTO: Programas de Trabajo y Obras
PTOC: Programa de Trabajos y Obras Complementario
PTOD: Programa de Trabajos y Obras Diferencial
REPA: Registro de Pasivo Ambiental
RUCOM: Registro Único de Comercializadores de Minerales
SGD: Sistema de Gestión Documental
TAPs: Territorios Ambientalmente Protegidos
UNAL: Universidad Nacional de Colombia

Glosario

Adsorción: Proceso mediante el cual contaminantes o iones se adhieren a la superficie de un sólido, como resinas o bioadsorbentes.

Agentes carboxílicos: Compuestos orgánicos que contienen grupos -COOH , usados como lixiviantes alternativos para solubilizar metales pesados de manera más sostenible.

Amalgamación: Técnica artesanal que emplea mercurio para atrapar oro, generando residuos tóxicos persistentes.

Bocamina: Se entenderá como la entrada a una mina, generalmente un túnel horizontal.
2. Sitio en superficie por donde se accede a un yacimiento mineral.

Cation/Anión (iones): Especies químicas cargadas; los cationes poseen carga positiva (ej. Pb^{2+} , Hg^{2+}) y los aniones carga negativa (ej. SO_4^{2-} , AsO_4^{3-}).

Cinética: Estudio de la velocidad con que ocurren las reacciones químicas o procesos de disolución/lixiviación.

Cierre minero: Conjunto de actividades técnicas, ambientales y sociales orientadas al desmantelamiento y recuperación de áreas intervenidas.

Complejo metálico: Estructura química formada cuando un ion metálico se coordina con moléculas o iones llamados ligandos.

Conminución: Reducción del tamaño de partículas minerales por trituración o molienda, previa a su caracterización o tratamiento.

Distrito minero: Unidad territorial priorizada para el desarrollo minero con enfoque de sostenibilidad.

EDTA (Ácido etilendiaminotetraacético): Agente quelante que forma complejos estables con metales pesados, usado en lixiviación y tratamiento de aguas contaminadas.

Encapsulación: Proceso de inmovilización de contaminantes dentro de matrices sólidas o estables para reducir su movilidad y toxicidad.

Extracción ilegal: Se entenderá por extracción ilegal o ilícita, el desarrollo de actividades de exploración y explotación, sin contar con los permisos que la Ley ha dispuesto para ello (Permiso de la autoridad minera y/o ambiental). Ley 685 de 2001 (Código de Minas) y Decreto 2235 de 2015. Lo anterior considerando que el Código de Minas dispone que la exploración y explotación de minerales se torna ilícita cuando se adelantan actividades de exploración, extracción o captación de minerales sin contar con un título minero vigente o autorización que faculte para desarrollar estos trabajos.

Fase de explotación: se entenderá que se encuentra en explotación todo título que esté en dicha fase contractual, independientemente de si se encuentra o no explotando efectivamente el mineral.

El artículo 95 de la Ley 685 de 2001 dispone que la explotación “*es el conjunto de operaciones que tienen por objeto la extracción o captación de los minerales yacentes en el suelo o subsuelo del área de la concesión, su acopio, su beneficio y el cierre y abandono de los montajes y de la infraestructura*”. Se tendrá en cuenta la etapa real en la que se encuentre el proyecto minero según la plataforma Anna Minería de la Agencia Nacional de Minería (ANM). En estos casos el expediente minero puede estar en fase de explotación, pero sin instrumento ambiental porque está a la espera del pronunciamiento de las autoridades competentes o no ha iniciado el trámite.

Frente minero: Se entenderá como el lugar donde explotan los minerales de interés económico. 2. Superficie expuesta por la extracción. 3. Superficie al final de una labor minera (túnel, galería, cruzada, otras). 4. Lugares donde se ejecutan las tareas de avance y desarrollo de la mina.

Gestión de activos: Administración de equipos, insumos y prototipos adquiridos durante el piloto, asegurando su custodia, operación y mantenimiento.

Granulometría: Distribución de tamaños de partículas en una muestra, determinante en procesos de lixiviación, concentración y filtración.

Hidrometalurgia: Rama de la metalurgia que emplea soluciones acuosas para disolver, separar y recuperar metales de matrices minerales.

Licenciamiento ambiental: por licenciamiento ambiental se entenderá el instrumento de comando y control ambiental, bien sea plan de manejo o licencia ambiental y permisos.

Licencia Ambiental Global: autorización otorgada por la autoridad ambiental competente para las obras y actividades relacionadas con los proyectos de explotación minera y de hidrocarburos.

Licencia Ambiental Temporal: en el marco del Plan Único de Legalización y Formalización Minera es la autorización que otorga la autoridad ambiental competente para amparar las actividades mineras existentes y las que se desarrollen durante la vigencia del presente instrumento ambiental de carácter temporal; la cual sujeta a su beneficiario al cumplimiento de los requisitos, términos, condiciones y obligaciones que se establezcan en relación con la prevención, mitigación, corrección, compensación y manejo de los efectos ambientales de las actividades mineras sin título minero, ni licencia ambiental.

Licor (en hidrometalurgia): Solución líquida obtenida tras un proceso de lixiviación, que contiene los metales disueltos desde una matriz sólida.

Ligando: Molécula o ion que se une a un ion metálico central, formando un complejo metálico estable.

Lixiviación: Proceso de disolución selectiva de metales desde un sólido hacia una solución mediante agentes químicos.

Matriz polimérica: Estructura de un material polimérico (ej. resinas de intercambio iónico) que contiene los grupos funcionales activos responsables de captar iones metálicos.

Matriz sólida: Medio mineral o material contaminado en el que se encuentran contenidos los metales pesados.

Middlings: En los procesos de concentración de minerales, se denomina así a la fracción intermedia entre el concentrado y las colas. Corresponde a materiales con composición heterogénea, producto de la mezcla de partículas parcialmente enriquecidas con minerales valiosos y partículas de ganga, lo que limita su grado de pureza y dificulta su clasificación directa como producto o residuo.

Mineralogía o naturaleza mineralógica: Estudio de las especies minerales, su estructura, composición y asociación, determinante para predecir su comportamiento geoquímico y metalúrgico.

Mufla: Tipo de horno ampliamente empleado en operaciones metalúrgicas de laboratorio, para trabajar en rangos de temperatura entre 0 y 1200 °C, con control preciso de la velocidad de calentamiento y del tiempo de residencia. Su denominación proviene del término inglés *muffle*.

MP-AES (Microwave Plasma–Atomic Emission Spectroscopy): Técnica analítica para determinar concentraciones de metales en soluciones.

Pasivo ambiental: Entiéndase por Pasivo Ambiental las afectaciones ambientales originadas por actividades antrópicas directa o indirectamente por la mano del hombre, autorizadas o no, acumulativas o no, susceptibles de ser medibles, ubicables y delimitables geográficamente, que generan un nivel de riesgo no aceptable a la vida, la salud humana o el ambiente, de acuerdo con lo establecido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Ministerio de Salud, y para cuyo control no hay un instrumento ambiental o sectorial.

Pasivo Ambiental por actividad minera: Se entenderá como toda obligación que se origina en pérdidas significativas de bienestar o riesgos inminentes para las personas, que se presentan como consecuencia del detrimento de los recursos naturales renovables, cuando este detrimento supera los niveles sociales, técnica o legalmente aceptables y ha sido causado por una actividad minera.

Plan de cierre y abandono: Instrumento técnico obligatorio que define las acciones de cierre progresivo, final y post cierre de un proyecto minero.

Plan correctivo: Estrategia técnica que define medidas y acciones para mitigar impactos de pasivos ambientales por actividad minera.

Proyectos mineros: se entenderán por proyectos mineros aquellos títulos y solicitudes mineros con prerrogativa de explotación según la ley aplicable, que no cuenten con licenciamiento ambiental y se encuentre en fase de explotación.

Potencial redox: Medida del estado de oxidación o reducción de un sistema químico, indicador clave en la movilidad de metales en soluciones acuosas.

Potencial zeta: Indicador de la carga superficial de partículas en suspensión, útil para analizar su estabilidad y comportamiento en procesos de separación.

Post-minería: Etapa posterior al cierre minero, orientada a la restauración ambiental, reconversión productiva y sostenibilidad territorial.



Prototipo fijo: Instalación de laboratorio en Tunja, diseñada para validar rutas de tratamiento bajo condiciones controladas.

Prototipo móvil: Unidad modular transportable que aplica tecnologías limpias de tratamiento directamente en campo.

Prevención: Se entenderá por prevención, todas aquellas medidas y acciones de intervención restrictiva o prospectiva dispuestas con anticipación con el fin de evitar que se genere riesgo. Puede enfocarse a evitar o neutralizar la amenaza o la exposición y la vulnerabilidad ante la misma en forma definitiva para impedir que se genere nuevo riesgo. Lo anterior en armonía a la ley 1523 de 2012 de gestión del riesgo.

Quelante: Agente químico capaz de formar múltiples enlaces coordinados con un ion metálico, estabilizándolo en solución.

Resinas de intercambio iónico: Materiales poliméricos que capturan y liberan selectivamente iones metálicos en soluciones acuosas.

Riesgo: Se entenderá por riesgo en el marco de pasivos ambientales, lo definido en el Decreto 4741 de 2005 referente a la prevención y manejo de residuos o Desechos Peligros, como la probabilidad o posibilidad de que el manejo, liberación al ambiente y la exposición a un material o residuo, ocasionen efectos adversos en la salud humana y/o al ambiente.

Susceptibilidad: Se entenderá como la probabilidad de configuración de un área como Pasivos Ambientales por actividad minera, en articulación con el proceso desarrollado en el entregable B.

Termodinámica: Estudio de la energía y estabilidad de las reacciones químicas, base para predecir si un proceso de disolución o precipitación puede ocurrir.

Títulos mineros: se entenderán como títulos mineros los contratos de concesión (Ley 685 de 2001 y Decreto 2655 de 1988), permisos, licencias de explotación, autorizaciones temporales, reconocimientos de propiedad privada y contrato en virtud de aporte.

Variabilidad geológica: Diferencias espaciales en composición y mineralogía de los materiales de un territorio, que afectan la movilidad y concentración de contaminantes.

Zonas de deposición: En relación con la ZODME (Zona de Manejo de Escombros y Material de Excavación), si bien el Glosario Minero no contempla una definición de lo que esta significa, si se encuentra la definición de: i) escombros (industria minera) como: 1. Material o roca que fueron rotos mediante la voladura. li). Material de suelo, arena, arcilla o limo, inconsolidados, encontrados como material de recubrimiento en las operaciones de minería a cielo abierto. li). Material estéril producido en una mina.

Resumen ejecutivo

El presente documento consolida el desarrollo y resultados del entregable C, respecto a la aplicación de pilotos del plan preventivo y correctivo de Pasivos Ambientales por actividad minera, formulado en el marco del Contrato Interadministrativo GGC-1162-2024 suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia- UPTC.

De acuerdo con ello, se indica que en línea con lo definido en el plan operativo y lo ejecutado respecto a este entregable, se generó el diseño metodológico para el desarrollo de los pilotos preventivos y del piloto correctivo respectivamente. Para ello, el diseño de los pilotos preventivos se enfocó en dos frentes: el primero en cuanto al diseño de propuesta de medidas preventivas, la cual partió de la revisión documental, la consulta de antecedentes, la extracción de insumos de documentos previos como el del convenio interadministrativo con la UNAL y la articulación con los insumos generados del entregable B respecto a la identificación de áreas con posibilidad de configuración de Pasivos Ambientales originados por actividad minera .

Asimismo, el segundo frente de trabajo fue lo referente al diseño de los pilotos para el desarrollo de las mesas sectoriales e intersectoriales en territorio con miras a la formulación de las medidas preventivas puntuales aplicables a cada zona y la orientación para la implementación de las mismas; para lo cual, se establecieron las herramientas a usar, los procesos de convocatoria, de articulación interinstitucional, el diseño metodológico y logístico de los espacios, entre otros factores.

En ese contexto, se desarrollaron los pilotos preventivos en los proyectos mineros seleccionados en territorios de las 5 zonas priorizadas de Pacífico, Norte, Magdalena-Cauca Medio, Amazonas y Centro, así como un ejercicio complementario con autoridades ambientales de manera virtual. Estos pilotos se ejecutaron con los actores principales del territorio, tales como entidades territoriales, autoridad ambiental y autoridad minera, así como titulares mineros, comunidad y organizaciones sociales, con quienes se llevó a cabo un ejercicio constructivo de medidas preventivas de conformidad a las características de cada piloto, lo anterior en articulación con la aplicación de las fases 0 y 1 del plan preventivo generado por la UNAL sede Medellín, en el marco del Convenio Interadministrativo GGC-1138-2023.

Cabe resaltar que las medidas generadas fueron clasificadas de acuerdo con categorías y criterios técnicos, y validadas con actores y territorios de interés, dando como resultado, primero un ejercicio de construcción de un plan preventivo para cada piloto, el cual se consolidó en una base de datos de 77 medidas en total en donde se resaltan los resultados frente al componente definido (minero, ambiental, social o transversal), a su categoría (procedimental, administrativa, pedagógica, etc.), a la prioridad (alta, media o baja) y plazo (corto, mediano largo) y a la delegación de responsables.

Asimismo, posterior a este ejercicio por pilotos, se desarrolló una fase de armonización y complemento entre estas 77 medidas, a fin de encontrar temáticas y propuestas en común que evidenciara tanto problemáticas y necesidades, como oportunidades de mejora y ajuste; a raíz de ello, se organizó la base en datos en 14 problemáticas y 41 propuestas de medidas de prevención. Cabe indicar que este ejercicio también se complementó con los talleres realizados en el mes de junio de 2025 de socialización de avances y recolección de insumos en el marco del presente contrato interadministrativo con: i) Gremios y empresas mineras, ii) sector minero a través de Ministerio de Minas y Energía y entidades adscritas y iii) sector ambiental (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Autoridades Ambientales).

Ahora bien, respecto al ejercicio piloto de implementación de acciones correctivas sectoriales frente a impactos ambientales no atendidos, se centró en el diseño, construcción y evaluación de dos prototipos complementarios para el procesamiento metalúrgico de materiales auríferos. Para ello, los prototipos definidos corresponden a uno principal ubicado en la UPTC-Tunja, en donde se controló el proceso y se optimizaron parámetros de trabajo modificando variables de operación basadas en simulación de procesos y análisis de resultados por lotes. Y un prototipo operativo, el cual se desplazó a la zona definida para el tratamiento y así evaluar su efectividad.

1. Capítulo I: Generalidades

1.1. Introducción

Considerando los diferentes avances que se han generado en Colombia respecto al tema de pasivos ambientales a lo largo de los años, lo cual representa a su vez la necesidad de continuar generando insumos que permitan concretar y dar cumplimiento a las distintas disposiciones dadas en los instrumentos de planeación nacional, sentencias y otros marcos de actuación; el presente documento consolida el desarrollo y resultados del entregable C, respecto a la aplicación de pilotos del plan preventivo y correctivo de Pasivos Ambientales por actividad minera, formulado en el marco del Contrato Interadministrativo GGC-1162-2024¹ suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía- MME y la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia- UPTC. Para ello, se cuenta con información plasmada en tres capítulos:

Capítulo I): Generalidades, el cual cuenta con la introducción, objetivos, antecedentes (dentro de los cuales se contempla la sentencia de ventanilla minera, la propuesta “Plan preventivo y correctivo de Pasivos Ambientales Mineros”, producto del Convenio interadministrativo GGC-1138-2023 entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín -UNAL, y la Ley 2723 de 2023 sobre gestión de pasivos ambientales). Posteriormente, se presenta la articulación con los pilotos del entregable B, el cual hace referencia a la definición de lineamientos sectoriales para la identificación de áreas con posibilidad de configurarse como pasivos ambientales por actividad minera, y consta del desarrollo de ejercicios pilotos que permitan aplicar y validar los lineamientos sectoriales para la identificación de áreas en sospecha, así como la formulación de un instrumento de registro de áreas con posibilidad de configurarse como Pasivos Ambientales por actividad minera.

Capítulo II): Hace referencia al subproducto 1 del entregable C, respecto de la definición de la metodología para el diseño de medidas preventivas y de los pilotos para la especificación e implementación de estas. Para ello, conforme con lo requerido contractualmente, se presentan los informes de ejecución de los ejercicios piloto de implementación de acciones del plan preventivo de eventuales pasivos ambientales por

¹Contrato Interadministrativo GGC -1162 de 2024 MME- UPTC, el cual tiene como objeto prestar el servicio de asistencia técnica integral para el desarrollo de la actividad A1 (análisis de información de expedientes mineros), y los entregables B (Documento de propuesta de lineamientos sectoriales para la identificación de áreas en sospecha de configurarse como pasivos ambientales mineros), C (resultados de aplicación de pilotos del plan preventivo y correctivo, con énfasis en las medidas sectoriales de prevención de eventuales pasivos ambientales mineros y medidas de Corrección) y D (Documento de recomendaciones y propuesta de estrategias a aplicar para lograr cambios normativos, de procedimientos, documentación sectorial en la gestión, prevención y corrección de pasivos ambientales mineros en articulación con el sector ambiental).

actividad minera, en territorios priorizados según criterios de distritos mineros para la vida u otros. El informe de ejecución incluye, entre otros:

- a) La selección de lugares y actores.
- b) Descripción metodológica de los pilotos.
- c) Sistematización de estas experiencias, georreferenciación, análisis cuantitativo y cualitativo de la información según variables de interés del plan preventivo de eventuales Pasivos Ambientales por actividad minera.

Finalmente, en el Capítulo III, se consigna el Informe de ejecución de un (1) ejercicio piloto de implementación de acciones correctivas sectoriales frente a impactos ambientales no atendidos. La ejecución de este piloto incluye, entre otros aspectos, los siguientes:

- a) La selección de lugares y actores.
- b) Descripción metodológica del piloto.
- c) Propuesta de plan de correctivo con estimación de costos, medidas, actividades y responsables.
- d) Priorización de medidas correctivas sectoriales a implementar como parte de este piloto.
- e) Sistematización de esta experiencia, georreferenciación y delimitación, análisis cuantitativo y cualitativo de la información según variables de interés del plan correctivo de eventuales Pasivos Ambientales por actividad minera.

De conformidad con lo expuesto anteriormente, mediante el desarrollo del presente contrato interadministrativo, se continuará aportando insumos técnicos sectoriales para la respectiva identificación, prevención, declaratoria y elaboración de un inventario de pasivos ambientales por actividad minera.

1.2. Antecedentes

Dentro de esta sección se presenta la información preliminar revisada y que tiene relación directa con los objetivos del presente documento. Para ello, se tienen en cuenta los insumos y avances dados hasta el momento a nivel intersectorial, posteriormente, se realiza énfasis de uno de los insumos base generado por la UNAL frente a la propuesta de plan preventivo planteado por dicho convenio.

Dado lo anterior, y considerando el alcance del entregable C, en relación con la aplicación de pilotos orientados a generar e implementar medidas sectoriales para prevenir Pasivos Ambientales por actividad minera y medidas, así como medidas correctivas frente a impactos ambientales no atendidos, resulta pertinente identificar los principales hitos sobre la gestión de pasivos ambientales en Colombia. Estos avances permitirán generar insumos para la adecuación institucional, ajustes normativos, mejora de procedimientos y fortalecimiento de la articulación con el sector ambiental

Para ello, se inicia contextualizando que la temática de pasivos ambientales en Colombia ha sido punto de inclusión en el instrumento macro de planificación: Plan Nacional de Desarrollo, en donde se destacan las disposiciones dadas a través de las últimas 3 administraciones (12 años), mediante los PND 2014; 2018 “Todos por un nuevo país”; 2018-2022 “Pacto por Colombia, Pacto por la equidad” y el actual 2022-2026 “Colombia Potencia Mundial de la Vida”.

Estas disposiciones estuvieron orientadas a la generación de diversos insumos tales como: la estrategia integral para la identificación, atención y remediación ambiental de las áreas mineras en situación de abandono, la política para la gestión de pasivos ambientales, el programa de gestión de pasivos ambientales, el diseño y adopción de los protocolos y guías técnicas de identificación, prevención e intervención de pasivos ambientales, la estrategia para la intervención de pasivos ambientales huérfanos, entre otros (Congreso de Colombia, Ley 1753 de 2015).

No obstante, mediante la información generada en el marco de la Auditoría de desempeño pasivos ambientales mineros 2015-2020, adelantada por la Contraloría General de la República, se identificó que los PND 2014-2018 y 2018-2022 se plantearon objetivos relacionados con el manejo y tratamiento de los pasivos ambientales. Sin embargo, indican que, “es evidente el incumplimiento de las metas propuestas, pues continúan de uno al otro plan las mismas metas, sin un alcance de los objetivos en un horizonte cercano”.

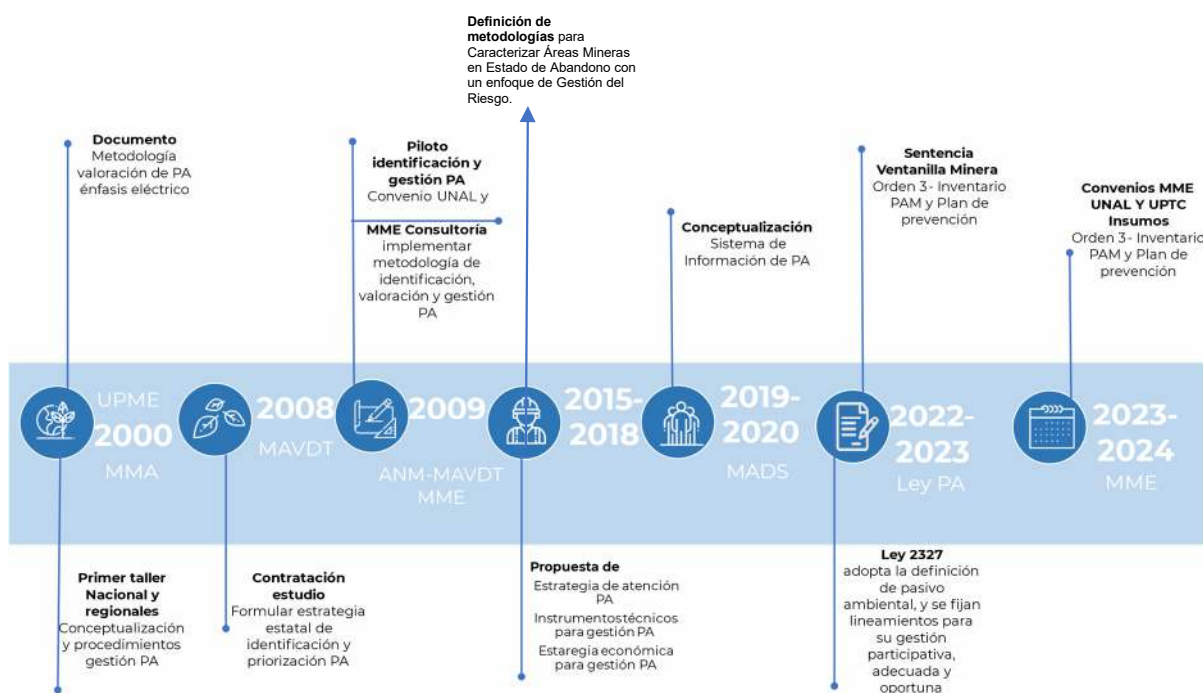
En relación con ello, actualmente se cuenta con la Ley 2294 del 19 de mayo de 2023 por la cual se expide el PND- 2022-2026 mediante el cual, en los ejes de transformación 4, se dispone que:

“Se actualizará la política minera con énfasis en: i) el uso y gestión de mecanismos para el ordenamiento minero ambiental; ii) creación de mecanismos de articulación para la aprobación de instrumentos técnicos (PTO y EIA); iii) reconocimiento de derechos mineros ancestrales, artesanales y de pequeña escala, a partir de análisis diferenciados de problemáticas socio-ambientales; iv) uso de tecnologías en la fiscalización, promoción y priorización de la exploración, extracción y comercialización formal de minerales estratégicos. Se adelantará la reforma de la normativa minera con el fin de crear instrumentos para la gestión del cierre minero y la restauración de los pasivos ambientales derivados de estas actividades, principalmente afectaciones al recurso hídrico por uso de mercurio para extraer minerales auríferos”.

Adicionalmente, en el eje de transformación 1 se dispone entre varios temas que:

“Se evaluará el proceso de licenciamiento ambiental y sus instrumentos técnicos para ampliar y fortalecer la participación de las comunidades en las decisiones ambientales y la implementación efectiva de instrumentos de monitoreo, control y vigilancia tanto de los recursos naturales como de la gestión de las corporaciones autónomas regionales y de desarrollo sostenible, así como ejercicios efectivos de control social, y se fortalecerá la producción, el uso y comprensión de la información territorial”. (Congreso de la República de Colombia, 2023).

En línea con lo anterior, a continuación, se presenta una línea de tiempo y se destacan algunos de los diversos avances intersectoriales en el tema a la fecha:



Fuente: Elaboración equipo UPTC, adaptado a partir de Informe ponencia proyecto de Ley Pasivos Ambientales (2025). (Cámara de Representantes, 2022).

Cabe mencionar que la Ley No. 2327 de 13 de septiembre 2023, es mediante la cual se adopta la definición de pasivo ambiental, y se fijan lineamientos para su gestión participativa, adecuada y oportuna. Dentro de estos lineamientos que aún están en proceso de construcción, se destaca la formulación de la Política Pública para la Gestión de Pasivos Ambientales, la creación del Comité Nacional para la Gestión de Pasivos Ambientales en el marco del Consejo Nacional Ambiental (CNA), la formulación de la Estrategia para la Gestión de Pasivos Ambientales, la creación del Sistema de Información de Pasivos Ambientales, así como la directriz en cuanto a los Planes de

Intervención de Pasivos Ambientales, el proceso de Identificación y comprobación de pasivos ambientales, las medidas de atención y financiación. (Congreso de la República de Colombia, 2023).

De otra parte, la sección primera de la Sala de lo Contencioso Administrativo del Consejo de Estado profirió fallo de segunda instancia del 04 de agosto de 2022, el cual se conoce como Sentencia de Ventanilla Minera. Mediante la misma, se impusieron una serie de órdenes con responsabilidad de participación y articulación entre las carteras de Minas y Ambiente, para lo cual, específicamente para el Ministerio de Minas y Energía en relación con el tema de pasivos ambientales por actividad minera se requiere:

El Ministerio de Minas y Energía y al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible que, en el término perentorio e improrrogable de doce (12) meses contados a partir de la ejecutoria de esta providencia, junto con las autoridades ambientales y mineras competentes, coordinen y elaboren un documento de diagnóstico y caracterización de dichas problemáticas. Además, en dicha fase preliminar, elaborarán el inventario de Pasivos Ambientales por actividad minera, con el objeto de adelantar los procesos administrativos y judiciales correspondientes. **Con fundamento en los resultados recopilados en el documento de diagnóstico y caracterización**, los citados ministerios, junto con las autoridades ambientales y mineras competentes, adoptarán e implementarán un **Plan preventivo y correctivo que identifique acciones participativas y conjuntas tendientes a corregir las tres problemáticas enunciadas**. Dicho plan estará encaminado a garantizar la prevención del daño antijurídico y contará con una prospectiva de corto (1 año), mediano (2 años) y largo plazo (5 años). (Consejo de Estado, 2022).

Documento Plan preventivo y correctivo de Pasivos Ambientales Mineros- Convenio interadministrativo GGC-1138-2023- Universidad Nacional de Colombia.

Para tener articulación con este convenio previo², para la construcción del presente documento, se toma de base la propuesta generada del plan preventivo de la UNAL, a lo que hace referencia a las tres fases y seis etapas propuestas que se resumen a continuación:

Fase 0 alistamiento: incluye etapa 0.1 de conocimientos previos, 0.2 análisis de información de proyectos mineros, 0.3 de criterios de priorización:

Conocimiento previo para tener análisis actualizado de las condiciones territoriales y ambientales:

- Verificación de instrumentos mineros, ambientales y sociales.
- Uso de herramientas existentes como lo son las Guías minero-ambientales de explotación, y de beneficio y transformación.

²Convenio interadministrativo GGC-1138-2023 UNAL-MME para "Aunar esfuerzos técnicos, administrativos y financieros para generación de insumos para la elaboración de un inventario de pasivos ambientales mineros", a través de los siguientes productos: 1) Diagnóstico y caracterización sobre: "i) proyectos mineros cuyos títulos se superponen con TAPs"; "ii) impactos ambientales negativos generados por los proyectos mineros sin licenciamiento ambiental en la fase de explotación"; "iii) los proyectos mineros que no están siendo controlados en la fase de exploración". 2) Propuesta metodológica y ruta de las eventuales situaciones que generen un PAM y la identificación para la declaración con miras a la elaborar el inventario por parte del MME y el MADS. 3) Propuesta para la elaboración de un plan preventivo y correctivo que identifique aquellas acciones que influyen en la configuración de un eventual PAM.

- Actualizaciones de información en AnnA Minería.
- Superposición con AMEAS.
- Verificación de vigencias, desistimientos, caducidades y vida útil del proyecto.

Frente a la **fase 1 de seguimiento y control**, con las etapas de 1.1 gestión integral para seguimiento y control a los proyectos mineros, y 1.2 de seguimiento y monitoreo ambiental, las mismas se enfocan en:

- Identificar a partir de una evaluación documental, cartográfica y de inspecciones de campo, cualquier proyecto minero que no gestione adecuadamente el uso de los recursos naturales y el entorno y que además presente ausencia de los instrumentos legales que respaldan la actividad en cada una de sus etapas de desarrollo.
- Contraste de la realidad de la operación minera (visita de campo) con el soporte documental previamente estudiado (fiscalización).

Finalmente, para la **fase 2 de resultados de la verificación de cumplimiento**, con su etapa 2.1 de toma de decisiones (convocar mesas intersectoriales, activar ruta correctiva, requerimientos adicionales por parte de la autoridad ambiental, procesos sancionatorios. (Plan Preventivo y Correctivo, UNAL, 2023). Cabe indicar que en capítulos posteriores se presenta el análisis respecto al complemento de este plan preventivo UNAL con los resultados del presente contrato interadministrativo.

1.3. Proceso de selección de zonas para desarrollar los pilotos según entregable B

Análisis multicriterio para la selección de Pilotos

La información de selección de los pilotos presentada en este apartado se refiere a un contexto general de la metodología empleada y del proceso ejecutado. Lo anterior considerando que, en el marco del trabajo articulado que se realizó con las actividades a desarrollar en los pilotos para el entregable B, referente a la generación de lineamientos para identificar áreas con posibilidad de configuración de Pasivos Ambientales por actividad minera, y en aras de no duplicar información, se indica que en dicho documento se encuentra de forma específica todo el proceso de selección de las zonas para el desarrollo de los pilotos.

Teniendo en cuenta la información secundaria proporcionada por MME, así como datos de AnnA Minería y del convenio UNAL, se procedió a aplicar herramientas cartográficas para identificar la intersección o superposición entre títulos mineros sin licencia ambiental. Estos títulos, en etapa de explotación, prerrogativas y en Territorios Ambientalmente Protegidos, se emplearon como criterios para definir una primera muestra potencial de distintos proyectos mineros, los cuales podrían configurarse como áreas de interés para ser intervenidas como pilotos.

En este sentido, los criterios de identificación se dividieron en dos grupos, de manera que las variables multicriterio no llegaran a afectar la calificación y tampoco se cometiera algún error al realizar el filtrado, esto considerando que la zona de Amazonas presenta unas características puntuales y diferenciales, por lo que su calificación se debe hacer de forma independiente a las 4 zonas restantes. Así, se clasificó de la siguiente manera:

ZONA 1: La cual está conformada por dos grupos:

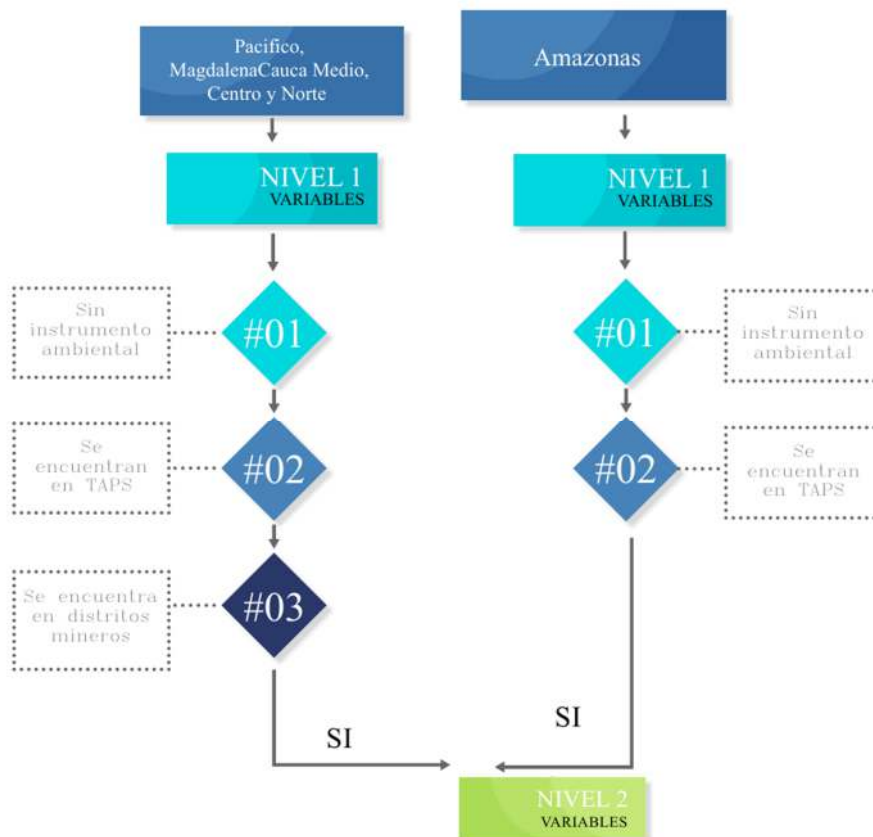
Grupo 1: Zonas Pacífico, Magdalena, Cauca Medio, Centro y Norte.

Grupo 2: Zona Amazonas.

La evaluación se realizó teniendo como base dos niveles de variables, descritas a continuación:

VARIABLES DE NIVEL 1: Títulos mineros y prerrogativas de explotación sin instrumento ambiental, que se encontraran dentro de los territorios ambientalmente protegidos y ubicados en los distritos mineros.

Figura 1. Variables de nivel 1 definidas por zonas.



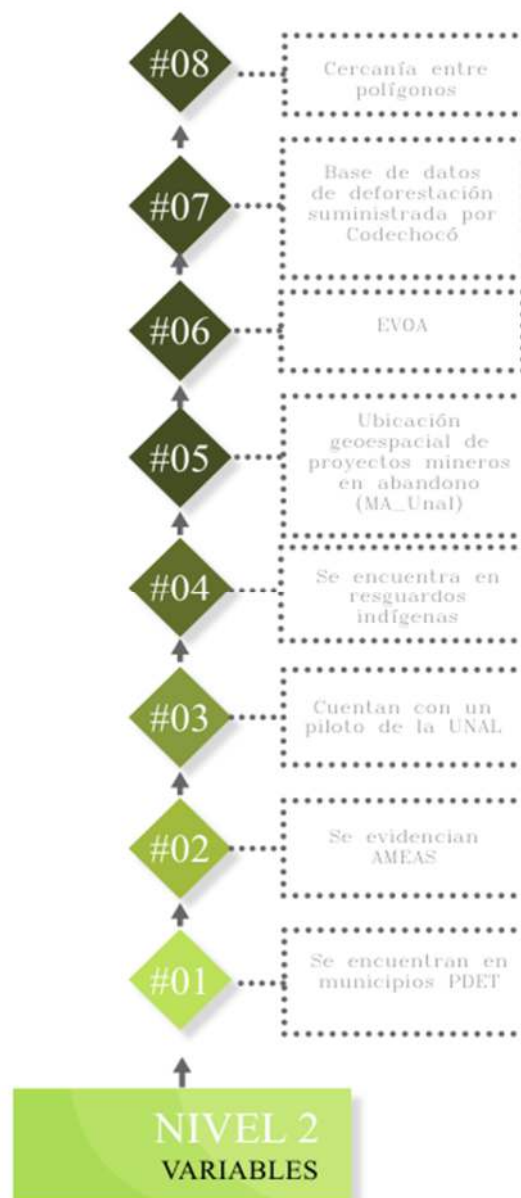
Fuente: equipo UPTC (2024).

Al obtener la primera muestra (538 proyectos mineros), se realizó nuevamente un cruce de información con los distritos mineros, con el objetivo de que la densidad de la muestra N°1 se ajuste a los parámetros de los criterios y, de esta manera, obtener un menor número de áreas para evaluar. Mediante la aplicación de este filtro, se obtuvo la clasificación de estos 538 proyectos mineros con potencial a ser seleccionados para los pilotos, y sobre estos se aplicaron las variables del nivel 2:

VARIABLES DE NIVEL 2: En estas variables se consideraron diversos elementos, tales como la proximidad entre proyectos mineros, las bases de datos de deforestación de la

Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó (CODECHOCÓ), los datos de la existencia de Evidencia de Explotación de Oro de Aluvión (EVOA), la ubicación geoespacial de proyectos mineros en abandono (UNAL), y la presencia de resguardos indígenas. Asimismo, se incluyó la existencia de pilotos previos desarrollados por la Universidad Nacional, la evidencia de AMEAS, la pertenencia a municipios PDET y la proximidad entre ellos a fin de realizar pilotos en conglomerados de interés.

Figura 2. Variables del nivel 2.



Fuente: equipo UPTC (2024).

Una vez surtida la clasificación, y considerando las variables anteriores, se realizó una reclasificación de las áreas priorizadas en tres categorías: alta, media y baja prioridad,

como se detalla en la siguiente Tabla. Finalmente, las propuestas resultantes se validan en conjunto con el Ministerio Minas y Energía para garantizar su relevancia y alineación con los objetivos del contrato.

Tabla 1. Reclasificación por categoría tomando la calificación final

categoría	valor
Alta	≥ 5
Media	4
Baja	≤ 3

Fuente: equipo UPTC (2024).

Como resultado del segundo filtro, se identificaron 34 proyectos mineros con potencial para desarrollar pilotos orientados a la identificación de áreas susceptibles de configurar pasivos ambientales. Sin embargo, durante las visitas al territorio, se evidenció que varios de estos proyectos presentaban dificultades de acceso debido a problemas de orden público, gestión del riesgo o limitaciones técnicas, lo que los hacía inviables para el desarrollo de los pilotos. Por esta razón, y con el apoyo de las comunidades e instituciones locales, se ajustó la selección, priorizando aquellos proyectos que cumplieran con las condiciones necesarias. El proceso final arrojó un total de 19 proyectos mineros seleccionados para la implementación de los pilotos.

Una vez presentada la propuesta de los pilotos por parte del equipo técnico de la UPTC en mesa de trabajo con el Ministerio de Minas y Energía, por parte del equipo técnico de este se recomendó incorporar un piloto en la zona centro, para los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Tolima. En el caso de Boyacá, se sugirió excluir los pilotos localizados en el páramo de Pisba, debido a la falta de un acuerdo sobre la delimitación de este ecosistema estratégico.

En la zona Magdalena - Cauca, se propuso evaluar la inclusión de polígonos en los municipios de Marmato, Segovia, Remedios, El Bagre y Nechí, dado que el Ministerio los considera estratégicos para el desarrollo de este ejercicio. Por otro lado, en la zona norte, se recomendó valorar la incorporación de polígonos en los municipios de Aracataca, Santa Marta y Dibulla.

Para la zona del Pacífico se solicitó evaluar la inclusión de placas en cada distrito correspondiente. Estos incluyen el Triángulo de Telembí y el Distrito Litoral Pacífico Caucaño, abarcando los municipios de Guapi, Timbiquí y López de Micay.

En la zona del Amazonas se recomendó excluir la placa del Valle del Guamez, dado que no se superpone con Áreas Mineras ni con territorios ambientalmente estratégicos, AMEAS, Ecosistemas Estratégicos de Valor Ambiental, EVOAS, ni minas abandonadas. Adicionalmente, se sugiere evaluar la incorporación de placas en los municipios de Sibundoy y Colón, así como en Guainía.

En la siguiente Tabla se presentan los pilotos definidos para la salida a campo, incorporando los acuerdos y solicitudes establecidas en la mesa de trabajo con el Ministerio, así como el resultado frente a la susceptibilidad de configuración de Pasivos Ambientales por actividad minera en cada uno en articulación con el entregable B.

Compilación desarrollo de Pilotos – entregable B

De conformidad con el ejercicio expuesto previamente, a través del cual se arrojó la selección de los 18 pilotos en las 5 zonas a trabajar a nivel nacional, y articulando el desarrollo de pilotos entre el entregable B y C, se resalta que, considerando la metodología aplicada en los apartes del entregable B, se obtuvo la siguiente valoración de susceptibilidad de configuración de Pasivo ambiental minero por proyecto minero:

Tabla 2. Valoración de susceptibilidad de configuración de Pasivo ambiental minero por proyecto minero.

Piloto preventivo	PLACA	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	CLASIFICACIÓN	SUSCEPTIBILIDAD CONFIGURACIÓN PAM ³
1	IKM-09471	BOYACÁ	Sogamoso, Iza, Cuitiva	Mediana Minería	ALTA
2	HIM-13531	CUNDINAMARCA	Cucunubá, Leguazaque	Pequeña minería	MEDIA
3	OCD-08331	TOLIMA	Ibagué	Pequeña minería	MEDIA
4	ODB-09011	ANTIOQUIA	Remedios-Segovia	Pequeña minería	BAJA
5	JJE-08042-001	ANTIOQUIA	Segovia	Pequeña minería	ALTA
6	LJF-14411	CALDAS	Supia	Pequeña minería	MEDIA
7	JDN-16071	CHOCÓ	Certegui	Pequeña minería	ALTA
8	II4-16453X	CHOCÓ	Atrato- Yuto	Pequeña minería	MEDIA
9	II4-16451	CHOCÓ	Atrato- Yuto	Pequeña minería	MEDIA
10	ARE-508031	PUTUMAYO	Villagarzón	Pequeña minería	ALTA
11	502329	PUTUMAYO	Sibundoy - Colón	Pequeña minería	MEDIA
12	LK2-15081	GUAINÍA	Inírida	Mediana Minería	MEDIA
13	MAK-11341	LA GUAJIRA	Dibulla	Mediana Minería	MEDIA
14	501591	LA GUAJIRA	Dibulla	Pequeña minería	MEDIA
15	FBIL-03	LA GUAJIRA	Dibulla	Mediana Minería	MEDIA
16	NJJ-16261	MAGDALENA	Santa Marta	Pequeña minería	MEDIA
17	ODA-10191	MAGDALENA	Santa Marta	Pequeña minería	MEDIA
18	3799	MAGDALENA	Ciénaga	Pequeña minería	BAJA

³ Esta susceptibilidad es uno de los resultados del entregable B del presente contrato interadministrativo, frente al cual se generó articulación en el desarrollo de los pilotos, así como en el resultado de este documento que antecede la presente propuesta.

19 ⁴	18881	MAGDALENA	Ciénaga	Pequeña minería	MEDIA
-----------------	-------	-----------	---------	-----------------	-------

Fuente: Equipo UPTC (2024)

Este ejercicio previo frente a la definición de lineamientos para identificación de áreas con posibilidad de configurarse como Pasivos Ambientales por actividad minera, se toma también de base para la construcción del plan preventivo en el marco de los pilotos desarrollados, en donde la valoración individual frente a cada componente (minero, social y ambiental), arrojó que para estos dos últimos componentes fue donde se concentraron los resultados de susceptibilidad media y alta de configuración de Pasivos Ambientales por actividad minera como se detalla en el entregable B.

2. Capítulo II: Subproducto 1 Informe de ejecución de los 15 pilotos del Plan Preventivo de Eventuales Pasivos Ambientales Mineros (PPEPAM)

2.1. Metodología

En este apartado se presenta el marco metodológico definido en dos momentos: i) para el diseño de las medidas de prevención de eventuales pasivos ambientales, y ii) diseño metodológico de los pilotos. Lo anterior teniendo en cuenta los diferentes insumos, herramientas y técnicas desde la parte procedimental y documental, así como de campo.

2.1.1 Diseño de las Medidas sectoriales de prevención de eventuales pasivos ambientales por actividad minera.

Para la construcción de la base de las medidas preventivas, se tomaron diferentes insumos, dentro de ellos, se revisó y analizó la información generada mediante el Convenio Interadministrativo GGC-1138 de 2023 con la Universidad Nacional-UNAL y el MME (indicada en el apartado 1.3 de análisis de información preliminar). Dentro de esta documentación y productos generados se cuenta con el documento *Plan Preventivo y Correctivo de Pasivos Ambientales Mineros*, por lo que, en el marco de la continuidad de trabajo que se requiere, se consideró como base el plan preventivo generado y frente al mismo se desarrollaron acciones de:

- Extracción de medidas para aplicar en los pilotos: se tomó el plan preventivo de la UNAL y se extrajeron posibles medidas a aplicar en los pilotos UPTC.
- Propuesta de mejora de medidas para aplicar en los pilotos: adicionalmente, se generaron propuestas de mejora o complemento a las medidas ya definidas por la UNAL para su aplicación en los pilotos UPTC.
- Propuesta de adición de medidas para aplicar en los pilotos: finalmente, se adicionaron medidas que no se encontraban propuestas por la UNAL y que representan ampliación a dicho plan para su respectiva aplicación en territorio.

Frente a este insumo, se realizó el ejercicio con el equipo técnico de la UPTC, para la extracción, propuesta de mejora y de adición de medidas preventivas. Para ello, los insumos de dicho ejercicio se consignaron en una matriz de Excel y con estas bases se

⁴ Se aclara que, en el marco de los pilotos desarrollados en zona norte, y producto de la articulación con la autoridad ambiental, se generó una propuesta adicional por parte de la misma para la visita y desarrollo del piloto número 19.

continuó alimentando la propuesta de medidas a llevar a territorio con los insumos que se presentan a continuación. Lo anterior para su ajuste, complemento y validación, indicando que las mismas surgen de la revisión técnica y documental

En este sentido, en la definición de medidas preventivas, se acotaron los siguientes parámetros o criterios técnicos a considerar:

Identificación de medida.

- ✓ Categorización de la medida (carácter administrativo, pedagogía, procedimental, etc.).
- ✓ Componente (minero, social, ambiental o transversal).
- ✓ Metodología para implementar la medida. [OBJ]
- ✓ Plazo de ejecución.
- ✓ Prioridad de ejecución.
- ✓ Actores involucrados.
- ✓ Resultado esperado.

Se aclara que, aunque se busca que las medidas tengan un ámbito de aplicación sectorial, también se consideran aquellas que correspondan a otros sectores, como el ambiental y social. Esto con el objetivo de desarrollar una propuesta de plan preventivo integral, dado que pueden surgir medidas que requieran una implementación transversal.

De cara a personalizar las medidas según su ámbito de aplicación, las mismas fueron detalladas y ajustadas según las especificidades de cada territorio en donde se desarrollaron los pilotos, toda vez que la construcción del plan preventivo debe ser validada con actores y territorios de interés. Para ello, la construcción de la propuesta preliminar de las medidas preventivas, además de considerar los insumos generados por la UNAL, se realizó con base en una selección de temáticas con potencial a formular medidas de prevención y que guardan relación directa con:

- Problemáticas identificadas en el marco de la Sentencia de Ventanilla Minera. (Consejo de Estado, 2022).

Frente a este insumo, es de relevancia considerar los diferentes aportes y temáticas indicadas en el contexto y motivación de la Sentencia, en donde mediante la orden tercera se define el marco de acción del presente contrato interadministrativo, y la cual está dada en los siguientes términos toda vez que, la propuesta de las medidas que harán parte del plan preventivo, debe estar en armonía con el alcance de las problemáticas definidas en la sentencia, que se relacionan con: *i) desarticulación institucional de los sectores minero y ambiental; (ii) déficit de información y de ordenamiento minero-ambiental del territorio colombiano; (iii) las debilidades del modelo de control y fiscalización de los títulos, y (iv) al desconocimiento del derecho a la consulta previa.*

Para este fin, se identificaron las problemáticas de la sentencia en los siguientes aspectos relevantes:

Frente al componente minero. Se destaca la importancia del Programa de Trabajos y Obras (PTO), ya que este es el instrumento que compila los resultados de los estudios y trabajos de exploración. A través de él se abordan aspectos fundamentales, entre los que destacan: la delimitación del área de explotación, la cartografía, las reservas a

explotar, las instalaciones e infraestructura asociadas a las actividades mineras, el Plan Minero de Explotación que será implementado siguiendo las guías técnicas establecidas, el Plan de Obras de Recuperación, las servidumbres y el Plan de Cierre y Abandono de la explotación, así como de la infraestructura utilizada en el desarrollo de la actividad

Por otro lado, el diagnóstico contenido en esta sentencia evidencia varias falencias en el proceso de fiscalización, entre las cuales se destaca la ausencia de una batería de indicadores que permita realizar un seguimiento eficaz al desarrollo de la industria minera. Esta carencia afecta directamente la medición del impacto sobre la gestión gubernamental. Asimismo, se señala que la cantidad de visitas realizadas no constituye un factor determinante en los resultados obtenidos.

Adicionalmente, se relacionan algunas causas de caducidad en los títulos mineros, como el incumplimiento en el desarrollo del programa de trabajos y obras en los términos definidos o la suspensión de los mismos, así como incumplimientos en los pagos de prestaciones económicas o de multas o reposición de garantías. ~~y la baja notificación a la autoridad minera para hacer cesión del contrato.~~

Finalmente, se indican falencias frente al manejo y organización de la información en cuanto a las bases de datos y calidad de la información de los títulos mineros.

Frente al componente ambiental. En relación con este componente, se identifican falencias en la atención de trámites por parte de las autoridades ambientales, atribuibles a su limitada capacidad operativa para la evaluación de solicitudes, licencias ambientales, permisos y autorizaciones. Es fundamental señalar que el instrumento ambiental no solo garantiza la protección del medio ambiente, sino que también constituye el mecanismo de seguimiento implementado por la autoridad ambiental. Este seguimiento da lugar a distintos requerimientos y procesos sancionatorios en el marco del control y la protección ambiental. Por lo tanto, su ausencia puede resultar en la posible generación de Pasivos Ambientales por actividad minera.

De otra parte, se evidencia una ausencia de sistemas de información para conocer y realizar un seguimiento adecuado a los permisos y concesiones ambientales asociados a los tramites en sus distintas etapas. Esta falta de trazabilidad general vacíos críticos que afecta la formulación y efectividad de las medidas preventivas y correctivas, especialmente en lo relacionado con el control ambiental, la gestión del riesgo y la articulación interinstitucional.

También se indica otra problemática relacionada con los impactos no previstos frente a los cuales no se tiene mayor control y se relacionan directamente con estándares de exigencia tanto mineros como ambientales.

Adicionalmente, se identifican otras problemáticas más de tipo normativo y procedimental tales como: i) la ausencia de licencia ambiental para la etapa de exploración, ii) deficiencia en los instrumentos ambientales para la minería (los términos de referencia para los EIA no dan cuenta de los principales impactos y daños ambientales) y iii) ausencia de reglamentación minera y ambiental en lo que respecta al cierre minero y al uso post-minería con la articulación necesaria con instrumentos de riesgo y de ordenamiento territorial.

Respecto al rol de las empresas, se indica que las mismas cuentan con falencias en la remisión de información completa, oportuna y confiable, y también la actuación de fondo de las autoridades frente a ello pues no es consistente, lo que genera falencias en los procesos de control y seguimiento. También se presentan otros casos en donde las licencias ambientales no reconocen la magnitud del impacto que ocasionan los proyectos mineros, por lo que no se logran definir medidas necesarias para prevenir, mitigar, corregir y/o compensar los daños.

Frente a los procesos de articulación intersectorial e interinstitucional. Respecto a esta temática de articulación, en el marco de la sentencia se relacionan algunas de las problemáticas tales como la ausencia de lineamientos y directrices por parte de los ministerios para coordinar acciones y atender el tema, de otra parte existen falencias de coordinación en el desarrollo y articulación de instrumentos mineros y ambientales, como por ejemplo, proyectos con PTO aprobado, o sea que fueron considerados técnicamente viables por la autoridad minera, que no han podido obtener la Licencia Ambiental y que para hacerlo tienen que modificar su planteamiento técnico.

Asimismo, existe una baja articulación de procesos de fiscalización minera y seguimiento ambiental de los proyectos. Esta desarticulación se evidencia en duplicidad de actividades desarrolladas en el marco de cada proceso, así como comunicación poco efectiva para la toma de decisiones.

Cabe indicar que estas problemáticas inciden directamente en la afectación a las comunidades y a la generación de conflictos socioambientales en territorio.

Temáticas priorizadas, según formato de revisión de expedientes actividad A1

La actividad A1 hace referencia al análisis de información dispuesta por el MME y/o gestionada con la ANM, sobre los proyectos mineros que no cuentan con licenciamiento ambiental en la fase de explotación (revisión de expedientes). Esto con la finalidad de mantener la articulación entre las diferentes actividades a desarrollar bajo el contrato interadministrativo, y considerando la revisión de expedientes como un insumo documental que orienta la formulación de medidas preventivas, se seleccionaron las temáticas relevantes y susceptibles a generar medidas preventivas en los componentes minero, social y ambiental:

Componente ambiental

- Verificación de ausencia de permisos para proponer medida articulada con la Autoridad Ambiental.
- Verificación de procesos sancionatorios con la Autoridad Ambiental y sus conceptos.
- Identificación de situaciones de riesgo por derrames, incendios, explosiones, deslizamientos.
- Validación de superposición con áreas excluidas.
- Verificación del plan de cierre y abandono, diseño de botadero.
- Manejo inadecuado de estériles y escombreras.

Componente social

- Conocimiento del proyecto por parte de la comunidad.
- Programas en beneficio de la comunidad.
- El título es de mineros tradicionales o hay presencia de ellos.
- La explotación es la principal fuente de ingresos.

Componente minero

- Disponibilidad en el SGD de ANM.
- Estado actual del título (activo, activo intermitente, inactivo, suspensión, cierre temporal, abandonado).
- Validación de uso de explosivos e instrumento de control para ello (plan de emergencias y contingencias, almacenamiento, etc.).
- Verificación del PTO o PTI aprobado.
- Estado de las instalaciones.
- Verificación del proceso de fiscalización: procesos sancionatorios, póliza minero ambiental vigente, traslado a Autoridad Ambiental por afectación ambiental (vertimiento domiciliario, industrial, minero).
- Antecedentes de emergencias mineras y existencia de medidas preventivas al componente ambiental o suspensión.

Temáticas priorizadas según Instrumento de recolección de información en campo identificación de áreas con posibilidad de configurarse como pasivos ambientales por actividad minera.

Finalmente, en armonía a la metodología del entregable B, y considerando el instrumento diseñado para la identificación de áreas con posibilidad de configurarse como Pasivos Ambientales por actividad minera con la herramienta KoBoToolbox, la cual tiene un propósito de usarse a través de la web y que, permite la recolección de datos para determinar dichas áreas; los casos o situaciones planteados a continuación, se seleccionan porque pueden generar susceptibilidad frente a impactos socio ambientales y sobre las cuales se debe propender por generar medidas de prevención:

Componente ambiental:

- Cercanía a cuerpos de agua.
- Áreas de Gestión y/o Disposición de residuos sólidos orgánicos o biodegradables (susceptibles de tratamiento), sólidos aprovechables reciclables, sólidos RAEE (Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos) sólidos RCD (Residuos de construcción y demolición), sólidos con programa posconsumo (bombillas fluorescentes, envases de plaguicidas, baterías de plomo, ácido, llantas usadas, pilas usadas, medicamentos vencidos, computadores).
- Presencia de vertimientos sin tratamiento.
- Proceso de restauración ecológica.
- Infraestructura componente ambiental (tratamiento de aguas, agua potable, agua residual, agua de escorrentía superficial y/o subterránea).
- Identificación de áreas de acumulación de materiales.
- Afectación a paisajes o impactos bióticos.
- Modificación cauce del río por actividad minera.
- Estabilidad lateral a las márgenes del cauce.

Componente social:

- Focos de viviendas, campamentos, entables habitados en la zona de influencia del proyecto.
- Casos de muerte relacionados por el proyecto minero.
- Casos de accidentes relacionados por el proyecto.
- Casos de enfermedades relacionados por el proyecto.
- Situaciones de desastre con afectación a comunidades.
- Tránsito de población en el área de influencia del proyecto.
- Existencia de grupos vulnerables.

- Dependencia económica de las poblaciones al proyecto.
- Existencias de conflictos sociales relacionados con el proyecto minero en el área de influencia.
- Presencia de comunidades étnicas en el área de influencia del proyecto minero.

Componente minero:

- Existencia o no de algún tipo de instrumento técnico aprobado.
- Evidencia en el avance de labores de explotación, por parte del titular minero sin licencia ambiental.
- Zonas de deposición de estériles (ZODME) o botaderos, en su defecto sitios delimitados y demarcados para la ubicación y manejo de rechazos o residuos y ubicación de depósitos estériles (lechos de ríos, lagunas, cuerpos de agua, ronda hídrica sin estabilizar, ladera sin estabilizar, ronda hídrica estable, ladera estable).
- Planta de beneficio de minerales.
- Frentes o labores mineras abandonadas sin cierre técnico.
- Identificación de situaciones de riesgo, que puedan generar derrumbes, derrames, incendios, explosiones, entre otros.
- Fenómenos de remoción en masa y su origen (proceso minero, disposición de estériles, vibración artificial, socavación márgenes (erosión), afectación cauces, lluvias, sismos, falta de cobertura vegetal).
- Incumplimiento de Términos de Referencia y/o Guías Minero-Ambientales.
- Fenómenos de remoción en masa y su origen (proceso minero, disposición de estériles, vibración artificial, socavación márgenes (erosión), afectación cauces, lluvias, sismos, falta de cobertura vegetal).
- Presencia de actividad minera no autorizada.

Diseño de medidas preventivas

Con las situaciones priorizadas anteriormente y los diferentes insumos generados, se define una propuesta de medidas para discusión y debate, las cuales sirven de base para que, en el marco de los pilotos, específicamente en los espacios de sensibilización, se complementen con los actores involucrados y resulte un plan de implementación de estas medidas.

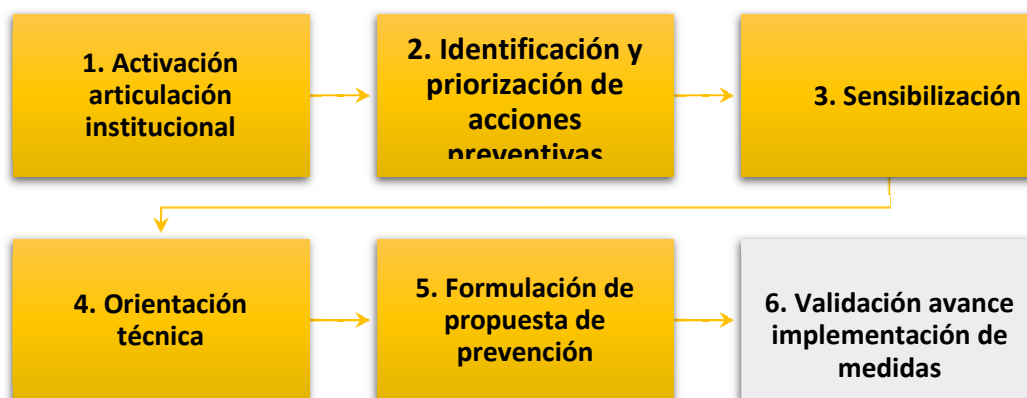
Teniendo en cuenta el proceso descrito, se estructuró una matriz base de 20 medidas preventivas en cada uno de estos componentes minero, social y ambiental, con los criterios de Identificación de medida, categorización de la medida (carácter administrativo, pedagogía, procedimental, etc.), metodología para implementar la medida, actores involucrados, resultado esperado, plazos y prioridad de ejecución, entre otros.

1.1.1 Diseño de los Pilotos y contenido del Plan Preventivo de Eventuales Pasivos (PPEP).

En el presente apartado se presenta el diseño de los ejercicios pilotos a implementar, para ello, además de la información general remitida en el marco de la hoja de ruta de implementación en territorio en articulación al entregable B, se presenta en este apartado, el detalle referente a los ejercicios preventivos, su paso a paso, así como las herramientas a usar para el desarrollo del plan preventivo de eventuales pasivos ambientales por actividad minera:

La aplicación de pilotos del Plan Preventivo contempla las siguientes etapas generales, las cuales se desarrollan en función de las características específicas de las áreas a intervenir, el alcance del presente contrato y las posibilidades de aplicación de medidas preventivas sectoriales, posterior a la identificación de Áreas con posibilidad de configurarse en Pasivos Ambientales por actividad minera relacionadas con el entregable B del presente contrato interadministrativo:

Figura 3. *Proceso general de aplicación pilotos.*



Fuente: Equipo UPTC (2024).

1. **Activación articulación institucional:** con base en las acciones adelantadas para el entregable B, se ejecutan las siguientes medidas preventivas, relacionadas con la articulación interinstitucional de los territorios de cada piloto seleccionado:

Socialización de la línea base del proyecto, alcance, selección pilotos y generalidades, a institucionalidad en jurisdicción de áreas con posibilidad de configurarse el pasivo: Informar a la institucionalidad los aspectos relevantes identificados en diagnóstico (Revisión de expedientes mineros del área en sospecha y pilotos entregable B). Este proceso de socialización se realizará, entre otros, con entes territoriales, entidad ambiental, comunidad minera, organizaciones sociales).

Complementar diagnóstico documental del área con posibilidad de configuración de pasivos: Solicitud de información complementaria a los actores relevantes (institucionales como ente territorial y autoridad ambiental, así como comunitarios) para delimitación de implementación de medidas, según zonificación de ordenamiento territorial, ordenamiento ambiental, aspectos culturales, entre otros.

Resultado: Fortalecimiento de diagnóstico con información institucional- documento Diagnóstico integral, lo que implica un proceso de aplicación de la fase 0 de alistamiento propuesta por el Plan Preventivo de la UNAL, en lo que respecta a las etapas 0.1, 0.2 y 0.3 de:

- Conocimientos previos: tanto del marco normativo, como de las competencias institucionales e instrumentos mineros y ambientales aplicables a los proyectos definidos conforme su etapa.

- Información de proyectos mineros: relacionada con el análisis de cada proyecto minero en relación con sus características técnicas reportadas en la plataforma AnnA Minería y otras fuentes de información, así como la validación de la actualización de la misma.
- Criterios de priorización: Etapa a su vez ejecutada en la selección de los proyectos mineros a ejecutar en los pilotos, así como otras propuestas recibidas en territorio sobre criterios que deben ser tenidos en cuenta por las autoridades minera y ambiental frente a los proyectos que puedan generar algún tipo alerta, buscando prevenir la generación de un área con posibilidad de configuración de Pasivos Ambientales por actividad minera. En esta etapa se incluye la revisión de cruces con TAPs, resultados de informes previos de fiscalización, conceptos técnicos generados, etc.

Lo anterior genera las bases para plasmar un análisis acorde a los aspectos actuales de las zonas donde se desarrollan los pilotos, y con ello orientar la formulación de medidas de prevención, así como la socialización de información técnica y orientadora frente a la prevención.

- 2. Identificación y priorización de medidas preventivas para área con posibilidad de configuración de pasivo:** Conforme al diagnóstico integral compuesto por la revisión documental de expedientes mineros del área en sospecha, aplicación de pilotos entregable B, más la información específica de la institucionalidad (institucionales como ente territorial y autoridad ambiental, así como comunitarios), se definirán unas medidas de prevención preliminares que tenga en cuenta los aspectos relevantes identificados en estos momentos previos a la ejecución del taller.

Resultado: Propuesta preliminar de acciones preventivas específicas para el área con posibilidad de configuración de Pasivos Ambientales por actividad minera, en donde se implementa la fase 1 de control y seguimiento de los proyectos mineros, a través de sus etapas 1.1 y 1.2:

- Gestión Integral para el seguimiento y control a los proyectos mineros
- Seguimiento y monitoreo ambiental

Estas dos etapas están orientadas a las acciones emprendidas por cada entidad para la identificación de áreas y con ello ser este el punto base para su prevención, considerando que en el marco del entregable B, se desarrollaron visitas a campo, para la validación de los lineamientos de identificación de áreas en sospecha y la aplicación del instrumento KoBo, se resalta, en articulación con la propuesta de plan preventivo de la UNAL, cómo tales ejercicios se relacionan directamente con el seguimiento y monitoreo desde la parte minera y ambiental a los proyectos desde la evaluación documental, la inspección física del área del proyecto minero, la identificación de posibles situaciones de minería ilegal, entre otros aspectos.

- 3. Sensibilización de aspectos relacionados con las acciones preventivas:** Basados en la identificación y priorización de acciones preventivas, se realizarán talleres con actores como ente territorial y autoridad ambiental, la autoridad minera regional, así como comunitarios, mesas de trabajo para sensibilizar en la implementación de buenas prácticas aplicables (guías minero-ambientales, instructivo para identificación de áreas con posibilidad de configuración de Pasivos Ambientales por actividad minera, etc.).

Resultado: Espacios de transferencia de conocimiento aplicado.

- 4. Orientación técnica:** Se orientará de forma específica a los involucrados en territorio tales como autoridad ambiental, ente territorial, autoridad minera, comunidades, y titulares mineros, la forma eficiente de implementación de acciones técnicas, ambientales, sociales y otros, desde las condiciones operativas de los proyectos mineros y los aspectos relevantes del diagnóstico integral; estas orientaciones pueden estar dirigidas a sistemas de monitoreo, acciones de mitigación, prevención, entre otros. Este ejercicio de orientación técnica implica impartir indicaciones operativas en el área con posibilidad de configuración de Pasivos Ambientales por actividad minera.

Resultado: Sesiones de asistencia técnica específica.

Respecto a los numerales 3 y 4 se indica que son acciones preventivas que no fueron consideradas dentro de la propuesta de la UNAL, pero que se enmarcan en las funciones tanto de la autoridad minera como ambiental y que se consideran relevantes desde el punto de vista pedagógico que guarda relación directa con la fase 1 de control y seguimiento de los proyectos mineros.

- 5. Formulación de propuesta de prevención:** Se formulará la propuesta de prevención, de forma conjunta entre el equipo de trabajo de la UPTC y los involucrados en territorio, en la cual se consignarán las recomendaciones y oportunidades de mejora relacionadas con las actividades preventivas específicas a ejecutar en periodos (inmediato, corto, mediano, largo plazo).

Resultado: Formulación de recomendaciones y oportunidades de mejora en propuesta de prevención conforme las particularidades de cada territorio, lo cual se presenta a su vez como un ejercicio de validación de propuestas con los actores relevantes e incidentes en el proceso de prevención.

- 6. Validación avance e implementación de medidas:** Si bien, el alcance del presente contrato interadministrativo no contempla el tiempo y recursos para validar en territorio la implementación la propuesta preventiva, se considera importante que esta etapa se surta por parte de la articulación de la institucionalidad inmersa en el tema, a fin de hacer seguimiento de las acciones preventivas, tanto para identificar el porcentaje de implementación, como realizar el análisis de eficiencia real en la prevención de Pasivos Ambientales por actividad minera.

Lo anterior tiene relación directa con la fase 2 del Plan preventivo de la UNAL que hace referencia al proceso de Resultados de la verificación de cumplimiento y toma de decisiones al respecto.

Tabla 3. Resumen medidas según intervención en campo

Medida	Implementación	Responsables y actores participantes	Resultado	Categoría
Socialización línea base a institucionalidad jurisdicción del área en posibilidad de configuración de pasivo.	Informar a institucionalidad los aspectos relevantes identificados en diagnóstico (Revisión de expedientes mineros del área en sospecha y pilotos entregable B)- institucionalidad	Responsable: Equipo Técnico UPTC Actores participantes: Entes territoriales, autoridad ambiental, autoridad minera, comunidad minera, organizaciones sociales, etc.)	Fortalecimiento de diagnóstico con información institucional- Diagnóstico integral	Pedagógica
Complementar diagnóstico documental del área en posibilidad de configuración de pasivo.	Solicitud de información complementaria para delimitación de implementación de medidas (según zonificación de ordenamiento territorial, ordenamiento ambiental, aspectos culturales, entre otros)	Responsable: Equipo Técnico UPTC Actores participantes: Entes territoriales, autoridad ambiental, autoridad minera, comunidad minera, organizaciones sociales, etc.)	Fortalecimiento de diagnóstico con información institucional- Diagnóstico integral	Procedimental
Identificación y priorización de acciones preventivas para área en posibilidad de configuración de pasivo.	Conforme al diagnóstico integral (Revisión documental de expedientes mineros del área en sospecha, aplicación de pilotos entregable B + información específica de la institucionalidad) se describirán los aspectos relevantes a tratar en los pilotos y su priorización en tiempo de tratamiento	Responsable: Equipo Técnico UPTC Actores participantes: Entes territoriales, autoridad ambiental, autoridad minera, comunidad minera, organizaciones sociales, etc.)	Definición de acciones de preventivas específicas para el área con posibilidad de configuración de Pasivos Ambientales por actividad minera (incluye cartografía)	Procedimental
Sensibilización de aspectos relacionados con las acciones preventivas	Basados en la identificación y priorización de acciones preventivas, se realizarán mesas intersectoriales para sensibilizar en la implementación de buenas prácticas aplicables (guías minero-ambientales,	Responsable: Equipo Técnico UPTC Actores participantes: Entes territoriales, autoridad ambiental, autoridad minera,	Espacios de transferencia de conocimiento aplicado	Pedagógica

Medida	Implementación	Responsables y actores participantes	Resultado	Categoría
	instructivo para identificación de áreas con posibilidad de configuración de Pasivos Ambientales por actividad minera.	comunidad minera, organizaciones sociales, etc.)		
Orientación técnica	Se orientará de forma específica a los involucrados en territorio, la forma más eficiente de implementación de acciones técnicas, ambientales, sociales, y otros desde las condiciones operativas de los proyectos mineros y los aspectos relevantes del diagnóstico integral (Sistemas de monitoreo, acciones de mitigación, prevención, entre otros)- Indicaciones operativas de áreas con posibilidad de configuración de Pasivos Ambientales por actividad minera.	Responsable: Equipo Técnico UPTC Actores participantes: Entes territoriales, autoridad ambiental, autoridad minera, comunidad minera, organizaciones sociales, etc.)	Sesiones de orientación técnica específica	Pedagógica
Formulación de propuesta de prevención	Se formulará propuesta de prevención, de forma conjunta entre el equipo de trabajo de la UPTC y los involucrados en territorio, en la cual se consignarán las recomendaciones y oportunidades de mejora relacionadas con las actividades preventivas específicas a ejecutar en periodos	Responsable: Equipo Técnico UPTC Actores participantes: Entes territoriales, autoridad ambiental, autoridad minera, comunidad minera, organizaciones sociales, etc.)	Formulación de recomendaciones y oportunidades de mejora en propuesta de mejoramiento. Firma de compromisos compartidos para la implementación	Pedagógica

Formato Propuesta de Prevención				
I. DATOS DEL PROYECTO PILOTO				
Expediente Proyecto Minero		Modalidad		
Departamento		Municipio		
I. DATOS DEL PROYECTO PILOTO				
Expediente Proyecto Minero	Tipo de título minero o prerrogativa de explotación			
Nombre del titular o beneficiario			CC o NIT	
II. ACCIONES PROPUESTA DE PREVENCIÓN				
Conforme Al proceso de diagnóstico, las etapas de articulación, identificación de medidas y sesiones de transferencia de conocimiento describir las sugerencias				
DESCRIPCIÓN MEDIDA (SUGERENCIAS/ OPORTUNIDADES DE MEJORA)	PLAZO DE EJECUCIÓN	Resultado esperado	Prioridad en implementación	Responsable/ Colaborador
APRECIACIONES GENERALES: _____				
RESPONSABLES DE FORMULAR PROPUESTA DE PREVENCIÓN:				
Componente	Nombre	Firma	MP o TP	
RESPONSABLE/ COLABORADOR:				
ENTIDAD/ NOMBRE	Cédula	Teléfono de contacto	Firma	

Fuente: Elaboración equipo UPTC.

Presentación conceptualización

Respecto a las herramientas de apoyo técnico y visual para el desarrollo de la mesa intersectorial prevista a ejecutar en cada uno de los pilotos con los actores identificados, se diseñó una presentación base para usar en cada una de las zonas a desarrollar los pilotos, dentro de esta herramienta se incluyó información respecto a la socialización del contrato interadministrativo, su alcance y objetivos, presentación del equipo de trabajo, concepto de Pasivo Ambiental y Pasivo Ambiental Minero, los Implementos técnicos para la identificación de áreas con posibilidad de configuración de Pasivos Ambientales por actividad minera, la propuesta de formulación de acciones para el Plan Preventivo, la relevancia del Mapa de actores y finalmente los acuerdos en pro de la prevención.

Presentación orientaciones técnicas

Adicionalmente, se preparó un insumo respecto a orientaciones técnicas ligadas a la prevención de pasivos ambientales por actividad minera, en donde se dispusieron insumos de acuerdo con cada público, comunidad en general, entes territoriales y la comunidad minera.

Dentro de estos insumos se resaltan cartillas como:

- *El interesante mundo de la minería responsable* (2018). ¡Esta cartilla les será de gran ayuda para comprender qué es la minería responsable y todo lo que nos ofrece! Permitirá ver una cara diferente de la minería: responsable, formal y que respeta el medio ambiente, además de entender la importancia de que la minería de hoy sea sustentable, esto quiere decir que cuide al medio ambiente y cree bienestar.
- *Guía para la incorporación de la dimensión minero-energética en los planes de ordenamiento departamental* (2019), siendo esta una herramienta de referencia, orientada tanto a las autoridades territoriales encargadas de los procesos de formulación y ejecución de los Planes de Ordenamiento Departamental, como a los actores públicos y privados del sector y comunidad en general, que participan en dichos procesos.
- *Guía para la incorporación de la dimensión minero-energética en los planes de ordenamiento territorial municipal* (2019), como herramienta de referencia, está orientada tanto a las autoridades territoriales encargadas de los procesos de formulación y ejecución de los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) Municipal, como a los actores públicos y privados del Sector Minero Energético y comunidad en general que participan en dichos procesos.
- *Cartilla de aspectos ambientales de la pequeña minería* (2016), tercera cartilla del kit de formalización minera. Objetivo: aprender sobre la importancia de identificar los impactos ambientales que genera la minería y cuál es la responsabilidad que tenemos como empresarios mineros para mitigarlos.
- *Guía minero ambiental 1 exploración* (s.f.): Instrumento adicional a los términos de referencia de tipo minero para la exploración; es decir que tiene finalidades complementarias para la elaboración y ejecución del manejo ambiental en la propuesta de los trabajos de exploración. Estas deben ser adaptadas a las particularidades del tipo de proyecto minero, a la clase de mineral, al método de exploración y a su clasificación, aplicables independiente de la magnitud de la minera objeto de exploración (pequeña, mediana, gran minería o las demás clasificaciones establecidas por la autoridad competente).
- *Guía minero ambiental 2 explotaciones* (s.f.): herramienta para la autoridad minera y ambiental, gremios y comunidades, que propone acciones para el mejoramiento continuo de la gestión, manejo y desempeño minero-ambiental.
- *Guía minero ambiental 3 beneficio y transformación* (2023): tiene finalidades complementarias para la elaboración y ejecución del manejo ambiental en la propuesta de los trabajos de beneficio y transformación. Estas deben ser adaptadas a las particularidades del tipo de proyecto minero, a la clase de mineral, al método de beneficio y transformación y a su clasificación, aplicables independiente de la magnitud de la minera objeto de exploración (pequeña, mediana, gran minería o las demás clasificaciones establecidas por la autoridad competente).
- Entre otros documentos y guías sobre *Exploración y estimación de recursos y reservas de materiales de arrastre, de rocas y minerales industriales, y depósitos de placer*. En donde el propósito de estas guías es proporcionar un valioso material de consulta para los profesionales del sector, titulares mineros y beneficiarios de prerrogativas, sirviendo de apoyo para el desarrollo de los estudios geológico- mineros y la presentación de documentos técnicos, basados en principios de materialidad, transparencia e imparcialidad.

2.2 Ejecución pilotos del (PPEP)

De acuerdo con la metodología establecida para definir las medidas preventivas, a continuación, se presenta el proceso y los resultados de la ejecución de los 19 ejercicios piloto del PPEP en las diferentes zonas: Centro, Magdalena-Cauca medio, Pacífico, Amazonas y Norte.

Tabla 4. *Ejecución de pilotos del PPEP en mesas y/o talleres intersectoriales presenciales*

Piloto	Mesa trabajo Sectorial e Intersectorial	Fecha	Participantes
1	Iza, Boyacá	12 de diciembre del 2024	12
2	Cucunuba, Cundinamarca	16 de diciembre del 2024	9
3	Ibagué Tolima	19 de diciembre del 2024	42
4	Remedios, Antioquia	13 de diciembre del 2024	15
5	Remedios, Antioquia	13 de diciembre del 2024	
6	Supía, Caldas	19 de diciembre del 2024	16
7	Certeguí, Choco	17 de diciembre del 2024	27
8	Atrato, Yuto	18 de diciembre del 2024	28
9	Atrato, Yuto	18 de diciembre del 2024	
10	Villagarzón, Putumayo	10 de diciembre del 2024	11
11	Sibundoy, Putumayo	12 de diciembre del 2024	12
12	Inírida, Guainía	17 de diciembre del 2024	13
13	Dibulla, Guajira	11 de diciembre del 2024	32
14	Dibulla, Guajira	11 de diciembre del 2024	
15	Dibulla, Guajira	11 de diciembre del 2024	
16	Santa Marta, Magdalena	17 de diciembre del 2024	13
17	Ciénaga, Magdalena	19 de diciembre del 2024	17
18	Ciénaga, Magdalena	19 de diciembre del 2024	
19	Ciénaga, Magdalena	19 de diciembre del 2024	

Fuente: Equipo UPTC (2025).

2.2.1 Actores convocados

La gestión de los pasivos ambientales por actividad minera representa uno de los mayores desafíos para la sostenibilidad territorial y la gobernanza ambiental en Colombia. Su abordaje requiere no solo de criterios técnicos y normativos, sino de una articulación efectiva entre actores públicos, privados y comunitarios que intervienen o se ven afectados por esta problemática. En este contexto, la identificación y participación de actores clave constituye una etapa fundamental para garantizar la trazabilidad, legitimidad y eficacia de las acciones de prevención.

La información consolidada se estructura a partir de tres componentes clave: los actores convocados a través de canales formales institucionales, los actores que asistieron y participaron activamente en las mesas o talleres intersectoriales, y la justificación técnica que sustenta la priorización de actores y regiones seleccionadas.

Desde el análisis teórico de la gestión de proyectos, específicamente proyectos de gestión ambiental y de gestión integral de pasivos ambientales, se recomendó seguir el siguiente proceso para la identificación de actores:

Figura 6. *Propuesta metodológica a través de características o factores clave.*

Característica	Organismos rectores	Entidades regionales	Sector minero	Comunidades locales
 Enfoque	Políticas y regulaciones	Operaciones regionales	Operaciones mineras	Impactos socioambientales
 Alcance	Nivel nacional	Regional y local	Formal	Perspectivas locales
 Evaluación	Marcos legales	Capacidad institucional	Cumplimiento ambiental	Percepción de riesgos
 Información	Datos nacionales	Datos registrados	Planes de cierre	Datos cualitativos
 Rol	Roles estratégicos	Funciones operativas	Responsabilidad potencial	Prioridades locales
 Validación	Mesas intersectoriales	Mesas intersectoriales	Mesas intersectoriales	Mesas intersectoriales

Fuente: Equipo UPTC (2025).

Este proceso se logró a través de las siguientes actividades:

- Análisis macro institucional.
- Identificación de los organismos rectores de política ambiental y minera a nivel nacional.
- Revisión de estructuras de gobernanza territorial.
- Evaluación de actores del sector minero.
- Recopilación de información socioambiental local.
- Consolidación, análisis y priorización.
- Validación a través de mesas intersectoriales.

En el marco del proceso de identificación y caracterización de actores clave vinculados al contrato interadministrativo, se realizó una convocatoria estructurada a través de mecanismos formales escritos, dirigidos desde la supervisión del proyecto, así como también comunicación directa en campo.

Estas comunicaciones oficiales presentaron los objetivos de la intervención, la conformación de los equipos de trabajo territoriales y los lineamientos generales de articulación interinstitucional. A continuación, se relacionan los actores identificados y convocados, cuya participación resultó esencial para garantizar la trazabilidad, validez y representatividad de la información recolectada en el territorio.

Figura 7. *Actores identificados y convocados.*

Autoridades nacionales relevantes:

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Ministerio de Minas y Energía, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, la Agencia Nacional de Minería y la Unidad de Planeación Minero-Energética.

Autoridades territoriales y actores locales:

Corporaciones Autónomas Regionales, los gobiernos departamentales y las alcaldías municipales

Actores mineros y Comunidades

Empresas o titulares mineros, solicitantes mineros, gremios, comunidad.

Fuente: Equipo UPTC (2025).

La gestión integral de los pasivos ambientales por actividad minera en Colombia exige la articulación efectiva de múltiples actores con competencias diferenciadas pero complementarias. Las autoridades nacionales relevantes, como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Ministerio de Minas y Energía, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, la Agencia Nacional de Minería y la Unidad de Planeación Minero-Energética, cumplen un rol estratégico en la formulación de políticas, normativas y directrices técnicas, constituyendo el eje rector de la gobernanza ambiental y minera.

Por su parte, las autoridades territoriales y actores locales entre ellos, las Corporaciones Autónomas Regionales, los gobiernos departamentales y las alcaldías municipales son fundamentales en la implementación operativa, el monitoreo y la atención directa de los pasivos en el territorio, siendo además el primer eslabón de respuesta institucional. Los actores mineros formales, como los titulares mineros, tienen responsabilidades directas en la prevención de Pasivos Ambientales por actividad minera, su participación es indispensable para la sostenibilidad de las soluciones propuestas.

Finalmente, los actores mineros informales y las comunidades locales representan tanto un desafío como una oportunidad, su reconocimiento y vinculación permiten ampliar la cobertura de intervención, generar legitimidad social y complementar la información técnica con el conocimiento empírico del territorio.

La sinergia entre estos grupos es condición necesaria para abordar de manera estructural, participativa y eficaz la prevención de Pasivos Ambientales por actividad minera y asegurar la sostenibilidad ambiental y la seguridad de las poblaciones. Una

vez en el territorio, se realizaron presentaciones para explicar el contexto contractual del proyecto, presentar al equipo y destacar la importancia estratégica de contar con información de campo. Esto es fundamental para validar los datos y avanzar en la identificación de medidas preventivas en áreas en posibilidad de configurarse como Pasivos Ambientales por actividad minera.

2.2.2 Agenda del desarrollo del piloto preventivo

Los pilotos se llevaron a cabo dentro de una mesa intersectorial, donde el orden del día se desarrolló de la siguiente manera:

- Presentación del equipo de trabajo.
- Aproximación concepto Pasivo Ambiental Minero.
- Instrumento técnico para la identificación de AS PAM.
- Mapa de actores.
- Acciones para el Plan Preventivo.
- Acuerdos en pro de la prevención.
- Cierre.

El profesional de pedagogía inició la reunión dando la bienvenida a los asistentes, presentándose a sí mismo y explicando el objetivo del encuentro:

- Reconocer el concepto de Pasivo Ambiental y contribuir a la construcción del concepto de Pasivo Ambiental Minero

Figura 8. Diagrama utilizado en la presentación de mesa intersectorial.

Pasivo Ambiental



Fuente: Equipo UPTC (2025).

- Aportar en la elaboración de lineamientos para identificar Áreas con posibilidad de configuración de Pasivos Ambientales por actividad minera.
- Colaborar en la creación de medidas para la prevención de Pasivos Ambientales por actividad minera.
- Identificar alianzas, estrategias y acuerdos para prevenir la formación de Pasivos Ambientales por actividad minera.

Luego, el Experto Territorial del grupo ofreció una contextualización del concepto de Pasivo Ambiental, teniendo en cuenta los requerimientos establecidos en la Sentencia de Ventanilla Minera. Además, junto con el pedagogo, se dirigió la discusión para que los actores aportaran, validaran, cualificaran y/o reconstruyeran el concepto de Pasivo Ambiental Minero.

A continuación, el profesional de minas presentó la definición de área con posibilidad de configuración de Pasivo Ambiental Minero, explicando las variables que pueden dar lugar a la creación de estas áreas en el territorio y por qué se eligió el título minero correspondiente para la ejecución del piloto.

En relación con el ejercicio de formulación del plan preventivo, el agente comunitario introdujo a los participantes en el concepto de prevención de pasivos ambientales por actividad minera, presentando las herramientas existentes, como guías y normas, y compartiendo los hallazgos del recorrido de títulos. También resaltó la importancia de trabajar en conjunto para formular medidas preventivas. Este ejercicio incluyó un mapeo de actores y la recolección de insumos sobre sus posiciones, percepciones y aportes, con el fin de construir medidas efectivas y participativas.

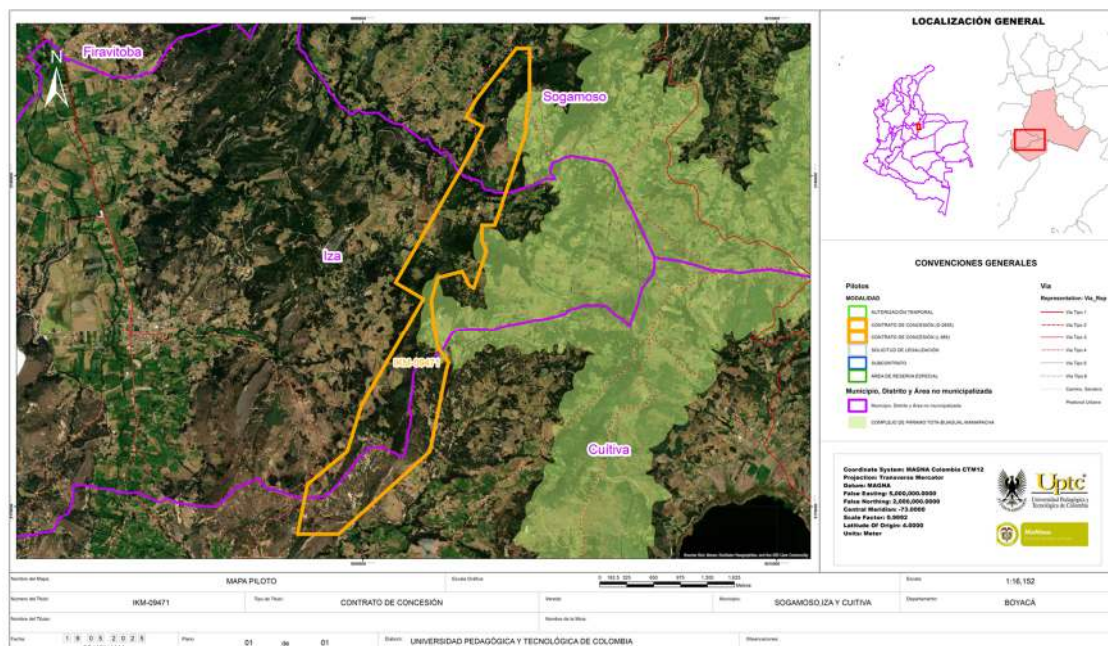
2.2.1 Pilotos zona Centro

2.2.1.1 Piloto 1.

Identificación piloto.

Expediente minero	IKM-09471
Modalidad	CONTRATO DE CONCESIÓN (L 685)
Mineral	ARENAS ARCILLOSAS, ARENAS FELDESPÁTICAS, ARENAS INDUSTRIALES, ARENAS SILÍCEAS, GRAVAS, RECEBO, ROCA FOSFÓRICA
Área	399.4843 HECTÁREAS
Departamento	BOYACÁ
Municipio	CUITIVA, IZA, SOGAMOSO
Etapla contractual	EXPLOTACIÓN
Estado de la explotación	INACTIVA

Figura 9. Mapa piloto IKM-09471.



Fuente: Elaboración equipo UPTC.

Ejecución de piloto del Plan Preventivo.

El 12 de diciembre de 2024, en el municipio de Iza, se llevó a cabo la “Mesa de trabajo Intersectorial Pilotos – PAM”. Este evento tuvo como objetivo principal abordar el concepto colectivo⁵ de Pasivos Ambientales por actividad minera mediante un enfoque participativo y técnico. Durante la jornada, se presentó al equipo de trabajo y se contextualizó a los participantes el concepto de Pasivos Ambientales. Se socializaron los instrumentos técnicos que se establecieron para el levantamiento de información en campo para la identificación de Áreas con posibilidad de configuración de Pasivos Ambientales por actividad minera y se elaboró un mapa de actores clave.

Asimismo, se propusieron acciones orientadas al desarrollo de un plan preventivo para gestionar estas afectaciones, esto a partir de la sensibilización de aspectos relacionados con las acciones preventivas y la orientación técnica brindada por el equipo de trabajo. En la mesa de trabajo sectorial se consolidaron acciones enfocadas en fortalecer la prevención de impactos ambientales y se enfatizó la importancia de la colaboración intersectorial para garantizar resultados efectivos.

⁵ Se generó un espacio de intercambio de opiniones acerca de la definición de Pasivos Ambientales Mineros.

Fotografía 1. Desarrollo de la construcción colectiva.



En el marco del desarrollo de la Mesa Intersectorial se realizó como ejercicio previo a la identificación de medidas preventivas, la socialización de la definición de Pasivo Ambiental y la construcción colectiva de la definición de Pasivo Ambiental Minero. Una vez establecidos estos dos conceptos, que les permitieron a los participantes tener una mirada general sobre los necesaria para abordar de manera estructural, participativa y eficaz la prevención de Pasivos Ambientales por actividad minera y con ello la identificación de medidas de prevención de áreas con posibilidad de configurarse como Pasivos Ambientales por actividad minera, se da inicio a la identificación y reconocimiento de actores claves que tuvieran injerencia, capacidad de toma de decisiones, relación directa o indirecta con las actividades mineras, y quienes tendrían un papel clave para la identificación y prevención de Pasivos Ambientales por actividad minera, mediante compromisos y alianzas en el territorio.

Como resultado del ejercicio se logró determinar que, la Agencia Nacional de Minería PAR – Nobsa, en su ejercicio identificó:

Como situaciones no deseadas:

- Desarrollo de minería ilegal. (Extracción ilícita).
- Abandono de áreas intervenidas sin ningún cierre técnico y ambiental.
- Desarrollo de actividades mineras sin identificación de responsables.
- Ejecución de labores mineras licenciadas, sin implementación de actividades de cierre progresivos.

Como medidas preventivas:

- Mayor control, seguimiento y fiscalización de minería y la extracción ilícita.
- Indagaciones preliminares y procesos sancionatorios para identificación de responsables de extracción ilícita.
- Garantizar la adquisición de la póliza minero-ambiental.
- Mayor control en el seguimiento a licencias ambientales, para requerir un cierre progresivo y simultáneo a la explotación.
- Trabajo articulado con la comunidad.

- Dar impulso a procesos sancionatorios para imponer planes de cierre y abandono.
- Requerir actividades de cierre progresivo y simultáneo con la explotación en el marco de seguimiento y control de instrumentos ambientales.
- Mayor presencia, operativos conjuntos con otras entidades para identificación de responsables de extracción ilícita e imponer medidas respectivas.

Se observa que las medidas preventivas identificadas desde el PAR – Nobsa hacen un mayor énfasis en el aumentar los controles, los procesos de fiscalización y seguimiento a la actividad minera involucrando a entes territoriales de nivel nacional y municipal. Sin embargo, deja fuera a actores comunitarios y otras instituciones, como las académicas, que podrían articularse en el desarrollo de estas medidas.

También se identificaron medidas de prevención, por los diferentes actores, participantes del espacio, se pueden destacar las siguientes:

- Construcción y montaje de sistemas de tratamiento de aguas, control y seguimiento.
- Control y manejo de materiales estériles.
- Control de emisiones de material particulado.
- Reconformación de la capa vegetal, finalizada la explotación.
- Formulación/ articulación con documento CONPES de pasivos.
- Creación de espacios de diálogo y caracterización, para la articulación de instrumentos de Planeación Territorial.
- Formación y asesoría de la pequeña minería.
- Promoción de asociatividad de la pequeña minería.
- Aplicación de la normativa de las audiencias públicas para la colaboración minera.
- Definir áreas de protección o áreas de ronda previas al sitio de protección de carácter restrictivo más extensas y crear campañas de divulgación pedagógica.
- Desde cada sector generar grupos de profesionales que acompañen a los mineros en territorio y que dichos profesionales sean idóneos, reforzado por la academia y la autoridad municipal.

Así mismo los asistentes identificaron como responsables para el desarrollo de estas medidas a: ANM, CORPOBOYACÁ, Titulares mineros, Autoridades municipales, Consultores, Transportadores de los minerales y la Procuraduría.

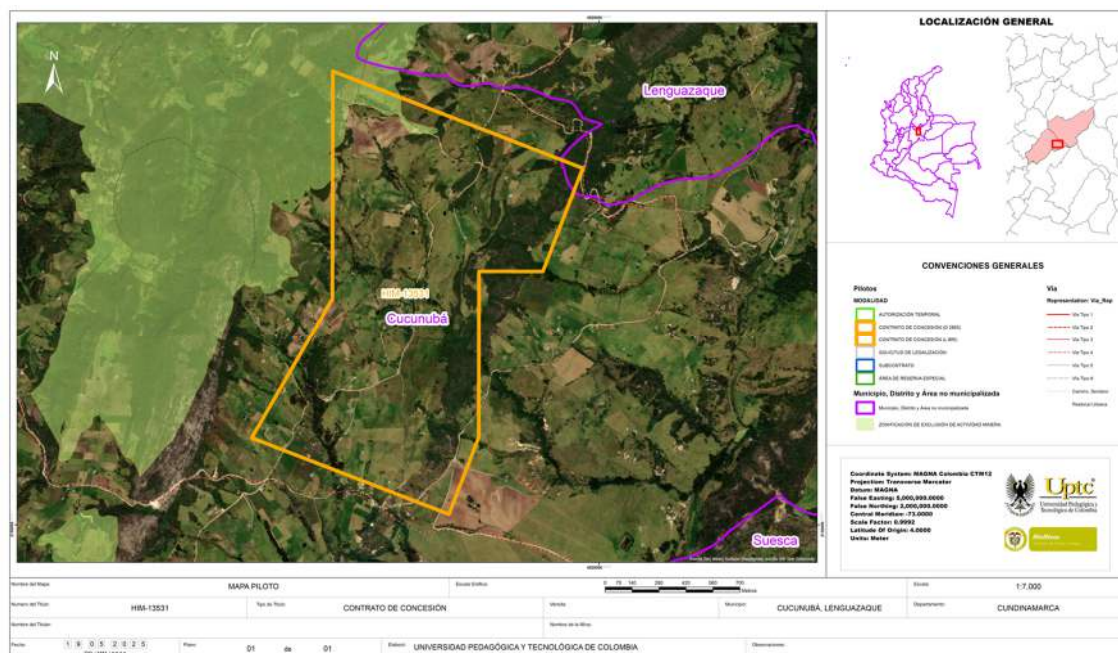
2.2.1.1.1 Piloto 2.

Identificación piloto.

Expediente minero	HIM-13531
Modalidad	CONTRATO DE CONCESIÓN (L 685)
Mineral	ANTRACITA, CARBÓN METALÚRGICO, CARBÓN TÉRMICO
Área	201.0204 Hectáreas
Departamento	CUNDINAMARCA

Municipio	CUCUNUBÁ, LENGUAZAQUE
Etapa contractual	EXPLOTACIÓN
Estado de la explotación	INACTIVA.

Figura 10. Mapa piloto 2 HIM 13531.



Fuente: Elaboración Equipo UPTC.

Ejecución de piloto del Plan Preventivo.

El 16 de diciembre, en el municipio de Cucunubá, se llevó a cabo la mesa de trabajo Sectorial e Intersectorial Pilotos - Pasivos Ambientales por actividad minera. Este evento tuvo como objetivo principal abordar el concepto colectivo sobre Pasivos Ambientales por actividad minera, mediante un enfoque participativo y técnico.

Durante la jornada se presentó al equipo de trabajo y se socializó la definición de Pasivo Ambiental, así como la construcción colectiva del concepto de Pasivo Ambiental Minero. Una vez establecidos ambos términos, se dieron a conocer los instrumentos técnicos definidos para el levantamiento de información en campo, con el fin de identificar áreas con posibilidad de pasivos ambientales asociados a la actividad minera, y se elaboró un mapa de actores clave.

Asimismo, se propusieron acciones orientadas al desarrollo de un plan preventivo para la gestión de estos pasivos. En la mesa intersectorial se consolidaron acuerdos encaminados a fortalecer la prevención de impactos ambientales, resaltando la importancia de la colaboración intersectorial para alcanzar resultados efectivos

Fotografía 2. Desarrollo de la construcción colectiva.



Durante el proceso enfocado en identificación de las medidas preventivas, participaron funcionarios de la Secretaría de Minas de la Alcaldía Municipal de Cucunubá, quienes expusieron su punto de vista sobre la necesidad de contar con lineamientos claros y específicos por parte de los entes responsables. En particular, destacaron la importancia de que la ANM y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) proporcionen directrices concretas que definan las responsabilidades de cada actor involucrado en la prevención de los Pasivos Ambientales por actividad minera.

Instrumentos plan preventivo

De conformidad con las directrices dadas, la base de información consultada y el ejercicio previo de recorridos en la zona, se desarrolló la mesa intersectorial para la definición de medidas tales como:

- Articulación territorial para contar con planes de acción e intervención específicos por parte de los entes responsables (Ente Territorial, Autoridad ambiental y Autoridad Minera).
- Capacitación y asesoría a los habitantes de sectores con presencia de minería, con el objeto de tener información correcta sobre los requisitos que deben cumplir tanto ante la autoridad minera como ambiental, y así poder generar alertas relacionadas con Pasivos Ambientales por actividad minera.
- Realizar Censo minero que incluya los parámetros de áreas con posibilidad de configuración de Pasivos Ambientales por actividad minera y variables específicas en función al tipo de minería en el territorio.
- Presencia permanente de las autoridades mineras y ambientales en territorio que apunten la aplicación de lineamientos de identificación y prevención de Pasivos Ambientales por actividad minera.

2.2.1.2 Piloto 3.

Identificación piloto.

Expediente minero	OCD-08331
Modalidad	SOLICITUD DE FORMALIZACIÓN DE MINERÍA TRADICIONAL (Archivada)

El 19 de diciembre, en el municipio de Ibagué, se llevó a cabo la mesa de trabajo Sectorial e Intersectorial Pilotos - Pasivos Ambientales por actividad minera. Este evento tuvo como objetivo principal plantear medidas para la prevención de Pasivos Ambientales por actividad minera, mediante un enfoque participativo y técnico.

Algunas de las medidas de prevención planteadas por los asistentes se relacionan a continuación:

Agencia Nacional de Minería PAR Ibagué:

- Creación y ejecución de planes para prevenir o mitigar la contaminación por tóxicos.
- Hacer veedurías con las comunidades para la identificación de extracción ilícita.
- Implementación de mecanismos de vigilancia ciudadana para controlar las actividades mineras y aprovechamiento de recursos naturales.
- Capacitación y sensibilización sobre riesgos ambientales generados por Pasivos Ambientales por actividad minera y medidas de prevención.
- Seguimiento y control con visión de fiscalización integral que identifique y clarifique sobre problemáticas de gestión constitutiva de pasivos ambientales.
- Por otra parte, como medida para la prevención de pasivos ambientales se establece fortalecimiento en el proceso de fiscalización minera con énfasis del reporte de actividades mineras ilícitas.

Alcaldía del municipio de Ibagué:

- Mejorar las condiciones comunicativas y capacitación con los titulares mineros en procesos de formalización, legalización de minería tradicional.
- Implementación de medidas de control de la extracción ilícita que sean efectivas en el tiempo.
- Control de áreas mineras en abandono por conflicto social.
- Aplicación de sanciones drásticas al incumplimiento de la normativa ambiental y minera.

Gobernación del Tolima:

- Se manifiesta la importancia de fortalecer el control y vigilancia por parte de las diferentes instituciones del Estado involucradas en temas mineros y ambientales.
- Mejorar los procesos mineros en formalización a través de seguimientos más frecuentes.

Comunidad en general:

- Expresan la importancia de incluir dentro de los lineamientos sectoriales para la identificación de las áreas con posibilidad de configuración de Pasivos Ambientales por actividad minera, la historia social de los minerales, es decir, la coyuntura generada por la explotación minera en territorios con conflictos sociales o armados.

Participantes en conexión virtual:

- La ANM, con la finalidad que todos sus funcionarios pudieran participar en la mesa, crearon una conexión virtual en la cual se presentaron 25 asistentes. Sin embargo, por dificultades de conexión no fue posible la intervención de estos participantes.

Fotografía 3. Desarrollo de la construcción colectiva.



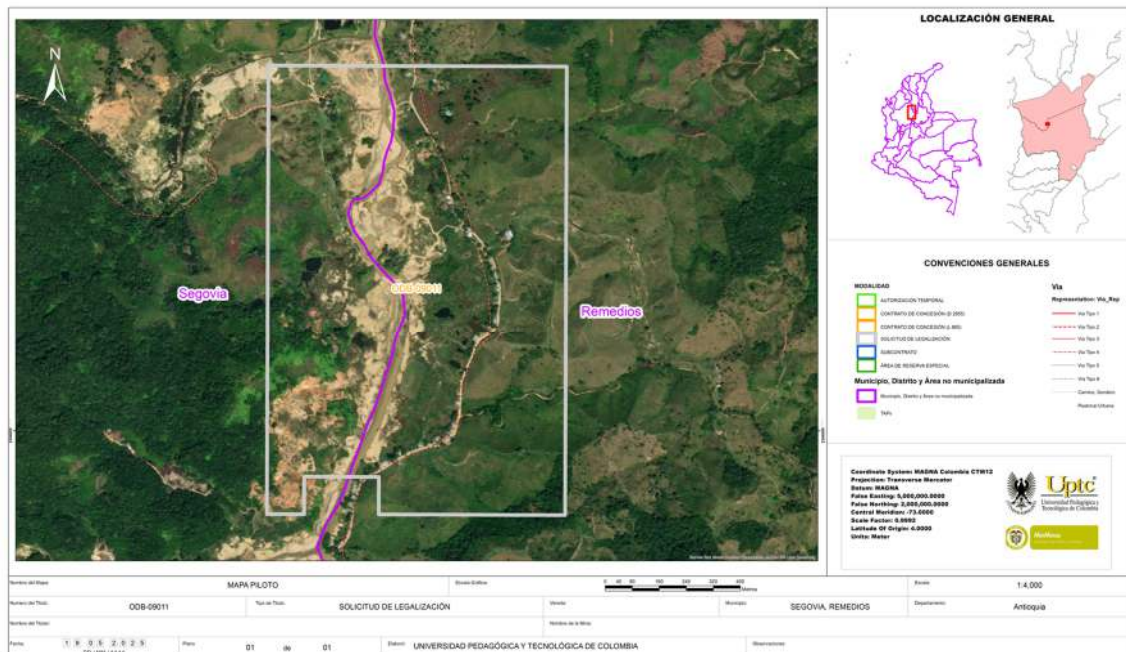
2.2.2 Pilotos zona Magdalena/Cauca Medio

2.2.2.1 Piloto 4.

Identificación piloto.

Expediente minero	ODB-09011
Modalidad	CONTRATO DE CONCESIÓN
Mineral	ORO
Área	70,80 HECTÁREAS
Departamento	ANTIOQUIA
Municipio	REMEDIOS- SEGOVIA
Etapla contractual	EXPLOTACIÓN
Estado de la explotación	INACTIVA

Figura 12. Mapa piloto 4 ODB-09011.



Fuente: Elaboración Equipo UPTC

Ejecución de piloto del Plan Preventivo.

Este ejercicio se articuló con el espacio del piloto 4, toda vez que se unificaron los actores de los pilotos JJE-08042-001 y ODB-09011 atendiendo a que, en la identificación preliminar de actores, se evidenció coincidencia entre estos y se desarrolló un solo espacio interinstitucional.

2.2.2.2 Piloto 5.

Identificación piloto.

Expediente minero	JJE-08042-001
Modalidad	SUBCONTRATO DE FORMALIZACIÓN MINERA
Mineral	GRAVAS
Área	68,36 HECTÁREAS
Departamento	ANTIOQUIA

municipio. Así mismo, identifica que un mecanismo preventivo se debe hacer desde las escuelas, es decir, desde la educación y desde planes y proyectos que pueden involucrar el cuidado y conservación de los recursos naturales.

- Secretaria de educación Remedios: Intervino el secretario de Educación elaborando un esquema de las problemáticas ambientales asociadas a la actividad minera y hace énfasis en que la educación puede ser una acción preventiva. Propone que el Servicio Nacional de Aprendizaje, con sede en Puerto Berrio-Antioquia, pueda capacitar a la comunidad en metodologías de minería responsable y sobre proyectos productivos diferentes a la minería. Le recuerda que el municipio cuenta con presencia de dos instituciones educativas privadas y dos de carácter oficial o públicas, además, de la presencia de la educación técnica, tecnológica y profesional que ofrecen instituciones tales como el SENA, CENSA, Universidad de Antioquia y el Tecnológico de Antioquia que pueden aportar a los planes preventivos.
- Contratista secretaria de Minas y Medio Ambiente, Segovia: Se presenta como guardabosque de una de las reservas más grandes del Nordeste Antioqueño y elabora un panorama de cómo a pesar de la actividad minera, la reserva se conserva como un relicto de bosque y fuente hídrica que abastece de agua al municipio. Señala también, que resulta importante y determinante, el realizar las actividades de cierre de minas con un plan preventivo de la mano de las autoridades ambientales regionales y nacionales.
- Asociación de mineros: El presidente de la asociación de mineros informa que el mercurio está presente en las actividades mineras de manera legal e ilegal, indica que este elemento es utilizado en grandes cantidades en el municipio dado a la escala de actividades asociadas, como por ejemplo los llamados “entables”. Resalta que su uso constante está afectando la salud de la población que no depende directamente de la minería.

A partir de ello, algunas de las medidas propuestas son:

- Incrementar las visitas de monitoreo periódico y de manera conjunta entre autoridad ambiental y minera, así como el ente territorial, para verificar su estado minero, ambiental y social.
- Capacitación a la comunidad en metodologías de minería responsable y sobre proyectos productivos diferentes a la minería (esto último para combatir la ilegalidad).
- Articulación entre titulares, comunidad e instituciones para implementar sistemas de alertas tempranas. Informar de manera oportuna de la presencia de mineros no formales dentro de su título.
- Desarrollar procesos de socialización con las comunidades de manera previa, durante y después de la explotación minera, que incluya desarrollo, impactos, programas, beneficios, compensaciones, alternativas económicas, etc. Medida con prioridad alta para su implementación a cargo de la Autoridad minera, Titular y Comunidad.

Fotografía 4. Construcción colectiva.



2.2.2.3 Piloto 6.

Identificación piloto.

Expediente minero	LJF-14411
Modalidad	SOLICITUD DE LEGALIZACIÓN (EN EVALUACIÓN)
Mineral	MATERIALES DE CONSTRUCCION, ARCILLA COMÚN (CERÁMICAS, FERRUGINOSAS, MISCELÁNEAS), MINERALES DE ORO Y SUS CONCENTRADOS
Área	1023,864 HECTÁREAS (EN ANNA MINERÍA)
Departamento	CALDAS
Municipio	SUPIA
Etaa contractual	EXPLOTACIÓN
Estado de la explotación	INACTIVA

- Colectivo ambiental: Elabora un listado de las acciones que realizan en zonas cerca donde realizan minería, contempla la posibilidad de incluir dentro de los planes preventivos, el que el estado pueda hacer presencia por medio de proyectos para que esas zonas se conviertan en potencial turístico en paisajismo, observación de aves y reservas naturales, lo anterior respetando las disposiciones de los instrumentos de ordenamiento territorial y las limitaciones ambientales que estos generan en articulación entre el ente territorial y la autoridad ambiental.

Fotografía 5. Ejecución de mesa intersectorial.



De acuerdo con lo anterior, dentro de las principales medidas propuestas están:

- Identificación de situaciones o alertas por conflicto armado, que puedan generar amenazas o vulneraciones a los proyectos mineros, y con ello se pueda presentar abandono temprano de la mina, sin su debido cierre, o minería ilegal asociada a los grupos armados, ocasionando la configuración de posibles Pasivos Ambientales por actividad minera.
- Capacitación a los solicitantes mineros, trabajadores y comunidad en minería responsable (técnicas de minería, protección ambiental y compensación), con miras a evitar generar pasivos ambientales por actividad minera y recuperar los causados durante la actividad de explotación.
- Fortalecimiento desde los instrumentos de ordenamiento territorial en la incorporación de las determinantes ambientales y la regulación del desarrollo de la actividad de minería, considerando dichas zonas de protección y que cuenten con alguna restricción, para que en el proceso de revisión de solicitudes desde la autoridad minera se considere dicha información determinante.
- Verificación de las actividades mineras por parte de la Autoridad minera en toda el área inicial de la solicitud, a fin de indicar la forma de gestionar los impactos

Ejecución de piloto del Plan Preventivo.

Conforme a las actividades adelantadas, se propusieron las siguientes medidas:

- Seguimiento a procesos que pueden llegar a ser sancionatorios.
- Coordinación de los instrumentos de planificación y ordenamiento territorial.
- Articulación entre la Oficina de Planeación Municipal y la Oficina de Gestión del Riesgo para identificar actividades mineras que se desarrollan sin la implementación de medidas previas de gestión socioambiental o sin autorización en el territorio. Esta colaboración busca establecer un seguimiento interinstitucional que permitir prevenir la materialización de Pasivos Ambientales por actividad minera.

Fotografía 6. Realización de mesa intersectorial.



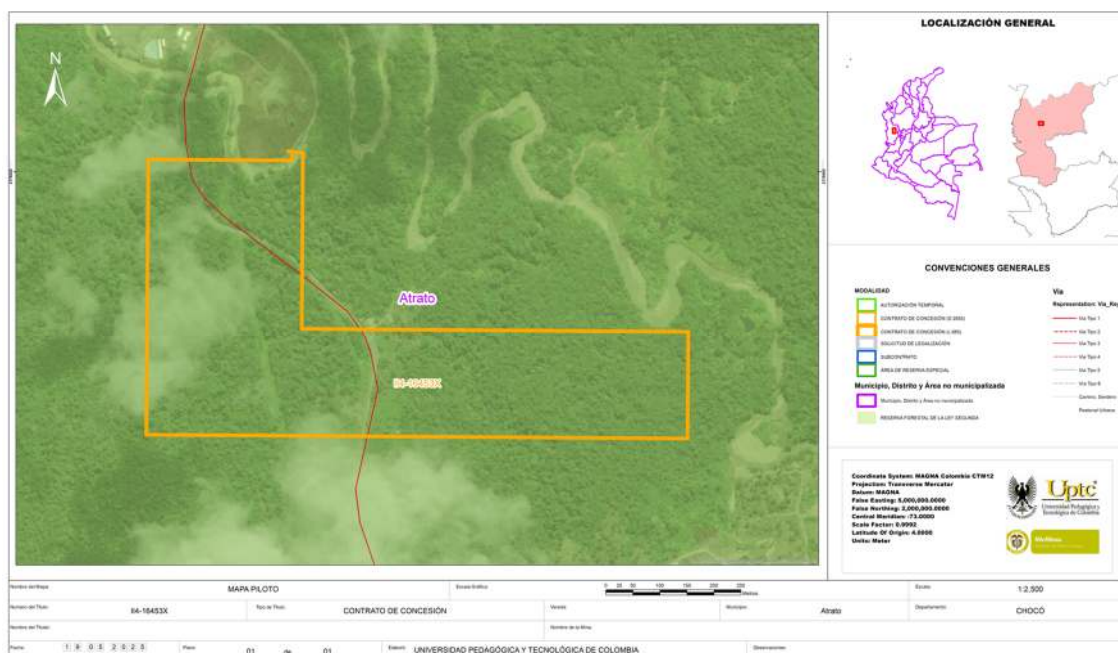
2.2.3.2 Piloto 8.

Identificación piloto.

Expediente minero	<i>II4-16453X</i>
Modalidad	<i>CONTRATO DE CONCESIÓN (Ley 685/2001)</i>
Mineral	<i>ARENAS, ARENISCAS, ASFALTO NATURAL, BASALTO, DIABASA, GRAVAS, RECEBO, ROCA O PIEDRA CALIZA, ROCAS DE ORIGEN VOLCÁNICO, PUZOLANA, BASALTO</i>

Área	28,9516 hectáreas
Departamento	CHOCÓ
Municipio	ATRATO-YUTO
Etapla contractual	EXPLOTACIÓN
Estado de la explotación	INACTIVA

Figura 16. *Piloto 8 II4-16453X.*



Fuente: Elaboración Equipo UPTC.

Ejecución de Piloto del Plan Preventivo.

En el marco del ejercicio realizado, se definieron unas medidas puntuales de intervención y prevención:

- Adelantar desde el territorio un inventario de las actividades mineras activas para evaluar aspectos como el estado actual, los actores involucrados, el nivel de cumplimiento normativo, las afectaciones al entorno socioambiental, la antigüedad de las actividades y sus proyecciones, entre otros. Esto con el propósito de determinar la viabilidad ambiental y técnica de dichas labores e implementar acciones orientadas a la formalización y al cumplimiento de la normatividad minera y ambiental, con el fin de prevenir la generación de Pasivos Ambientales por actividad minera.
- Estrategia de caracterización territorial para conocer los contextos sociales y políticos de los municipios, que pueda generar un sistema de información sobre

las características políticas, sociales y culturales de los territorios y con ello prevenir la configuración de posibles Pasivos Ambientales por actividad minera.

- Identificación de zonas con alertas por conflicto armado, territorios en donde el conflicto, se esté acentuando o tenga una dinámica activa, que puedan generar amenazas o vulneraciones a los proyectos mineros, y con ello se pueda presentar abandono temprano de la mina, sin su debido cierre, o minería ilegal asociada a los grupos armados, ocasionando la configuración de posibles Pasivos Ambientales por actividad minera.
- Realizar estudio de prefactibilidad para la ejecución del proyecto minero (costo/beneficio) considerando las obligaciones de adelantar sustracción ambiental y consulta previa.

Fotografía 7. Construcción colectiva de medidas preventivas.



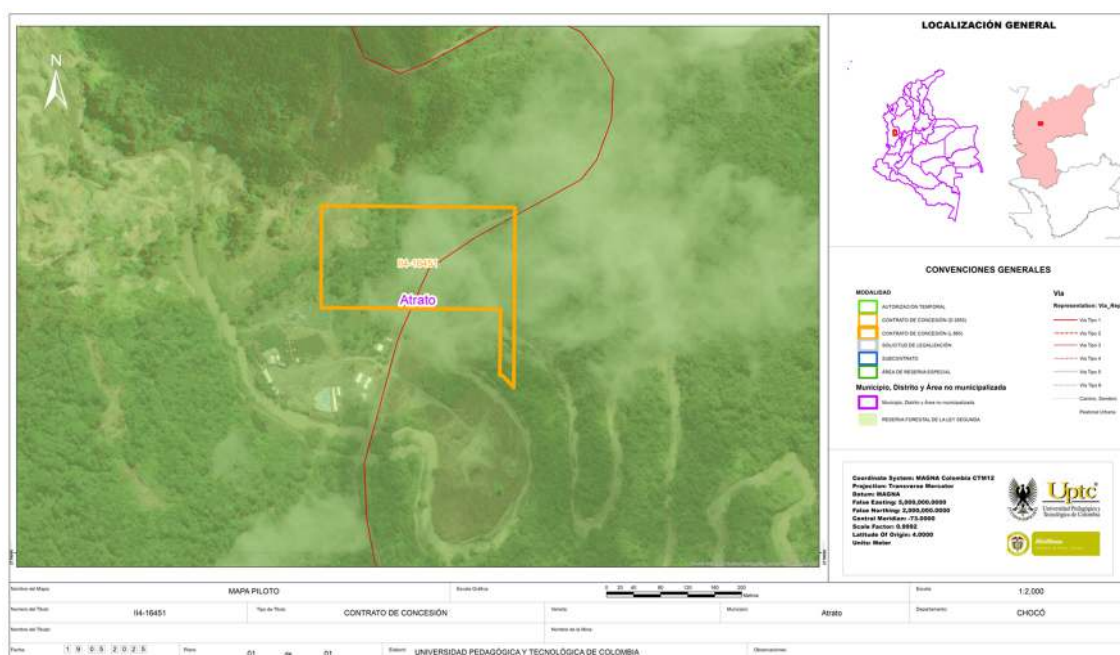
2.2.3.3 Piloto 9.

Identificación piloto.

Expediente minero	114-16451
Modalidad	CONTRATO DE CONCESIÓN (LEY 685 DE 2001)
Mineral	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y DEMÁS ACCESIBLES (ARENAS, GRAVAS, FINOS)
Área	4,5199 HECTÁREAS
Departamento	CHOCÓ
Municipio	ATRATO- YUTO

Etapla contractual	EXPLOTACIÓN
Estado de la explotación	INACTIVA

Figura 17. Piloto 9 II4-16451.



Fuente: Elaboración Equipo UPTC.

Ejecución de piloto del Plan Preventivo.

Cabe indicar que al considerarse el cruce de actores con los del piloto anterior, se desarrolló un solo espacio de mesa intersectorial para definición de medidas preventivas.

Con el acompañamiento de la alcaldía del Atrato, se logró realizar la mesa intersectorial en el Consejo Comunitario Mayor de unión panamericana, Consejo Comunitario Mayor de Certeguí, en la ludoteca del municipio del Atrato el 18 de diciembre de 2024, donde participó la comunidad activamente, dejando trazabilidad de la importancia que tienen los procesos mineros en el municipio. Para ello, con apoyo del equipo interdisciplinario, y con la pedagoga, se guiaron las diferentes discusiones; de parte del agente comunitario se facilitó la comunicación entre los asistentes con los profesionales ambiental y social, se proporcionó información técnica de dichos componentes; finalmente, con el profesional administrativo se gestionó la mesa junto con los diversos soportes.

Para el desarrollo de la mesa intersectorial de trabajo en el marco del piloto preventivo, se realizó un análisis conjunto para identificar las zonas y la posible configuración de

pasivos ambientales por actividad minera, asimismo, se estableció un enfoque participativo que involucró a diversos actores comunitarios, asegurando que todas las voces fueran escuchadas a través de la socialización de experiencias, en donde, las mujeres barequeras compartieron sus historias sobre cómo han criado a sus hijos y sostenido a sus familias a través de esta actividad y resaltaron los desafíos que enfrentan, así como su resiliencia y capacidad para adaptarse a las circunstancias.

Adicionalmente, se discutieron temáticas y propuestas encaminadas a la prevención de pasivos ambientales por actividad minera, de allí se destaca la necesidad de fomentar prácticas sostenibles en la minería artesanal y promover alternativas que reduzcan el impacto ambiental. También se propuso implementar talleres de formación para empoderar a las mujeres en temas relacionados con la gestión ambiental, derechos y sostenibilidad, haciendo énfasis en que estas capacitaciones podrían incluir habilidades técnicas y conocimientos sobre prácticas mineras responsables, así como fomentar y fortalecer las redes de apoyo entre las comunidades barequeras para compartir recursos, conocimientos y experiencias.

Fotografía 8. *Realización de mesa intersectorial.*



Para este ejercicio preventivo se formularon medidas orientadas a la prevención de pasivos ambientales generados por la actividad minera. En la fase inicial de identificación se definieron 20 medidas, distribuidas de la siguiente manera: 6 del componente minero, 9 del componente ambiental y 5 del componente social. Estas medidas se sustentan en la articulación interinstitucional y social, el fortalecimiento de los procesos de capacitación y asistencia técnica, y la efectividad en los seguimientos, entre otros aspectos.

Villagarzón, previamente se realizó la gestión correspondiente a la concertación del lugar, invitaciones a los actores, materiales, equipos, refrigerios.

Para el desarrollo de la mesa intersectorial inicialmente se realizó la presentación del equipo territorial y de los asistentes, posteriormente se dieron a conocer los aspectos generales del Contrato Interadministrativo entre la UPTC y el MME, resaltando la importancia de reconocer el concepto de Pasivo Ambiental y el aporte a la construcción del concepto de Pasivo Ambiental Minero y al diseño de lineamientos para la identificación de áreas con posibilidad de configuración de Pasivos Ambientales por actividad minera.

Fotografía 9. Desarrollo de mesa intersectorial.



De acuerdo con lo analizado con los actores que acompañaron el piloto, se requieren mayores esfuerzos relacionados con la mayor presencia de la ANM en los territorios, mayor agilidad en los procesos de evaluación de solicitudes mineras, además de contar con información actualizada respecto a los territorios que se encuentran como TAP. Se recomendó crear alianzas estratégicas entre alcaldía y Autoridad Ambiental (Corpoamazonia) para agilizar trámites mineros, fortalecer el conocimiento mediante planes de capacitación que pueden establecerse con entidades como el SENA, el cual tiene presencia en todos los territorios. Se manifestó que, entre los mayores inconvenientes, se encuentra la demora en la evaluación de los trámites con la ANM, incrementando la informalidad de los mineros y generando la ausencia de contar con instrumentos ambientales, aumentando la posibilidad de generar áreas con posibilidad de configuración de Pasivos Ambientales por actividad minera.

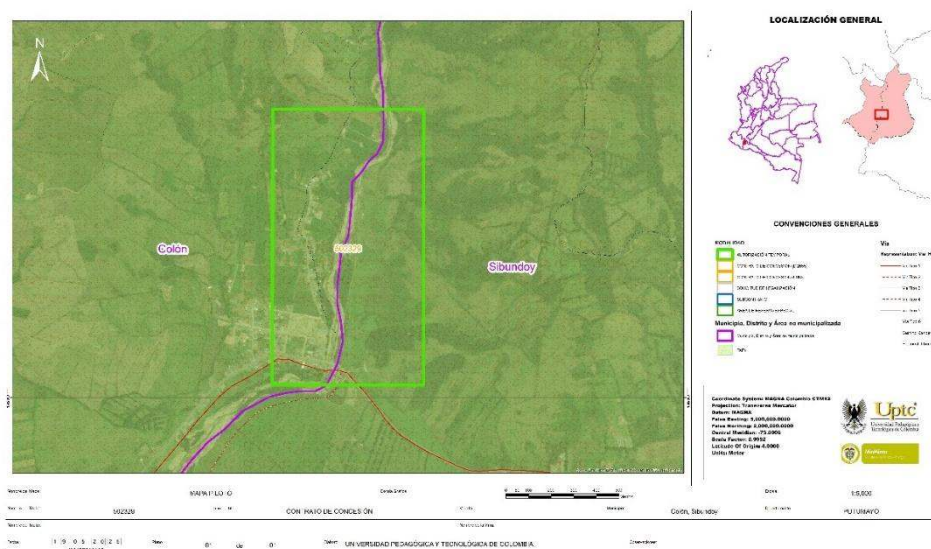
2.2.4.2 Piloto 11.

Identificación piloto.

Expediente minero	502329
Modalidad	AUTORIZACIÓN TEMPORAL
Mineral	ARENAS (DE RÍO), GRAVAS (DE RÍO)
Área	81,479284 HECTÁREAS

Departamento	PUTUMAYO
Municipio	SIBUNDOY – COLÓN
Etapla contractual	TERMINADO
Estado de la explotación	INACTIVA

Figura 19. Mapa piloto 11 502329.



Fuente: Elaboración Equipo UPTC.

Ejecución de Piloto del Plan Preventivo.

Se desarrolló la mesa intersectorial con presencia de Corpoamazonia, alcaldía de Sibundoy, Alcaldía de Colón, Alcaldía de San Francisco, corregidor de San Pedro y representante del Consorcio CM Putumayo quien fuese el titular minero previo a la renuncia de este; previamente se realizó la gestión correspondiente a la concertación del lugar, invitaciones a los actores, materiales, equipos, refrigerios.

En la mesa inicialmente se realizó la presentación del equipo territorial y de los asistentes, posteriormente se dieron a conocer los aspectos generales del Contrato Interadministrativo entre la UPTC y el MME, resaltando la importancia de reconocer el concepto de Pasivo Ambiental y el aporte a la construcción del concepto de Pasivo Ambiental Minero y al diseño de lineamientos para la identificación de áreas con posibilidad de configuración de Pasivos Ambientales por actividad minera.

Como principales medidas que pueden aportar para el plan preventivo se concertaron con los actores las siguientes:

- Definir los criterios de análisis relacionados con las áreas en sospecha, teniendo en cuenta a las autoridades ambientales territoriales y a los enlaces mineros de los municipios.

- Mayores acercamientos con Autoridad Ambiental (Corpoamazonia).
- Definir con claridad las competencias que tienen los municipios, con el fin de evitar conflictos por competencias legales.
- Mayor presencia en territorio de la autoridad minera y ambiental, mediante una oficina o mínimo persona responsable.

Fotografía 10. Desarrollo de mesa intersectorial.



Los asistentes a la mesa intersectorial manifiestan estar de acuerdo con el concepto de Pasivos Ambientales por actividad minera del MME, sin embargo, es importante precisar algunas partes del concepto:

- Delimitables Geográficos: Se debe definir límites precisos mediante coordenadas, ya que los límites municipales y prediales son el cauce del río, pero como este cauce naturalmente es dinámico, varían los sitios de trabajo y límites municipales y con ello se genera confusión y choques de competencias por las autoridades municipales.
- Riesgo no aceptable: Definir y socializar los criterios y umbrales para definir el “No Aceptable”.
- Tamaño minería: Puntualizar y aclarar los criterios (Área, Cantidad, Costos, etc.) para definir el tamaño (Gran escala, Mediana escala y Pequeña escala).

De acuerdo con lo analizado con los actores que acompañaron el piloto, se requieren mayores esfuerzos relacionados con la mayor presencia de la ANM en los territorios, definir claramente las competencias legales que pueden tener los municipios cuando las áreas se crucen con unidades agrícolas de la UPRE. Además, se requiere mayor agilidad en los procesos de otorgamiento de títulos mineros y contar con información actualizada respecto a los territorios que se encuentran como TAP. Se recomendó crear y fortalecer el conocimiento mediante planes de capacitación que pueden establecerse con entidades como el SENA, el cual tiene presencia en todos los territorios. Se manifestó que entre los mayores inconvenientes se encuentra la demora en la evaluación de los trámites con la ANM, incrementando la informalidad de los mineros y

Ejecución de piloto del Plan Preventivo.

Se desarrolló la mesa intersectorial en las Instalaciones de la oficina de Parques Nacionales Naturales, con presencia de titulares mineros, representados por integrantes del Resguardo Indígena Remanso Chorroboacán, representante de la secretaría de Agricultura de la Gobernación de Guainía y Profesional de la CDA, previamente se realizó la gestión correspondiente a la concertación del lugar, invitaciones a los actores, materiales, equipos y refrigerios. Inicialmente se realizó la presentación del equipo territorial y de los asistentes. Posteriormente, se dieron a conocer los aspectos generales del Contrato Interadministrativo entre la UPTC y el MME, resaltando la importancia de reconocer el concepto de Pasivo Ambiental y el aporte a la construcción del concepto de Pasivo Ambiental Minero y a la construcción de lineamientos para la identificación de áreas con posibilidad de configuración de pasivo ambiental por minería.

Posteriormente se dio a conocer el concepto de pasivo ambiental, seguidamente se realizó el mapeamiento de actores, identificando actores centrales, primarios y secundarios, según lo mencionado con los participantes en la mesa intersectorial; luego se dio a conocer el concepto o definición de Área con posibilidad de Pasivo Ambiental Minero, poniendo en consideración las variables por las cuales se pueden crear dichas áreas en territorio y explicar por qué se escogió el título minero correspondiente para ejecutar el piloto. Finalmente, y con los aportes realizados en el transcurso de la mesa, se pone en consideración los hallazgos de impactos y medidas de prevención considerados para definir las medidas preventivas, dialogando con los actores frente a la necesidad de generar compromisos para la prevención de Pasivos Ambientales por actividad minera.

Como principales medidas que pueden aportar para el plan preventivo se concertaron con los actores las siguientes:

- Establecer términos de referencia diferenciales, teniendo en cuenta que las comunidades indígenas cuentan con un marco legal independiente y procuran en el desarrollo de sus actividades la protección de los territorios.
- Capacitación para actividad minera a cielo abierto y Certificación de Competencias laborales.
- Mayor presencia en territorio de la autoridad minera y ambiental, mediante una oficina de la ANM en el Departamento de Guainía, dadas las dificultades que se presentan para tramitar solicitudes mineras.
- Establecer términos de referencia diferenciales para los estudios ambientales requeridos para licenciamiento ambiental, ya que los altos costos impiden su ejecución e incrementan la informalidad minera.

Secretaría Departamental de Agricultura: Expresaron la importancia de establecer la política pública sobre la gestión de Pasivos Ambientales por actividad minera, ya que esto permitiría contar con un instrumento a nivel nacional que les facilite a las entidades territoriales realizar gestiones para prevenir Pasivos Ambientales por actividad minera en zonas muy alejadas, como es el caso del municipio de Inírida.

CDA: La Autoridad Ambiental actualmente desarrolla proyectos asociados a la gestión ambiental y minera, propende porque las actividades mineras que se desarrollan en la

zona cumplan con criterios técnicos y ambientales; sin embargo, manifiesta que las comunidades indígenas de la zona han perdido muchas costumbres ancestrales por dedicarse a actividades mineras, además de que se generan impactos socioambientales negativos que hacen sinergia con otros aspectos afectando las condiciones sociales de la región; no obstante, la Corporación mantiene diálogo constante con las comunidades indígenas.

Titular: Los integrantes del Cabildo Indígena Remanso Chorroboacán manifiestan la necesidad de agilizar los trámites ambientales con las autoridades como el Ministerio de Ambiente, ya que el proceso de solicitud de sustracción ha presentado muchas demoras y esto impide continuar con el proceso de solicitud de licenciamiento.

Según información de los actores institucionales, en la zona se tiene una alta influencia con las actividades mineras de extracción de oro; sin embargo, esta actividad se ha venido desarrollando bajo condiciones que no garantizan un equilibrio entre los aspectos sociales, ambientales y mineros, por ello se encuentran afectaciones en la salud de los pobladores asociadas al uso de elementos altamente contaminantes como el mercurio, por lo cual se requiere inicialmente continuar con el monitoreo del estado de salud de la población y definir acciones que permitan prevenir mayores impactos negativos en la salud de estas poblaciones.

Se realizó mapeamiento de actores, identificando actores centrales, primarios y secundarios. Aunque se realizó una convocatoria para contar con una mayor participación de actores, la asistencia fue limitada debido a que las entidades se encuentran en proceso de elaboración de informes por el cierre de la vigencia.

Fotografía 11. Mesa intersectorial con actores título minero LK2-15081 – Inírida.



Se identificó la necesidad de fortalecer la presencia de la ANM en los territorios, así como de agilizar los procesos de otorgamiento de permisos, en particular aquellos relacionados con la sustracción de reserva forestal. Asimismo, se recomendó fomentar el conocimiento técnico mediante planes de capacitación, los cuales podrían ser desarrollados en alianza con entidades como el SENA, que cuenta con presencia en todo el país. Uno de los principales inconvenientes señalados fue la demora en la evaluación de trámites por parte del MADS, lo que dificulta la aprobación oportuna de los instrumentos ambientales y aumenta el riesgo de que determinadas áreas sean catalogadas como Potencialmente Afectadas por la Minería.

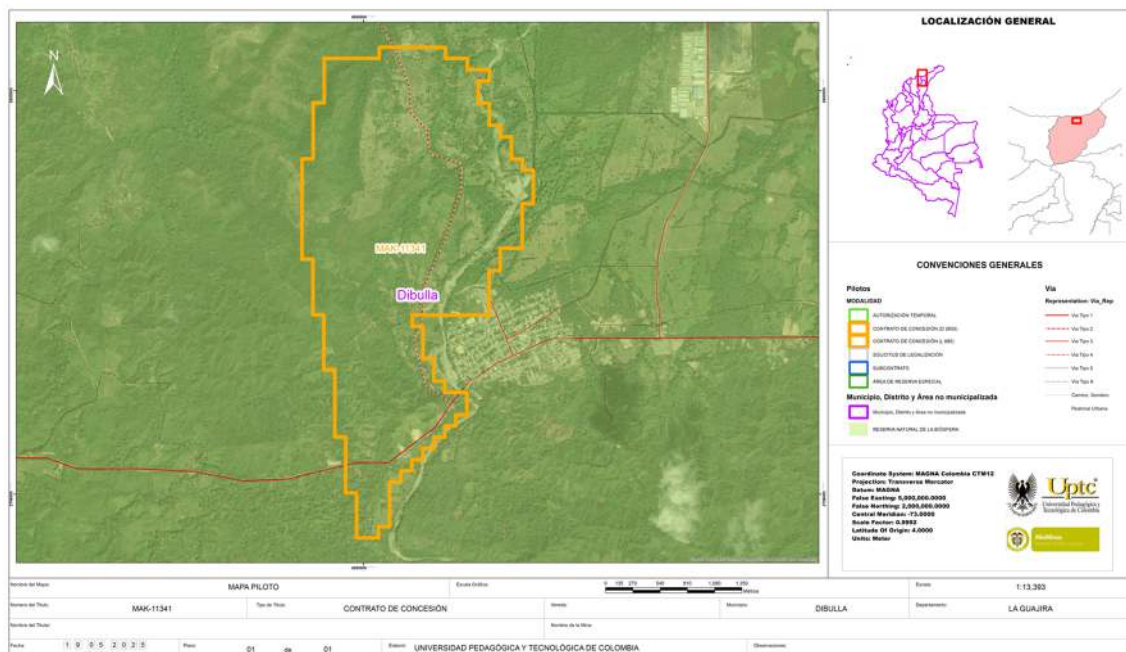
2.2.5 Pilotos zona Norte

2.2.5.1 Piloto 13.

Identificación piloto.

Expediente minero	MAK-11341
Modalidad	CONTRATO DE CONCESIÓN (LEY 685 DE 2001)
Mineral	ARENAS Y GRAVAS
Área	674 HECTÁREAS Y 21 METROS CUADRADOS
Departamento	LA GUAJIRA
Municipio	DIBULLA
Etaa contractual	CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE
Estado de la explotación	INACTIVO

Figura 21. Mapa Piloto 13 MAK-11341.



Fuente: Elaboración Equipo UPTC.

Ejecución de piloto del Plan Preventivo.

Cabe indicar que, para el desarrollo de los pilotos del plan preventivo, se desarrolló un solo espacio interinstitucional y social, con la ejecución de piloto del Plan Preventivo del piloto 15 ya que en la identificación inicial de los actores se evidencian coincidencia para

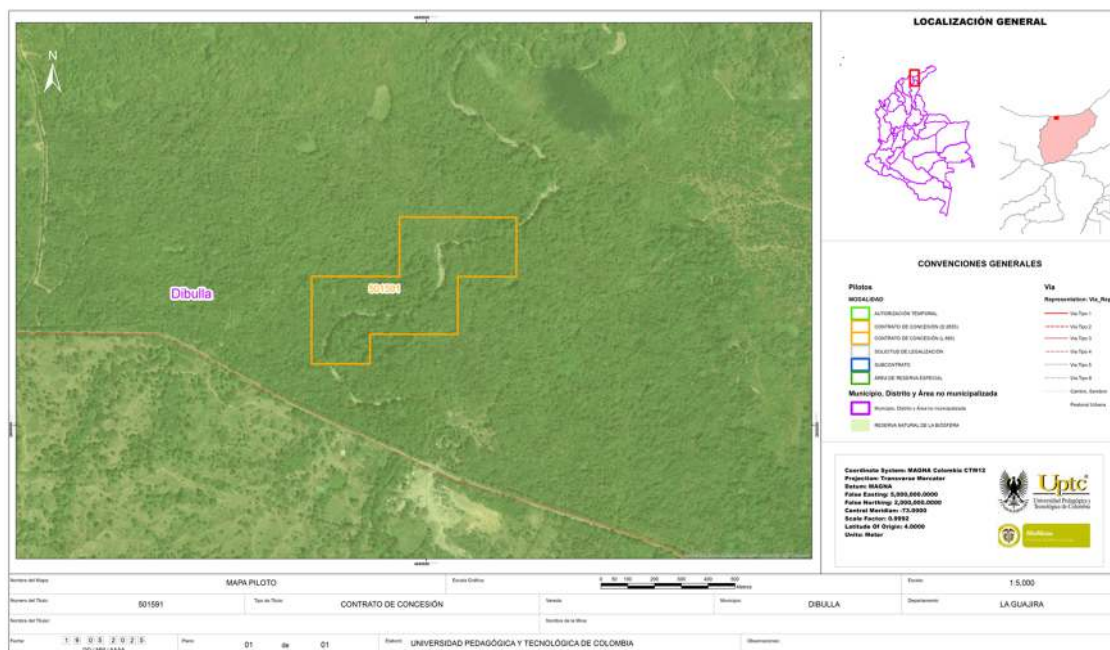
las placas 501591; MAK-11341; FBIL-03-ubicados en el municipio de Dibulla, La Guajira.

2.2.5.2 Piloto 14.

Identificación piloto.

Expediente minero	501591
Modalidad	CONTRATO DE CONCESIÓN (LEY 685 DE 2001)
Mineral	ARENAS DE RÍO, GRAVAS DE RÍO Y RECEBO
Área	24 HA 1211 M2
Departamento	LA GUAJIRA
Municipio	DIBULLA
Etaa contractual	EXPLORACIÓN
Estado de la explotación	INACTIVO

Figura 22. Mapa piloto 14 501591.



Fuente: Elaboración Equipo UPTC.

Ejecución de piloto del Plan Preventivo.

Conforme se indicó en el piloto anterior, para el desarrollo de los pilotos del plan preventivo, se desarrolló un solo espacio interinstitucional y social en articulación con el piloto del Plan Preventivo del piloto 15, ya que en la identificación inicial de los actores

Ejecución de piloto del Plan Preventivo.

Siendo las 3:00 p.m. del 11 de diciembre de 2024, se reúnen el equipo territorial de la zona norte, con los actores citados, en este caso los presidentes de las Juntas de Acción Comunal del territorio, secretario de Gobierno del municipio de Dibulla, funcionarios de la oficina Jurídica del ente territorial, entre otros; se indica sobre el objetivo de la reunión convocada para el desarrollo de la mesa intersectorial sobre pasivos mineros ambientales en el marco de los pilotos de las placas 501591; MAK-11341; FBIL-03- ubicados en el municipio de Dibulla – La Guajira.

Posterior a la socialización del objetivo, alcance del contrato interadministrativo y presentación de asistentes, se inició la conceptualización de Pasivo Ambiental Minero y su identificación, mediante el ejercicio realizado en campo en los tres títulos seleccionados, considerando que en los mismos no se encontró actividad minera, se dan unas orientaciones y se aprovecha el espacio interinstitucional y social para adelantar el ejercicio de construcción de plan preventivo.

Con el desarrollo del presente se indica que mediante la participación y vinculación de los diferentes actores se logró recopilar los respectivos insumos y dar claridad u orientaciones frente a la labor e intervención para evitar los Pasivos Ambientales por actividad minera. Adicionalmente, desde el contexto social, se indica la fuerte presencia de los grupos al margen de la ley, situación que según fue expuesta por los actores, en muchos casos interfiere en la prevención de pasivos por represalias tomadas por estos grupos.

Asimismo, si bien la actividad minera no es la principal actividad económica de este municipio, por encima encontramos la agricultura, ganadería y el turismo; pero al ser una actividad que se desarrolla dentro del municipio, los actores se comprometieron a estar más atentos a la actividad y sus requerimientos para evitar que el medio ambiente continúe en deterioro y que esto pueda perjudicar en el turismo.

De conformidad con ello, frente a las intervenciones de los actores también se resalta la siguiente información:

- **Titulares Mineros:** Se evidencia buena relación con la comunidad, durante el ejercicio se mencionan los aportes que el titular minero realiza en algunas instituciones educativas de la comunidad. De igual forma, se refiere tener en cuenta a la comunidad para contratar mano de obra no calificada. Finalmente indica que continuará abriendo espacios que le permitan llegar al entendimiento y conocimiento de las necesidades comunitarias.
- **Secretarios de Gobierno:** Como representante del ente territorial está en constante comunicación con los miembros de la comunidad y les brinda con frecuencia formación en temas de interés para el bienestar comunitario.
- **Corregidores:** Exponen su preocupación por que las empresas no socializan los procesos y las etapas a desarrollar antes, durante y después de la actividad minera.
- **Concejales:** Manifiestan que la minería puede tener algunos beneficios, como la creación de empleo, pero muestra preocupación por el impacto negativo en el medio ambiental y la salud de las personas de su comunidad.
- **Presidentes JAC:** En representación de la comunidad mencionan su temor a expresar sus opiniones acerca del tema minero por las represalias que pueden tomar en contra de sus vidas; emiten expresiones tales como “si hablamos de una nos toca comprar la lápida”.

Asimismo, resaltan que no tienen credibilidad en los procesos llevados por las entidades como: CORPOGUAJIRA, ANLA, pues resaltan que en varias ocasiones han expedido permisos que, según su opinión, afectan el bienestar de la comunidad y, por tanto, no están de acuerdo con la actividad minera. Además, manifiestan que no se tiene en cuenta a la comunidad para emplearlo, sino sienten que son una comunidad sometida a los intereses de las empresas mineras. Refieren el abandono por parte de las instituciones y autoridades ambientales y exponen su preocupación por la tala indiscriminada de árboles en la zona alta de los títulos mineros, específicamente donde están los nacimientos de los ríos.

Fotografía 12. *Desarrollo de mesa intersectorial.*



Si bien, en el marco del ejercicio de identificación de áreas con posibilidad de configuración de Pasivos Ambientales por actividad minera, y con ello el diseño del plan preventivo, los pilotos seleccionados no contaban con minería activa. En el proceso de articulación y convocatoria de actores, sí se logró la participación y vinculación activa de los mimos al tema, lo que permitió recoger insumos territoriales para aportar a la construcción de medidas preventivas.

Con el mapeo de actores se logró identificar que existen situaciones problemáticas, como la falta de reconocimiento de las zonas críticas por conflicto armado y la necesidad de evaluar su impacto sobre los proyectos de minería, por lo que se hace necesario generar alertas tempranas, colaboración y coordinación por parte de entes de control; de esta manera crear una base de datos del conflicto, que se alimente constantemente para identificar zonas de alto riesgo de conflicto armado y de configuración de Pasivos Ambientales por actividad minera.

La falta en la articulación con las entidades territoriales, autoridades ambientales y los líderes comunales para identificar actividades mineras que se desarrollan sin la implementación de medidas previas de gestión socio ambiental o sin autorización en el territorio, es otro de los casos resultantes que es necesario enfrentar para evitar los PAM; para los cuales, los mismos actores proponen potenciar y/o activar el seguimiento de las actividades mineras desde el ámbito local, ya que estas autoridades son las principales responsables de dirigir el desarrollo territorial y poseen un profundo

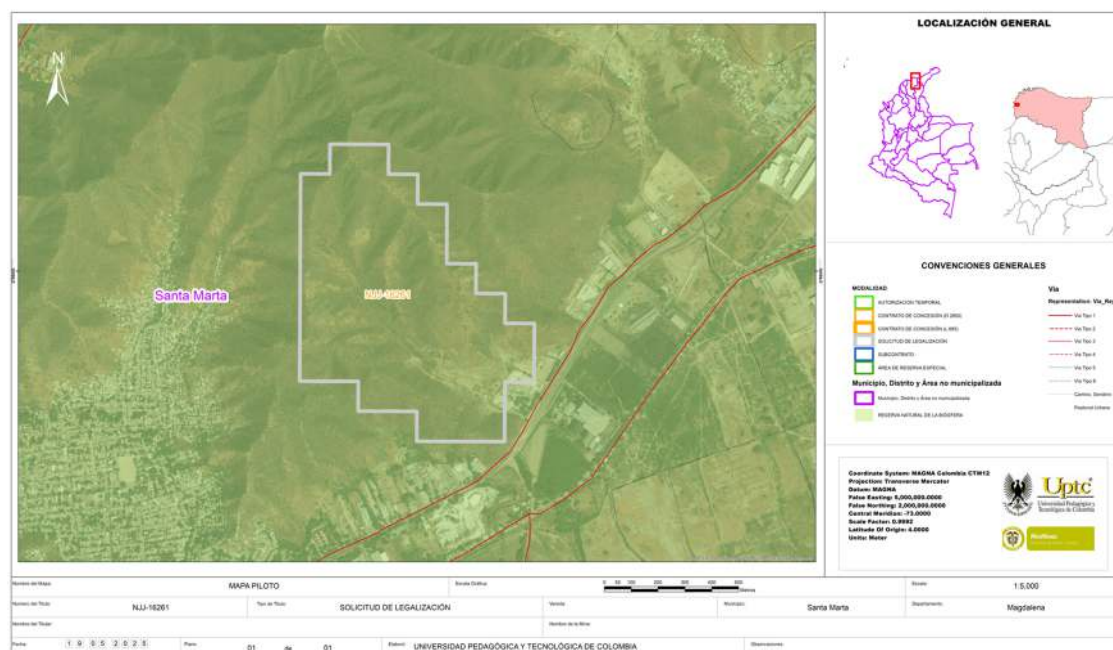
conocimiento de sus territorios. Esto permitirá una articulación eficaz para identificar áreas críticas o con potencial de generar impactos ambientales no controlados, facilitando así la orientación y el acompañamiento al actor minero en el cumplimiento de la normatividad aplicable vigente.

2.2.5.4 Piloto 16.

Identificación piloto.

Expediente minero	NJJ-16261
Modalidad	SOLICITUD DE LEGALIZACIÓN (EN EVALUACIÓN)
Mineral	ANHIDRITA, ARCILLAS, ARENAS, ARENISCAS, ASBESTO, ASFALTO NATURAL...
Área	63 HA 9532 M2
Departamento	MAGDALENA
Municipio	SANTA MARTA
Etaa contractual	EXPLOTACIÓN
Estado de la explotación	INACTIVO

Figura 24. Mapa piloto 16 NJJ-16261.



Fuente: Elaboración Equipo UPTC

Ejecución de piloto del Plan Preventivo.

Siendo las 4:30 p.m. del 17 de diciembre de 2024, se reúnen el equipo territorial de la zona norte, con los actores citados, en este caso los presidentes de las Juntas de Acción Comunal del territorio, y con personal del título NJJ-16261 y otras personas de la comunidad.

La presente reunión convocada para el desarrollo de la mesa intersectorial sobre Pasivos Ambientales por actividad minera sobre el título minero NJJ -1626, ubicado en la ciudad de Santa Marta- Magdalena, vereda Gaira, se da inicio con la presentación del equipo de trabajo ante los actores presentes en la mesa y exposición para que puedan tener claro el objetivo y alcance del encuentro.

Posteriormente, se trabaja el tema de identificación de los Pasivos Ambientales por actividad minera y los documentos planteados para la recolección de los datos. Es preciso resaltar que en esta parte de la mesa intersectorial se les explica a los actores las condiciones en las que se encuentran los títulos priorizados para estudio, con el propósito de que estén alertas al momento del inicio de labores, teniendo en cuenta que a la fecha no se encuentra actividad minera. Esta alerta es para que sean veedores y que los titulares mineros puedan cumplir con los requerimientos de ley y así propender por una minería sostenible. De los actores participantes se recibieron la siguiente retroalimentación:

- Frente a la intervención del titular, indica estar atento al trámite de licencia ambiental por parte de DADSA. Asimismo, indica que evidencia las demoras en el proceso de licenciamiento, pues frente a los diversos requerimientos que les han realizado y frente a los cuales ha cumplido, no se reconoce un avance en la solicitud, lo cual afecta directamente su economía.
- Por parte de las comunidades, se comenta que se desempeñan en esa actividad minera en algunas canteras de la zona. Frente a posibles pasivos no se refieren a impactos que hayan evidenciado, pero sí indican en muchos casos cómo ven temas de corrupción.

Cabe indicar que en espacios previos en DADSA y CORPAMAG, las mismas indicaron que sí se presenta una demora frente a las solicitudes, pero no ampliaron información; adicionalmente, al estar en cierre administrativo no tenían personal para acompañar los espacios; no obstante, están atentos a espacios o talleres que se desarrollen en la siguiente vigencia.

Fotografía 13. Desarrollo de mesa intersectorial.



Se aclara que, para el desarrollo de la mesa intersectorial, no se logró acompañamiento de las autoridades ambientales, por temas de agenda y trámite de comisión de sus equipos. No obstante, se realizó mesa de trabajo independiente con ellos. Un punto importante para resaltar es la urgencia de que los entes definan los plazos de entrega y vigencias de instrumentos base como: PTI, PTO, PTOC, PTOD, plan de cierre y abandono, plan de contingencias y emergencias, teniendo en cuenta que esta sería una de las soluciones para evitar los Pasivos Ambientales por actividad minera.

La falta en la articulación con las entidades territoriales, autoridades ambientales y los líderes comunales, para identificar actividades mineras que se desarrollan sin la implementación de medidas previas de gestión socio ambiental o sin autorización en el territorio, es otro de los casos resultantes que es necesario enfrentar para evitar los PAM; para los cuales los mismos actores proponen potenciar y/o activar el seguimiento de las actividades mineras desde el ámbito local, ya que estas autoridades son las principales responsables de dirigir el desarrollo territorial y poseen un profundo conocimiento de sus territorios. Esto permitirá una articulación eficaz para identificar áreas críticas o con potencial de generar impactos ambientales no controlados, facilitando así la orientación y el acompañamiento al actor minero en el cumplimiento de la normatividad aplicable vigente.

Los actores asistentes lograron aclarar dudas frente a su labor e intervención para evitar los Pasivos Ambientales por actividad minera. Además, se les resalta la importancia de llevar buenas prácticas mineras al momento de iniciar con la explotación minera, así como la aplicación de los términos de referencia de las guías minero-ambientales, y llevar a cabo el desarrollo adecuado del método de explotación, teniendo en cuenta las orientaciones en el marco de prevención y sostenibilidad.

2.2.5.5 Piloto 17⁶

Identificación piloto

Expediente minero	ODA-10191
Modalidad	SOLICITUD DE LEGALIZACIÓN (EN EVALUACIÓN)
Mineral	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
Área	38 HA 6119 M2
Departamento	MAGDALENA
Municipio	SANTA MARTA
Etapas contractual	EXPLOTACIÓN
Estado de la explotación	INACTIVO

⁶ Para los pilotos 17, 18 y 19, se desarrolló un solo ejercicio de taller intersectorial para la formulación y validación de medidas preventivas.

Figura 25. Mapa piloto 17 ODA-10191.



Fuente: Elaboración Equipo UPTC.

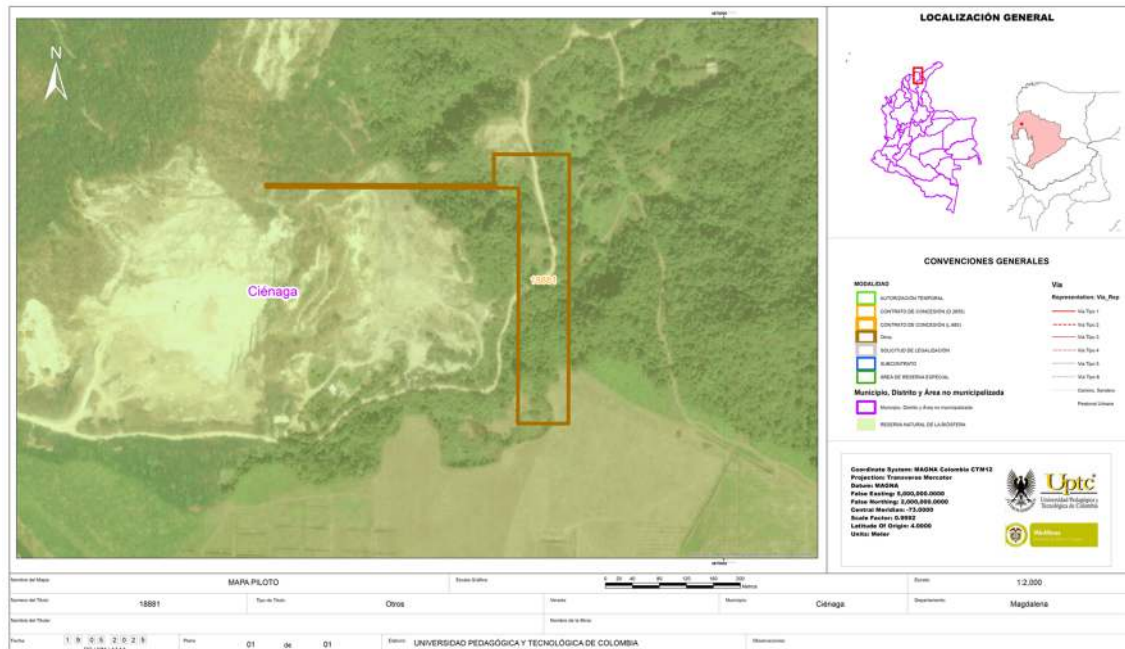
De conformidad con lo expuesto anteriormente, para este piloto no fue posible desarrollar los ejercicios participativos en el marco de la formulación del plan preventivo; no obstante, considerando esta situación y caso particular presentado, se propone la medida de reforzar los procesos de seguimiento y actualización al sistema de información minero.

2.2.5.6 Piloto 18.

Identificación piloto.

Expediente minero	18881
Modalidad	LICENCIA DE EXPLOTACIÓN
Mineral	CALCÁREOS Y DEMÁS CONCESIBLES
Área	3 HA Y 3200 M2
Departamento	MAGDALENA
Municipio	CIÉNAGA
Etaa contractual	SE DECLARA TERMINACIÓN DE LICENCIA DE EXPLOTACIÓN EN 2018
Estado de la explotación	INACTIVO

Figura 26. Piloto 18 18881.



Fuente: Elaboración Equipo UPTC.

2.2.5.7 Piloto 19.

Identificación piloto.

Expediente minero	3799
Modalidad	CONTRATO DE CONCESIÓN (LEY 685 DE 2001)
Mineral	MÁRMOL Y TRAVERTINO
Área	52,8793 HECTÁREAS
Departamento	MAGDALENA
Municipio	CIÉNAGA
Etaa contractual	EXPLOTACIÓN
Estado de la explotación	INACTIVO

los diferentes titulares mineros de las zonas para elaboración de estudios de impacto conjuntos y presentación de medidas de prevención.

Registro de evidencias del desarrollo del piloto.

Siendo las 11:10 a.m. del 19 de diciembre de 2024, se reúnen el equipo territorial de la zona norte con los actores citados, en este caso los presidentes de la Junta de Acción Comunal de la Vereda Cordobita, líderes activos de esta misma comunidad, representantes del título 3799 y 18881. La presente reunión fue convocada para el desarrollo de la mesa intersectorial sobre Pasivos Mineros Ambientales - ubicados en el municipio de Ciénega corregimiento de Cordobita Magdalena.

Para ello, se realiza la presentación del equipo de trabajo ante los actores presentes en la mesa, de igual forma se da a conocer el objetivo y alcance del encuentro. Dando continuidad, la profesional Pedagoga – ambiental hace su intervención aportando conceptos de Pasivos Ambientales por actividad minera y del proceso para su identificación; el propósito de dar a conocer toda esta información es lograr que los asistentes alcancen un concepto claro y también compartir sus aportes frente al mismo.

Posteriormente, se amplía la información sobre la identificación de los Pasivos Ambientales por actividad minera y los documentos planteados para la recolección de los datos. Es preciso resaltar que, en esta parte de la agenda, se les explica a los actores las condiciones en las que se encuentran los títulos priorizados para estudio, y la finalidad de la construcción conjunta de las medidas preventivas.

Con apoyo del agente Comunitario, posterior a identificar los conceptos y temas, se orienta la conversación hacia la construcción de lineamientos para la identificación de áreas con posibilidad de configuración de Pasivos Ambientales por actividad minera e identificar alianzas, estrategias y acuerdos para prevenirlos con la priorización de las medidas plasmadas a continuación.

Fotografía 14. Desarrollo de mesa intersectorial.



Descripción de acciones adelantadas en el marco del plan preventivo.

- Instrumentos del plan preventivo.

Una vez finalizada la actividad en campo, y a pesar de los pilotos escogidos, no se evidencia ningún tipo de actividad minera. Se aprovechó el espacio con los diferentes actores para que con base en su conocimiento, experiencia y perspectivas se formulará una propuesta de plan preventivo de PAM:

1. Generar procesos de fortalecimiento y enlaces interinstitucionales y sociales para mejorar los procesos de comunicación, toma de decisiones, recepción de quejas, avance en las solicitudes, seguimiento a procesos, entre otras.

Esta medida de categoría procedimental y administrativa está prevista para desarrollarse con la autoridad minera, ambiental, titulares y comunidades, con una priorización alta y para ejecutar en el corto plazo.

2. Propiciar procesos de capacitación y pedagogía con las instituciones, titulares, y comunidad, a fin de actualizar periódicamente los conocimientos en materia de minería sostenible, normatividad, procedimientos, etc., y afianzar las relaciones.

Esta medida de categoría pedagógica está prevista para desarrollarse con la autoridad minera, ambiental, titulares y comunidades, con una priorización alta y para ejecutar en el mediano plazo.

3. Generar procesos periódicos de socialización de los proyectos mineros, su avance en las solicitudes, el desarrollo y socialización de los diversos instrumentos con las comunidades, a fin de generar alianzas estratégicas para la identificación y prevención de Pasivos Ambientales por actividad minera.
4. Esta medida de carácter de gobernanza está prevista para realizarse con los titulares y comunidades, tiene un plazo de ejecución en el corto plazo y una priorización media.

2.3 Resultados, aprendizajes y recomendaciones por Zona

Zona centro:

Para esta zona, se desarrollaron 3 pilotos, los cuales corresponden a dos contratos de concesión y una solicitud de formalización minera. Dentro de las principales características evidenciadas, es la ausencia de los instrumentos técnicos como el PTO y el instrumento ambiental, así como el cruce con TAPs. En este sentido, los dos primeros casos presentan una suspensión de actividades hasta completar los requerimientos técnicos y ambientales, y el último presenta ya un desistimiento y archivo por incumplimiento de requisitos.

Conforme a lo indicado por los actores participantes en el ejercicio de identificación de medidas de prevención, se concluye que la ausencia de rutas de gestión claras y unificadas a nivel nacional para la prevención y mitigación de los Pasivos Ambientales por actividad minera limita la capacidad de respuesta facilitando su materialización. Por ello, es crucial que, desde un proceso de gobernanza, se establezcan herramientas prácticas y efectivas que puedan ser implementadas en cada territorio, con el objetivo de minimizar y prevenir la generación de Pasivos Ambientales por actividad minera.

De conformidad con lo anterior, se encontraron puntos en común entre los tres pilotos y es la falta de los cierres técnicos de los procesos de extracción realizados a lo largo del tiempo y con los procesos de suspensión y archivo, además de la incertidumbre de intervención de esas situaciones. Por otra parte, frente a estos escenarios, se informa sobre la problemática en común referente a la extracción ilícita, así como las diferentes propuestas orientadas a temas de mayor control y seguimiento por parte de las autoridades responsables; mejoras a los procesos de fiscalización que incluyan o abarquen las situaciones de ilegalidad; la efectividad sobre los procesos sancionatorios; incorporación de la comunidad en las estrategias de prevención, entre otros.

De acuerdo con lo anterior, se indica que la mesa intersectorial de formulación de medidas preventivas fue un espacio clave para avanzar en la identificación de estrategias conjuntas de prevención de Pasivos Ambientales por actividad minera. Por otra parte, se logró sensibilizar a los actores participantes sobre la importancia de abordar de manera estructural, participativa y eficaz la prevención de Pasivos Ambientales por actividad minera y se identificaron retos asociados a la falta de lineamientos claros y la articulación interinstitucional.

Zona Magdalena- Cauca Medio

Para esta zona se realizaron los desplazamientos a los 3 proyectos mineros definidos, no obstante, en el marco del desarrollo de la mesa intersectorial para la aplicación de los pilotos preventivos, se generó la unificación de los actores de los dos pilotos de Segovia. Dentro de estos ejercicios, se logró la participación de entes territoriales, asociación de mineros, comunidad y se identificaron varias situaciones en común como

la dificultad para el acceso de información documental en la plataforma de ANM. Por otro lado, en estos títulos, si bien estaban inactivos, sí se reportaba la presencia de terceros que adelantan estas actividades de manera informal.

Se presentó, además, que en el área de los proyectos no se evidenció actividad minera. Asimismo, para uno de ellos en las fechas de los pilotos se generó la aprobación del instrumento ambiental, y en el tercero no se logró su ingreso por trámites con el resguardo indígena. Sin embargo, frente al ejercicio piloto de formulación de las medidas preventivas, se generó el proceso de convocatoria a los diferentes actores inmersos y se logró la recolección de insumos y las propuestas de medidas aplicables según las perspectivas y situaciones expresadas por estos asistentes. Dentro de ellas se destacan temas de impulso a acciones pedagógicas e inclusión comunitaria a la generación de alertas, alianzas con universidad del departamento, mejora en los procesos de articulación institucional mediante visitas conjuntas, la claridad frente a funciones y competencias de las entidades vinculadas, mejorar procesos de ordenamiento minero ambiental, y la efectividad en el cierre de minas, entre otros. Adicionalmente, se realizó énfasis en que para este tipo de ejercicio se requería de la continuidad en el proceso y los avances, más allá de la recolección de insumos.

Zona Pacífico:

Dentro de la información documental revisada para estos 3 pilotos, se encontró de manera reiterada el incumplimiento de requerimientos realizados por parte de la autoridad minera frente a la presentación de sus instrumentos técnicos y ambientales, así como de consulta previa por traslapes con territorios ancestrales y procesos de sustracción con reservas forestales.

Con base en la información proporcionada por los actores, se destaca que una de las principales razones por las cuales los titulares mantienen inactiva la actividad minera en estos proyectos es la presencia de grupos ilegales en la zona, los cuales ejercen cierto control sobre el territorio. Además, se indica que la actividad que actualmente se desarrolla corresponde, por un lado, a minería ilegal y, por otro, a minería de subsistencia.

Frente a lo anterior, se logró desarrollar los recorridos definidos, evidenciando fuertes conflictos por presencia de grupos armados, así como extracción ilícita. Con el acompañamiento de la alcaldía del Atrato, se logró realizar la mesa intersectorial, donde participó la comunidad activamente, dejando trazabilidad de la importancia que tienen los procesos mineros en el municipio, además se evidenció un fuerte liderazgo de las mujeres.

Frente a las medidas preventivas, se resaltan temáticas, seguimientos e impulsos a sancionatorios, coordinación entre la planificación minera y ambiental, articulación con las oficinas de gestión de riesgo, tener los inventarios o caracterizaciones territoriales frente a la minería, tener contextos sociales y de conflicto presentes para la intervención y toma de decisiones, entre otros. Adicionalmente, se identificó que la resolución pronta y oportuna de las solicitudes de licenciamiento ambiental, presentada por los titulares mineros a las autoridades ambientales, es un factor decisivo para la prevención de Pasivos Ambientales por actividad minera.

Zona Amazonía:

En los ejercicios pilotos desarrollados en estas zonas, se identificaron títulos mineros con actividad inactiva, así como un caso de actividad intermitente de estos. Adicionalmente, también se presentó la alerta del adelanto de minería ilegal en la zona. De acuerdo con lo analizado con los actores que acompañaron el piloto, se requieren mayores esfuerzos relacionados con la mayor presencia de la ANM en los territorios, mayor agilidad en los procesos de evaluación de solicitudes mineras; además, contar con información actualizada respecto a los territorios que se encuentran como TAP. Se recomendó crear alianzas estratégicas entre alcaldía y Autoridad Ambiental (Corpoamazonia) para agilizar trámites mineros, así como fortalecer el conocimiento mediante planes de capacitación que pueden establecerse con entidades como el SENA, el cual tiene presencia en todos los territorios.

Se manifestó que entre los mayores inconvenientes se encuentra la demora en la evaluación de los trámites con la ANM, incrementando la informalidad de los mineros y generando la ausencia de contar con instrumentos ambientales, aumentando la posibilidad de generar áreas con posibilidad de configuración de Pasivos Ambientales por actividad minera.

Adicionalmente, se recomendó por parte de los actores asistentes a la mesa intersectorial la necesidad de establecer términos de referencia diferenciales para pequeña, mediana y gran minería, ya que los términos de referencia actuales para la elaboración de estudios de impacto ambientales aplican para todo tipo de proyectos mineros, esto eleva significativamente los costos e impide que pequeños y medianos proyectos mineros puedan costear estos estudios.

Zona Norte:

Para esta zona, se definieron visitas a 7 proyectos mineros, dentro de los cuales los 3 ubicados en Dibulla, la Guajira y en Santa Marta. En estos casos, se evidenció superposición con áreas protegidas de la Sierra Nevada. Aunque se constató que la actividad minera está inactiva, en el marco del ejercicio de la mesa intersectorial, se especificaron algunas situaciones que pueden generar la configuración de Pasivos Ambientales por actividad minera. Entre ellas, la fuerte presencia de los grupos al margen de la ley, situación que según fue expuesta por los actores, en muchos casos interfiere en la prevención de pasivos por represalias tomadas por estos grupos.

Si bien en el marco del ejercicio de identificación de áreas con posibilidad de configuración de Pasivos Ambientales por actividad minera y con ello el diseño del plan preventivo, los pilotos seleccionados no contaban con minería activa, en el proceso de articulación y convocatoria de actores, sí se logró la participación y vinculación activa de los mismos al tema, lo que permitió recoger insumos territoriales para aportar a la construcción de medidas preventivas. Asimismo, se obtuvieron elementos que brindan claridad y orientaciones frente a labor e intervención para evitar los Pasivos Ambientales por actividad minera.

Con el mapeo de actores se logró identificar que existen situaciones problemáticas como la falta de reconocimiento de las zonas críticas por conflicto armado y la necesidad de evaluar su impacto sobre los proyectos de minería. Por lo que se hace necesario generar alertas tempranas, colaboración y coordinación por parte de entes de control para así

crear una base de datos del conflicto, que se alimente constantemente con el objetivo de identificar zonas de alto riesgo de conflicto armado y de configuración de Pasivos Ambientales por actividad minera.

La falta en la articulación con las entidades territoriales, autoridades ambientales y los líderes comunales para identificar actividades mineras que se desarrollan sin la implementación de medidas previas de gestión socio ambiental o sin autorización en el territorio, es otro de los casos resultantes que es necesario enfrentar para evitar los Pasivos Ambientales por actividad minera. Para los cuales los mismos actores proponen potenciar y/o activar el seguimiento de las actividades mineras desde el ámbito local, ya que estas autoridades son las principales responsables de dirigir el desarrollo territorial y poseen un profundo conocimiento de sus territorios. Esto permitirá una articulación eficaz para identificar áreas críticas o con potencial de generar impactos ambientales no controlados, facilitando así la orientación y el acompañamiento al actor minero en el cumplimiento de la normatividad aplicable vigente.

Se deben reorientar algunos de los criterios de escogencia de pilotos o incorporar en los ejercicios una fase y tiempos de validación de información en campo previo a las visitas y espacios con diversos actores.

Asistencia

El análisis de asistencia evidencia una alta participación de las alcaldías, que lideran el número de interacciones en todas las regiones, especialmente en el Centro y el Norte, lo que reafirma su rol como primer nivel de autoridad en territorio y punto de entrada institucional para las acciones relacionadas con pasivos ambientales por actividad minera.

En segundo nivel de relevancia, aparecen las comunidades organizadas y juntas de acción comunal, cooperativas y ciudadanos de las poblaciones cercanas a procesos mineros, con presencia significativa en todas las regiones, lo cual demuestra su importancia como fuentes de conocimiento local y actores sociales clave para la identificación y validación de sitios impactados. Los sectores mineros (trabajadores y titulares) también muestran una alta representación, especialmente en Magdalena-Cauca y Centro, resaltando su papel como posibles aliados.

Las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible presentan una distribución más variable pero relevante, con presencia destacada en el Centro y la Amazonía, siendo esenciales en la ejecución de acciones ambientales y en la consolidación de inventarios regionales.

En contraste, entidades como la Personería, Secretarías de Educación y las Oficinas de Asuntos Ambientales y Sociales tienen una participación más limitada o focalizada, lo que podría indicar una baja articulación intersectorial o una priorización específica de actores más directamente vinculados a la actividad minera y la gestión ambiental.

2.4 Ampliación ejercicio autoridades ambientales

La propuesta de complemento de los talleres o mesas sectoriales e intersectoriales para la construcción del plan preventivo se da conforme al numeral 5 de las obligaciones específicas del Contrato interadministrativo GGC 1162 de 2024 en el cual se indica que:

Para la preparación de los insumos a implementar en los ejercicios piloto, se plantea la realización de talleres sectoriales e intersectoriales (entidades del sector minas y del sector ambiente). Estos espacios podrán ser presenciales o virtuales, requerirán preparación metodológica y logística para su implementación, así como la sistematización de los ejercicios y resultados.

De conformidad con ello, se resalta que el proceso de ejecución de pilotos, en cuanto a la realización de talleres, deben contar con la participación y aporte de las entidades del sector ambiental. De acuerdo con lo anterior, durante la ejecución de las mesas intersectoriales realizadas en diciembre 2024, se realizó invitación a participar a las autoridades ambientales en jurisdicción de los proyectos mineros piloto y se sostuvieron espacios previos de socialización del contrato y recolección de insumos. No obstante, no se logró la participación en las mesas intersectoriales de Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), Corporación Autónoma regional de Tolima (Cortolima), Corporación Autónoma Regional de Antioquia (Corantioquia), Corporación Autónoma de Caldas (Corpocaldas), Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó (Codechocó), Corporación Autónoma Regional de La Guajira (Corpoguajira) y Corporación Autónoma Regional del Magdalena (Corpamag). Ausencia principalmente determinada por los aspectos administrativos de cierre presupuestal y operativo de las entidades.

En este sentido, los espacios territoriales se desarrollaron con participación y aportes de demás entidades y actores como entes territoriales, comunidad en general, juntas de acción comunal, veedurías ciudadanas, resguardos indígenas y consejos comunitarios, instituciones como ANM; y sector privado como titulares mineros, trabajadores mineros, asociación de mineros, mineros en proceso de formalización, entre otros. De conformidad con lo anterior se definió la pertinencia de la ejecución de taller virtual complementario con las entidades ambientales, a fin de sustanciar la construcción de medidas para el Plan Preventivo relacionado de áreas con posibilidad de configurarse como Pasivos Ambientales por actividad minera, con la mayor cantidad de entidades posible.

Para lo anterior, se remitió oficio de convocatoria la segunda semana de febrero de 2025, a las 40 autoridades ambientales (33 Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible y 7 Autoridades Ambientales Urbanas). Adicionalmente, se convocó a la Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible (ASOCARs) y se requirió su apoyo en la difusión de esta invitación.

Respecto al diseño metodológico del taller, se generaron tres momentos:

- Momento 1. Presentación del equipo orientador (Equipo UPTC): contexto, socialización contrato, conceptualización.
- Momento 2. Espacio de recolección de insumos mediante preguntas orientadoras, a través de plataforma en línea interactiva.
- Momento 3. Conclusiones y contraste con la propuesta con insumos de las mesas intersectoriales de diciembre 2024.

De conformidad con lo previsto, el espacio se desarrolló el 27 de febrero de 2025, con asistencia de los equipos técnicos de 20 autoridades ambientales y alrededor de 50 asistentes de las entidades de ASOCARs, CORPOGUAVIO, CARSUCRE, CORPOCESAR, CAR, CORPOGUAJIRA, CORALINA, CORPAMAG, CRC, CAM, CARDIQUE, CRQ, CORPONARIÑO, CORNARE, CORPOMOJANA, CDMB, EPA BUENAVENTURA, AMVA, SDA y DAGMA.

Para ello, como resultado del espacio, se logró recopilar insumos para el fortalecimiento de la propuesta del Plan Preventivo, indicando a continuación las principales conclusiones y aportes del ejercicio en articulación con las preguntas orientadoras definidas para el mismo:

Pregunta 1: Desde su entidad, ¿cómo interpreta la definición de pasivo ambiental, tiene sugerencias respecto a esta definición?

Se recibieron 13 respuestas, en donde se presentaron diversas posiciones, unas orientadas a presentar su interpretación de la definición dada por la Ley 2327 de 2023, las cuales se articulan con lo definido, pues indican: *afectaciones antrópicas sobre los recursos naturales que deben ser solucionados o reparados por quien lo ha ocasionado, afectaciones o daños ambientales no compensados ni eliminados generados por una empresa*, como otras indicando dudas respecto a la configuración del pasivo ambiental frente a la ausencia de un instrumento de control ambiental o sectorial e indicando que la ley no define claramente lo que es un pasivo ambiental. Por otra parte, se sugieren complementos a la misma, tales como *establecer qué son daños o consecuencias por falta de implementación de medidas de manejo ambiental adecuadas*.

Las demás intervenciones se centraron en pasivo ambiental minero, por lo que se integran a la siguiente pregunta.

Pregunta 2: Desde su entidad, ¿cómo interpreta la definición de pasivo ambiental minero, ¿cómo propone la definición de PAM?

Se recibieron 14 respuestas, dentro de las cuales se interpretan como: *aquellos sitios afectados por minería, que están contaminados y no han sido recuperados adecuadamente, daños o afectaciones no mitigados o compensados que se pueden presentar en el medio ambiente por falta de aplicabilidad de medidas de manejo ambiental en el marco del desarrollo de la actividad minera, es identificar sectores donde se está realizando afectación al medio ambiente y así poder asociar la gravedad y daño al medio ambiente el cual no ha sido compensado, sitios afectados por minería que están contaminados y no han sido recuperados adecuadamente*.

En complemento se relaciona el tema de minería ilegal, abandono de áreas, formalización y legalización mineras sin culminación de los procesos de titulación y licenciamiento, como generadores de Pasivos Ambientales por actividad minera, así como actividades no compensadas, o que no cuentan con un responsable, entre otras.

Asimismo, se indica que la definición es un poco general y ambigua, no está definida de manera específica, y se sugiere que sea definida de tal forma que desde la autoridad ambiental sea fácil identificar cual puede ser un pasivo. Además, se propone que se debe analizar las definiciones que existen de necesaria para abordar de manera estructural, participativa y eficaz la prevención de Pasivos Ambientales por actividad minera y a partir de estas construir una que dé respuesta a los requerimientos del país y permita adelantar acciones de remediación.

Pregunta 3: ¿En su territorio cuál (es) es (son) la (s) situación (es) actual no deseada que considera puede configurarse como necesaria para abordar de manera estructural, participativa y eficaz la prevención de Pasivos Ambientales por actividad minera?

Se recibieron 12 respuestas, dentro de las cuales se resaltan temas de:

- Falta de coordinación entre autoridad minera y ambiental.
- Actividades mineras por subsistencia de forma ilícita.
- Áreas en estado de abandono.
- Superposición con TAPS (ejemplo Páramo de Santurbán).
- Falta de culminación en los procesos de titulación minera y licenciamiento.
- Ausencia de responsable.

Pregunta 4: ¿Qué medidas preventivas son necesarias para gestionar cada una de las situaciones no deseadas indicadas en el ítem anterior?

De las 14 respuestas recibidas, se indicaron temáticas en común para la gestión y prevención de Pasivos Ambientales por actividad minera:

- Fortalecer el seguimiento y control de la actividad minera.
- Mejorar el control y la fiscalización entre la autoridad ambiental y minera.
- Articulación entre entidades y autoridades como ANM, Ente territorial, CAR, Policía, Ejército Nacional, etc.
- Definición de medidas de control de minería de subsistencia.
- Fortalecer los procesos de planificación territorial de cara al desarrollo minero.
- Reglamentar obligaciones de cierre y abandono en donde no existe instrumento ambiental.
- Generar control sobre los procesos de formalización o legalización sin culminar.
- Prioridad de evaluación de los planes de cierre y abandono para otorgamiento y seguimiento a la licencia ambiental.
- Fortalecer la capacidad institucional de las entidades que intervienen en el seguimiento y control, proporcionando herramientas tecnológicas, mayor personal para control y vigilancia y capacitación al mismo.

Pregunta 5: ¿Qué entidades o actores deben considerarse como colaboradores para la ejecución de cada medida preventiva?

Dentro de la percepción en cuanto a los actores responsables y colaboradores para el desarrollo de las medidas preventivas, se indicó con mayor incidencia la importancia en la vinculación del ente territorial, seguido de la autoridad minera, autoridad ambiental, gobierno nacional desde las carteras que lideran el tema como MinAmbiente y MME, y la comunidad. Adicionalmente se recalcó la importancia y rol fundamental del titular minero en las prevenciones, en un marco de ejecución de los lineamientos, directrices y obligaciones bajo los instrumentos mineros y ambientales.

Pregunta 6: ¿Desde su entidad en que están trabajando para prevenir pasivos ambientales mineros en su territorio?

Con la finalidad de conocer las acciones adelantadas por las autoridades ambientales en sus jurisdicciones, frente a la prevención de pasivos ambientales por actividad minera., de parte de las mismas, se indicó a través de 9 respuestas, que los focos de trabajo están en temas de:

- Atención de denuncias y quejas.
- Desarrollo de visitas de control y seguimiento periódicas y participación en operativos.
- Operativos de control y vigilancia a actividades licenciadas.
- Aviso a autoridades territoriales y trabajo articulado.
- Mayor presencia en territorio para reducir minería ilegal.

- Levantamiento de diagnóstico territorial sobre afectaciones por minería.

Adicionalmente, otras autoridades como CORPOMOJANA, AMVA y CORALINA, indican la no existencia de Pasivos Ambientales por actividad minera en sus jurisdicciones.

Pregunta 7: ¿Desde su entidad, qué sugiere que se debe mejorar/ajustar para prevenir los PAM?

Mediante las 8 respuestas recibidas en esta última pregunta, los temas más reiterativos fueron:

- Mejorar articulación institucional y revisar la normatividad para evitar la dilación jurídica por parte de los empresarios mineros.
- Mejorar capacidad institucional (herramientas tecnológicas, capacitación en identificación de Pasivos Ambientales por actividad minera y mayor personal para ejercer control y vigilancia).
- Capacitación titulares y solicitantes.
- Mejoras en el proceso de fiscalización.
- Articulación entre las entidades para toma de decisiones desde la evaluación.
- Control Ambiental más estricto.
- Aplicación real de sanciones.
- Suministro de información entre entidades de forma oportuna.
- Celeridad en los procesos de evaluación y titulación.

De conformidad con lo expuesto anteriormente, se evidenció que las temáticas, propuestas e intervenciones presentadas por las autoridades ambientales durante el taller complementario fueron incorporadas y reforzadas, mostrando además una clara alineación con los insumos recopilados en los espacios intersectoriales desarrollados en diciembre de 2024, en el marco de los pilotos seleccionados. Para ello, se obtuvo como resultado la formulación de un Plan Preventivo conformado por 77 propuestas de medidas preventivas, socializadas y analizadas en la siguiente sección.

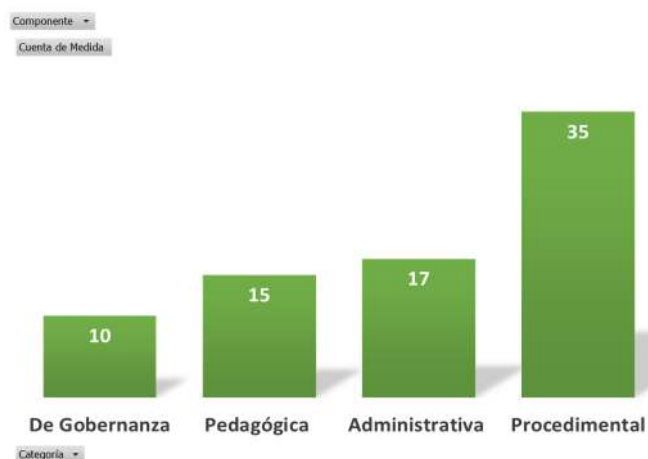
2.5 Análisis de resultados pilotos preventivos

2.5.1 Análisis general estadístico medidas preventivas

Las 77 medidas que conforman el plan preventivo de pasivos ambientales por actividad minera fueron construidas en el marco de los 19 pilotos desarrollados con diversos actores, en este sentido, es importante indicar que las mismas responden a las particularidades de cada territorio, frente a su situación, expectativa y necesidades, en donde si bien se consideró la articulación con el ejercicio de identificación de áreas con posibilidad de configuración de Pasivos Ambientales por actividad minera en lo referente al entregable B, también en el espacio intersectorial y considerando los diversos actores asistentes, se formularon estas medidas, la cuales presentan los siguientes parámetros:

Figura 28. Categorías de las medidas preventivas.

Categorías



Fuente: Equipo UPTC (2025).

Se encontró a nivel general que, de las 77 medidas preventivas propuestas, están orientadas con mayor proporción a medidas de carácter procedimental, siendo estas las ligadas a las labores desarrolladas y a cómo se realizan las mismas por los actores que intervienen en los procesos minero-ambientales. Dentro de las cuales se destacan las siguientes temáticas:

- Planificación y ejecución de medidas de manejo ambiental aterrizadas a la línea base del área.
- Visión y fortalecimiento de fiscalización integral, aumento en la periodicidad de la misma y articulación institucional a través de visitas conjuntas.
- Identificación de puntos de conflicto armado que incidan en la generación de abandono de áreas.
- Fortalecimiento de los instrumentos de ordenamiento territorial en la incorporación de las determinantes ambientales.
- Verificación en la totalidad del área.
- Implementar seguimientos a los procesos sancionatorios.
- Realizar estudios de prefactibilidad.
- Desarrollo de censos/ inventarios mineros.
- Implementar sistemas de registro de afectaciones articulados con la secretaría de salud.
- Mejoras en los tiempos y capacidad de evaluación de trámites.

En cuanto a medidas de carácter administrativo, siendo estas las orientadas a la gestión y organización de labores, requisitos, documentación, etc., dentro de las entidades, se destacan:

- Validar la pertinencia de proceso sancionatorio durante la implementación de procedimientos de seguimiento y control.
- Requerir actividades de cierre progresivo simultáneo con la explotación.
- Comunicación previa, mediante delegación de enlaces/ responsables en las entidades y constante para el desarrollo de operativos conjuntos y mayor presencia en el territorio.
- Definir requisitos diferenciales para pequeña minería.
- Revisión de los casos y procesos de los que tenga conocimiento las entidades para verificar los responsables, como solicitudes de amparo administrativo y denuncias de presunta infracción ambiental.
- Mejoramiento del proceso de fiscalización en cuanto a la temporalidad.
- Generación de lineamientos de reparación de áreas afectadas de acuerdo con el diagnóstico de cada territorio.
- Armonización normativa en la interrelación de instrumentos mineros y ambientales.
- Articulación con el tema de Gestión de riesgo para fortalecer capacidades municipales.
- Definir/dirimir competencias de entidades involucradas.
- Aumento en las capacidades y herramientas institucionales.

En cuanto a medidas de carácter pedagógico, siendo estas las orientadas a la gestión del conocimiento, socialización, promoción, capacitación y educación en los temas de interés para la prevención, se destacan:

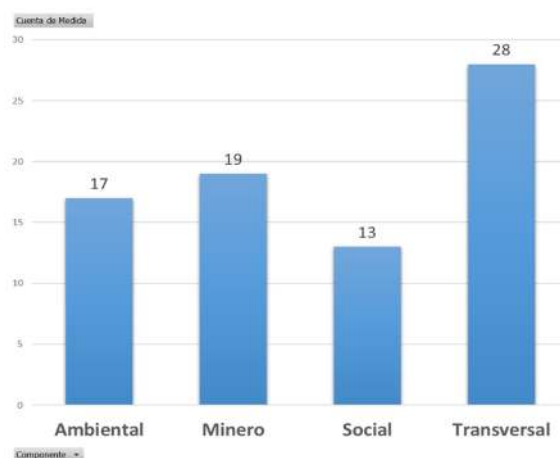
- Conformación de grupos de prevención comunitarios-institucionales y académicos.
- Formación, capacitación, acompañamiento y asesoría a mineros.
- Promoción de la asociatividad.
- Promoción del cumplimiento normativo.
- Fortalecimiento institucional con mayor capacitación y formación de funcionarios.
- Fortalecimiento comunitario para potenciar la identificación y prevención de Pasivos Ambientales por actividad minera.

Finalmente, las medidas de carácter de gobernanza, en el ámbito territorial, se refiere a la integración de estos grupos sociales en la participación, articulación y apoyo en los temas de prevención de Pasivos Ambientales por actividad minera, dentro de las cuales se destacan:

- Creación de espacios de diálogo y caracterización, para la articulación de instrumentos de Planeación Territorial.
- Creación de comités territoriales que apoyen los procesos de identificación de Pasivos Ambientales por actividad minera.
- Implementación de mecanismos de vigilancia ciudadana en sus territorios.
- Desarrollar procesos de socialización con las comunidades.
- Establecer un observatorio intersectorial para identificar posibles Pasivos Ambientales por actividad minera.
- Implementar un sistema de información actualizado y de fácil acceso por parte de la comunidad que permita generar alertas tempranas.
- Acciones de relacionamiento en territorios mineros para afianzar encadenamientos sociales.

Componentes

Figura 29. Resultado componentes de las medidas preventivas.



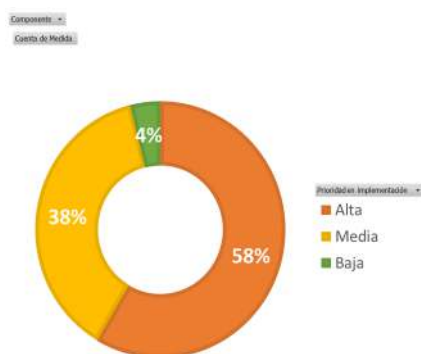
Fuente: Equipo UPTC (2025).

Respecto a los componentes, se identificó que el de mayor relevancia es el transversal, en el cual confluyen los componentes ambiental, minero y social. Lo anterior se debe a que, en la definición de medidas, se priorizó que estas se encontraran dentro del alcance de acción del sector minero, con el fin de garantizar su viabilidad y ejecución directa, a través del desarrollo de los espacios, y la recolección de insumos se puntualizó y reforzó la necesidad del desarrollo de medidas conjuntas e intersectoriales en el marco de la articulación con mayor incidencia.

No obstante, se caracterizaron medidas para el componente netamente ambiental, minero y social. Siendo las de minero las segundas con mayor proporción en el resultado obtenido.

Prioridad de atención

Figura 30. Resultado prioridad de atención medidas preventivas.



Fuente: Equipo UPTC (2025).

En relación con la prioridad de atención, la misma está dada en una escala de alta, media y baja, y se definió conforme los actores en el marco del conocimiento de sus territorios y las particularidades, en donde identificaron la necesidad y prioridad de su

implementación. En este sentido, el 58% de las medidas se evidencia con una prioridad alta, seguido del 38% de prioridad media, debido a la urgencia de su aplicación frente a la realidad territorial.

Plazos de ejecución

Figura 31. Resultado plazos de ejecución medidas preventivas.

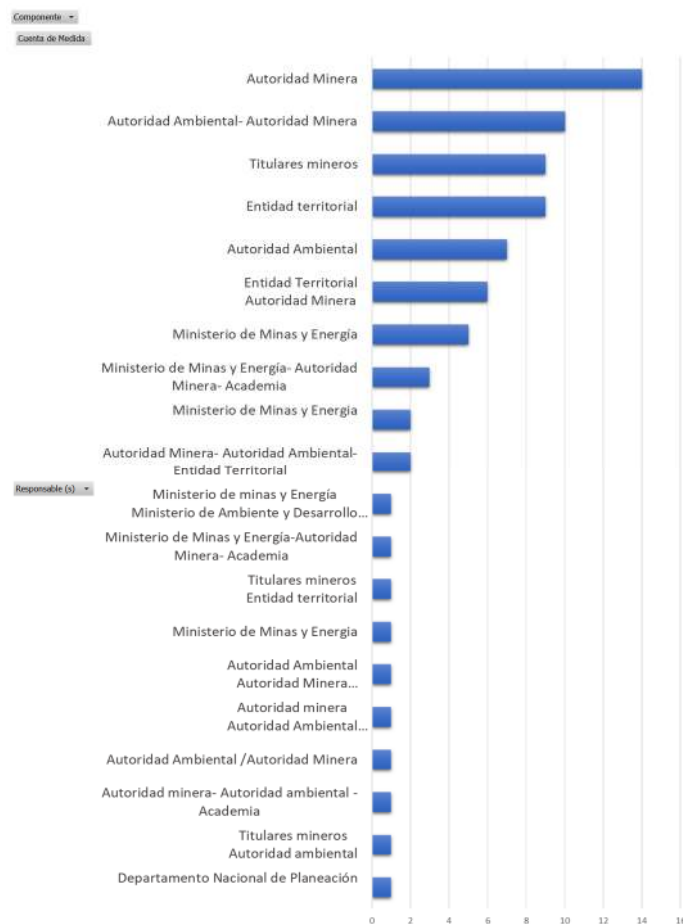


Fuente: Equipo UPTC (2025).

Para la definición de los plazos de ejecución de las medidas definidas, se identificó que los plazos más solicitados son mediano, seguido de corto, inmediato y por último largo, esto debido a la urgencia y necesidad de implementación de medidas de prevención evidenciadas por los actores y a la expectativa de evidenciar cambios en sus territorios producto de la prevención de Pasivos Ambientales por actividad minera.

Identificación de responsables

Figura 32. Resultados responsables medidas preventivas.



Fuente: Equipo UPTC (2025).

Finalmente, en cuanto a la delegación de responsables, se evidenció con mayor frecuencia que la entidad que encabeza el desarrollo de medidas es la autoridad minera, seguida del requerimiento del trabajo conjunto entre la autoridad minera y autoridad ambiental, y en tercer y cuarto puesto el titular minero y la entidad territorial.

Cabe indicar que cada una de las medidas se encuentra desarrollada en los parámetros indicados con anterioridad en el anexo asociado al Anexo 6. *Base de datos de medidas por pilotos*, en donde, además también se podrá detallar esa dinámica para cada una de las zonas, dentro de los cuales se destacan algunas particularidades tales como:

- Únicamente la zona centro definió prioridad baja en la formulación de las medidas, adicionalmente, es la única zona donde el componente de las medidas tiene mayor incidencia en el minero.
- Para la zona de Amazonía, el responsable del desarrollo de las medidas lo lidera autoridad ambiental y frente a la categoría tiene mayor incidencia las medidas administrativas.
- Para la zona Magdalena/Cauca, el componente de mayor incidencia es el componente social.

- Para la zona Norte, requieren priorizar articulación entre autoridad minera, autoridad ambiental y ente territorial, mediante la definición de medidas que deben ser lideradas y ejecutadas entre estas tres entidades.

Por otra parte, es de resaltar que la generación de esta información, producto de los pilotos desarrollados en territorio, presenta insumos de valor para aportar en los requerimientos dispuestos por la Ley 2327 de 2023 de pasivos ambientales, en este caso, con foco en el tema minero. Recordando que la misma está orientada a generar diferentes herramientas e instancias tales como la Política Pública para la Gestión de Pasivos Ambientales, la creación del Comité Nacional para la Gestión de Pasivos Ambientales en el marco del Consejo Nacional Ambiental (CNA), la formulación de la Estrategia para la Gestión de Pasivos Ambientales, la creación del Sistema de Información de Pasivos Ambientales, así como la directriz en cuanto a los Planes de Intervención de Pasivos Ambientales, el proceso de Identificación y comprobación de pasivos ambientales, las medidas de atención y financiación (Congreso Nacional de la República, 2023).

De acuerdo con lo anterior, es importante puntualizar cómo la generación de esta base de datos de medidas preventivas particulares para cada ejercicio piloto desarrollado, despliega un insumo relevante a considerar, ya que, en los términos generales en como está planteada esta ley, el concepto de prevención es casi nulo. Dicha observación se refleja en que únicamente se toca el tema preventivo mediante el artículo 8 de identificación y comprobación de pasivos ambientales, indicando que:

de configurarse el pasivo ambiental, la autoridad ambiental competente deberá proceder a identificar, con las metodologías establecidas para tal fin al presunto generador del mismo e iniciar las acciones necesarias para su intervención, sin perjuicio de la adopción de las medidas preventivas y sancionatorias a las que haya lugar.

En este sentido, se identifica que la mayoría de las disposiciones generales que plantea esta Ley, tienen un enfoque de intervención en temas de rehabilitación, remediación, restauración o aislamiento del área, como medidas más orientadas a la corrección más no a un enfoque preventivo.

Ahora bien, considerando esto, es importante referenciar el principio de prevención⁷ y darle más cabida dentro de la política, la estrategia, los planes y demás instrumentos que se pretendan generar en el marco de la gestión de pasivos ambientales de una forma integral, con el uso de la información generada mediante este tipo de contratos o convenios, lo cual pone a disposición las diferentes medidas preventivas generadas para aplicar desde los ámbitos procedimentales, administrativos, pedagógicos y de gobernanza para la prevención de la configuración de pasivos ambientales por actividad minera.

Adicionalmente, esta información es aporte al cumplimiento de lo dispuesto por la Sentencia de Ventanilla Minera, que requiere que, de manera intersectorial con base en el documento de diagnóstico y caracterización de las problemáticas relacionadas, se

⁷ Principio consagrado en la Declaración de Río de Janeiro de 1992 y en Colombia, mediante la Ley 99 de 1993, adicionalmente, en las Sentencias C – 733 de 2017 y C – 166 de 2015 de la Corte Constitucional, se precisó además de su definición, que el principio de prevención cuenta con dos elementos claves: (i) el conocimiento previo del riesgo de daño ambiental, y (ii) la implementación anticipada de medidas preventivas para mitigar los daños, las cuales pueden ser, entre otras, mecanismos jurídicos como la Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) o el trámite y expedición de autorizaciones, permisos y concesiones de carácter ambiental (Procuraduría General de la Nación, 2023).

elabore el inventario de los Pasivos Ambientales por actividad minera y se adopte e implemente un Plan preventivo y correctivo que identifique acciones participativas y conjuntas. Por lo que, el desarrollo de los ejercicios pilotos en las zonas priorizadas, permitió la generación de propuestas de medidas preventivas que estuviesen aterrizadas y enfocadas a las realidades y especificidades territoriales de los mismos y que permite a su vez tener insumos y experiencias para la replicación de estos ejercicios pilotos.

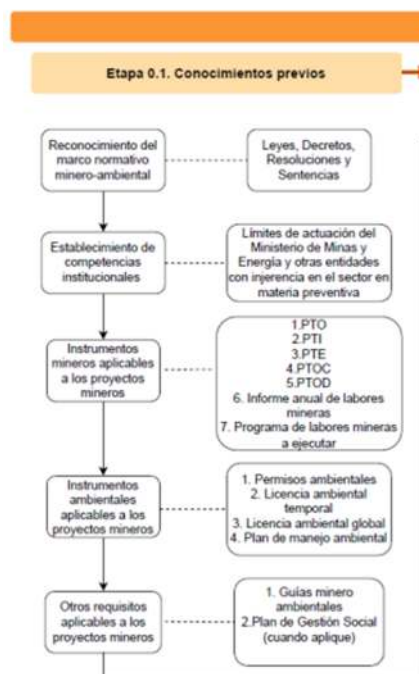
Cabe indicar además que, frente a las problemáticas principales señaladas por la Sentencia de Ventanilla Minera, las cuales abarcan temas de desarticulación interinstitucional, déficit de información y ordenamiento minero ambiental y debilidades del modelo de control y fiscalización de los títulos, las medidas propuestas de prevención incluyen mejoras y fortalecimiento a dichas temáticas en el respectivo capítulo.

2.5.2 Análisis articulación propuesta plan preventivo UNAL

En cuanto al Plan Preventivo generado en el marco del convenio con la UNAL, el cual dentro de su elaboración tomó de referencia algunas metodologías e información de contexto de los Pasivos Ambientales por actividad minera en Colombia tales como la metodología propuesta por López, S. Medina S. (2017), e información dispuesta por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) de las Naciones Unidas para la gestión de Pasivos Ambientales por actividad minera, entre otras. A continuación, se indican los procesos de articulación, mejora o adición que se generaron con la propuesta de plan preventivo UPTC, en donde se plantea una ampliación que abarca la construcción de medidas de prevención aplicables, es decir se aterriza las fases y etapas propuestas en acciones concretas. Información disponible para consulta en el anexo *Base de datos consolidada PPPAM 2025*:

- Fase 0 alistamiento: incluye etapa 0.1 de conocimientos previos, 0.2 análisis de información de proyectos mineros, 0.3 de criterios de priorización.

Figura 33. Diagrama etapa 0.1 Fase 1 - Plan Preventivo UNAL.



Fuente: UNAL 2023.

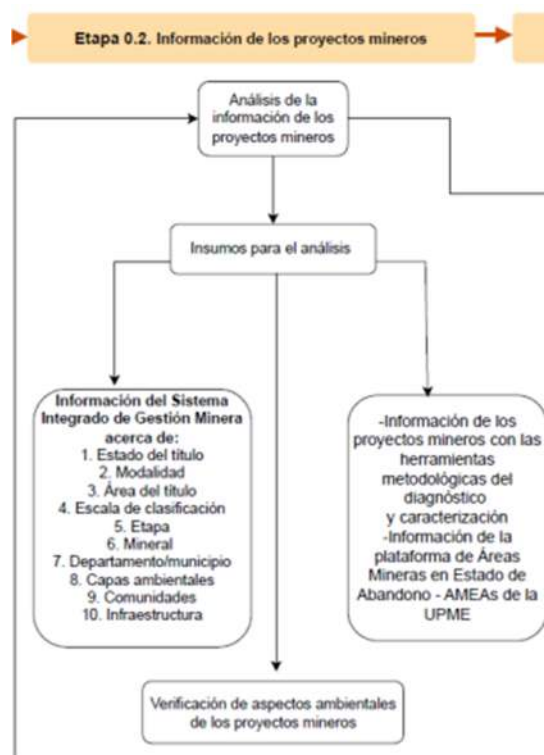
En cuanto a esta primera etapa de conocimientos previos, la cual se enfoca en el reconocimiento normativo y de competencias, así como en el conocimiento de los instrumentos mineros y ambientales que deben cumplir los responsables de los proyectos, a continuación, se indican las temáticas vinculadas mediante la definición de medidas de prevención:

- ✓ Definir escenarios de gestión del título minero.
- ✓ Mejorar la armonización normativa en materia del alcance, presentación e interrelación entre los instrumentos que rigen técnica y ambientalmente una explotación minera, aclarando las acciones y requisitos que deben cumplir los particulares para el trámite y obtención de la licencia ambiental.

En esta segunda medida relacionada al conocimiento de estos instrumentos de ambos sectores, se propone una mejora y referente a la armonización normativa que permita aclarar y articular acciones entre ambos sectores.

- ✓ Articulación con el tema de gestión de riesgo, considerando en primer medida que desde la definición de Pasivos Ambientales por actividad minera se indica que los mismos generan un nivel de riesgo no aceptable para la vida, la salud humana o el ambiente, y con ello, la relevancia y rol que tienen los entes territoriales en articulación con autoridades ambientales y mineras para la revisión de estas amenazas de origen antrópico que generan los Pasivos Ambientales por actividad minera para impulsar y fortalecer capacidades para el conocimiento del riesgo, reducción de este.
- ✓ Definir con claridad las competencias de los actores involucrados, con el fin de evitar conflictos por competencias legales.

Figura 34. Diagrama etapa 0.2 fase 0- Plan Preventivo UNAL.



Fuente: UNAL 2023.

La etapa 0.2 respecto a la información de los proyectos mineros, hace alusión al análisis de la misma en cuanto a la disponibilidad de información en el sistema integrado de ANNA Minería, verificación de aspectos ambientales y una serie de cruce de variables como superposición con AMEAS. Frente a esta etapa es pertinente indicar que el ejercicio desarrollado en el marco del entregable B, sobre identificación de áreas con posibilidad de configuración de Pasivos Ambientales por actividad minera, permitió aplicar estas etapas para la selección de pilotos y visitas de campo.

Ahora bien, frente al complemento realizado para esta etapa, se indica que el mismo se centra en la adición de temáticas relevantes mediante las siguientes medidas detalladas en la matriz anexa, que permitirán conocer más de fondo el estado e información de los proyectos mineros y frente a eso orientar necesidades de prevención:

- ✓ Aplicación de normativa para el desarrollo de audiencias públicas para la colaboración minera.
- ✓ Socialización con las comunidades de manera previa, durante y después de la explotación minera; que incluya desarrollo, impactos, programas, beneficios, compensaciones, alternativas económicas, etc.: Medida con prioridad alta para su implementación a cargo de la Autoridad minera, Titular, Comunidad.
- ✓ Verificación de las actividades mineras por parte de la Autoridad minera en toda el área inicial de la solicitud, a fin de indicar la forma de gestionar los impactos que pudieran quedar fuera del área escogida.
- ✓ Estudio de prefactibilidad para la ejecución del proyecto minero (costo/beneficio) considerando las obligaciones de adelantar sustracción ambiental y consulta previa.

- ✓ Verificación de las actividades mineras relacionadas con la tradición por parte de la Autoridad minera en toda el área inicial de la solicitud, a fin de indicar la forma de gestionar los impactos ambientales que puedan existir en caso de rechazarse la solicitud o recortarse el área.
- ✓ Reforzar los procesos de seguimiento y actualización al sistema de información minero, toda vez que hay información territorial que no corresponde con información planteada en los sistemas de consulta oficial.

Adicionalmente, en esta etapa se incluye por parte de la UNAL, información respecto a las determinantes ambientales, específicamente en la Figura 4. *Determinantes ambientales frente a los cuales un área de interés minero puede presentar superposición.*

Referente a este tema, se genera una ampliación de información, toda vez que el ordenamiento ambiental territorial y en este caso, en miras a tener un ordenamiento minero ambiental, debe trascender más allá de la actividad de verificación de la superposición de título minero con una determinante ambiental, la cual en la mayoría de los casos se limita a determinantes como un área protegida (Sistema de Parques Nacionales Naturales, reservas forestales protectoras, parques naturales regionales, distritos de manejo integrado, distritos de conservación de suelos, áreas de recreación, reservas naturales de la sociedad civil) o áreas de especial importancia ecosistémica y ecosistemas estratégicos (Páramos, Nacimientos de agua, Zonas de recarga de acuíferos, Rondas hídricas Humedales, –incluidos los humedales RAMSAR– Pantanos, Lagos, Lagunas, Ciénagas, Manglares, Ecosistemas y Bosques Secos, Bosques naturales, Áreas forestales protectoras, entre otras).

Frente a esta temática existe la respectiva regulación y directrices frente a las zonas de exclusión de minería y las demás que están supeditadas a la reglamentación definida en la zonificación del instrumento de manejo. Adicionalmente se consideran otras relacionadas con la gestión del riesgo.

No obstante, es importante considerar que tal como se indica en la Ley 2294 de 2023 “Plan Nacional de Desarrollo Colombia Potencia Mundial de la Vida”, la cual, a través de su artículo 32 modificó el artículo 10 de la Ley 388 de 1997, asignó un orden de prevalencia a las determinantes del ordenamiento territorial, definiendo de primer nivel:

Nivel 1. “Las determinantes relacionadas con la conservación, la protección del ambiente y los ecosistemas, el ciclo del agua, los recursos naturales, la prevención de amenazas y riesgos de desastres, la gestión del cambio climático y la soberanía alimentaria” (Función Pública, 2025).

En este sentido, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, como ente rector de la política del medio ambiente y de los recursos naturales renovables del país, encargado de orientar y regular el ordenamiento ambiental del territorio y del diseño y formulación de la política nacional en relación con el ambiente y los recursos naturales renovables; establece reglas y criterios generales de ordenamiento ambiental de uso adecuado del territorio, con el fin de asegurar su conservación y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y del ambiente; en donde conforme los lineamientos y orientaciones definidos por el mismo, se cuenta con los lineamientos respecto a las determinantes ambientales orientado así su definición y agrupación:

Las determinantes ambientales para el ordenamiento territorial son aquellos “*Términos y condiciones fijados por las autoridades ambientales para garantizar la sostenibilidad ambiental de los procesos de ordenamiento territorial*”. Las mismas se constituyen norma de mayor jerarquía e inciden en las decisiones de los municipios en cuanto a su ordenamiento y desarrollo territorial. Los grupos de determinantes son:

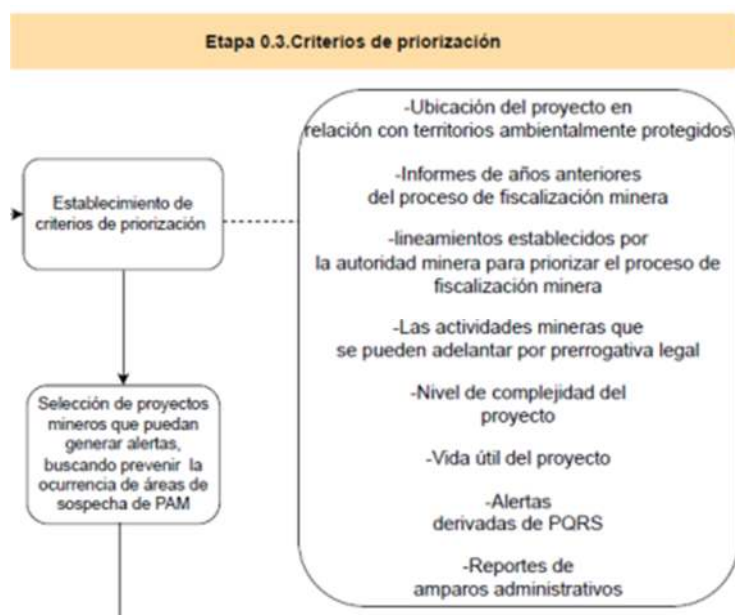
- ✓ *Determinantes del medio natural: El primer eje temático lo componen las determinantes ambientales derivadas de los elementos naturales del territorio, aquellas que resultan en la conservación y protección de los ecosistemas estratégicos y el mantenimiento de los servicios ecosistémicos que soportan los modelos de ocupación de los distritos y municipios.*
- ✓ *Determinantes del medio transformado: Las determinantes ambientales del medio transformado recogen todos aquellos elementos asociados al ordenamiento derivados de políticas, directrices, disposiciones, regulaciones, normas y reglamentos para prevenir, mitigar y manejar los efectos ambientales negativos derivados del desarrollo de las actividades humanas que intervienen en la definición del modelo de ocupación del municipio o distrito, buscando el cumplimiento de las obligaciones derivadas de ellos en armonía con el régimen de usos propuestos. (Calidad de aire, Ruido, Olores ofensivos, gestión de residuos y PORH).*
Este eje temático aborda las principales determinantes asociadas al desarrollo de actividades que por sus características y las de sus procesos generan algún tipo de impacto ambiental o social negativo que puede manejarse mediante la ordenación del territorio conforme al modelo de ocupación propuesto en el POT y el desarrollo de normas urbanísticas, mediante la gestión asociada a la concentración de actividades en zonas aptas, conforme a las características del territorio, a las condiciones meteorológicas y a la disponibilidad de recursos. Deberán ser adelantadas en zonas aptas conforme al régimen de usos y actividades definidas en el POT.
- ✓ *Determinantes de gestión de riesgo y cambio climático: La incorporación de la gestión del riesgo y del cambio climático como determinantes ambientales facilita la toma de decisiones en lo que se refiere a la definición de los regímenes de usos del suelo, garantizando el asentamiento de las poblaciones y sus actividades básicas de desarrollo, subsistencia y recreación en zonas con condiciones seguras. Por otra parte, la gestión del cambio climático como determinante ambiental permite definir lineamientos, programas, proyectos y acciones enfocadas a la construcción de territorios resilientes, adaptados a los efectos del cambio climático y a la definición de modelos de desarrollo sostenibles que promuevan la conservación de la oferta de servicios ecosistémicos de cada territorio.*
- ✓ *Determinantes de densidades de ocupación en suelo rural:*
Estas determinantes se relacionan con aquellas contenidas en el Decreto 1077 de 2015 (libro 2, parte 2, título 2, capítulo 2) referidas a las densidades máximas de ocupación, extensión de corredores viales suburbanos y umbrales máximos de suburbanización. (Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2025).

Dado lo anterior, es pertinente que la incorporación de las determinantes ambientales se revise de forma integral, ya que las mismas vienen interrelacionadas y su articulación incide en los modelos de ordenamiento territorial a través de los cuales se definen los

usos de suelo y con ello, el desarrollo de este tipo de actividades como la minera; la cual además de tener que considerar superposición con territorios ambientalmente protegidos a nivel de exclusión o de la regulación minera mediante el instrumento de manejo, también se requiere, por ejemplo, la validación de cómo las determinantes de calidad de aire inciden en la definición de estos polígonos y las medidas que impone la autoridad ambiental mediante la determinante.

La información anterior es objeto de ampliación en la Orden 5 de la Sentencia, mediante la cual requirió la actualización de las guías minero-ambientales de Exploración, de Explotación y de Beneficio y Transformación (Ley 685/2001, artículo 272) y fueron adoptadas mediante la Resolución 180861 de 2002.

Figura 35. Diagrama etapa 0.3 fase 0- Plan Preventivo UNAL.



Fuente: UNAL.

La etapa 0.3 de Criterios de priorización, se enfoca en la identificación de proyectos mineros que deban ser atendidos de manera prioritaria para la prevención en la configuración de Pasivos Ambientales por actividad minera. Para ello, dentro de los criterios está su superposición con TAP, revisión de informes de fiscalización, alertas, instrumento ambiental, rechazo de solicitudes de devoluciones y formalización, amparos administrativos, entre otros.

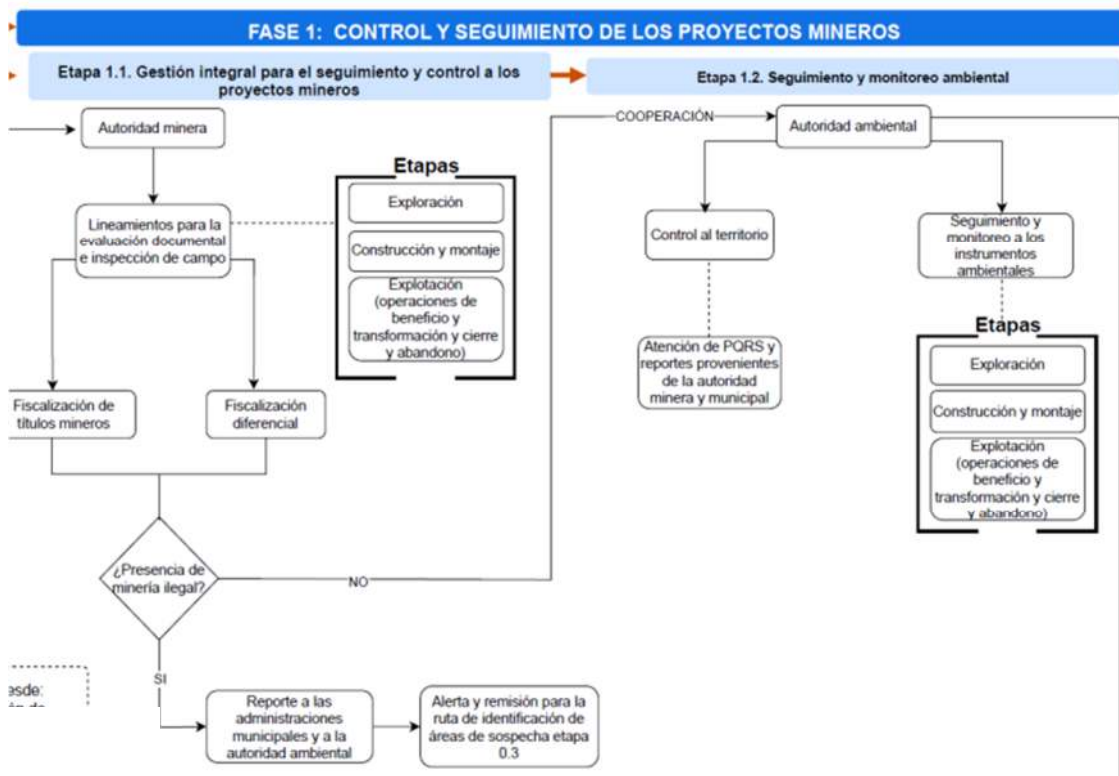
Frente a esta etapa, se indica que la misma se ve articulada y profundizada técnicamente en la generación de lineamientos para identificación de áreas con posibilidad de configurarse como Pasivos Ambientales por actividad minera, ya que la identificación en sí se constituye en una medida transversal de prevención.

No obstante, a continuación, se indican algunas temáticas adicionales, inmersas en las medidas construidas en los pilotos y que se vinculan o complementan en esta etapa:

- ✓ Identificación de situaciones o alertas por conflicto armado, que puedan generar amenazas o vulneraciones a los proyectos mineros, y con ello se pueda presentar abandono temprano de la mina, sin su debido cierre, o minería ilegal

- asociada a los grupos armados, ocasionando la configuración de posibles Pasivos Ambientales por actividad minera.
- ✓ Estrategia de caracterización territorial para conocer los contextos sociales y políticos de los municipios, que pueda generar un sistema de información sobre las características políticas, sociales y culturales de los territorios y con ello prevenir la configuración de posibles Pasivos Ambientales por actividad minera.
 - ✓ Identificación preliminar de áreas con posibilidad de configurarse como Pasivos Ambientales por actividad minera, en función de las características de los territorios y conocimiento de los entes territoriales
 - ✓ Inclusión de acciones de verificación de impactos o áreas con posibilidad de configurarse Pasivos Ambientales por actividad minera.

Figura 36. Diagrama etapas 1.1 y 1.2 fase 1- Plan Preventivo UNAL.



Fuente: UNAL 2023

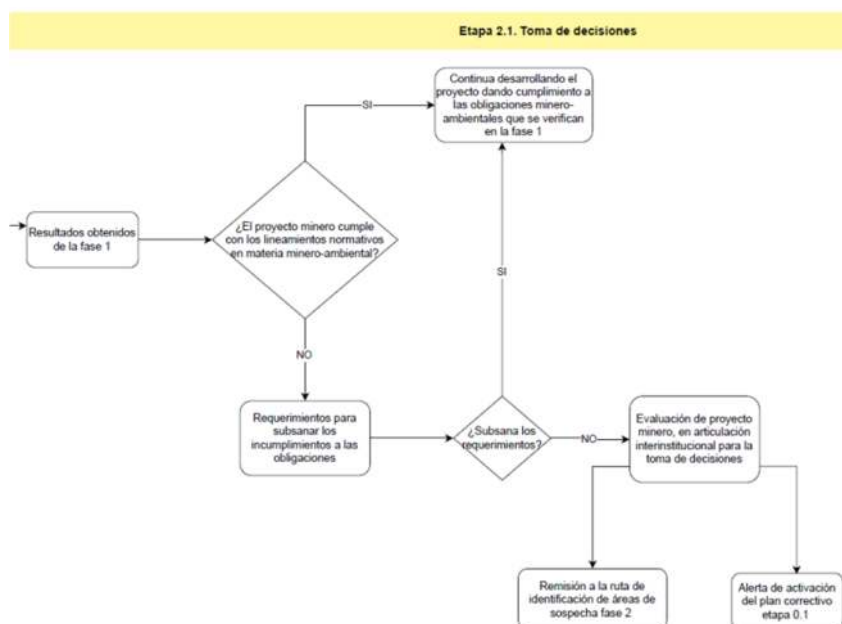
Frente a la fase 1 de seguimiento y control, la misma cuenta con las etapas de 1.1 gestión integral para seguimiento y control a los proyectos mineros, y 1.2 de seguimiento y monitoreo ambiental, en donde cada una está bajo el liderazgo de la autoridad competente en el marco de sus funciones, se promueva una cooperación para que se generen alertas.

En complemento a ello, se indican a continuación otras temáticas o frentes de actuación en esta fase de seguimiento y control y que amplían la actuación más allá de los procesos de fiscalización y seguimiento ambiental; además se propone articulación,

fortalecimiento institucional y comunitario, redes de apoyo, e incorpora otros actores relevantes como ente territorial y la comunidad etc.:

- ✓ Mejorar los procesos mineros en formalización a través de seguimientos más frecuentes.
- ✓ Incrementar las visitas de monitoreo periódico y de manera conjunta entre autoridad ambiental y minera, así como el ente territorial.
- ✓ Implementar sistemas de alertas tempranas, para informar de manera oportuna de la presencia de mineros no formales dentro de su título.
- ✓ Capacitación a los solicitantes mineros, trabajadores y comunidad en minería responsable (técnicas de minería, protección ambiental y compensación), con miras a evitar generar Pasivos Ambientales por actividad minera y recuperar los causados durante la actividad de explotación.
- ✓ Fortalecimiento desde los instrumentos de ordenamiento territorial en la incorporación de las determinantes ambientales y la regulación del desarrollo de la actividad de minería, considerando dichas zonas de protección y que cuenten con alguna restricción, para que en el proceso de revisión de solicitudes desde la autoridad minera se considere dicha información determinante.
- ✓ Adelantar desde el territorio un inventario de las actividades mineras activas para evaluar aspectos como el estado actual, los actores involucrados, el nivel de cumplimiento normativo, las afectaciones al entorno socioambiental, la antigüedad de las actividades y sus proyecciones, entre otros.
- ✓ Implementación de una estrategia de articulación entre las autoridades mineras y ambientales, y que incluyan participación social, para focalizar mesas de trabajo, actualizar información del territorio, realizar visitas, toma de decisiones y acciones a implementar en el marco de la prevención de Pasivos Ambientales por actividad minera.
- ✓ Implementar un programa de formación y capacitación a los actores relacionados en los procesos de otorgamiento, seguimiento y fiscalización de títulos mineros.
- ✓ Implementar un sistema de información actualizado y de fácil acceso por parte de la comunidad que permita generar alertas tempranas que ayuden a la toma de decisiones sobre la afectación a los recursos naturales.
- ✓ Establecer un sistema de registro que esté coordinado entre el proyecto minero y la secretaría de salud de los municipios donde tenga presencia los proyectos mineros.
- ✓ Agilidad en la evaluación de los trámites ambientales por parte del MADS.
- ✓ Fortalecer el conocimiento mediante planes de capacitación que pueden establecerse con entidades como el SENA, el cual tiene presencia en todos los territorios.
- ✓ Fortalecer a las instituciones vinculadas en el proceso de otorgamiento y seguimiento con el fin de darle seguimiento y control a las documentaciones y a los títulos que aún no cuenta o sus instrumentos están en trámite.

Figura 37. Diagrama Etapa 2.1 fase 2- Plan Preventivo UNAL.



Fuente: UNAL 2023.

Finalmente, para la fase 2 de resultados de la verificación de cumplimiento del plan preventivo, con su etapa 2.1 de toma de decisiones tales como convocar mesas intersectoriales, activar ruta correctiva, requerimientos adicionales por parte de la autoridad ambiental, procesos sancionatorios, etc., respecto a la propuesta desarrollada en el marco de los pilotos, se indica que se genera articulación, puesto que las medidas propuestas son en términos de:

- ✓ Requerir actividades de cierre progresivo y simultáneo con la explotación en el marco de seguimiento y control de instrumentos ambientales y mineros.
- ✓ Imposición de acciones correctivas para la gestión adecuada de los frentes de explotación abandonados.
- ✓ Aplicación de sanciones drásticas al incumplimiento de la normativa ambiental y minera.
- ✓ Dar impulso y seguimiento a procesos que pueden llegar a ser sancionatorios.
- ✓ Desarrollar procesos de articulación interinstitucional para la toma de decisiones mediante la definición de acuerdos o protocolos interinstitucionales.

Se generó una medida diferencial que escala de cierta manera el alcance de las autoridades minera y ambiental en territorio, y que da cuenta de un tema de mayor articulación para:

- ✓ Articulación de los ejercicios de prevención en el marco de la formulación de la Política de Pasivos Ambientales.

2.5.3 Análisis en la gestión de pasivos ambientales en Colombia.

Considerando los espacios desarrollados desde el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y algunos de los avances definidos y socializados por dicha entidad en el

marco de lo dispuesto mediante la Ley 2327 de 2023 de Pasivos Ambientales, a continuación se relacionan los avances técnicos en materia de la estrategia de gestión de pasivos ambientales, y como se allí se articula con el Sistema de Información Único de Pasivos Ambientales y las Guías frente a la caracterización o análisis preliminar, así como de evaluación de riesgo y comprobación de pasivos ambientales.

Frente a la Estrategia de gestión de pasivos ambientales, la cual a la fecha cuenta con una estructura de identificación por sospecha, caracterización, evaluación de riesgos, declaración, registro, priorización, intervención, monitoreo, seguimiento; orientado a garantizar la reincorporación del área declarada como pasivo ambiental para el uso del suelo según los fines previstos o manteniendo la zona bajo control de tal manera que no represente un riesgo para la vida, la salud humana o el ambiente, a continuación se detallan dichas etapas:

Tabla 5. Resumen de Propuesta de Estrategia de Gestión de Pasivos Ambientales – MADS.

Etapas	Descripción
Identificación por sospecha	Dentro de esta etapa se vincula a las personas naturales o jurídicas al reporte de áreas en sospecha, lo cual se articula con las medidas de prevención planteadas de generar alertas comunitarias. No obstante, en el reporte que se debe hacer se orienta sobre la formulación de acciones correctivas, y no preventivas.
Verificación de instrumentos de control ambiental o sectorial	Con los reportes generados, se inicia una verificación de instrumentos en donde en el caso que cuente con ellos se le remite a las autoridades competentes para su respectivo control, y en caso de que no cuente en donde se continúa con la ruta.
Caracterización o Análisis preliminar	Con las áreas que no tengan esos instrumentos de control, es donde mediante la captura de información secundaria, se levanta un diagnóstico completo, se realiza visita de inspección y reconocimiento. Junto con la Evaluación semicuantitativa del riesgo se define si el riesgo es significativo, usando lo definido en la Guía Metodológica para la Identificación y Comprobación de Pasivos Ambientales – Análisis Preliminar.
Evaluación de riesgo o Análisis detallado	<p>Si el riesgo es significativo, mediante evaluación de riesgo o análisis detallado de la afectación potencial del posible pasivo ambiental se define si dicho riesgo es no aceptable con base en información cuantitativa de los daños que se pueden derivar de contaminación química y/o condiciones físicas asociadas al desarrollo de actividades antrópicas y que pueden afectar negativamente a la salud humana o al ambiente.</p> <p>Para el desarrollo de la evaluación de riesgo es necesario definir si la fuente asociada a la generación es químico, físico, o una combinación de fenómenos; esto para aplicar la metodología de evaluación de riesgo. Los resultados obtenidos en la evaluación de los riesgos permitirán confirmar o descartar una declaración del sitio en posibilidad de configuración de pasivo ambiental. La declaración se confirma cuando la evaluación de riesgo da como resultado un RIESGO NO ACEPTABLE, ya sea para la vida, la salud humana y/o al ambiente</p>

Declaración y Registro en REPA	La respectiva declaración a través de un acto administrativo emitido por la autoridad ambiental, el cual garantizará a los involucrados acudir a las diferentes instancias establecidas en el CPACA. Una vez se produzca esta declaración, el sitio afectado entrará al Registro de Pasivo Ambiental (REPA), y se generarán reportes respectivos en los registros públicos asociados al bien inmueble.
Análisis de responsabilidad para la gestión:	Cuando se ha identificado un responsable indeterminado del pasivo ambiental, un responsable que se niega a aceptar la declaración o un responsable sin capacidad económica, la Mesa Técnica de Apoyo, del Comité Nacional para la Gestión de Pasivos Ambientales CNGPA, aplicará la metodología de priorización para determinar la prioridad de intervención del pasivo ambiental.
Intervención	La intervención de los pasivos ambientales se diseña y planifica bajo un instrumento técnico de control y manejo ambiental denominado Plan de Intervención de Pasivo Ambiental (PIPA), el cual debe ser sujeto a evaluación, seguimiento y control por parte de la autoridad ambiental competente
Verificación:	Las autoridades ambientales deberán realizar la verificación posteriormente a la finalización de la intervención, durante un tiempo establecido, para asegurar la mitigación o eliminación del riesgo según corresponda a riesgo físico y/o químico

Fuente: Equipo UPTC (2025).

Ahora bien, se indica que la propuesta de Estrategia para la Gestión de los Pasivos Ambientales se desarrolla bajo el Sistema Único de Información de Gestión de Pasivos Ambientales (SUIPA), el cual es la integración tecnológica de varios subsistemas que permiten el almacenamiento y procesamiento de información a través del desarrollo de todas las actividades asociadas a la gestión de pasivos ambientales. Por otra parte, a la fecha se cuenta con la definición de las respectivas guías de caracterización o análisis preliminar, así como de evaluación de riesgo y comprobación de pasivos ambientales. Cabe indicar que, articulando el presente ejercicio con los avances definidos a la fecha por la cartera Ambiente, se generan insumos correspondientes en el marco de la prevención, toda vez que, en términos de prevención, solo se relaciona algunos conceptos de:

Intervención prospectiva: proceso cuyo objetivo es **garantizar que no surjan nuevas situaciones de riesgo a través de acciones de prevención**, impidiendo que los elementos expuestos sean vulnerables o que lleguen a estar expuestos ante posibles eventos peligrosos. **Su objetivo último es evitar nuevo riesgo y la necesidad de intervenciones correctivas en el futuro.** La intervención prospectiva se realiza primordialmente a través de la planificación ambiental sostenible, el ordenamiento territorial, la planificación sectorial, la regulación y las especificaciones técnicas, los estudios de prefactibilidad y diseño adecuados, el control y seguimiento y en general todos aquellos mecanismos que contribuyan de manera anticipada a la localización, construcción y funcionamiento seguro de la infraestructura, los bienes y la población (Ley 1523 de 2012 - Por La Cual Se Adopta La Política Nacional de Gestión Del Riesgo de Desastres y Se Establece El Sistema Nacional de Gestión Del Riesgo de Desastres y Se Dictan Otras Disposiciones, 2012).

Reducción del riesgo: es el proceso de la gestión del riesgo, está compuesto por la intervención dirigida a modificar o disminuir las condiciones de riesgo existentes, entiéndase: mitigación del riesgo y a **evitar nuevo riesgo en el territorio, entiéndase: prevención del riesgo. Son medidas de mitigación y prevención que se adoptan con antelación para reducir la amenaza, la exposición y disminuir la vulnerabilidad de las personas, los medios de subsistencia, los bienes, la infraestructura y los recursos ambientales, para evitar o minimizar los daños y pérdidas en caso de producirse los eventos físicos peligrosos.** La reducción del riesgo la componen la intervención correctiva del riesgo existente, la intervención prospectiva de nuevo riesgo y la protección financiera (Ley 1523 de 2012 - Por La Cual Se Adopta La Política Nacional de Gestión Del Riesgo de Desastres y Se Establece El Sistema Nacional de Gestión Del Riesgo de Desastres y Se Dictan Otras Disposiciones, 2012).

No obstante, en el marco de esta estrategia no se identifican acciones o medidas de prevención específicas ante la configuración de pasivos ambientales por actividad minera, toda vez que se considera que adicional a la gestión para la identificación del área con posibilidad de configurarse pasivos, las demás etapas tienen un enfoque más a la intervención frente a la declaración del Pasivos Ambientales por actividad minera, con intervenciones ya de índole correctivo y no preventivo. De acuerdo con ello, en los siguientes escenarios se debe fortalecer el tema preventivo:

1. Cuando no se configura un riesgo significativo
2. Cuando no se configura un riesgo no aceptable

En estos escenarios únicamente se indica que se remite a las autoridades ambientales competentes, pero no se detalla la intervención preventiva de estas entidades para evitar la configuración del pasivo. En este sentido, el ejercicio desarrollado en el Entregable C, define una serie de medidas de prevención a ser aplicables frente a la identificación de posibles áreas con configuración de pasivo, que cuentan con propuestas de articulación institucional, mejoras a los procedimientos, incorporación de la comunidad en la generación de alertas, entre otras.

Adicionalmente, el PND 2022-2026 Colombia potencia mundial de la vida, en su meta 4 transformación productiva, internacionalización y acción climática; catalizador A. Naturaleza viva: revitalización con inclusión social se incluye la implementación de modelos de gestión integral para la prevención, atención recuperación y revitalización de pasivos ambientales; y en el catalizador C. Transición energética justa, segura, confiable y eficiente se menciona adelantar la reforma normativa minera que permita la creación de instrumentos para la gestión del cierre minero y restauración de los pasivos ambientales que se derivan de estas actividades.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en la variable definida como “Daños a personas generado o relacionado (DP)”, se centra en el perjuicio a la vida y salud humana causado o asociado a la existencia del sitio en sospecha de configurarse en pasivo ambiental. Enfocando que el cierre inadecuado de una mina puede crear elementos generadores de perjuicios para la salud de la población cercana.

Si bien un cierre minero bien planificado y ejecutado es fundamental para minimizar el impacto negativo que puede dejar una actividad minera después de que se ha terminado su explotación y esto ayuda a prevenir la contaminación del suelo, agua y aire, así como a reducir riesgos para la salud de las comunidades cercanas y el ecosistema en general, asegurando que los sitios mineros no se conviertan en pasivos ambientales a largo plazo, se debe tener en cuenta lo siguiente:

1. No todos los proyectos mineros cuentan con un plan de cierre adecuado y aprobado, principalmente las prerrogativas mineras que no necesariamente necesitan un instrumento ambiental aprobado para iniciar la actividad minera.
2. La falta de control y fiscalización por parte de las autoridades dificulta la identificación de desviaciones en los planes de cierre aprobados.
3. Las exigencias socioeconómicas pueden dificultar la implementación de los planes de cierre.

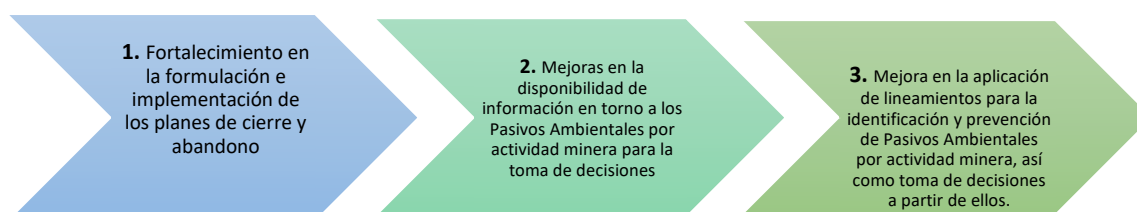
En definitiva, aunque un adecuado cierre minero es fundamental para reducir riesgos y proteger la salud de las comunidades y el ambiente, no garantiza por sí solo la prevención de pasivos ambientales, ya que no todos los proyectos mineros cuentan con planes de cierre aprobados y debidamente implementados.

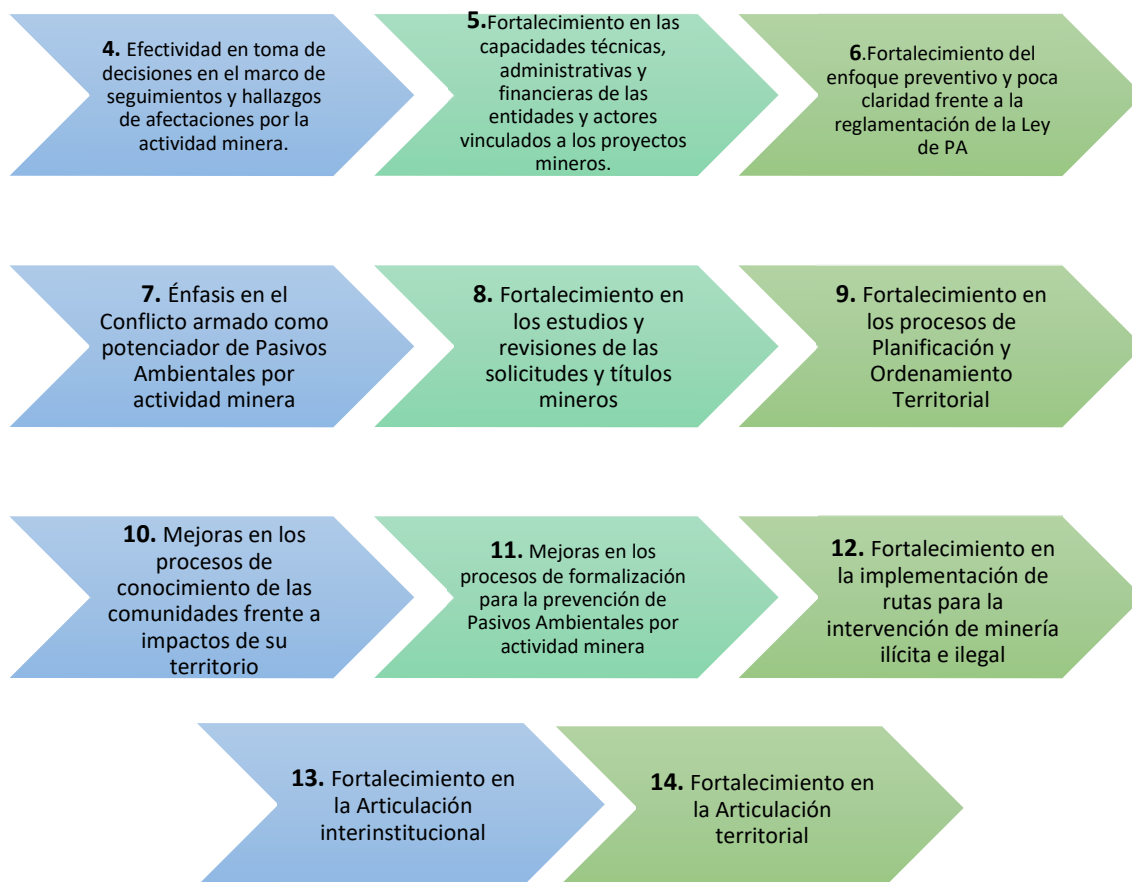
La implementación efectiva de estos planes, junto con una fiscalización rigurosa y una gestión responsable, es esencial para evitar que persistan áreas en sospecha de pasivos ambientales, por ello, las reformas normativas y el compromiso del Estado deben fortalecer estos procesos, promoviendo una minería más responsable y sostenible que priorice la protección del entorno y el bienestar social.

2.6 Análisis de medidas preventivas por problemática/ necesidad de mejora

Posterior al ejercicio realizado en territorio en el marco de los pilotos preventivos, y considerando la base de datos generada de medidas preventivas por piloto, se desarrolló una fase de armonización y complemento entre estas 77 medidas, a fin de encontrar temáticas y propuestas en común que evidenciara tanto problemáticas y necesidades, como oportunidades de mejora y ajuste; a raíz de ello, se organizó la base en datos en 14 problemáticas y 41 propuestas de medidas de prevención. Cabe indicar que este ejercicio también se complementó con los talleres realizados en el mes de junio de 2025 con: i) Gremios y empresas mineras, ii) sector minero a través de Ministerio de Minas y Energía y entidades adscritas y iii) sector ambiental (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Autoridades Ambientales), los cuales son el anexo número 5 del presente documento.

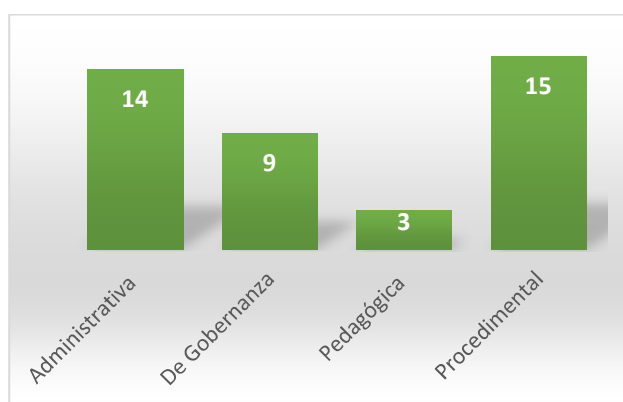
Respecto a esta organización, las 14 temáticas identificadas para oportunidad/ necesidad de mejoras fueron:





En cuanto a las 41 medidas definidas y que hacen parte de cada una de estas temáticas, se encontró:

Figura 38. Categorías de las medidas preventivas por problemática



Fuente: Equipo UPTC (2025).

Categorías

Se encontró a nivel general que, de las 41 medidas preventivas propuestas, están orientadas con mayor proporción a medidas de carácter procedimental y administrativo

Para las de tipo procedimental, siendo estas las ligadas a las labores desarrolladas y a cómo se realizan las mismas por los actores que intervienen en los procesos minero-ambientales, cuales se destacan las siguientes temáticas:

- Generar un protocolo transitorio de cierre minero o de términos de referencia entre sector Minas y Ambiente, mientras se surte el proceso de Reglamentación de cierre de minas.
- Fortalecer el monitoreo postcierre minero, a fin de validar que la totalidad de acciones de intervención se ejecutaron satisfactoriamente.
- Propiciar procesos de socialización de información relevante de manera periódica entre la autoridad minera y ambiental, que propendan por generar conocimiento de las acciones institucionales e identificar los puntos o necesidades en común.
- Fortalecer la ruta de identificación y prevención de pasivos ambientales por actividad minera mediante la incorporación de criterios territoriales diferenciados, que permitan adaptar las acciones institucionales a las condiciones específicas de cada contexto.
- Impulsar procesos sancionatorios relacionados con los daños y afectaciones por la ausencia de instrumento ambiental, que permita una intervención y sanción correspondiente.
- Fortalecer el ejercicio de la autoridad ambiental y minera con énfasis en la aplicación de las rutas de sancionamiento, así como la participación y articulación con la Ley 2111 de 2021.
- Incrementar los seguimientos a los procesos que pueden llegar a ser sancionatorios y a los que ya tienen pronunciamiento.
- Generar un proceso específico y transitorio para la obtención de la LA global para la pequeña minería, considerando que a la fecha los TdR de este instrumento se encuentran en proceso de reglamentación conforme a lo dispuesto por la Ley 2250 de 2022, la cual, a través de su artículo 30 derogó todas las normas que le sean contrarias entre ellas la Resolución 447 y 448 de 2020, motivo por el cual deben acudir a los TdR generales y estos sobrepasan la capacidad de los pequeños mineros.
- Definición de casos específicos en donde se requiera la ampliación de la duración de las visitas de seguimiento a fin de poder recorrer en lo posible la mayoría del área solicitada, ya que en algunos casos las afectaciones están fuera del área de explotación efectiva y por ende visitada.
- Fortalecimiento desde los instrumentos de ordenamiento territorial en la incorporación de las determinantes ambientales y la regulación del desarrollo de la actividad de minería considerando dichas zonas de protección y que cuenten

con alguna restricción, para que en el proceso de revisión de solicitudes desde la autoridad minera se considere dicha información determinante.

- Ajustar el proceso de formalización frente a las prerrogativas mineras considerando la prevención de Pasivos Ambientales por actividad minera.
- Generar inventario de prerrogativas que fueron rechazadas o no culminaron proceso de formalización.
- Fortalecimiento de acciones para la adecuada implementación de rutas de atención y reporte de actividades mineras ilícitas e ilegales para su intervención eficiente.
- Fortalecer los procesos de articulación interinstitucional, mediante estrategias de: Comunicación previa y constante para lograr una mayor presencia, operativos conjuntos, seguimiento y control con visión de fiscalización integral, e incrementar las visitas de monitoreo periódico.
- Adelantar desde el territorio y en articulación con el ejercicio de caracterización minera de la ANM, la actualización del Censo Minero.

En cuanto a medidas de carácter administrativo, siendo estas las orientadas a la gestión y organización de labores, requisitos, documentación, etc., dentro de las entidades, se destacan:

- Incluir dentro del sistema de información e interoperabilidad entre sector ambiente y minas, la información referente al estado en cuanto a la presentación, aprobación y avances en fechas previstas del plan de cierre y abandono, con la finalidad de robustecer los mecanismos de control y monitoreo que garanticen el cumplimiento de los planes de cierre y abandono, con indicadores claros para evaluar avances.
- Diseñar e implementar acciones de intervención en los frentes de explotación abandonados que presenten condiciones óptimas para el manejo ambiental, con base en los resultados de la evaluación de riesgo. Estas acciones deben ejecutarse antes de que se declare formalmente la existencia de Pasivos Ambientales generados por la actividad minera, con el fin de prevenir su configuración. Para garantizar un seguimiento efectivo y trazable, dichas intervenciones deben ser incorporadas en el sistema de intemporalidad institucional, permitiendo la articulación de cronogramas, responsables, y mecanismos de verificación técnica.
- Incorporar en el Plan de Acción de la ANM la priorización de proyectos mineros en condición de abandono, que presentan mayores niveles de afectación o riesgo, con el fin de focalizar esfuerzos en: la realización de visitas conjuntas interinstitucionales que permitan definir rutas de intervención integrales, articuladas y contextualizadas a las condiciones del sitio, así como aumentar la periodicidad de seguimiento y control frente a los requerimientos para el cierre y abandono de áreas con posibilidad de configurarse como Pasivos Ambientales por actividad minera.

- Fortalecimiento de los Puntos de Atención Regional de la ANM, para asegurar el seguimiento a los cierres mineros una vez culmina la vigencia del título.
- Reforzar los procesos de seguimiento y actualización al sistema de información minero, que evidencie la realidad territorial frente al estado del proyecto minero.
- Realizar mejoras administrativas y de capacidad en las diferentes entidades vinculadas en el proceso de otorgamiento de títulos, para aumentar y mejorar la capacidad técnica, administrativa y financiera en las entidades que participan en los procesos de revisión de solicitudes.

Inclusión dentro de los Planes de Acción de las entidades vinculadas (autoridad minera y autoridad ambiental), proyectos, programas y acciones en el marco de la prevención e intervención de Pasivos Ambientales por actividad minera, a fin de asegurar su incorporación y destinación presupuestal.

- Evaluar la capacidad institucional y operativa de la autoridad minera y los PAR, a través de la definición de un indicador de capacidad institucional.
- Definición de cuáles son los instrumentos de control ambiental y sectorial para implementar definición de Pasivos Ambientales por actividad minera.
- Generar procesos de focalización de acciones a partir de la Identificación de situaciones o alertas por conflicto armado, que puedan generar amenazas o vulneraciones a los proyectos mineros, y con ello se pueda presentar abandono temprano de la mina, sin su debido cierre, o extracción ilícita de minerales asociada a los grupos armados, ocasionando la configuración de posibles Pasivos Ambientales por actividad minera.
- Dentro de la solicitud minera y ambiental, se debe requerir realizar estudio de prefactibilidad para los mineros que inician el tránsito a la formalización a los títulos mineros de pequeña y mediana minería, que soporte la viabilidad en la ejecución del proyecto minero, considerando las obligaciones y capacidad que debe asumir el titular.
- Desarrollar una revisión conjunta entre Autoridad Minera y Autoridad Ambiental, a fin de determinar la mejora en la presentación de solicitudes e interrelación en las mismas, en materia del alcance, presentación y relación entre los instrumentos que rigen técnica y ambientalmente una explotación minera, aclarando las acciones y requisitos que deben cumplir los particulares para el trámite y obtención de la licencia ambiental.
- Fortalecer el seguimiento técnico a los procesos de formalización minera, incorporando mecanismos de verificación de actividades mineras tradicionales en toda el área inicial de la solicitud, con el fin de identificar y gestionar la posible configuración de pasivos ambientales minero.
- Determinar dentro de las funciones de los Puntos de Atención Local (PAL) de la ANM, acciones de relacionamiento local para la prevención de Pasivos Ambientales por actividad minera en articulación con los PAR.

En cuanto a medidas de carácter pedagógico, siendo estas las orientadas a la gestión del conocimiento, socialización, promoción, capacitación y educación en los temas de interés para la prevención, se destacan:

- Fortalecimiento al programa VETA de formación y Asistencia Técnica de los proyectos de formalización minera que abarque dentro de su campo de intervención y priorización, los proyectos mineros sin instrumento ambiental como potencializadores de generación de pasivos ambientales por actividad minera.
- Implementar un programa de capacitación y sensibilización comunitaria en temas minero-ambientales, en alianza con entidades con sector académico, a fin de generar procesos de conocimiento en territorio sobre temas legalidad minera y ambiental, minería responsable, entre otros de interés, a fin de vincularlos a los ejercicios de identificación y con ello de prevención de posibles Pasivos Ambientales por actividad minera.
- Desarrollar un programa de capacitación anual desde la ANM a la totalidad de títulos mineros, en donde a través de los PAR, se generen mínimo dos veces al año procesos de capacitación y sensibilización sobre riesgos ambientales generados por Pasivos Ambientales por actividad minera y medidas de prevención en función de las características del territorio con miras a evitar generar pasivos ambientales por actividad minera.

Finalmente, las medidas de carácter de gobernanza, en el ámbito territorial, se refiere a la integración de estos grupos sociales en la participación, articulación y apoyo en los temas de prevención de Pasivos Ambientales por actividad minera, dentro de las cuales se destacan:

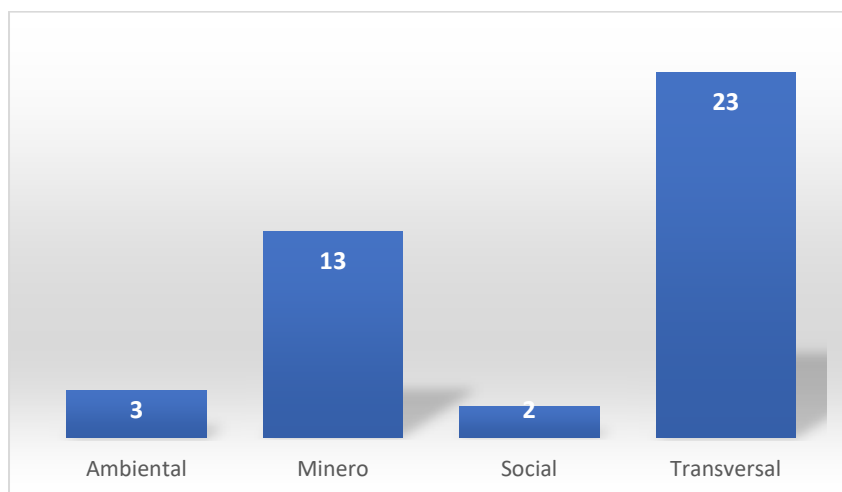
- Establecer un sistema de registro de afectaciones a las comunidades que esté coordinado con la secretaría de salud de los municipios en donde se tenga presencia de los proyectos mineros y tenga articulación con el sistema de interoperabilidad.
- Fortalecimiento y articulación de la prevención en la reglamentación y ejecución de la política de PA (Ley 2327 de 2023)
- Creación de espacios de diálogo y caracterización, para la articulación de instrumentos de Planeación Territorial.
- Fortalecer el desarrollo de los procesos de socialización con las comunidades de manera previa, durante y después de la explotación minera; que incluya desarrollo, impactos, programas, beneficios, compensaciones, alternativas económicas.
- Constituir un sistema de información y grupo de prevención comunitario a través de la disposición a la comunidad mecanismos para elevar alertas preventivas y canales de comunicación directos con las entidades.
- Promoción de la asociatividad en la pequeña minería enfocada en fomentar que los mineros trabajen juntos, formando cooperativas o asociaciones, para obtener

beneficios como economías de escala, mayor poder de negociación y acceso a mercados y financiamiento.

- Fortalecer el proceso de las audiencias mineras en el componente normativo ligado a Pasivos Ambientales por actividad minera.
- Fortalecimiento al ente territorial para la identificación y reporte de Pasivos Ambientales por actividad minera, en donde a través de su oficina de gestión de riesgo se logre identificar actividades mineras que se desarrollan sin autorización en el territorio, mediante la vinculación de la Oficina y el Consejo Municipal de Gestión del riesgo en la prevención de Pasivos Ambientales por actividad minera.
- Estrategia de caracterización territorial para conocer los contextos sociales y políticos de los municipios, que pueda generar un sistema de información sobre las características políticas, sociales y culturales de los territorios y con ello prevenir la configuración de posibles Pasivos Ambientales por actividad minera.

Componentes

Figura 39. Resultado componentes de las medidas preventivas por problemática.



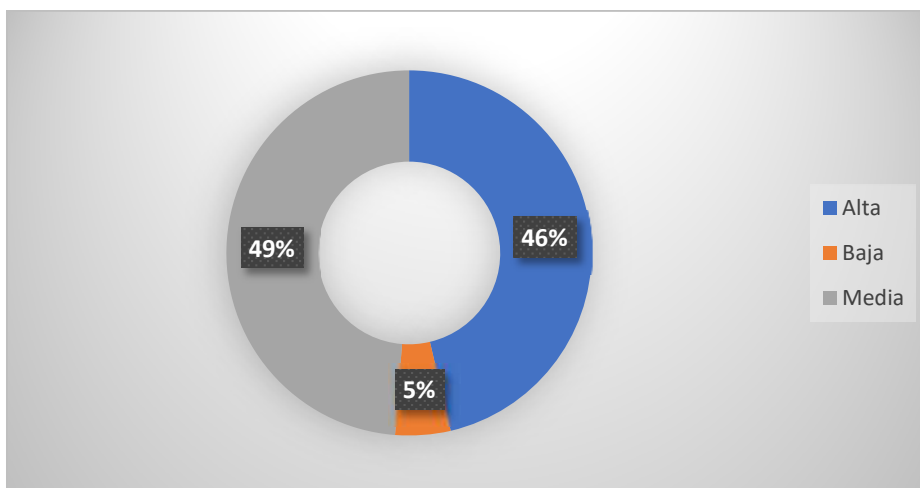
Fuente: Equipo UPTC (2025).

Respecto a los componentes, en la agrupación por problemática e identificación de temáticas y necesidades, también se identificó que el de mayor relevancia es el transversal, en el cual confluyen los componentes ambiental, minero y social. Lo anterior reforzó la necesidad del desarrollo de medidas conjuntas e intersectoriales en el marco de la articulación con mayor incidencia.

No obstante, siguiendo el alcance del presente contrato, el siguiente componente de mayor relevancia es el minero, con 13 propuestas de prevención.

Prioridad de atención

Figura 40. Resultado prioridad de atención medidas preventivas.

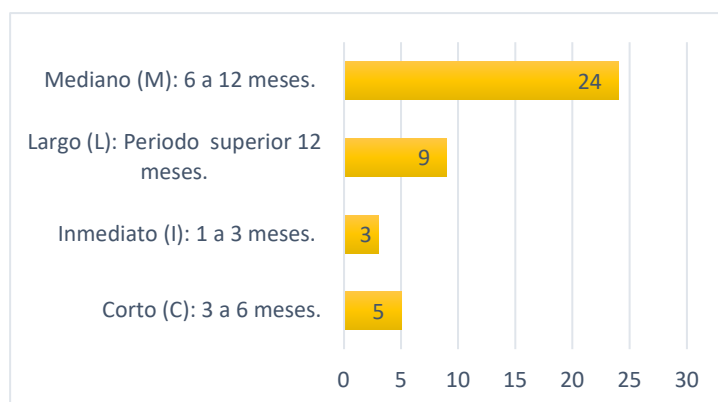


Fuente: Equipo UPTC (2025).

En relación con la prioridad de atención, considerando que la misma está dada en una escala de alta, media y baja, posterior al ejercicio de agrupación de temáticas, se identificó que, frente a la necesidad y prioridad de su implementación, siguen liderando las de media (48%) y alta (46%) reiterando la urgencia de su aplicación y avances frente a este tema de prevención de pasivos ambientales por actividad minera.

Plazos de ejecución

Figura 41. Resultado plazos de ejecución medidas preventivas por problemática.

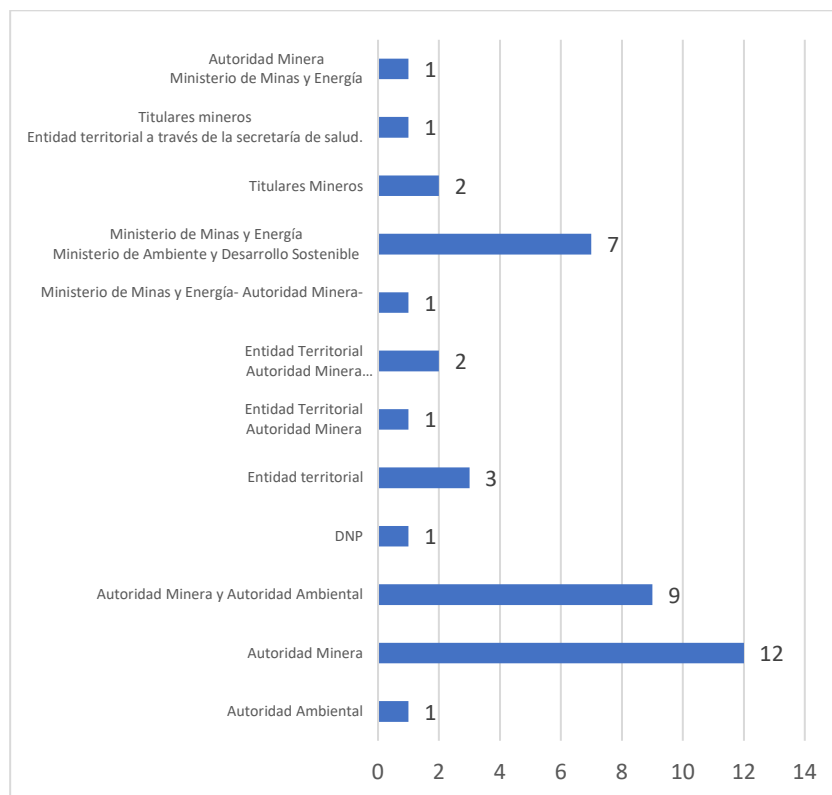


Fuente: Equipo UPTC (2025).

Para la definición de los plazos de ejecución de las medidas definidas, se identificó en esta agrupación que los plazos más solicitados son mediano, seguido de largo, corto e inmediato, esto cambió dándole mayor relevancia a plazo largo debido a la magnitud de algunas de las medidas complementadas.

Identificación de responsables

Figura 42. Resultados responsables medidas preventivas por problemática.



Fuente: Equipo UPTC (2025).

Finalmente, en cuanto a la delegación de responsables, en este ejercicio de agrupación por problemática, se logró complementar entre sí varias de las medidas propuestas, por lo que se evidenciaron nuevas agrupaciones de responsables. Cabe indicar que con mayor frecuencia que la entidad que encabeza el desarrollo de medidas es la autoridad minera, seguida del requerimiento del trabajo conjunto entre la autoridad minera y autoridad ambiental, con esta agrupación el tercer lugar está en cabeza de los Ministerios de Ambiente y de Minas. Lo anterior evidenciando que el ejercicio preventivo requiere de la articulación de los sectores, ajustes procedimentales, mejoras en intervención preventiva otros aspectos a fortalecer que se lideran institucionalmente.

2.7 Conclusiones y recomendaciones pilotos preventivos

2.7.1 Conclusiones

- El desarrollo de los ejercicios pilotos, con su revisión documental previa, acercamiento con actores, desarrollo de recorridos e implementación de herramienta KoBo, sentaron las bases y contextos territoriales para la formulación de medidas preventivas.
- Los proyectos mineros priorizados como pilotos eran técnicamente accesibles, pero que el ingreso a algunos territorios estuvo limitado por condiciones de orden público.

- A nivel general, se identificaron las siguientes particularidades en los pilotos, frente a la modalidad están: contrato de concesión (11), solicitud de legalización (5), subcontrato de formalización (1), ARE (1) y autorización temporal (1). Frente a ello, las situaciones evidenciadas en revisión documental, como en la visita territorial, se encontró el estado de la actividad minera como: inactiva (18), intermitente (1) en el área del título por parte del titular; no obstante, hubo reiteración en la existencia de minería por parte de terceros de manera ilícita.
- Se logró obtener dos bases de datos: i) una base de datos que cuenta con las medidas de prevención de Pasivos Ambientales por actividad minera ajustados a la realidad territorial de los ejercicios pilotos y que da cuenta del soporte del desarrollo de los mismos, y frente a la cual se amplía y se sustancia la propuesta de plan preventivo de la UNAL. Para ello, cada piloto tiene medidas específicas en donde, si bien se cuenta temas globales que fueron reiterativos en los diferentes pilotos, su forma de implementación, plazos o prioridades son de forma particular conforme a las propuestas e intervenciones de los actores.
- La segunda base de datos relaciona las medidas compiladas por temáticas en común, en donde se agruparon identificando problemáticas y necesidades de mejora. Estas medidas se complementan a través de las diversas propuestas en común de los diferentes ejercicios pilotos, así como de un ejercicio final realizado en el mes de junio en la ciudad de Bogotá, con gremios y empresas mineras, sector minero y sector ambiente.
- Esta información permitió adelantar el ejercicio de tabulación de información, identificación de temas globales, prioridades territoriales, plazos requeridos de acuerdo con las necesidades en ambos casos de pilotos y de agrupación por problemáticas.
- Frente al componente, el de mayor proporción es del transversal, toda vez que las medidas construidas en el marco de los pilotos requieren de la articulación de actores de los diferentes sectores, seguido del componente minero.
- Frente a la categoría de las medidas, estas están orientadas con mayor proporción a medidas de tipo procedimental y administrativo.
- Frente a prioridad y plazo, se identifica una prioridad alta, seguido de prioridad media, respecto a los plazos más solicitados son mediano, seguido de corto, inmediato y por último largo, para el caso de los ejercicios pilotos, ya que, en la agrupación por problemática, se invirtió la posición de largo y corto plazo. Lo anterior evidencia la urgencia y necesidad de implementación de las medidas.
- Se generó un proceso de articulación con la propuesta de plan preventivo de la UNAL, frente al cual, el diseño de las presentes medidas en ambas bases de datos se vinculó a cada fase y etapa correspondiente. Estas medidas se presentaron en términos de articulación con el proceso, así como de mejoras, adiciones y especificidad territorial.
- En el marco del desarrollo de los pilotos, se implementaron medidas de prevención tales como: revisión documental, aclaración de competencias, asistencia técnica/ orientaciones, herramientas para gestión minero ambiental.
- Los temas de profundización en el proceso del entregable D, el cual hace referencia al Documento de recomendaciones y propuesta de estrategias para lograr cambios normativos, de procedimientos, documentación sectorial en la gestión, prevención y corrección de pasivos ambientales por actividad minera con el sector ambiental, son:
 - Mejoras al proceso de fiscalización minera y a las herramientas empleadas para tal.
 - Incorporación de la comunidad en la prevención de Pasivos Ambientales por actividad minera.

- Articulación institucional efectiva, visitas en conjunto e intercambio de información en tiempos oportunos, así como seguimiento a procesos y alertas remitidas entre las entidades vinculadas (autoridad ambiental, autoridad minera, entidad territorial).
- Mejora en los procesos relacionados con la temporalidad, requerimientos y gestión de cierre y abandono de áreas intervenidas por minería, con foco en los procesos de formalización o legalización, que por diferentes circunstancias no culminan exitosamente, pero que a través del tiempo se generó afectación.
- Articulación con control a extracción ilegal.
- Ajuste o mejora en los términos de referencia para pequeña minería.
- Mejoras en el sistema de información de consulta frente a diferentes inconsistencias en la información allí cargada, los cuales son un punto de partida y contexto que permite dar paso a la gestión y manejo de pasivos.
- Fortalecimiento, asistencia técnica y acompañamiento a titulares mineros para gestión de Pasivos Ambientales por actividad minera.

2.7.2 Recomendaciones

- En el marco de la participación social en los espacios, se reiteró la necesidad de contar con participación comunitaria sostenida, es decir, asegurar la continuidad del compromiso y la participación permanente de las comunidades en el proceso de prevención, así como en la socialización de resultados del contrato.
- Considerando la Mesa de Trabajo Interinstitucional de la Sentencia de Ventanilla Minera, se recomienda socializar estos resultados desde el MME, con la finalidad de articular estas medidas de prevención con los avances y resultados de otras órdenes que tienen injerencia en los procesos de articulación interinstitucional, interoperabilidad, disposición de información, certificaciones ambientales, entre otros.
- Respecto a los ejercicios territoriales desarrollados, se tiene como recomendación considerar las fechas de visitas a territorio, esto con la finalidad de que sea en fechas con suficiente disponibilidad de los actores convocados, y con la anterioridad pertinente en los temas de convocatoria, a fin de que, las entidades convocadas logren tramitar las respectivas comisiones y gestiones, y así mismo fortalecer las alianzas territoriales para facilitar el acceso con las comunidades.
- Considerando la intervención multiactoral, que se requiere para la prevención de Pasivos Ambientales por actividad minera, se recomienda que, en el marco de sus competencias, estas autoridades ambientales, mineras y territoriales, dispongan tanto presupuesto como programas y proyectos dentro de sus instrumentos de planeación (plan de acción y plan de desarrollo) a fin de disponer capacidades para tal fin.
- Se requiere desde las entidades rectoras de la política minera y política ambiental, desplegar mayores capacidades a las entidades de cada sector, para fortalecer técnicamente los equipos.
- Si bien el alcance del presente contrato interadministrativo fue sobre proyectos mineros en etapa de explotación sin licencia ambiental, en el marco de los insumos recopilados se definieron algunas propuestas que se deben considerar desde sector minas y ambiente, como la revisión y ajuste de la reglamentación en cuanto a los instrumentos de control aplicables en la etapa de exploración,

previando que se evalúe un ajuste de los TdR y se asegure unos requisitos mínimos para que desde dicha etapa se genere mayor control para la prevención de Pasivos Ambientales por actividad minera en la siguiente etapa de explotación.

3. Capítulo III: Subproducto 2 Informe de ejecución del piloto correctivo

3.1 Justificación

La pequeña minería aurífera presenta riesgos ambientales debido a la generación de residuos con contenido de metales potencialmente tóxicos, entre ellos arsénico (As), plomo (Pb) y mercurio (Hg), los cuales poseen alta persistencia en el ambiente, toxicidad crónica y baja degradabilidad natural. Estos elementos, si bien forman parte de la geología propia de los depósitos auríferos, son liberados y movilizados durante las operaciones mineras, particularmente cuando se desarrollan sin medidas técnicas de manejo ambiental (Fashola et al., 2016; Smedley & Kinniburgh, 2002).

El arsénico y el plomo, por ejemplo, están comúnmente asociados a minerales como la arsenopirita y la galena, y su exposición a la intemperie minera facilita su transformación en especies solubles o biodisponibles. En paralelo, el mercurio suele ser introducido durante procesos de amalgamación y permanece como residuo altamente contaminante. La interacción de estos metales con suelos, cuerpos de agua y biota representa una amenaza directa para la salud humana y los ecosistemas locales, tal como ha sido documentado en múltiples estudios de caso en contextos de minería a pequeña escala (ATSDR, 2019; González et al., 2021).

Ante esta problemática, se justifica el desarrollo de soluciones correctivas con fundamento científico, que respondan a las particularidades del territorio y a las características físico-químicas de los residuos generados. En este marco, el presente piloto se enfoca en la validación de rutas tecnológicas de tratamiento a escala de laboratorio, lo que permite simular condiciones operativas reales bajo control experimental. Esta fase resulta esencial para seleccionar las alternativas más eficientes en términos de remoción de contaminantes, y para establecer los parámetros técnicos necesarios para el diseño de un prototipo móvil de remediación en el orden de los kilogramos de material.

El enfoque adoptado integra criterios de viabilidad técnica, modularidad y adaptación territorial, permitiendo avanzar hacia soluciones concretas en áreas con posibilidad de configurarse como pasivos ambientales, originados por la pequeña minería aurífera, bajo una perspectiva de sostenibilidad y gestión territorial del riesgo ambiental.

3.2 Objetivo

Diseñar, implementar y evaluar un ejercicio piloto de carácter correctivo en un territorio priorizado por su vocación minera, orientado a mitigar las afectaciones ambientales derivadas de prácticas de pequeña minería aurífera desarrolladas a lo largo del tiempo, cuyas huellas permanecen en matrices minerales y materiales contaminados.

3.3 Alcance del piloto correctivo

El piloto correctivo de la UPTC se orienta a la búsqueda de soluciones frente a una problemática crítica en regiones como el Chocó, donde la pequeña minería aurífera ha generado acumulación de metales potencialmente tóxicos como mercurio, arsénico y plomo en matrices minerales, representando un riesgo ambiental y social persistente.

El piloto, basado en criterios de ingeniería metalúrgica, diseñó y validó en Tunja un prototipo de tratamiento a escala de kilogramos, evaluando rutas térmicas, físicas e hidrometalúrgicas. Los resultados corresponden a la mineralogía muestreada, por lo que su comportamiento puede variar según el contexto geológico. Aun así, el prototipo dispone de infraestructura y tecnología para adaptarse a distintos materiales, siempre que se realicen estudios previos de mineralogía, cinética y termodinámica. Esta validación permitió seleccionar la alternativa más eficaz y establecer los parámetros técnicos para escalar a un prototipo móvil, modular y replicable, con potencial de aplicación en escenarios reales de remediación ambiental.

Cabe señalar que el alcance del piloto es estrictamente técnico, operativo y académico, sin competencias sancionatorias ni regulatorias. Su propósito es generar insumos objetivos, sustentados en validaciones experimentales y en el desarrollo de tecnologías limpias, que respalden la toma de decisiones por parte de las autoridades competentes. Adicionalmente, el piloto promueve la transferencia tecnológica y el fortalecimiento de capacidades locales, constituyéndose en una base sólida para la sostenibilidad de las soluciones implementadas en la gestión de pasivos ambientales por actividad minera.

3.4 Selección de lugares y actores

La selección del municipio de Cértégui como territorio de intervención no se presenta en este apartado como un hecho aislado, sino como la continuidad de la línea metodológica expuesta en el capítulo I, donde se fundamentó técnica, social y ambientalmente su priorización, respaldada en actas, matrices de análisis y criterios previamente concertados. En el marco del piloto correctivo, esta selección se retoma de manera sintética para subrayar su pertinencia estratégica, dado que Cértégui concentra problemáticas representativas de la pequeña minería aurífera con presencia histórica de contaminantes metálicos, dispone de actores locales organizados que facilitan la articulación institucional y ofrece condiciones logísticas favorables para la validación experimental del piloto correctivo.

Para priorizar las áreas donde se realizaron los pilotos y así identificar zonas con sospecha de configurarse como Pasivos Ambientales generados por la actividad

minera, se utilizó información secundaria proporcionada por el Ministerio de Minas y Energía (MME).

Estos estudios previos incluyen datos suministrados por la ANM, provenientes de Anna Minería, así como las bases cartográficas existentes. El primer filtro consistió en identificar proyectos mineros en etapa de explotación sin instrumento ambiental aprobado, superpuestos con áreas ambientalmente protegidas y ubicados en municipios identificados como distritos mineros.⁸

Además, siguiendo la recomendación del Ministerio, se consideró toda la información técnica generada por la Universidad Nacional de Colombia, en el Convenio Interadministrativo GGC-1138 de 2023.

Considerando la información anterior, se llevó a cabo un análisis espacial complementario con las siguientes capas cartográficas:

- a) Proyectos Mineros ubicados en municipios que hacen parte de los Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial (PDET).
- b) Proyectos Mineros que corresponden a Áreas Mineras en Estado de Abandono (AMEAS).
- c) Proyectos Mineros que coincidan con un piloto seleccionado por la UNAL en el convenio Interadministrativo GGC-1138 de 2023.
- d) Proyectos Mineros ubicados en zonas de resguardos indígenas.
- e) Proyectos Mineros superpuestos con EVOA.
- f) Proyectos mineros que se superpongan con áreas de deforestación, de acuerdo con la información cartográfica suministrada por CODECHOCÓ.
- g) Proyectos mineros cuya cercanía entre sí pueda facilitar la evaluación en campo, debido a los desplazamientos del equipo investigador, y permitan realizar pilotos en conglomerados de interés.

La selección del piloto correctivo se sustentó en criterios técnicos, institucionales y comunitarios debidamente validados. Tras descartar otras zonas por condiciones de inseguridad reportadas por el Consejo Comunitario Mayor de Cértegui – COCOMACER, se optó por el título minero JDN-16071, ubicado en el municipio de Cértegui. La elección fue respaldada en una mesa de trabajo conjunta con la Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó – CODECHOCÓ, donde dicho contrato de concesión fue identificado como el más idóneo, conforme a los lineamientos establecidos por el Ministerio de Minas y Energía. Esta decisión fue fortalecida por el análisis geoespacial realizado por la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia – UPTC, que confirmó que el título JDN-16071 cumple integralmente con los siguientes criterios de priorización:

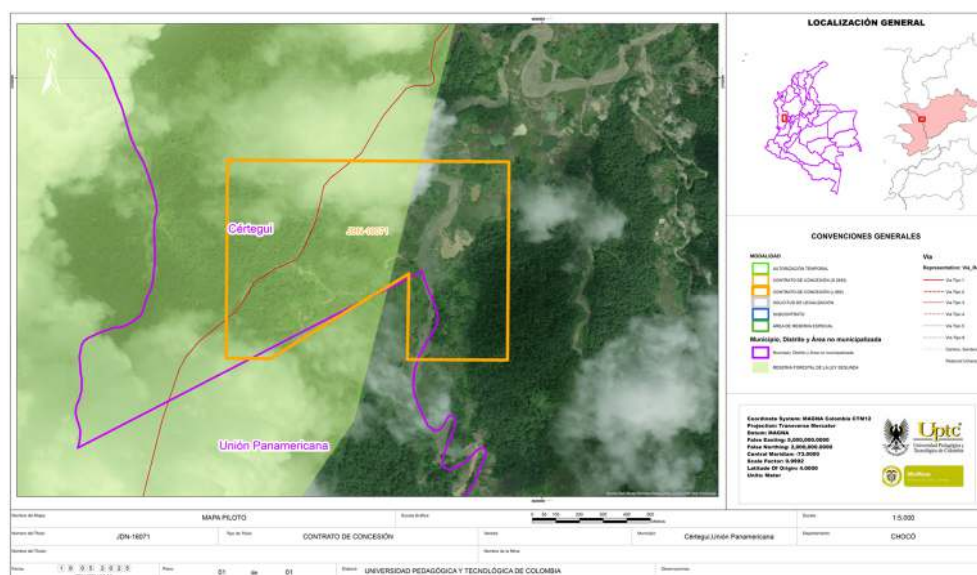
- 1. se encuentra en el distrito minero del Atrato en proceso de delimitación;
- 2. está ubicado dentro de Territorios Ambientalmente Protegidos, específicamente, la reserva forestal de la Ley Segunda;
- 3. carece de instrumento ambiental aprobado;
- 4. se superpone a Áreas Mineras en Estado de Abandono (AMEAS); y
- 5. coincide con áreas identificadas como EVOA.

⁸ De acuerdo con los estudios previos y términos de referencia del contrato se tienen en cuenta los distritos mineros proyectados en etapa de formulación.

Expediente minero	JDN-16071
Modalidad	CONTRATO DE CONCESIÓN (Ley 685 de 2001)
Mineral	PLATINO Y ORO Y SUS CONCENTRADOS Y DEMÁS MINERALES CONCESIBLES
Área	89 hectáreas + 3879,3 metros cuadrados
Departamento	CHOCÓ
Municipio	CÉRTEGUI
Etaa contractual	EXPLOTACIÓN

Fuente. Anna Minería.

Figura 43. Delimitación geográfica piloto correctivo. Contrato de concesión JDN-16071



En el marco del proceso de identificación y caracterización de actores clave vinculados al contrato interadministrativo, se realizó una convocatoria estructurada a través de mecanismos formales escritos, dirigidos desde la supervisión del proyecto, así como también comunicación directa en campo.

Estas comunicaciones oficiales presentaron los objetivos de la intervención, la conformación de los equipos de trabajo territoriales y los lineamientos generales de articulación interinstitucional.

Una vez seleccionado, identificado y ubicado el título minero en la región o en el municipio al que pertenece, se estableció contacto directo con la Entidad Municipal o Gubernamental, solicitando el acercamiento con otros actores relevantes. Del mismo modo, valiéndose de la experiencia y reconocimiento que tienen los distintos profesionales territoriales del Proyecto y se adelantó el proceso de convocatoria a los diferentes actores comunitarios, organizaciones de base y entidades sectoriales que se pueden involucrar en el acompañamiento de este proyecto.

3.4.1 Antecedentes

La minería aurífera en Cértegui tiene sus orígenes en el siglo XVIII, cuando la región comenzó a consolidarse como uno de los principales centros de extracción de oro en la Colombia colonial. Desde entonces, la actividad minera ha sido una constante, adaptándose a las condiciones sociales, económicas y tecnológicas cambiantes. Tras la independencia, las comunidades locales continuaron desarrollando prácticas tradicionales como el barequeo, que no solo han sido parte de su identidad cultural, sino también de su sustento económico. Estas formas de minería artesanal han perdurado a lo largo del tiempo, constituyendo un legado vivo en la actualidad.

Sin embargo, en las últimas décadas, la incorporación de maquinaria pesada y el avance de la minería mecanizada en Cértegui han intensificado la producción aurífera, provocando un deterioro ambiental significativo y tensiones sociales internas. Esta modernización del sector ha puesto en riesgo el equilibrio ecológico y la integridad del tejido social, especialmente de las comunidades afrodescendientes que históricamente han sido las guardianas de estas tierras (Salazar & Carmona, 2018). A pesar de la relevancia cultural y económica de la minería tradicional, su reconocimiento legal ha sido limitado. La Ley 70 de 1993, aunque otorgó derechos territoriales a las comunidades negras, no ha garantizado la formalización ni la protección efectiva de sus prácticas mineras, lo que ha obligado a las comunidades a organizarse y defender su autonomía frente a actores externos (Chocó7días, 2025).

Por décadas, el municipio de Cértegui, en el departamento del Chocó, ha sido un foco de extracción aurífera aluvial, realizada en su mayoría por actores informales que operan con tecnologías rudimentarias y emplean sustancias con potencial tóxico como el mercurio. Esta actividad, desarrollada sin control técnico ni ambiental, ha generado un deterioro progresivo de los ecosistemas locales, incluyendo áreas en posibilidad de afectación y zonas con alto riesgo ecológico y sanitario. Entre los principales impactos se destacan la contaminación de cuerpos de agua —especialmente quebradas y afluentes del río Atrato—, la acumulación de sedimentos con posibles cargas contaminantes producto de dragados incontrolados, y la pérdida de cobertura vegetal, que incrementa la vulnerabilidad del territorio ante deslizamientos e inundaciones (Guevara, 2025).

No obstante, uno de los aspectos más críticos es la creciente evidencia de contaminación de suelos y cuerpos de agua por metales pesados, que, además del mercurio utilizado en los procesos de amalgamación, incluyen elementos como plomo, cadmio y arsénico. Aunque estos forman parte natural de la geología mineralógica de la zona, permanecen confinados en condiciones estables hasta que son liberados, movilizados y transformados en especies tóxicas como consecuencia directa de las actividades mineras (Basu et al., 2015). Procesos como la remoción mecánica del material, la fragmentación de la roca y la exposición de minerales sulfurados a condiciones de oxidación superficial, activan la liberación de estos contaminantes al ambiente, intensificando su presencia en matrices hídricas y edáficas, y generando riesgos ambientales de alta persistencia y difícil manejo (Dorleku et al., 2018; Razo et al., 2004). Es por esto que, se refuerza la urgencia de implementar medidas integrales de monitoreo, recuperación ambiental y transformación de las prácticas mineras hacia modelos más sostenibles y técnicamente responsables (UNODC, 2016).

En respuesta a esta problemática, la Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó (Codechocó), en articulación con el Ministerio de Ambiente y

Desarrollo Sostenible y los consejos comunitarios de la región, identificó áreas degradadas por minería ilegal en los municipios de Cértegui y Río Iró, las cuales requieren procesos de restauración ecológica activa, recuperación de suelos y cuerpos hídricos. Como resultado, se formuló un plan piloto de restauración ambiental participativa, anunciado e iniciado en el segundo semestre de 2021, con implementación progresiva durante los años 2022 y 2023. El piloto abarcó 350 hectáreas afectadas por minería a cielo abierto e incluyó la siembra de 500 mil árboles nativos, con el objetivo de restablecer la biodiversidad, recuperar servicios ecosistémicos clave y generar beneficios sociales y económicos para las comunidades afrodescendientes del territorio. Asimismo, el proyecto fortaleció la organización comunitaria y su participación activa en los procesos de gestión ambiental local (Codechocó, 2022).

3.4.1.1 Prioridad en políticas públicas nacionales y territoriales

El municipio de Cértegui está incluido en planes estratégicos como el Plan de Desarrollo Departamental del Chocó (PDD Chocó 2024–2027) y los Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial (PDET). Estos documentos reconocen los desafíos ambientales derivados de la minería ilegal y promueven intervenciones orientadas a restaurar ecosistemas degradados, implementar tecnologías limpias en la minería y fomentar actividades productivas sostenibles que sustituyan la minería informal. El PDD Chocó 2024–2027 destaca la importancia de un desarrollo ambientalmente sostenible en el sector minero, entendiendo que las actividades extractivas deben llevarse a cabo de forma responsable y respetuosa con el medio ambiente. La mitigación de los impactos negativos en el entorno natural del Chocó se presenta como un imperativo ético y ambiental, al tiempo que se busca generar beneficios económicos justos y equitativos para las comunidades locales. Este enfoque busca promover una minería responsable que contribuya al desarrollo sostenible de la región y al bienestar de sus habitantes, alineándose con las apuestas estratégicas del Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2022–2026, como la resiliencia climática y la gestión del riesgo de desastres (Plan de Desarrollo Territorial 2024 - 2027 – Chocó).

3.5 Descripción metodológica

En el marco del desarrollo del piloto correctivo para la remediación de pasivos ambientales, se utilizó como insumo fundamental el documento Plan Preventivo y Correctivo de Pasivos Ambientales Mineros, elaborado por la Universidad Nacional de Colombia (UNAL) en el contexto del Convenio Interadministrativo GGC-1138 de 2023 suscrito con el Ministerio de Minas y Energía.

Este documento, por su rigurosidad metodológica y su estructuración por fases, constituyó una base técnica de alto valor, aportando una guía clara para garantizar que las actividades técnicas y operativas del piloto se ajustaran a los procedimientos formales que las autoridades mineras y ambientales requieren para la adopción de medidas correctivas. De igual forma, la metodología de caracterización contemplada en el Plan de la UNAL, orientada a integrar parámetros físico-químicos, mineralógicos y de riesgo ambiental con la estimación de pérdidas, fue un referente directo para el diseño del muestreo en campo y análisis de laboratorio.

No obstante, el piloto de la UPTC trascendió la dimensión normativa y documental del Plan de la UNAL, potenciándolo con un enfoque propio de la metalurgia extractiva,

orientado a la remediación efectiva de zonas impactadas ambientalmente por la pequeña minería aurífera. En particular, se incorporó un escalamiento experimental con validación de rutas tecnológicas a nivel de laboratorio en las instalaciones de la UPTC en Tunja, utilizando muestras reales provenientes de territorios priorizados (Departamento del Chocó). Este enfoque permitió avanzar del diagnóstico teórico a la obtención de parámetros operativos concretos, condición indispensable para diseñar e implementar propuestas con potencial de intervención en campo bajo condiciones reales de contaminación.

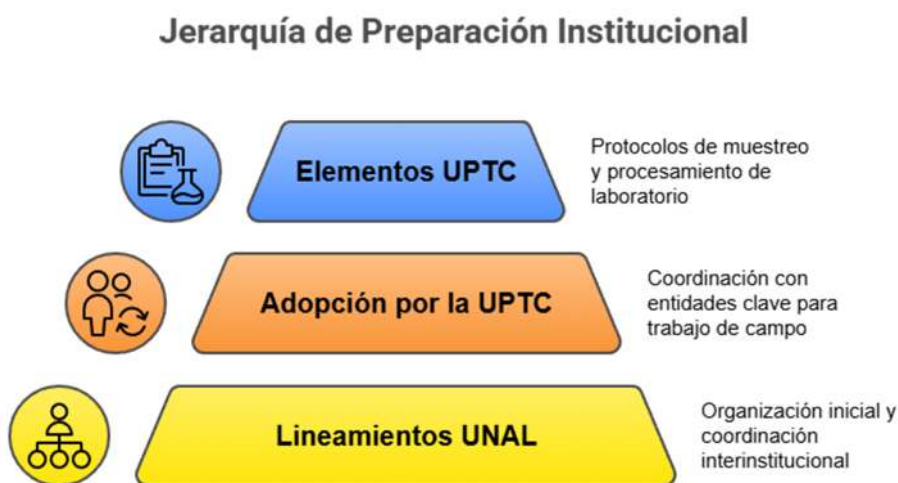
Por otro lado y de manera complementaria, se estableció un plan de transferencia y capacitación (Anexo 7) para el personal de la Institución receptora, garantizando que la tecnología no solo sea entregada, sino también comprendida, operada y mantenida de manera autónoma en territorio. El piloto correctivo entrega un paquete completo que combina evidencia experimental, diseño técnico, instrumentos de operación y fortalecimiento de capacidades locales, lo que incrementa su potencial de replicabilidad y su impacto como herramienta de remediación ambiental efectiva.

De manera articulada, la metodología del piloto se organizó en las fases 0 a 4, siguiendo la estructura del Plan de la UNAL, pero incorporando mejoras sustantivas:

3.5.1. Fase 0 – Alistamiento

La Fase 0 del piloto correctivo se estructuró como un proceso técnico-operativo orientado a garantizar condiciones óptimas para el desarrollo experimental del piloto correctivo de la UPTC. En coherencia con los lineamientos del Plan Correctivo de la UNAL, esta etapa incluyó la recopilación, validación y sistematización de información jurídico-técnica y ambiental previamente disponible para la zona priorizada. A partir de la selección del Chocó como territorio piloto, se estableció articulación con Codechocó y con el Consejo Comunitario Mayor de Cértegui – COCOMACER, lo que permitió gestionar los permisos necesarios para el acceso a campo, coordinar la logística de muestreo y recolectar muestras representativas. Estas muestras fueron trasladadas al laboratorio fijo en Tunja, donde se llevó a cabo su caracterización físico-química y mineralógica bajo condiciones controladas, orientada a evaluar la tratabilidad metalúrgica. Con base en estos resultados, se definieron parámetros críticos de operación y se diseñó el prototipo móvil, ajustando su configuración a las rutas tecnológicas más viables. El alistamiento contempló además la definición clara de roles técnicos, protocolos de muestreo y cronograma integrado de actividades. Este enfoque garantizó la trazabilidad de datos, optimizó la planificación metodológica e instaló una base robusta para avanzar hacia la validación experimental y la formulación de medidas de remediación técnica y territorialmente pertinentes.

Figura 44. Consolidado Fase 0- Verificación de cumplimiento. Plan UNAL-Piloto UPTC



3.5.2. Fase 1 – Caracterización y estimación

En el marco del piloto correctivo, la Fase 1 se orientó a un diagnóstico técnico con énfasis geoquímico y metalúrgico, diseñado para generar insumos directos para la tratabilidad de los materiales. Con base en la priorización territorial en el Chocó y en referentes metodológicos reportados en la literatura, se desarrollaron campañas de muestreo en matrices representativas, asegurando que el proceso de recolección y traslado garantizara la representatividad de las muestras y su correspondencia con las condiciones reales de la problemática minera. Las muestras fueron procesadas en el laboratorio de la UPTC en Tunja, donde inicialmente se llevaron a cabo operaciones de conminución y análisis granulométrico, con el fin de garantizar la representatividad y homogeneidad de los materiales. Posteriormente, se realizaron caracterizaciones mediante técnicas instrumentales como espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado (MPAES) para la cuantificación de metales prioritarios, microscopía electrónica de barrido (MEB) para el estudio de la morfología y asociaciones mineralógicas, y difracción de rayos X (DRX) para la identificación de fases cristalinas. En conjunto, estos análisis permitieron establecer una línea base técnico-metalúrgica que, además de describir la composición y estructura de las muestras, aportó información clave para evaluar el potencial de movilidad de contaminantes y orientar la selección de rutas de tratamiento en fases posteriores.

A diferencia del Plan de la UNAL, que concibe esta fase como un diagnóstico amplio de carácter jurídico, técnico y ambiental, el piloto correctivo reorientó el alcance hacia una caracterización aplicada a la remediación, incorporando parámetros cuantitativos que permiten anticipar el comportamiento de los contaminantes en distintas rutas de tratamiento. De esta manera, la Fase 1 no se limitó a la delimitación de áreas afectadas, sino que consolidó una línea base operativa y verificable, fundamental para sustentar la formulación de medidas correctivas en la fase siguiente.

Figura 45. Consolidado Fase 1- Verificación de cumplimiento. Plan UNAL-Piloto UPTC

	UNAL	UPTC
Enfoque	Diagnóstico descriptivo y general	Diagnóstico geoquímico y metalúrgico
Delimitación de Áreas	Identifica áreas con potencial impacto ambiental	Prioriza el territorio basado en la criticidad
Evaluación Inicial	Establece diagnóstico general jurídico, ambiental y técnico	Establece línea base para decisiones informadas
Muestreo	No especificado	Campañas de muestreo extensivas
Análisis	No especificado	Técnicas avanzadas (MPAES, MEB, DRX)
Resultado	Diagnóstico general	Criterios de tratabilidad metalúrgica

3.5.3. Fase 2 – Planteamiento de acciones correctivas

El Piloto Correctivo de la UPTC incorporó la directriz de formular medidas correctivas a corto y mediano plazo sustentadas en la información obtenida durante la fase de caracterización y estimación. En virtud de lo anterior, la definición de acciones se fundamentó en datos técnicos derivados del análisis de muestras reales recolectadas en el territorio priorizado del Chocó, asegurando una continuidad metodológica entre el diagnóstico inicial y la propuesta de solución.

No obstante, el alcance del piloto amplió el marco metodológico inicialmente previsto en el Plan UNAL, al incorporar un componente experimental de validación que permitió sustentar las medidas correctivas en resultados experimentales verificables, obtenidos bajo condiciones controladas de laboratorio.

En este sentido, el planteamiento de acciones correctivas en el piloto liderado por la UPTC no se limitó a la formulación conceptual de alternativas, sino que avanzó hacia la ejecución de un proceso experimental riguroso que posibilitó identificar y validar las tecnologías más viables para el tratamiento de materiales contaminados. Este enfoque derivó en la definición de sistemas concretos de remediación, diseñados con base en

evidencia técnica, científica y de ingeniería. Como resultado, el planteamiento de acciones contempló el desarrollo de dos prototipos complementarios, uno fijo y otro móvil, que integran de manera secuencial la validación experimental y su aplicación en escenarios reales de pequeña minería aurífera, cerrando la brecha entre la investigación académica y la implementación territorial.

El primero, un prototipo fijo, corresponde a un laboratorio especializado en la sede Tunja de la UPTC, dotado con equipos y suministros diseñados para la experimentación sistemática bajo condiciones controladas. Este espacio constituye el núcleo técnico del piloto, ya que en él se llevaron a cabo los ensayos metalúrgicos iniciales que permitieron evaluar distintas rutas de tratamiento, definir la viabilidad de la ruta óptima y establecer los parámetros operativos críticos para el posterior diseño del prototipo móvil. Además, el prototipo fijo cumple la función de centro de referencia, al concentrar la recolección de datos, la sistematización de resultados y el perfeccionamiento de metodologías que luego son transferidas y aplicadas en campo.

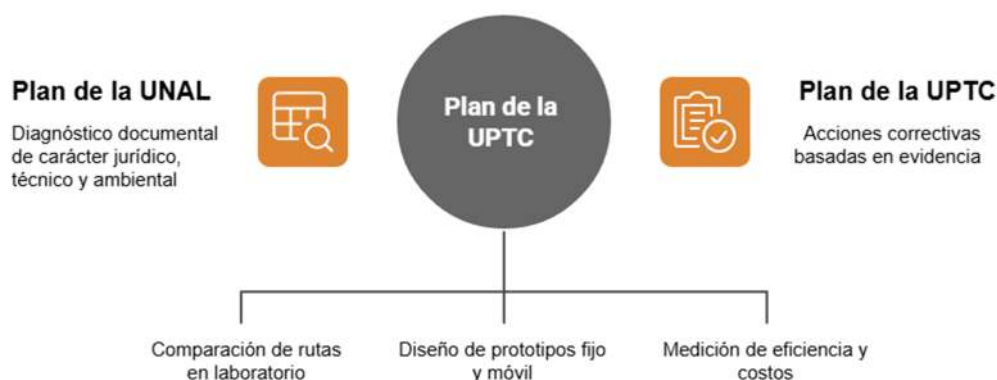
En este sentido, la capacidad experimental de Tunja fue determinante para seleccionar los equipos, definir los insumos requeridos y establecer las condiciones técnicas de operación que hacen viable la unidad móvil.

El segundo, un prototipo móvil, fue concebido como una unidad modular adaptable y desplazable en el territorio, específicamente en zonas priorizadas del departamento del Chocó y diseñado para operar en el orden de kilogramos. Su diseño traduce en práctica los hallazgos obtenidos en laboratorio, trasladando las tecnologías previamente validadas a escenarios reales de pequeña minería aurífera. Esta unidad está orientada a intervenir materiales derivados de procesos extractivos con altos contenidos de contaminantes, particularmente arenas y relaves, mediante el uso de tecnologías limpias de bajo impacto. En su concepción se consideraron factores como la mineralogía local, la variabilidad geográfica y las particularidades socioambientales de las comunidades, lo que garantiza su pertinencia, operatividad y potencial de sostenibilidad en el territorio.

Este desarrollo aporta un valor agregado al marco planteado en el Plan UNAL, al convertir la formulación de medidas correctivas en un sistema funcional, operativo y tangible, complementado con un plan de capacitación a los receptores del prototipo (Universidad Tecnológica del Chocó) que garantiza la transferencia tecnológica, fomenta la apropiación social del conocimiento y fortalece la sostenibilidad de su aplicación en el territorio.

Cabe destacar que el rol de la UPTC en esta fase se mantuvo estrictamente técnico y no sancionatorio, centrado en la generación, validación y transferencia de soluciones que respondan a las necesidades reales de la pequeña minería aurífera, alineadas con los objetivos del Ministerio de Minas y Energía en materia de remediación de pasivos ambientales por actividades mineras.

Figura 46. Consolidado Fase 2- Verificación de cumplimiento. Plan UNAL-Piloto UPTC



De esta forma, el piloto correctivo no solo tradujo la metodología del Plan UNAL en acciones prácticas, sino que aportó un valor agregado decisivo: transformar los lineamientos generales en un sistema funcional, probado experimentalmente y orientado a la transferencia tecnológica en el territorio. En particular, la articulación con la Universidad Tecnológica del Chocó como institución receptora asegura que este conocimiento se apropie localmente, favoreciendo la sostenibilidad del modelo y la generación de capacidades técnicas en las regiones directamente afectadas por la pequeña minería aurífera.

En este marco, la estructura del prototipo fijo se fundamentó en la infraestructura existente de los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica de la UPTC, los cuales disponían de equipamiento robusto que permitió iniciar de manera inmediata la fase experimental del piloto de remediación. A esta base instalada se sumó la adquisición de equipos adicionales con el fin de reproducir y validar condiciones operativas análogas a las del territorio, lo que fortaleció la capacidad técnica y la pertinencia del modelo desarrollado.

Por su parte, la funcionalidad del prototipo fijo radica en su capacidad de generar conocimiento operativo confiable. Mediante la estandarización de parámetros, el control de variables críticas y la validación de secuencias de tratamiento, este espacio aportó los insumos técnicos necesarios para reducir la incertidumbre y garantizar que el escalamiento hacia la unidad móvil se sustentara en evidencias sólidas. De este modo, el prototipo fijo se consolidó como soporte metodológico y técnico del piloto, asegurando la coherencia entre la fase de experimentación académica y la aplicación práctica en el territorio.

3.5.4. Estructura del prototipo móvil

La configuración estructural del prototipo móvil fue el resultado de un proceso metodológico riguroso, fundamentado en los hallazgos obtenidos durante la fase experimental ejecutada en el prototipo principal, en Tunja. Esta fase inicial tuvo como objetivo evaluar, bajo condiciones controladas, distintos escenarios de procesamiento de materiales auríferos, con énfasis en la minería a pequeña escala, sin embargo, con el fin de cubrir la incertidumbre inicial respecto a la naturaleza de los materiales a

intervenir, se diseñaron y evaluaron tres rutas de tratamiento metalúrgico complementarias: una ruta térmica, una ruta física y una ruta hidrometalúrgica.

- **Ruta térmica/pirometalúrgica:** contempló la evaluación de tratamientos pirometalúrgicos como alternativa de estabilización de arenas y relaves contaminados. El objetivo metalúrgico fue promover la inmovilización de elementos con potencial contaminante y su transformación en fases más estables. La pertinencia de esta ruta dependió, en gran medida, de la presencia o ausencia de fases sulfuradas en las muestras. En materiales con sulfuros, el calentamiento puede inducir reacciones de oxidación y sulfatación que favorecen la fijación de metales en compuestos menos solubles, aunque con el riesgo de generar emisiones gaseosas como SO_2 o As_2O_3 (Ghosh & Ray, 1991). Por el contrario, en materiales sin sulfuros, la inmovilización se orienta hacia procesos de vitrificación o sinterización, que requieren mayores temperaturas y consumo energético.

Los ensayos realizados en muflas y hornos controlados permitieron explorar estas rutas bajo condiciones de laboratorio, aportando evidencia sobre la capacidad del tratamiento térmico para estabilizar contaminantes y disminuir su riesgo ambiental.

- **Ruta física/concentración y beneficio:** se enfocó en la separación y concentración mecánica de fracciones minerales, replicando procesos de beneficio típicos de la pequeña minería aurífera, pero en condiciones controladas. Se implementaron operaciones de trituración, molienda y clasificación granulométrica, seguidas de técnicas de concentración gravimétrica por mesa wilfley y concentración por flotación espumante para evaluar la posibilidad de aislar partículas de oro fino y, en paralelo, concentrar o remover fracciones asociadas a contaminantes metálicos. Desde un punto de vista metalúrgico, esta ruta permitió analizar la heterogeneidad de las arenas y relaves y estimar la liberación de fases contaminantes según la distribución de tamaños de partícula.
- **Ruta acuosa/hidrometalúrgica:** se fundamentó en ensayos de lixiviación controlada, orientados a promover la disolución selectiva de especies metálicas contaminantes presentes en los materiales recolectados en campo. Para esto, se emplearon sistemas de agentes complejantes y oxidantes de bajo impacto ambiental, capaces de generar reacciones de solubilización sin recurrir al uso de reactivos alternativos de carácter tóxico y corrosivo. En este caso particular, el uso de soluciones orgánicas carboxílicas con agentes oxidantes suaves favoreció la formación de especies solubles estables, reduciendo así la movilidad de fases secundarias en condiciones ambientales.

Las soluciones lixiviadas fueron posteriormente sometidas a procesos de separación y purificación, donde la filtración permitió la remoción de sólidos no disueltos y la clarificación de la fase líquida. Una vez generadas las soluciones enriquecidas en contaminantes, la estrategia de tratamiento se concentró en el uso de resinas de intercambio iónico.

La selección de la ruta más adecuada se basó en un análisis integral de las características fisicoquímicas de las muestras recolectadas en campo, considerando tanto la naturaleza mineralógica de la matriz sólida como los objetivos de intervención en el contexto territorial. El propósito fue optimizar la eficiencia metalúrgica y, al mismo tiempo, minimizar los impactos ambientales derivados del procesamiento de materiales.

Este análisis permitió establecer que cada ruta de tratamiento aporta beneficios específicos, aunque con limitaciones que condicionan su aplicación a escala territorial. La ruta térmica se destacó por transformar contaminantes en fases más estables, lo que otorga seguridad química a largo plazo; sin embargo, sus altos requerimientos energéticos y el riesgo de emisiones gaseosas reducen su viabilidad en escenarios de pequeña minería. La ruta física, en cambio, fue valorada por su simplicidad operativa, bajo costo relativo y ausencia de reactivos peligrosos, aunque su eficacia se restringe a materiales homogéneos y con diferencias marcadas en densidad o tamaño de partícula, sin resolver la presencia de contaminantes solubles o difusos. La ruta hidrometalúrgica, por su parte, combinó eficiencia en la remoción de contaminantes con la posibilidad de implementarse en un esquema móvil, lo que favorece su adaptabilidad a variaciones mineralógicas y territoriales. Esta alternativa no solo resultó la más viable en términos técnico-operativos, sino que además se alinea con principios de sostenibilidad y transición hacia tecnologías limpias, al promover el uso de reactivos alternativos y no contaminantes.

Con base en la validación experimental realizada en el prototipo fijo de la UPTC en Tunja, se definió la arquitectura funcional del prototipo modular móvil, diseñado para integrar en una sola unidad los procesos requeridos en la intervención de materiales contaminados en campo. El sistema quedó estructurado en cuatro módulos especializados: diagnóstico y caracterización, preparación de muestras, tratamiento/separación y gestión de residuos, organizados de manera secuencial y lógica, de modo que cada etapa soporte a la siguiente en un flujo operativo coherente.

El diseño modular responde a una lógica de ingeniería sustentada en evidencia experimental. Los resultados de la validación de las tres rutas de tratamiento permitieron establecer la estrategia más adecuada y definir las condiciones técnicas y operativas necesarias. Este proceso sirvió para dimensionar cada módulo en función de las propiedades reales de los materiales, de las tecnologías limpias evaluadas y de las restricciones logísticas propias de la operación en campo. Así, la configuración del prototipo no obedeció a una decisión teórica o arbitraria, sino a un diseño fundamentado en datos experimentales que incluye la selección precisa de equipos, suministros y parámetros operativos requeridos para su desempeño en territorio.

Módulo 1. Diagnóstico y caracterización inicial: está orientado a obtener una caracterización general de los materiales mediante análisis químico preliminar. Se aplican procedimientos de análisis elemental por fluorescencia de rayos X (FRX), que permite establecer la composición global de la muestra de manera rápida y representativa. La integración de estos resultados brinda una línea base suficiente para orientar la selección de parámetros operativos en tratamiento metalúrgico. En este sentido, el módulo cumple una función crítica como filtro de decisión técnica, garantizando que el material a tratar sea comprendido en sus características fundamentales antes de pasar a las fases de preparación y remediación.

Módulo 2. Preparación de muestras: está orientado al acondicionamiento de los materiales recolectados en campo, con el fin de garantizar su homogeneidad, representatividad y adecuación a las condiciones requeridas por la ruta de tratamiento seleccionada. Comprende operaciones unitarias de secado, reducción de tamaño y clasificación por tamizado, las cuales permiten obtener fracciones con distribución granulométrica controlada y compatibles con los parámetros definidos en la etapa de caracterización. Estas acciones no solo aseguran la reproducibilidad de los ensayos, sino que también optimizan la eficiencia en los procesos subsiguientes de separación o

lixiviación, al incrementar la superficie de reacción y minimizar la heterogeneidad del material. Asimismo, el módulo establece protocolos de homogenización que reducen sesgos asociados a la variabilidad natural de las muestras, asegurando que los resultados obtenidos sean comparables y transferibles a diferentes escenarios de aplicación en campo.

Módulo 3. Tratamiento y/o separación: corresponde al núcleo operativo del prototipo, donde se implementan las tecnologías de remediación previamente validadas en el laboratorio fijo. En este piloto se priorizó la ruta hidrometalúrgica, que involucra lixiviación controlada con reactivos alternativos de baja toxicidad y separación posterior de contaminantes mediante resinas de intercambio iónico. Este módulo puede complementarse con procesos de filtración o electrólisis, dependiendo de las características de las matrices tratadas. Su diseño modular permite flexibilidad para procesar diferentes materiales contaminados, asegurando eficiencia en la remoción de metales como mercurio, plomo y arsénico.

Módulo 4. Gestión de residuos: Este módulo garantiza el manejo seguro y responsable de los subproductos generados durante el proceso. Incluye la recolección de residuos sólidos y líquidos y el embalaje y etiquetado de muestras tratadas bajo protocolos de trazabilidad. De manera complementaria, este módulo contempla el embalaje técnico de muestras residuales y materiales parcialmente tratados, con el fin de ser remitidos a un laboratorio especializado en la Universidad Tecnológica del Chocó o al prototipo fijo de la UPTC en Tunja. Este esquema asegura la posibilidad de realizar estudios a mayor profundidad, tanto de carácter confirmatorio como de optimización, fortaleciendo el trabajo colaborativo e investigativo entre ambas instituciones. Este módulo no solo cumple una función operativa de cierre de ciclo en el prototipo móvil, sino que también habilita un canal de retroalimentación continua entre la validación en campo y la investigación en condiciones controladas de laboratorio, aportando a la mejora sistemática de las tecnologías de remediación.

Figura 47. Proceso de remediación propuesto por el equipo técnico de la UPTC e implementado en el prototipo móvil



3.5.4. Fase 3. Verificación de cumplimiento

El plan UNAL estructuró la Fase 3 como un ejercicio de verificación orientado a constatar la adopción de medidas correctivas bajo criterios normativos y administrativos. Este enfoque, centrado en el control documental y la trazabilidad formal, ofreció una base metodológica clara para la revisión de compromisos y responsabilidades. Sin embargo, su alcance no contemplaba una dimensión experimental que permitiera sustentar técnicamente la eficacia real de las tecnologías propuestas para el tratamiento de pasivos ambientales.

El piloto correctivo de la UPTC incorporó una dimensión sustantiva a esta fase, al concebir la verificación no como una simple constatación administrativa, sino como un proceso de validación técnico-operativa, centrado en el desempeño real de tecnologías específicas para la remediación. Esta reconceptualización metodológica se materializó en el diseño, implementación y operación de los dos prototipos complementarios (fijo y móvil).

Durante la etapa de evaluación de las medidas correctivas, el piloto desarrolló rutas de tratamiento metalúrgico con matrices contaminadas representativas del territorio. Este enfoque permitió no solo estimar la eficiencia en la recuperación de metales y la remoción de contaminantes, sino también evaluar la estabilidad de los residuos generados y la compatibilidad ambiental de los procesos propuestos. A diferencia del enfoque normativo inicial, la selección tecnológica no se basó en criterios teóricos, sino en parámetros medibles y reproducibles.

En la etapa de implementación, el piloto permitió escalar y adaptar los resultados experimentales al contexto operativo real. Los dos prototipos funcionaron como plataformas de validación técnica en condiciones de campo, aportando información crítica sobre tiempos de residencia, eficiencia energética, costos operativos, rendimiento por unidad de carga tratada y calidad del agua o subproductos obtenidos.

En cuanto a la fase de control y seguimiento, el piloto adoptó un esquema colaborativo que garantice su correcta operación y sostenibilidad. La gestión cotidiana corresponde a la entidad receptora del prototipo móvil, previamente capacitada en el uso de la tecnología. En el marco del convenio interinstitucional, la UPTC y su aliada académica participarán como instancias de soporte técnico mediante: capacitación inicial y entrega de manuales operativos, monitoreo periódico de parámetros críticos de desempeño, y asistencia técnica puntual, presencial o remota.

La Fase 3 del piloto correctivo superó el modelo de verificación administrativa, transformándose en un ejercicio de validación tecnológica integral, ya que además de constatar el cumplimiento formal de las medidas correctivas, demostró su eficacia práctica, escalabilidad (de prototipo fijo a móvil) y pertinencia territorial. Esta evolución metodológica fortalece la cadena de valor de la remediación minera al cerrar el ciclo entre diagnóstico, formulación, implementación y validación bajo condiciones reales, consolidando una ruta replicable y sostenible para la gestión de pasivos ambientales en contextos de pequeña minería aurífera.

Figura 48. Consolidado Fase 3- Verificación de cumplimiento. Plan UNAL-Piloto UPTC



3.5.5 Fase 4 – Cierre

Esta fase estaba concebida principal e inicialmente como una etapa de formalización: la expedición de actos administrativos que certificaran el cumplimiento de las medidas implementadas y permitieran declarar el cierre de los pasivos ambientales priorizados. Sin embargo, en el piloto correctivo de la UPTC, esta fase trascendió la verificación documental y se consolidó como un ejercicio de cierre técnico-operativo, basado en evidencias experimentales y en la capacidad instalada a nivel territorial.

En el piloto correctivo, la fase de cierre se enfocó en validar técnicamente la sostenibilidad de las soluciones implementadas. Más allá de verificar la ejecución de las medidas o acciones correctivas, se evaluó el desempeño real de los dos prototipos desarrollados. El prototipo fijo en Tunja permitió consolidar parámetros clave, como condiciones óptimas de lixiviación, eficiencia en resinas de intercambio iónico, estabilidad de residuos y balances de masa, generando una base técnica sólida. Paralelamente, el prototipo móvil, operando en campo, suministró evidencia concreta sobre costos, logística y adaptabilidad territorial, asegurando que la ruta tecnológica propuesta sea funcional, escalable y coherente con las condiciones reales de remediación.

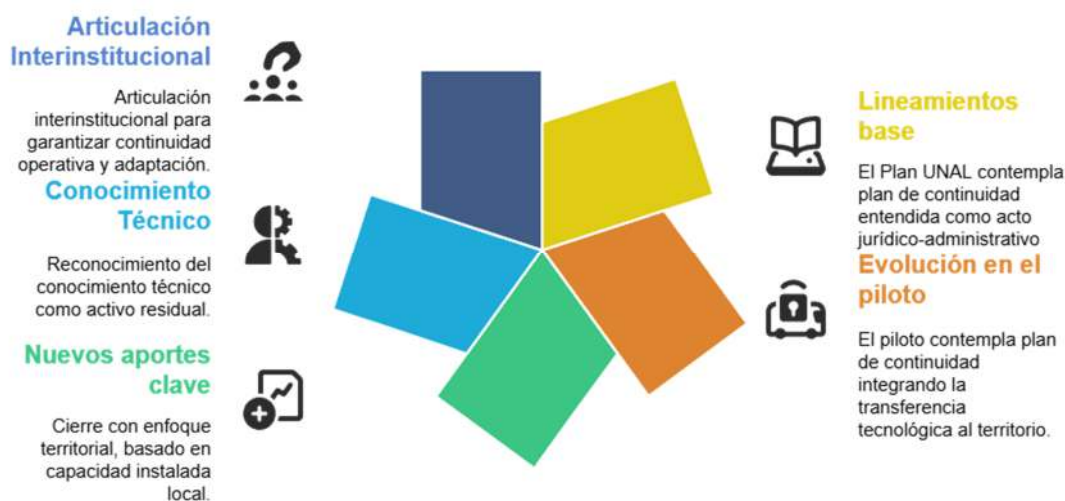
Asimismo, se incorporaron nuevos elementos no previstos en el Plan UNAL:

- La definición de protocolos estandarizados de operación y remediación, derivados de la experimentación previa, que permiten replicar las acciones en otros escenarios de pequeña minería.

- La inclusión de la transferencia tecnológica como criterio de cierre, asegurando que la Universidad del Chocó recibiera capacitación y capacidad instalada para continuar con las tareas de seguimiento, investigación y adaptación local.
- La consideración de la sostenibilidad técnica y económica de las medidas, no solo en el corto plazo, sino en su potencial de permanencia en el tiempo mediante la apropiación comunitaria y el uso de insumos de bajo impacto ambiental.

La Fase 4 del piloto correctivo se transformó de un acto administrativo de finalización a un hito de consolidación tecnológica y territorial, en el que el cierre se fundamenta en evidencia técnica, operación real de prototipos y transferencia de conocimiento. Este enfoque aporta al país un modelo de cierre que no se reduce a certificar el cumplimiento, sino que asegura que las soluciones implementadas permanezcan, evolucionen y se integren a las dinámicas locales de la pequeña minería.

Figura 49. Consolidado Fase 4- Verificación de cumplimiento. Plan UNAL-Piloto UPTC



3.6 Resultados técnicos y validación experimental

El desarrollo del piloto correctivo permitió avanzar de manera estructural en la caracterización y validación de rutas de tratamiento orientadas a la remediación de materiales contaminados generados por la pequeña minería aurífera en el Chocó. Este ejercicio se sustentó en datos experimentales y resultados analíticos obtenidos a partir de muestras reales, recolectadas en matrices representativas de arenas y/o relaves asociados a la actividad minera.

El procesamiento inicial se realizó en el laboratorio de la UPTC en Tunja bajo condiciones estrictamente controladas, garantizando la trazabilidad completa de cada muestra desde su recepción hasta el análisis final. Para asegurar la calidad de los resultados, cada matriz fue procesada y analizada por triplicado, lo que permitió evaluar la repetitividad y descartar posibles sesgos asociados a variabilidad instrumental o de preparación. Asimismo, se aplicaron normas técnicas específicas para cada ensayo empleado, lo que respaldó la validez de los datos obtenidos. El cumplimiento riguroso de estos protocolos permitió garantizar la confiabilidad y consistencia de los resultados,

consolidando un conjunto de datos robusto y estadísticamente consistente que sustenta las decisiones técnicas posteriores en el piloto.

3.6.1 Resultados experimentales y discusión

3.6.1.1 Descripción general del muestreo

Durante el desarrollo del piloto, se ejecutaron dos campañas de muestreo de campo orientadas a la caracterización de áreas afectadas por actividad minera aurífera, con especial énfasis en la determinación de metales con potencial tóxico como mercurio, plomo y arsénico. La primera campaña, realizada en diciembre de 2024, contempló la recolección de muestras en tres puntos específicos, denominados M1, M2 y M3. En una segunda campaña, efectuada en junio de 2025, se retomaron los mismos puntos para evaluar la estabilidad y variabilidad temporal de las condiciones geoquímicas, además de incorporar dos nuevos puntos adicionales M4 y M5, para ampliar el alcance espacial del estudio. Estos puntos correspondieron a áreas cercanas con probable presencia de acumulaciones aluviales recientes, posiblemente influenciadas por operaciones mineras activas. Aunque no se confirmó la existencia directa de actividad extractiva en el sitio, la morfología del terreno y la percepción auditiva de maquinaria aguas arriba, sugieren que dichos sedimentos podrían corresponder a vertimientos o depósitos secundarios derivados de labores mineras.

La información detallada sobre las coordenadas, condiciones de muestreo, protocolos de recolección y preservación de las muestras se encuentra consignada en el Anexo 8.

La metodología aplicada incluyó una estrategia de análisis dual: inicialmente, las muestras individuales recolectadas en campo fueron caracterizadas de manera puntual para identificar heterogeneidades espaciales y variabilidad mineralógica que pudieran influir en la distribución de los elementos de interés. Posteriormente, estas muestras fueron sometidas a un proceso de homogenización en laboratorio, generando muestras compuestas que representan de forma integrada las características geoquímicas del polígono de estudio.

Tabla 6. *Muestras representativas obtenidas mediante homogenización en laboratorio*

Muestra combinada	Fecha
CM1-1	12/2024
CM1-2	06/2025
CM2	06/2025

Fuente Elaboración Equipo UPTC.

Este enfoque combinó la resolución espacial detallada obtenida en la fase puntual con la representatividad global proporcionada por el análisis de las muestras homogenizadas, permitiendo optimizar los recursos analíticos y fortalecer la interpretación integral de los resultados.

Es importante resaltar que la segunda campaña de muestreo se llevó a cabo con el objetivo principal de recolectar un mayor volumen de material, necesario para evaluar su comportamiento a una escala intermedia de procesamiento, compatible con la capacidad operativa proyectada para el prototipo móvil. No obstante, esta etapa permitió validar adicionalmente la reproducibilidad de los ensayos metalúrgicos, de acuerdo a las

características geoquímicas y mineralógicas de las muestras. En virtud de lo anterior, se aclara que los procesamiento metalúrgicos descartados inicialmente luego de trabajar el material de la primera campaña (CM1-1), no fueron replicados con las muestras correspondientes a la segunda campaña (CM1-2 y CM2), dado que ya habían sido evaluados y desestimados técnicamente en fases previas.

3.6.1.2. Preparación mecánica y clasificación granulométrica

La caracterización de las muestras constituyó un eje metodológico esencial para sustentar las decisiones técnicas del piloto correctivo, ya que permitió establecer la naturaleza, el grado de contaminación y el potencial de riesgo ambiental asociado a las matrices recolectadas. Su diseño y ejecución respondieron a criterios de representatividad, trazabilidad y control experimental, asegurando que los resultados fueran consistentes, comparables y útiles para la formulación de estrategias de tratamiento metalúrgico.

El proceso inició con la conminución de las muestras para adecuarlas a los análisis posteriores. En la trituración primaria se empleó una trituradora de mandíbulas en configuración de circuito abierto, lo que garantizó una reducción controlada de la granulometría mediante esfuerzos de compresión. Posteriormente, el material fue sometido a molienda en un molino de bolas de operación discontinua, ajustando variables críticas como tiempo de residencia, velocidad de giro y relación bola-material, con el fin de alcanzar un tamaño óptimo para la caracterización y posterior procesabilidad metalúrgica. Finalmente, se utilizó una pulverizadora de discos para obtener una distribución granulométrica homogénea en el rango micrométrico, favoreciendo la representatividad en los análisis químicos.

La clasificación granulométrica se realizó mediante tamices normalizados ASTM E-11 con aberturas de 600, 425, 180, 100 y 90 μm , lo que permitió segmentar el material en fracciones específicas. Esta etapa no solo aportó información sobre la distribución de tamaños, sino que también permitió correlacionar fracciones con su comportamiento potencial en procesos de concentración o lixiviación.

Las muestras recolectadas mostraron una marcada heterogeneidad en su composición y mineralogía, condición evidenciada desde la inspección visual hasta los análisis instrumentales. Este hallazgo confirma la necesidad de una preparación mecánica rigurosa para homogenizar la matriz y asegurar representatividad en los ensayos. Se determinó que los metales de interés se concentran mayoritariamente en las fracciones finas, lo que implica la aplicación de conminución controlada como paso previo indispensable para garantizar una liberación efectiva en etapas posteriores de concentración y tratamiento.

Por otro lado, la distribución de tamaños resultó ser un factor crítico en la eficiencia de los procesos de disolución. Se corroboró que a medida que se reduce el tamaño de partícula, aumenta la superficie específica disponible para la reacción, lo que repercute en una mayor cinética de lixiviación.

3.6.1.3. Caracterización de las muestras

La caracterización de las muestras se realizó para los 3 materiales de estudio, considerando su relevancia en el análisis de resultados del procesamiento metalúrgico elegido para el prototipo móvil.

Caracterización química

Para la caracterización química, las muestras sólidas fueron previamente sometidas a digestión ácida asistida por microondas en el digestor Biobase modelo BMD-10H, bajo condiciones controladas conforme a los criterios técnicos definidos en el método EPA 3051A (SW-846 Test Method 3051A, 2024), lo que permitió una disolución eficiente de la matriz y la liberación de los elementos metálicos de interés para su posterior análisis. Para la caracterización química de las muestras, se emplearon dos técnicas instrumentales: espectrometría de absorción atómica (AA) utilizando un espectrofotómetro Perkin Elmer 3110, y espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado por microondas (MP-AES) mediante un espectrofotómetro Agilent 4210. Ambas técnicas se aplicaron conforme a las especificaciones operativas recomendadas por los fabricantes, las cuales aseguran alta sensibilidad, exactitud y estabilidad en la cuantificación de metales traza presentes en matrices ambientales.

La metodología analítica se basó en las normas establecidas en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater particularmente los métodos 3111 (Standard Methods Committee of the APHA, AWWA, & WEF, 2017a) y 3120 (Standard Methods Committee of the APHA, AWWA, & WEF, 2017b), para absorción atómica con llama y emisión atómica con plasma, respectivamente. La calibración de los espectrofotómetros se realizó empelando estándares certificados y demás recomendaciones del fabricante.

Tabla 7. Caracterización química de las muestras

Muestra combinada	Ley (ppm)			
	Hg	Pb	As	Au
CM1-1	0,59	800,1	23500,0	0,610
CM1-2	0,32	433,3	4516,7	0,009
CM2	1,34	21,6	106,0	0,920

Fuente Elaboración Equipo UPTC.

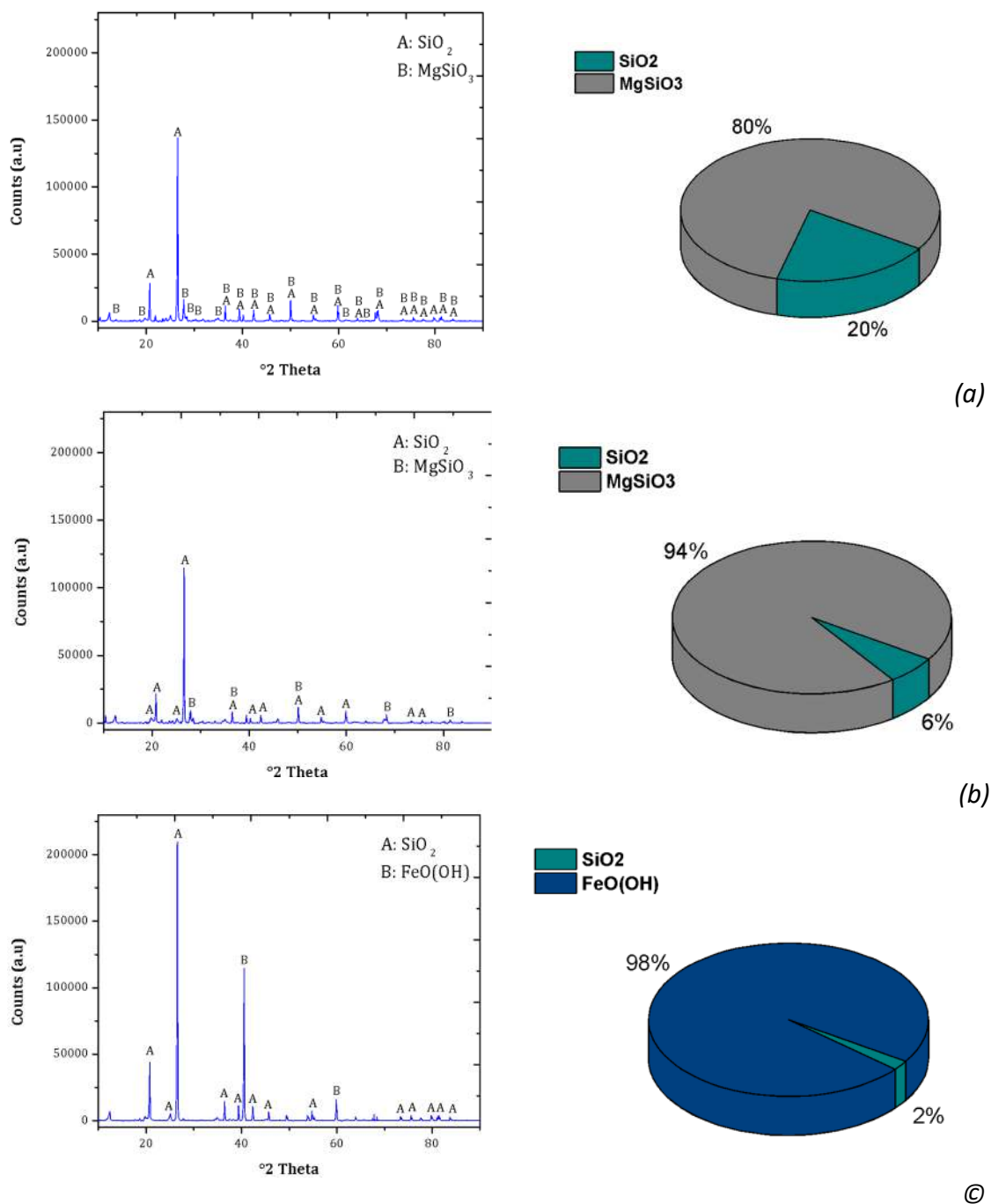
El análisis químico confirmó la presencia de mercurio en las muestras evaluadas, aunque su distribución no fue homogénea en toda el área de estudio. Esta variabilidad podría explicarse por la inactividad de la zona, las diferencias en las técnicas de beneficio empleadas, particularmente en el uso intermitente de amalgamación y por la movilidad del mercurio en condiciones ambientales específicas, que favorecen su volatilización o migración a otras matrices. Más allá del mercurio, los resultados revelaron concentraciones significativamente elevadas de plomo y arsénico, elementos comúnmente asociados a los sistemas auríferos del Chocó, caracterizados por su contenido en sulfuros complejos como la galena y la arsenopirita. Las actividades mineras, especialmente aquellas que implican remoción mecánica, fragmentación y exposición de estos minerales, inducen su oxidación y posterior liberación al ambiente, incrementando su movilidad hacia suelos y cuerpos de agua. La toxicidad, persistencia y capacidad de acumulación de mercurio, plomo y arsénico refuerzan la necesidad de

considerarlos como contaminantes prioritarios en los programas de monitoreo y remediación, orientando el diseño de estrategias específicas para mitigar su impacto ambiental y sanitario.

Caracterización mineralógica

La caracterización mineralógica se realizó mediante difracción de rayos X (DRX) en el equipo Panalytical X'pert Pro con software X'Pert HighScore, el cual emplea geometría Bragg-Brentano con tubo de cobalto, utilizando la base de datos ICDD® (International Center for Diffraction Data) para el análisis de los difractogramas. El procesamiento de los datos incluyó la corrección de fondo, eliminación de ruido instrumental y refinamiento estructural mediante el método de Rietveld, lo que permitió la cuantificación semicuantitativa de fases minerales presentes.

Figura 50. Difractogramas de Rayos X de las muestras de estudio: a) CM1-1, b) CM1-2, c) CM2. En el gráfico de la derecha se presenta un gráfico de pastel con los porcentajes relativos de las fases cristalinas identificadas mediante análisis cuantitativo.



Si bien el objetivo era establecer la forma mineralógica de mercurio, plomo y arsénico, los resultados mostraron predominantemente la presencia de dióxido de silicio (SiO_2), goetita (FeO(OH)) y silicatos de magnesio como fases cristalinas mayoritarias, sin evidencias directas de sulfuros o minerales portadores típicos de los metales objetivo. Esta ausencia puede atribuirse a la baja concentración relativa de Hg, Pb y As, a su

presencia en fases amorfas, minerales finamente diseminados o bien a su incorporación en matrices no cristalinas que escapan a la detección por DRX. No obstante, esta información mineralógica es clave para inferir el entorno geoquímico de las muestras, evaluar la estabilidad de los metales traza y anticipar su comportamiento en escenarios de movilización ambiental o tratamiento metalúrgico, en función de su posible adsorción, encapsulamiento o asociación secundaria con óxidos de hierro o filosilicatos.

Con esta caracterización, se dio paso a la fase experimental de validación de rutas de tratamiento. Se exploraron alternativas físicas, térmicas y acuosas, evaluadas en condiciones de laboratorio con cargas de procesamiento en el orden de gramos.

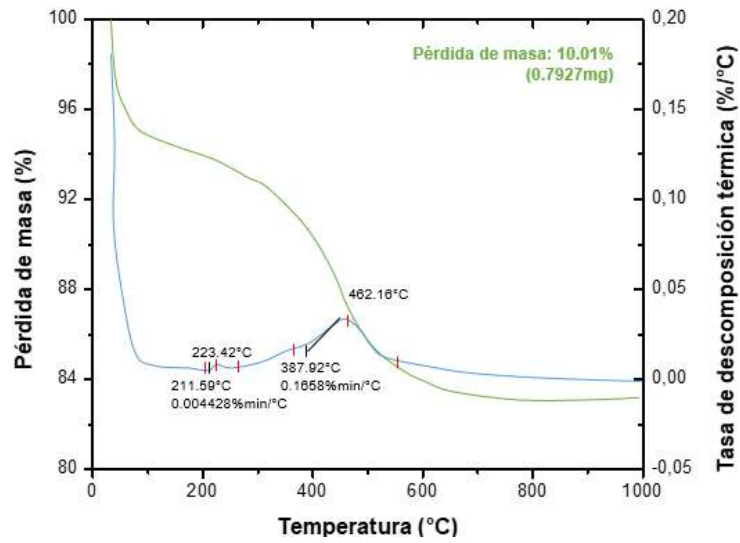
3.6.1.4. Procesamiento metalúrgico de muestras

Procesamiento por ruta térmica/pirometalúrgica

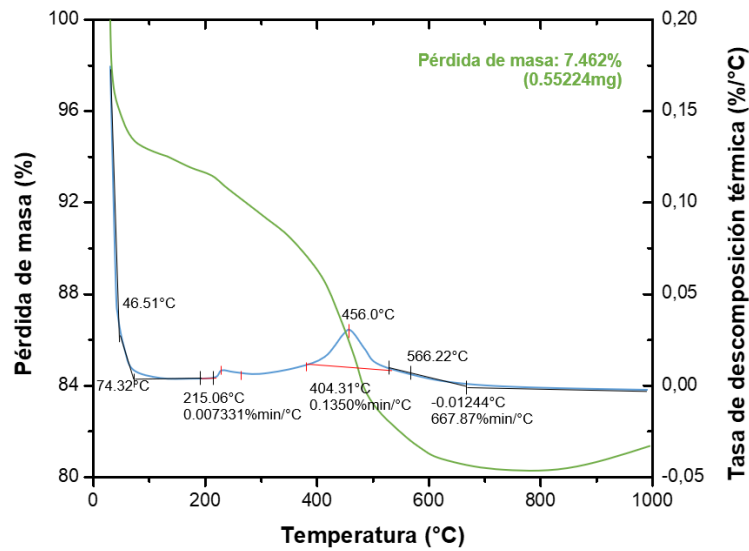
Con el objeto de evaluar la viabilidad de aplicar rutas pirometalúrgicas en el tratamiento de los materiales contaminados, se llevó a cabo un análisis termogravimétrico (TGA) para determinar la estabilidad térmica de la muestra CM1-1, así como la presencia de especies volátiles y las transformaciones de fases asociadas a la descomposición o volatilización de compuestos metálicos, aspectos clave cuando se busca definir si procesos térmicos pueden ser una vía adecuada para la liberación y recuperación de elementos como mercurio, plomo y arsénico. Una vez se contó con las muestras adicionales CM1-2 y CM2, se llevaron a cabo ensayos comparativos con el fin de verificar la homogeneidad y similitud entre las muestras, a pesar de haber sido recolectadas en diferentes momentos. El análisis TGA fue aplicado a las tres muestras utilizando el equipo TA Instruments SDT-Q600.

Los termogramas de las tres muestras analizadas presentan un comportamiento similar: una pérdida de masa acumulada moderada ($\approx 7\text{--}10\%$ hasta $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$), asociada principalmente a la liberación de humedad, fases débilmente ligadas y compuestos metálicos parcialmente oxidables sin evidencia de compuestos orgánicos volátiles en proporciones significativas ni de carbonatos dominantes. Se identificó un evento térmico principal entre $373\text{--}465\text{ }^{\circ}\text{C}$, consistente en las tres muestras, que corresponde a procesos de oxidación y descomposición de sulfuros, así como a la posible formación y volatilización de especies arsenicales (As_2O_3 por ejemplo). A bajas temperaturas ($\sim 45\text{--}75\text{ }^{\circ}\text{C}$) se registró una desorción inicial de humedad superficial y adsorbida.

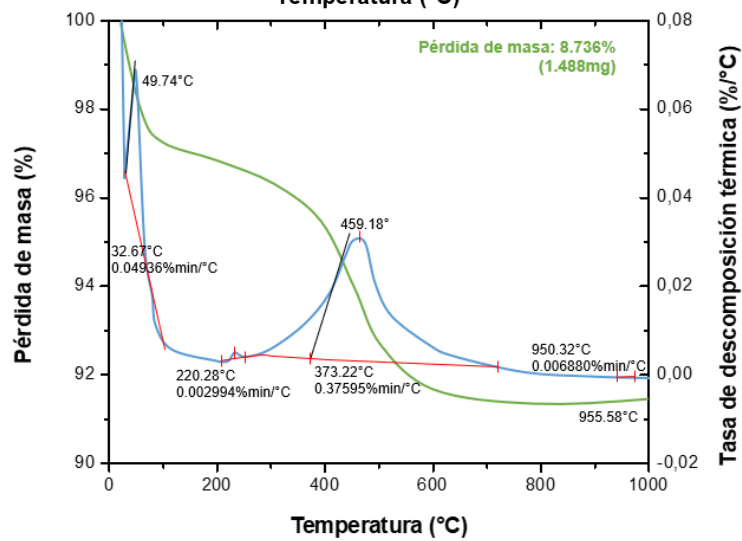
Figura 51. Curvas TGA y DTG de las muestras a) CM1-1, b) CM1-2, c) CM2. (Condiciones: Instrument SDT Q600 V20.9 Build 20. Module \rightarrow TGA Standard. Size \rightarrow 32.0800 \rightarrow mg. Ramp $10.00\text{ }^{\circ}\text{C/min}$)



a)



b)



c)

Como complemento al estudio termogravimétrico inicial, se realizaron ensayos de calentamiento en horno tipo mufla a la muestra CM1-1 a temperaturas controladas de

500°C, con tiempos de residencia de 2 horas, para evaluar preliminarmente la viabilidad de una ruta térmica en el tratamiento de los materiales contaminados. Durante estos ensayos, no se evidenció percepción olfativa de gases característicos como dióxido de azufre (SO_2), lo cual es consistente con la baja proporción de minerales sulfurados en las muestras, según lo confirmado por la mineralogía DRX. Esta ausencia de gases perceptibles también se atribuye a la volatilización de especies no odoríferas, como trióxido de arsénico (As_2O_3), que sublima en rangos de temperatura entre 300 °C y 450 °C, y cuya presencia representa un riesgo ambiental severo por su alta toxicidad y movilidad en fase gaseosa. Adicionalmente, el mercurio no mostró liberación significativa bajo las condiciones térmicas aplicadas, lo que sugiere su encapsulamiento en matrices minerales estables o su presencia en formas químicas no fácilmente volatilizables a las temperaturas evaluadas. En el caso del plomo, se evidenció una alta resistencia térmica de sus especies minerales predominantes, requiriendo temperaturas superiores a los 900 °C para fundido parcial o volatilización, lo cual conllevaría un consumo energético elevado y escasa eficiencia operativa. Tanto los resultados del análisis termogravimétrico como los ensayos en mufla refuerzan que la ruta térmica no es técnicamente viable ni ambientalmente segura para el tratamiento de estas matrices, dada la posibilidad de liberar compuestos altamente tóxicos y el bajo rendimiento en la remoción de contaminantes críticos como Hg, Pb y As.

Procesamiento por ruta física/concentración y beneficio

Esta metodología fue seleccionada por su carácter no destructivo y su reconocida eficacia en el contexto de la minería artesanal y de pequeña escala, particularmente para la recuperación de oro libre y minerales pesados, tal como lo establece el SME Mineral Processing & Extractive Metallurgy Handbook (Young, 2019). Desde el enfoque metalúrgico, las rutas de concentración gravimétrica y flotación permiten evaluar la liberación de fases minerales, su asociación con fracciones finas o pesadas, y la posibilidad de separar componentes útiles de los contaminantes, antes de considerar rutas más agresivas o costosas como el tratamiento químico o térmico (Young, 2019).

Como primera parte de la ruta física de beneficio, se utilizó una mesa Wilfley tipo laboratorio, diseñada para evaluar la recuperación de oro fino y estudiar el comportamiento de minerales pesados asociados a contaminantes metálicos. Se utilizó una mesa Wilfley de laboratorio, diseñada para separar minerales de alta densidad con base en su susceptibilidad al movimiento diferencial inducido por oscilación y flujo de agua. Durante las pruebas, el material CM1-1 previamente triturado y clasificado fue alimentado en pulpa a 15–20% de sólidos, con tamaño menor a 212 μm , inclinación media de 3,5° y una frecuencia de oscilación de aproximadamente 300 golpes por minuto. El proceso permitió una separación efectiva en tres fracciones: concentrado, middlings (intermedio) y colas.

El análisis de los productos obtenidos en la mesa Wilfley evidenció una heterogénea distribución de las especies metálicas de interés en las distintas fracciones. Aunque la mesa logró concentrar parcialmente componentes de alta densidad en el canal del concentrado, el comportamiento de los metales contaminantes fue complejo.

Las leyes de mercurio, plomo y arsénico en el concentrado, los middlings y las colas resultaron muy similares entre sí, sin evidenciar enriquecimiento significativo en la fracción de concentrado. Esto se confirma tanto en la tabla de leyes como en la de distribución metálica: el concentrado retuvo aproximadamente un 10 % de la masa total

y una fracción equivalente de los metales, mientras que la mayor parte de ellos (alrededor del 75 %) permaneció en las colas. Los middlings capturaron cerca de un 15 %, reflejando que una parte relevante de los contaminantes se dispersó en esta fracción intermedia en lugar de concentrarse de forma selectiva.

Tabla 8. Comportamiento de la ley metálica por mesa Wilfley

Producto	% en peso	Hg (ppm)	Pb (ppm)	As (ppm)	Au (ppm)
Concentrado	10	0,60	810	23600	0,58
Middlings	15	0,57	805	23550	0,61
Colas	75	0,59	797,8	23477	0,62
Total	100	0,59	800,1	23500	0,61

Fuente Elaboración Equipo UPTC.

Los resultados demuestran que no se generó un enriquecimiento detectable en los productos de mayor densidad.

Del mismo modo, la gráfica de distribución metálica en formato de barras apiladas muestra que la fracción predominante del mercurio, plomo y arsénico se ubica en las colas, con un aporte marginal en el concentrado y los middlings. En síntesis, la mesa Wilfley no logró diferenciar de manera efectiva los metales pesados de la ganga, lo cual sugiere que la mineralogía del material, posiblemente asociada a partículas finas, diseminadas o ligadas a fases oxidadas, limitó la eficiencia del proceso gravimétrico.

Figura 52. Distribución metálica en los productos de concentración obtenidos por mesa Wilfley

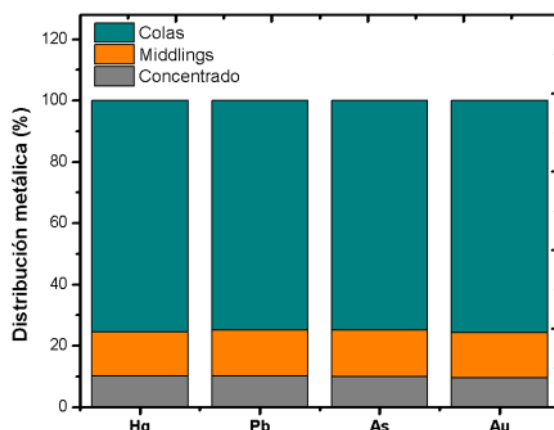


Tabla 9. Resultados de concentración gravimétrica

Producto	Distribución (%)			
	Hg	Pb	As	Au
Concentrado	10,0848	10,1237	10,0426	9,5082

Middlings	14,4915	15,0919	15,0319	14,8770
Colas	75,4237	74,7844	74,9255	75,6148

Fuente Elaboración Equipo UPTC.

Como resultado, aunque el proceso replicó técnicamente una ruta de beneficio utilizada en pequeña minería, sus limitaciones quedaron evidenciadas frente a matrices con mineralogía compleja y contaminantes no claramente liberados. La imposibilidad de aislar de forma eficiente las fases metálicas peligrosas y la potencial concentración de contaminantes en el producto enriquecido representan un riesgo operativo y ambiental.

La segunda etapa de concentración se enfocó en la flotación espumante con el objetivo de recuperar minerales sulfurados potencialmente portadores de arsénico y plomo, como galena, arsenopirita y sulfosales asociadas. Para ello, se utilizó una celda de flotación tipo Denver de laboratorio (volumen útil 1–2 L), operando bajo condiciones estandarizadas: la pulpa fue acondicionada al 25–30% de sólidos, con material previamente molido a un tamaño menor de 100 μm ; se ajustó el pH entre 7,5 y 9,0 mediante adición de NaOH, y se aplicó un esquema de reactivos con 100 g/t de xantato de sodio como colector específico para sulfuros metálicos y 20 g/t de metil isobutil carbinol como espumante. Aunque las condiciones operativas fueron técnicamente adecuadas, los resultados obtenidos no fueron satisfactorios desde el punto de vista metalúrgico: la espuma generada fue escasa, de baja estabilidad y con escaso arrastre de material, lo que reflejó una respuesta pobre del sistema mineralógico a la flotación.

El balance de la flotación espumante evidenció un comportamiento similar al observado en la mesa Wilfley. El concentrado, que representó apenas un 5 % de la masa total, mostró leyes comparables a las de los middlings y las colas, sin incrementos sustanciales en mercurio, plomo y arsénico. Al revisar la tabla de distribución metálica, se observa que menos del 6 % de cada metal fue recuperado en el concentrado, mientras que los middlings acumularon alrededor del 10 % y las colas concentraron más del 80 % de los contaminantes.

Tabla 10. Comportamiento de la ley metálica por flotación

Producto	% en peso	Hg (ppm)	Pb (ppm)	As (ppm)	Au (ppm)
Concentrado	5	0,62	880	23800	0,65
Middlings	10	0,60	810	23550	0,61
Colas	85	0,59	794	23476	0,61
Total	100	0,59	800,1	23500	0,61

Fuente Elaboración Equipo UPTC.

Los resultados muestran que las diferencias entre los productos son mínimas, lo que demuestra que la flotación no favoreció la captura preferencial de los metales de interés.

La gráfica de distribución metálica muestra que la fracción predominante de los metales de estudio se retuvo en las colas, confirmando que el sistema de reactivos y condiciones empleadas no fue capaz de movilizar selectivamente los compuestos presentes hacia la espuma. Este resultado indica que la flotación, bajo las condiciones aplicadas, no es una técnica adecuada para la preconcentración de este material, posiblemente debido a la naturaleza mineralógica del mercurio, plomo y arsénico, ligados a fases oxidadas o

sulfuros parcialmente alterados que no responden de manera efectiva a los colectores convencionales.

Figura 53. Distribución metálica en los productos de concentración obtenidos por flotación espumante

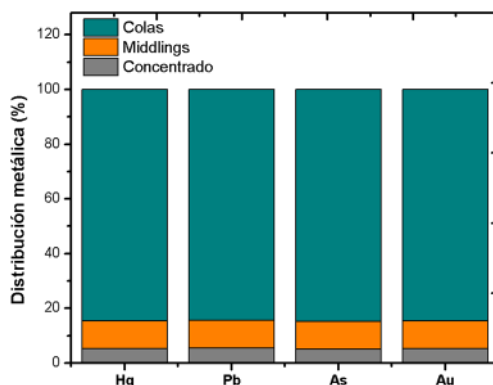


Tabla 11. Resultados de flotación espumante

Producto	Distribución (%)			
	Hg	Pb	As	Au
Concentrado	5,2542	5,4993	5,0638	5,3279
Middlings	10,0847	10,1237	10,0213	10,0000
Colas	84,6610	84,3770	84,9149	84,6721

Fuente Elaboración Equipo UPTC.

Los resultados de ambas técnicas empleadas permiten afirmar que ni la concentración gravimétrica en mesa Wilfley ni la flotación espumante resultaron efectivas para la separación o reducción de Hg, Pb y As en el material ensayado. En ambos casos, la mayor parte de los metales pesados terminó en las colas, mientras que los concentrados retuvieron proporciones mínimas y sin enriquecimiento selectivo. La presencia de middlings con fracciones intermedias de metales confirma que la liberación y la asociación mineralógica desempeñan un papel limitante que impide la eficiencia de estos métodos de concentración convencional.

Por tanto, se concluye que la mineralogía del material no favorece la separación gravimétrica ni la flotación en condiciones estándar, y que será necesario explorar rutas alternativas de procesamiento si se busca una remoción o aprovechamiento más eficiente de los metales pesados presentes.

De manera adicional, y considerando que el oro por sus características mineralógicas y su densidad, suele ser objeto de recuperación mediante métodos de concentración gravimétrica, mientras que su asociación con sulfuros lo hace también susceptible de ser beneficiado por flotación espumante, en el desarrollo del piloto correctivo no se observó un comportamiento favorable bajo ninguna de estas dos rutas. En la mesa Wilfley, el concentrado no presentó un aumento sustancial en la ley de oro respecto a los middlings y colas, lo que indica que el oro no se encuentra mayoritariamente como partículas libres y pesadas susceptibles de ser separadas por gravedad. En la flotación,

de manera similar, mostró una distribución poco selectiva, permaneciendo en gran proporción en las colas y con una recuperación marginal en el concentrado. Esto sugiere que el oro se encuentra finamente diseminado o asociado a sulfuros arsenicales, lo cual limita su captura por métodos físicos convencionales.

Procesamiento por ruta acuosa/hidrometalúrgica

El procesamiento por vía acuosa, específicamente mediante técnicas hidrometalúrgicas, se contempló como una alternativa técnica viable para el tratamiento de materiales contaminados debido a su capacidad para disolver metales en matrices geológicas complejas a temperaturas moderadas (ambiente) y bajo condiciones químicas controladas, como pH, potencial redox y agentes complejantes. Esta ruta ofrece ventajas frente a métodos térmicos o pirometalúrgicos, ya que permite una mayor selectividad en la recuperación o inmovilización de especies metálicas, con menores emisiones y mejor control de los subproductos generados, siendo además compatible con operaciones a escala piloto y tecnologías móviles de remediación (Habashi, 1999; Gupta & Mukherjee, 2019).

Los ensayos preliminares fueron diseñados a partir del análisis termodinámico de las especies metálicas objetivo, considerando su estabilidad en medios oxidantes y ácidos. El mercurio elemental (Hg^0), aunque escasamente soluble, puede ser oxidado a formas solubles como Hg^{2+} en presencia de agentes oxidantes fuertes (HNO_3 , Cl_2), mientras que el plomo, comúnmente presente como PbS (galena), muestra una disolución favorable en medio ácido en presencia de oxidantes como H_2O_2 o Fe^{3+} . Por su parte, el arsénico, frecuentemente contenido en arsenopirita (FeAsS), requiere condiciones redox adecuadas para liberar As^{5+} en forma de arsenatos, solubles en medio ácido u oxidante (Nordstrom & Majzlan, 2014).

Con el objetivo de avanzar hacia un proceso de remediación más sostenible, se ensayaron diversos reactivos alternativos a los ácidos y bases fuertes comúnmente utilizados en hidrometalurgia. Dentro de los reactivos evaluados, se incluyeron agentes orgánicos de carácter carboxílico debido a su estructura polidentada y su capacidad para formar complejos estables con metales pesados presentes en matrices contaminadas. Estos compuestos poseen grupos funcionales carboxilo ($-\text{COOH}$) y, en algunos casos, grupos hidroxilo adyacentes, que actúan como centros donadores de electrones, permitiendo la formación de quelatos con geometrías preferenciales que favorecen la solubilización de especies metálicas bajo condiciones suaves de pH y temperatura (Martell & Hancock, 1996).

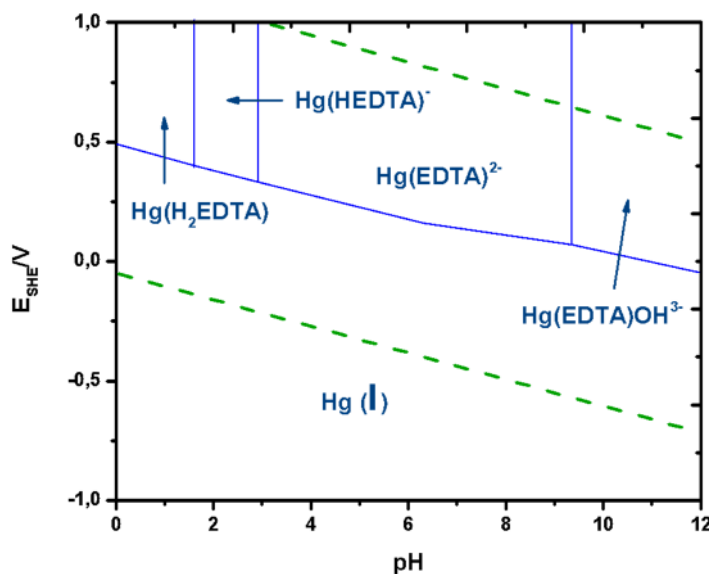
La selección de estos agentes carboxílicos como lixiviantes se basó en su eficacia para solubilizar metales traza en matrices complejas, así como en su carácter biodegradable, baja toxicidad y capacidad de recirculación en sistemas cerrados. Estas propiedades los posicionan como opciones sostenibles frente a reactivos inorgánicos agresivos, en línea con los principios de tecnologías limpias para remediación ambiental y su aplicación en prototipos móviles (Azizi et al., 2024; Young, 2019). En este documento se presentan únicamente los resultados obtenidos con los reactivos que mostraron mayor viabilidad técnica en condiciones controladas de laboratorio: Ácido etilendiaminotetraacético como agente lixiviante (en adelante EDTA) y cloruro férrico (FeCl_3) como agente oxidante.

La construcción de diagramas de estabilidad termodinámica (Pourbaix) para estos sistemas permitió definir las ventanas operativas más eficientes para la lixiviación, maximizando la remoción de contaminantes y minimizando la disolución de matrices no

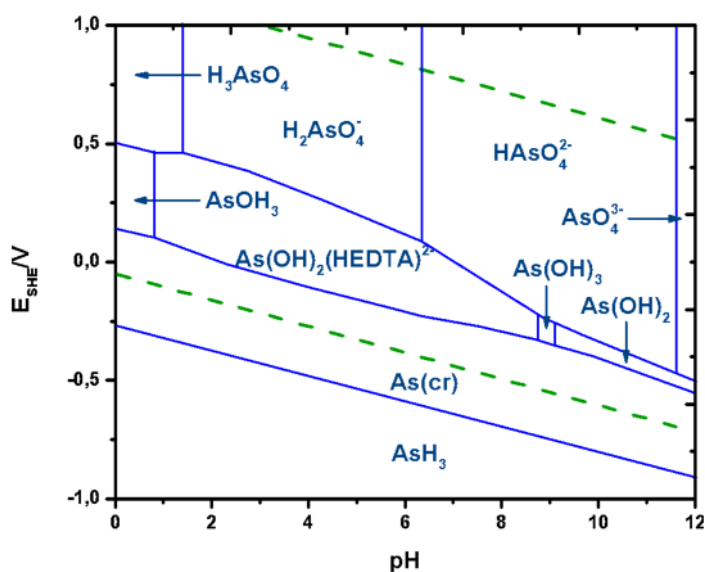
deseadas. Estos diagramas de predominancia se elaboraron mediante el software MEDUSA© (Making Equilibrium Diagrams Using Simple Algorithms) (Eriksson, 1979; Puigdomenech, 2004), utilizando ecuaciones de equilibrio en soluciones acuosas. Los datos termodinámicos fueron contrastados con la base NIST 46 (NIST, 2004), permitiendo definir las condiciones de estabilidad de las especies de Hg, Pb y As en función del pH y Eh. Esta herramienta fue clave para orientar los ensayos hidrometalúrgicos hacia condiciones efectivas y ambientalmente seguras.

Los diagramas de estabilidad muestran que el mercurio presenta una disolución efectiva en soluciones de EDTA, independientemente del pH. No obstante, su comportamiento está condicionado por el potencial de la solución: en medios alcalinos y a valores por debajo de 0 mV, el mercurio tiende a permanecer en estado metálico líquido, mientras que con el incremento de la acidez el rango de estabilidad se desplaza, alcanzando potenciales cercanos a 500 mV. En el caso del arsénico y el plomo, se observa una tendencia similar, ya que su solubilidad no depende significativamente del pH y, a diferencia del mercurio, el potencial aplicado no representa una limitante tan importante para la formación de complejos estables con el EDTA.

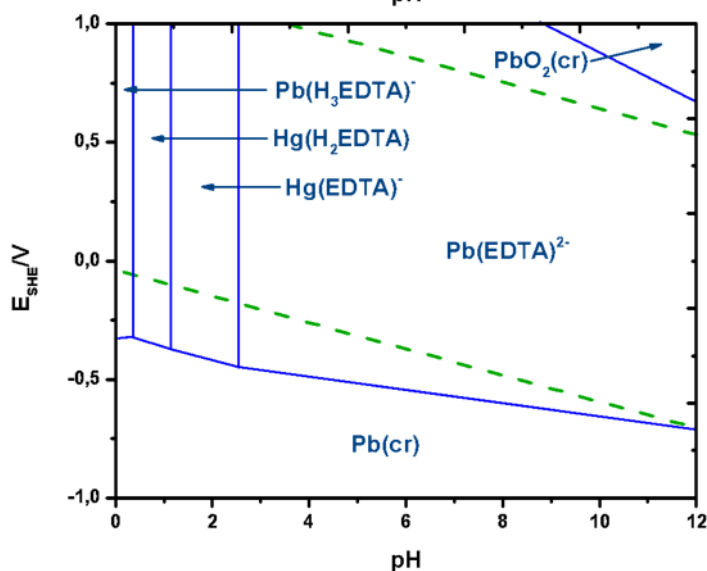
Figura 54. Diagramas de estabilidad para mercurio (a), arsénico (b) y plomo (c) con EDTA 0.5 M. Elaborados con software MEDUSA©



(a)



(b)



(c)

Los ensayos experimentales de lixiviación se realizaron a temperatura ambiente de la ciudad de Tunja-Boyacá (15-17°C) y mediante la técnica de lixiviación por agitación, para ello, se emplearon agitadores mecánicos tipo paleta, sin baffles (Model 50006-03 - COLE-PARMER). El potencial de las soluciones fue monitorizado empleando un electrodo de Ag/AgCl saturado (Oakton pH ORP 700 Benchtop Meter), posteriormente los valores fueron ajustados al electrodo estándar de hidrógeno (SHE). Las alícuotas tomadas en los experimentos pasaron por un filtro para jeringa de 0.45 μm y luego fueron diluidas y cuantificadas por emisión atómica.

En esta etapa, se comparó la efectividad de los agentes en cuanto a la cantidad de metal extraído. De esta manera, fue posible seleccionar el mejor reactivo lixiviante y el agente oxidante para estudiar y evaluar las demás variables influyentes en el sistema:

- Velocidad de agitación: Afecta la transferencia de masa entre las fases sólida y líquida. Una agitación adecuada mejora la disolución de metales al evitar la formación de capas límite en la superficie del sólido, facilitando el contacto reactivo. Sin embargo, velocidades excesivas pueden provocar fenómenos

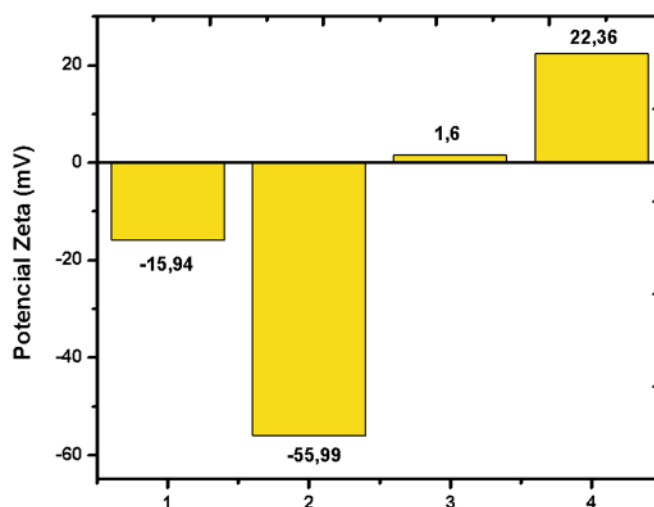
indeseados como la resuspensión de partículas finas o la degradación de reactivos.

- Concentración molar del reactivo lixiviante: Determina el potencial químico disponible para la disolución de los elementos de interés. Una mayor concentración suele aumentar la velocidad de lixiviación hasta alcanzar un punto de saturación o equilibrio, tras el cual no se observan mejoras significativas y pueden aumentar los costos o la generación de residuos.
- Concentración del reactivo oxidante: La presencia y concentración adecuada del agente oxidante es crucial en la disolución de plomo, arsénico y mercurio, los cuales frecuentemente se encuentran como sulfuros u óxidos poco solubles. En particular, la oxidación previa o simultánea de estas especies permite transformarlas en formas más solubles: $\text{As(III)} \rightarrow \text{As(V)}$, $\text{Hg}^0 \rightarrow \text{Hg}^{2+}$, $\text{PbS} \rightarrow \text{Pb}^{2+}$. La eficacia del proceso depende fuertemente de la disponibilidad del oxidante, ya que una concentración insuficiente puede limitar la conversión química y, por tanto, la recuperación del metal. Por otro lado, concentraciones excesivas pueden inducir reacciones secundarias no deseadas o generar especies más tóxicas o difíciles de manejar, como el arsénico volátil (As_2O_3) en condiciones ácidas.
- Relación sólido: líquido (S:L): Influye en la eficiencia del contacto reactivo. Proporciones más diluidas (menor carga sólida) favorecen la extracción por aumentar la disponibilidad del reactivo por unidad de masa de sólido, aunque pueden disminuir la productividad del sistema. Relaciones más concentradas (mayor carga sólida) pueden limitar la extracción por agotamiento local del reactivo y aumentar la viscosidad del sistema.

La interpretación de los diagramas de estabilidad se fortalece al articularse con el análisis de potencial zeta realizado en el equipo SurPASS 3, el cual evidencia cómo las modificaciones en la carga superficial del material, registradas bajo diferentes condiciones de contacto con EDTA y agua tanto en la muestra en bruto como en la lixiviada (con EDTA y FeCl_3), se relacionan directamente con la solubilidad, movilidad y complejación de mercurio, arsénico y plomo.

Figura 55. Potencial Zeta.

Potencial Zeta. Muestra en bruto + agua; 2. Muestra en bruto + EDTA 0.5M; 3. Muestra lixiviada + EDTA 0.5 M, 4. Muestra lixiviada + agua.



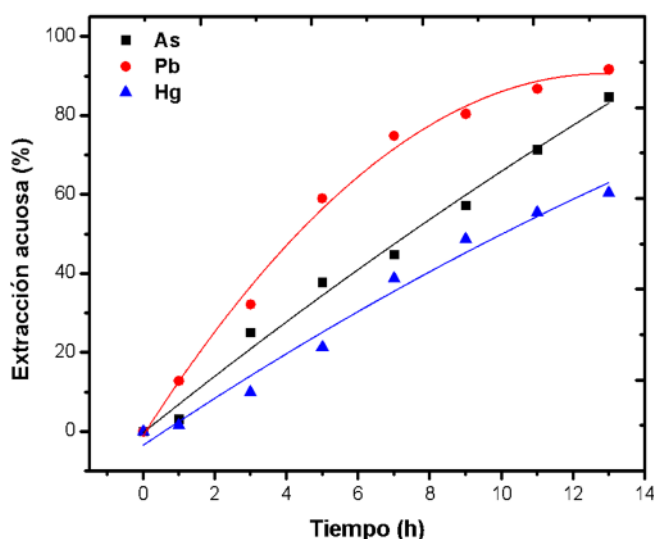
El tratamiento de la muestra en bruto con EDTA generó un potencial zeta fuertemente negativo ($-55,99$ mV), lo que confirma que el quelante altera de manera significativa la química superficial al adsorber grupos carboxilato y formar complejos aniónicos con cationes metálicos. Este comportamiento favorece la solubilización de Pb^{2+} y Hg^{2+} mediante complejos estables con EDTA, y, en condiciones oxidantes moderadas, permite también la permanencia en solución del arsénico, ya sea como As(III) o tras su conversión a As(V). La fuerte negatividad del potencial zeta indica una suspensión estable con elevada carga superficial que dificulta la readsorción de estos elementos sobre la matriz sólida, lo cual resulta crítico para asegurar su movilización efectiva. De esta manera, el empleo conjunto de EDTA y FeCl_3 se justifica en términos de complementariedad funcional, ya que el EDTA, por su elevada constante de estabilidad en la formación de complejos con cationes metálicos como Pb^{2+} y Hg^{2+} , favorece su solubilización y permanencia en fase acuosa; mientras que el FeCl_3 , en su rol de agente oxidante, facilita la conversión de As(III) a As(V) y la estabilización de este último en condiciones controladas.

Los ensayos de lixiviación realizados en el prototipo fijo en Tunja permitieron establecer parámetros fundamentales para el tratamiento hidrometalúrgico de muestras contaminadas con metales pesados. En primera instancia, se evaluó el efecto de la concentración molar de EDTA (0,1; 0,3 y 0,5 M), observándose que la concentración de 0,5 M resultó ser la más eficiente para la extracción de Plomo, Mercurio y Arsénico. Este comportamiento se explica desde la química de coordinación, ya que el EDTA presenta constantes de estabilidad muy elevadas con Pb^{2+} y Hg^{2+} , por lo cual un exceso del ligando asegura que la reacción de complejación se desplace completamente hacia la formación de especies solubles. A bajas concentraciones (0,1 M), la disponibilidad de grupos carboxilato es insuficiente para saturar los sitios metálicos de la matriz, lo que limita la movilización. Con 0,5 M se maximiza la relación ligando/metal, asegurando la estabilidad de la fase sólida dispersa, condición coherente con los potenciales zeta fuertemente negativos registrados.

En cuanto al oxidante, la dosificación de FeCl_3 en 0,1 M durante 7 horas de lixiviación se identificó como la condición más adecuada. Este resultado tiene soporte en dos factores metalúrgicos: el primero, el Fe^{3+} asegura la oxidación de As(III) a As(V), especie

más estable y susceptible de complejación o permanencia en solución bajo el medio quelante; y el segundo, la dosis seleccionada evita una sobresaturación de Fe^{3+} que podría derivar en precipitación masiva de hidróxidos, los cuales competirían con el EDTA en la captura de metales. Adicionalmente, la agitación mecánica a 400 rpm garantizó un régimen de dispersión sólido-líquido eficiente, reduciendo las limitaciones de transferencia de masa y favoreciendo tanto la difusión del EDTA hacia los poros de la matriz como la homogenización del oxidante en la pulpa.

Figura 56. Extracción acuosa de los metales de estudio en el prototipo fijo (laboratorios UPTC-Tunja)



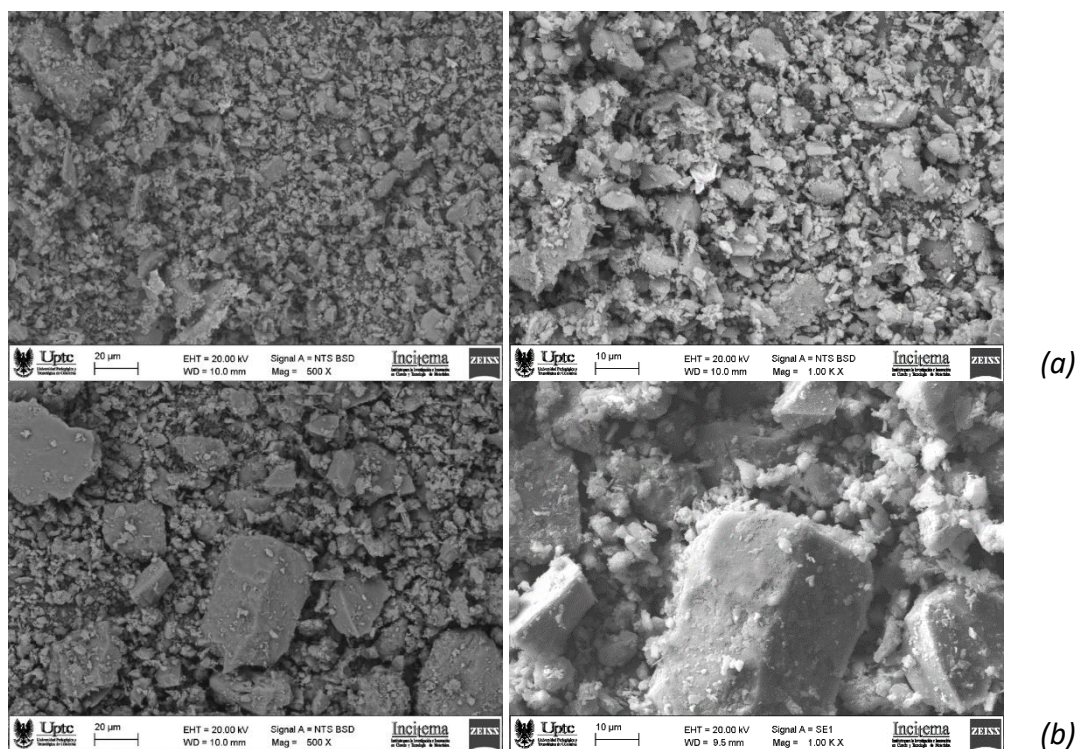
Los resultados de este estudio a escala reducida fueron clave para el escalamiento hacia el prototipo móvil. El criterio metalúrgico aplicado consistió en mantener la razón molar ligando/metál y el tiempo de contacto efectivos, ajustando los volúmenes de pulpa y masa de sólido de forma proporcional. De esta manera, se establecieron condiciones de operación con 2 litros de solución de EDTA 0,5 M, 200 gramos de material contaminado y una concentración final de oxidante en pulpa de 0,0231 M. Este ajuste permitió trasladar el sistema desde escala de laboratorio a un escenario semi-piloto, sin comprometer la eficiencia de extracción ni el control de estabilidad de los complejos metálicos en solución.

En términos de resultados, en el prototipo fijo (ensayos iniciales) se lograron concentraciones de extracción del orden de 520 ppm de Pb, 0,059 ppm de Hg y 12.925 ppm de As en las soluciones finales bajo las mejores condiciones operativas (EDTA 0,5 M + FeCl_3 0,1 M, 7 h). Al escalar al prototipo móvil, se observaron valores ligeramente inferiores por efecto de la mayor carga sólida y las limitaciones de mezcla inherentes a mayor volumen, alcanzándose extracciones de 468 ppm de Pb, 0,053 ppm de Hg y 11.633 ppm de As. No obstante, estas concentraciones mantienen una tendencia consistente y validan la reproducibilidad del sistema, demostrando que la metodología de escalamiento aplicada fue adecuada.

Los análisis confirman esta tendencia, evidenciando una disminución de los elementos asociados a óxidos y arcillas que recubrían parcialmente los sulfuros y minerales metálicos, lo que facilita la liberación de Plomo, Mercurio y Arsénico hacia la solución.

Adicionalmente, mediante Microscopia Electrónica de Barrido se observa que, tras el tratamiento, las superficies minerales presentan morfologías más limpias y definidas, correlacionando con la extracción de estos metales y la remoción parcial de recubrimientos superficiales. Estos hallazgos validan la selectividad y reproducibilidad del sistema, demostrando que la metodología de escalamiento aplicada fue adecuada para extraer mercurio, plomo y arsénico de manera controlada.

Figura 57. Micrografías del material en bruto (a) y lixiviado (b).



La etapa de purificación de los licores mediante resinas de intercambio iónico constituyó un paso clave en la separación y control ambiental de metales pesados presentes en los materiales provenientes de labores auríferas. En este caso, se empleó la resina Seplite LSC 740, una resina de carácter fuertemente ácido con grupos funcionales sulfonato ($-\text{SO}_3^-$), reconocida por su alta selectividad hacia cationes metálicos pesados en solución. A diferencia de los sistemas convencionales en columna, la metodología se diseñó con agitación mecánica (300 rpm), lo que garantizó un contacto íntimo y homogéneo entre la fase líquida (licor) y la fase sólida (resina), maximizando la cinética de intercambio.

Antes de iniciar el proceso de adsorción de metales pesados, las resinas utilizadas fueron sometidas a un protocolo de activación cuidadosamente controlado para garantizar su máxima capacidad de intercambio iónico y selectividad. La resina LSCP 740 se acondicionó en su forma protonada mediante tratamiento con HCl 1,4 M, lo que asegura que los sitios activos de la resina estén cargados con protones y preparados para intercambiar cationes metálicos presentes en el licor. Esta activación es fundamental para optimizar la captura de metales como Pb y Hg, que se encuentran en forma catiónica en solución. En paralelo, la resina Lewatit Mono Plus fue activada con NaOH 0,75 M, generando su forma hidroxilo, lo que permite el intercambio aniónico y

favorece la adsorción de especies metálicas complejadas, como los arsenatos o otros aniones metálicos presentes en el licor. Este acondicionamiento previo asegura que ambas resinas operen con eficiencia máxima y estabilidad química, evitando pérdida de capacidad durante las etapas sucesivas de tratamiento.

Dada la compleja composición de los licores de lixiviación, que contenían concentraciones elevadas de Plomo, Mercurio y Arsénico, se estableció un esquema de múltiples etapas de contacto para lograr una remoción completa de los metales. Al mezclar la resina con el licor en una proporción 2:1 (resina:licor), se observó que la resina alcanzaba saturación en aproximadamente 15 minutos, indicando que, a partir de ese tiempo, la adsorción adicional era mínima. Para garantizar la limpieza total del licor y reducir las concentraciones residuales de todos los metales pesados a niveles seguros, fue necesario implementar 9 ciclos consecutivos de adsorción, activando y cambiando la resina entre cada etapa. Este procedimiento escalonado permitió mantener la eficiencia de remoción, logrando que Plomo, Mercurio y Arsénico fueran extraídos progresivamente hasta alcanzar la eficacia requerida. La combinación de activación adecuada de las resinas y la estrategia de múltiples etapas de contacto demostró ser efectiva y reproducible, validando la metodología aplicada para el tratamiento de licores metalúrgicos complejos.

Escalamiento experimental de prototipo fijo a móvil. Validación y optimización de condiciones operativas

El proceso de lixiviación fue escalado desde los ensayos de laboratorio en el prototipo fijo hacia el prototipo móvil, constituyendo un paso crítico para validar la eficiencia metalúrgica y la reproducibilidad del tratamiento de los materiales contaminados. Este enfoque permitió evaluar la transferencia de masa, la cinética de disolución y la disponibilidad de lixivante en volúmenes superiores, preservando la relación sólido:líquido, las condiciones químicas y los parámetros operativos óptimos definidos a escala laboratorio. Asimismo, facilitó la identificación de limitaciones inherentes al incremento de carga sólida y volumen de solución, tales como la heterogeneidad de la mezcla, la sedimentación parcial de partículas o la variación de gradientes de pH y potencial redox, factores determinantes para la extracción de metales pesados como As, Pb y Hg. La operación del prototipo móvil permitió extrapolar los resultados de laboratorio a condiciones de campo, asegurando que los principios de la química de lixiviación y la ingeniería de procesos se mantuvieran consistentes durante el escalamiento.

Las principales consideraciones técnicas en el escalamiento fueron:

- **Relación Sólido: Líquido constante:** Mantener una relación sólido-líquido (S/L) constante es un aspecto crítico para la reproducibilidad y eficiencia del proceso de lixiviación. Esta relación asegura que la concentración de lixivante y del agente oxidante sea proporcional a la masa de sólidos, permitiendo que la estequiometría de las reacciones de complejación con EDTA sea óptima. En condiciones de laboratorio y prototipo móvil, se utilizó una relación de $100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, lo que permitió maximizar la disponibilidad de sitios de quelación y la eficiencia de extracción de metales pesados como Pb^{2+} , Hg^{2+} y $\text{As}^{3+}/\text{As}^{5+}$, evitando la saturación del ligando y minimizando la formación de especies precipitadas que podrían reducir la recuperación. Esta parametrización también facilita la

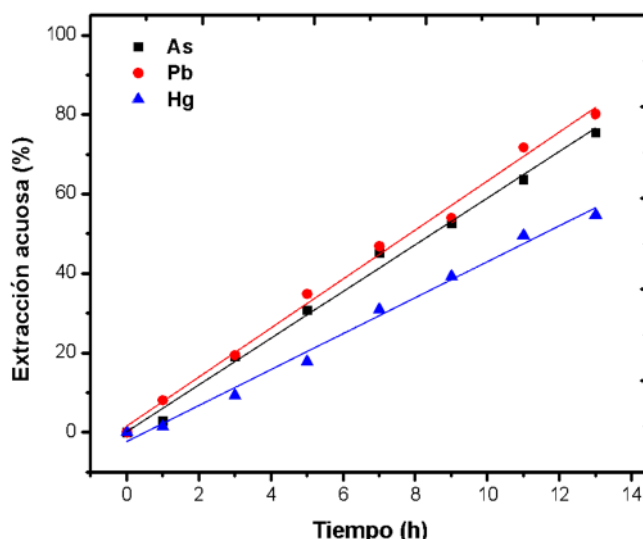
escalabilidad, al servir como referencia para dimensionar los volúmenes de lixiviante necesarios en sistemas de mayor capacidad.

- **Velocidad de agitación:** La agitación es determinante para optimizar la transferencia de masa entre los sólidos y la fase líquida, reduciendo gradientes de concentración y asegurando que los metales pesados se encuentren disponibles para formar complejos estables con EDTA. La intensidad y geometría del impulsor afectan la turbulencia y la homogeneidad de la mezcla, evitando zonas muertas o sedimentación de partículas, fenómenos que comprometen la eficiencia del proceso. Para el prototipo móvil, se estableció un rango de 400–500 rpm y un torque máximo de 60 N·cm, reproduciendo las condiciones de turbulencia del prototipo fijo. Este control permite que la cinética de lixiviación observada a escala pequeña pueda mantenerse al escalar el sistema, asegurando una extracción consistente de los metales de estudio.
- **Control de parámetros operativos:** La especiación química de los metales pesados depende directamente de parámetros como pH, potencial redox y temperatura. En la lixiviación se mantuvo un pH levemente alcalino para favorecer la formación de complejos solubles. El potencial redox controlado asegura que los metales permanezcan en estados de oxidación compatibles con la estabilidad del complejo, mientras que la temperatura de operación, registrada en Tunja (aprox. 17°C), se consideró dentro de un rango tolerable para la cinética de reacción. La eventual operación en Chocó, con temperaturas más altas (≈26–28° C), podría incrementar ligeramente la velocidad de lixiviación, sin comprometer la estabilidad del reactivo lixiviante ni la eficiencia global del proceso.
- **Tiempo de Contacto:** El tiempo de contacto define la extensión de la interacción entre lixiviante y sólidos. Para el prototipo móvil, se estableció un tiempo de agitación de 13 h, suficiente para alcanzar niveles significativos de extracción en condiciones controladas. Al considerar escalamiento a mayores volúmenes, se reconoce que la cinética efectiva puede reducirse por limitaciones de difusión y mayor masa de sólidos, por lo que se sugiere un monitoreo periódico de concentraciones de Pb, Hg y As en solución para ajustar el tiempo operativo y asegurar que la extracción se mantenga dentro de los niveles proyectados.

Durante el escalamiento del proceso desde el prototipo fijo al móvil, se observó una leve disminución en la eficiencia de extracción de metales pesados, atribuible principalmente a factores cinéticos y de transferencia de masa asociados al aumento de volumen y la concentración de sólidos. El mayor volumen y la masa total de sólidos incrementan la resistencia a la transferencia de masa, generan posibles zonas con menor turbulencia y favorecen la sedimentación parcial de partículas, mientras que la heterogeneidad mineralógica del material provoca que algunas fracciones metálicas sean menos accesibles al agente quelante. Como resultado, las extracciones alcanzadas a escala del prototipo móvil fueron ligeramente menores que en el prototipo fijo: Pb pasó de 91.62% a 80.13%, As de 84.69 a 75.42 y Hg de 60.38 a 54.74%. Para mejorar la

eficiencia en futuras escalas, se recomienda optimizar el diseño del tanque de agitación para minimizar zonas muertas, ajustar la geometría del impulsor, evaluar posibles aumentos en el tiempo de contacto o concentración de lixiviante, y realizar estudios cinéticos adicionales que permitan balancear masa, volumen y energía de agitación en función de la cantidad de material a procesar.

Figura 58. Extracción acuosa de los metales de estudio a escala del prototipo móvil



Es importante destacar que la eficiencia de extracción no depende únicamente de las condiciones operativas, sino también de la naturaleza intrínseca del material procesado. Factores como la mineralogía de origen, geología del lugar y las prácticas mineras históricas determinan la forma química en la que se encuentran los metales, lo que influye directamente en su solubilidad y reactividad frente al agente lixiviante. Por ello, los resultados de lixiviación deben interpretarse considerando tanto las variables de proceso como la variabilidad geológica del material, lo que explica por qué extracciones óptimas en laboratorio pueden diferir al aplicar la técnica en condiciones más heterogéneas de campo.

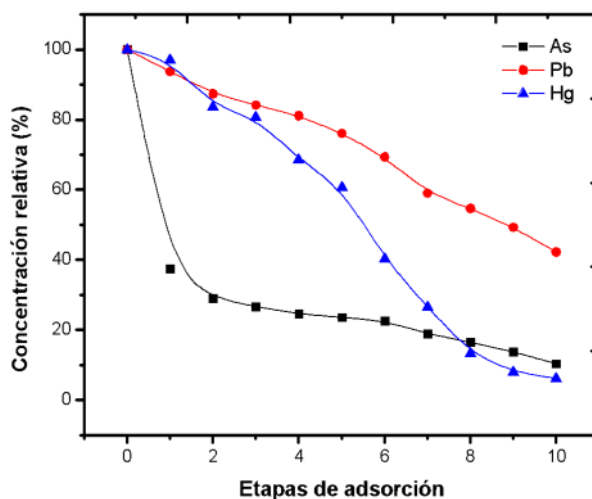
Adsorción de metales disueltos

Una vez completada la etapa de lixiviación, el licor resultante contiene metales pesados disueltos, cuya presencia representa un riesgo ambiental y limita la viabilidad del proceso. Para su remoción, se empleó un sistema de resinas de intercambio iónico, que actúa mediante la adsorción selectiva de especies metálicas presentes en la solución.

El principio del intercambio iónico radica en la sustitución de contraiones (generalmente H^+ , Na^+ , Cl^- o SO_4^{2-}) presentes en la matriz polimérica de la resina por especies metálicas cargadas provenientes del licor. En el caso de los metales pesados, la interacción se ve favorecida por la capacidad de formación de complejos y por la afinidad química entre los grupos funcionales de la resina y los iones metálicos disueltos. Este método resulta altamente eficiente en la purificación de licores hidrometalúrgicos debido a su selectividad y posibilidad de regeneración (Habashi, 1999; Ritcey, 2006).

El seguimiento de la concentración relativa de arsénico, plomo y mercurio durante el proceso de adsorción evidenció una marcada diferencia en el grado de retención de cada metal.

Figura 59. Adsorción de arsénico, mercurio y plomo con resinas de intercambio iónico



El comportamiento de los resultados muestra que las concentraciones relativas de cada elemento disminuyeron progresivamente hasta alcanzar valores residuales de 10,29 % para As, 42,2 % para Pb y 6,1 % para Hg respecto al valor inicial. Esto corresponde a eficiencias de remoción de aproximadamente 89,7 % para As, 57,8 % para Pb y 93,9 % para Hg.

Los resultados permiten extraer varias conclusiones de interés metalúrgico y ambiental:

1. Afinidad diferencial de la resina frente a cada metal.

La elevada remoción de Hg confirma la fuerte afinidad de este catión por los grupos funcionales de la resina, posiblemente de tipo quelante o catiónica fuerte, que favorece la retención de especies altamente polarizables como Hg^{2+} . En el caso del As, a pesar de que su especiación en solución se presenta mayoritariamente como oxianiones (H_2AsO_4^- , HAsO_4^{2-}), su remoción también fue significativa, lo que sugiere un mecanismo complementario: ya sea el uso de resinas con capacidad aniónica o la coadsorción sobre superficies coloidales férricas generadas en el medio (p. ej. $\text{Fe}(\text{OH})_3$ proveniente del uso de FeCl_3 como oxidante). En contraste, la remoción de Pb fue menos eficiente, lo que podría explicarse por la formación de complejos estables con EDTA en la etapa previa de lixiviación, generando especies aniónicas o neutras de Pb-EDTA que no presentan alta afinidad por los sitios activos de la resina.

2. Efecto de la saturación y la competencia iónica.

A medida que avanza el proceso, la resina se aproxima a su capacidad máxima de intercambio, reduciendo la disponibilidad de sitios activos. En este escenario, los metales con mayor afinidad (mercurio y arsénico) desplazan progresivamente al plomo, que queda en mayor proporción en el licor residual. Esto explica por qué la remoción de plomo decrece con mayor intensidad en comparación con los otros metales.

3. Influencia de las condiciones operativas.

El desempeño de la resina estuvo condicionado por parámetros como el pH, la fuerza iónica y el tiempo de contacto por ciclo. En este caso, cada ciclo de adsorción tuvo una duración de 15 minutos, lo que permitió un contacto rápido y eficiente entre la fase líquida y la resina. Si bien este tiempo es suficiente para lograr una alta remoción inicial de metales con mayor afinidad, la necesidad de múltiples ciclos consecutivos evidenció que la capacidad de adsorción disminuye progresivamente por efectos de saturación y competencia iónica. En particular, el plomo mostró menor eficiencia debido a la estabilidad de sus complejos en solución y a la menor velocidad de transferencia hacia los sitios activos en intervalos cortos. Este comportamiento sugiere que, en condiciones de escalamiento, será necesario optimizar el número de ciclos, la relación resina/licor y los parámetros de operación hidráulica para garantizar una purificación sostenida del licor.

Además de los parámetros operativos, la geología del mineral lixiviado condiciona de manera significativa la eficiencia del proceso. En este caso, la presencia de fases arsenicales, plomo en forma de sulfuros parcialmente oxidados y trazas de mercurio asociados a matrices silicatadas, determina tanto la especiación de los metales en solución como su interacción con la resina. Los minerales con alta proporción de arseniatos o sulfoarseniuros generan especies predominantemente aniónicas en el licor, lo que reduce su afinidad por resinas catiónicas convencionales. De igual forma, la complejación natural del plomo con sulfatos y la movilidad limitada del mercurio favorecen una adsorción diferenciada bajo los mismos tiempos de contacto. Estos aspectos geológicos deben ser considerados en el escalamiento, ya que implican que la eficiencia de la resina no solo depende de las condiciones operativas, sino también de la mineralogía de origen y su geoquímica de disolución.

4. Implicaciones para la ingeniería de proceso.

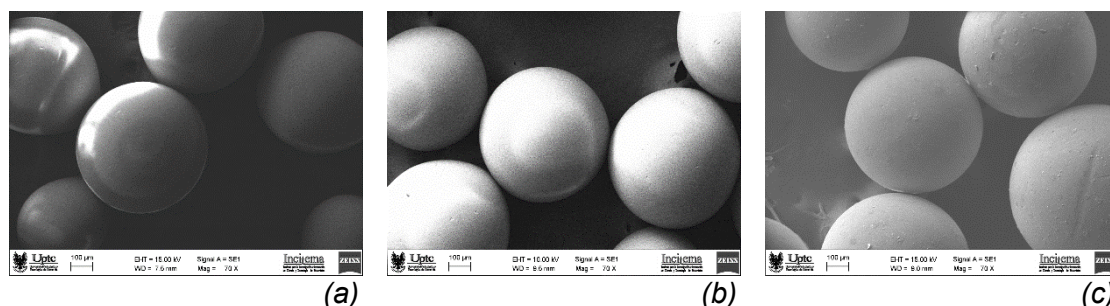
Los resultados confirman que el intercambio iónico es altamente eficaz para la remoción de mercurio y arsénico, mientras que la captura de plomo requiere ajustes adicionales. Entre las posibles mejoras se incluyen:

- la secuenciación de resinas (aniónica + quelante),
- el pretratamiento del licor para romper o modificar complejos Pb-EDTA,
- el aumento de la relación resina/licor en condiciones de mayor carga sólida, y
- el diseño de ciclos de regeneración que eviten saturación prematura y prolonguen la vida útil de la resina.

En términos ambientales, la eficiencia alcanzada demuestra que el sistema de intercambio iónico constituye una etapa clave dentro del esquema de tratamiento integral propuesto. Su capacidad para reducir en más del 90 % el contenido de Hg y As en solución, y en cerca del 60 % el de Pb, lo convierte en una herramienta viable para la estabilización de licores contaminados, contribuyendo directamente a la mitigación de pasivos ambientales en territorios afectados por la minería aurífera.

Por otro lado, el análisis morfológico de las resinas mediante microscopía electrónica de barrido en sus distintos estados, resina en blanco, resina activada con ácido y resina tras el contacto con el licor de lixiviación, evidencia que las diferencias superficiales no son marcadamente perceptibles a simple inspección. Esto es coherente con la naturaleza polimérica de la matriz, cuya estructura externa suele conservarse estable incluso después de procesos de activación y uso. No obstante, la ausencia de contrastes morfológicos evidentes no implica que el material no haya experimentado modificaciones internas o químicas significativas.

Figura 60. Micrográficas (MEB) de las resinas empleadas, a) resinas en blanco, b) resinas activadas con HCl, c) resinas cargadas (post contacto con el licor de lixiviación).



En la etapa de activación ácida, la resina mantiene un aspecto externo semejante al del blanco, pero a nivel submicroscópico se generan procesos de limpieza y apertura de poros que mejoran la accesibilidad de los grupos funcionales. Tras el contacto con el licor lixiviado, aunque la superficie externa no evidencia modificaciones drásticas, los resultados de remoción muestran la ocupación progresiva de los sitios activos: el mercurio alcanzó una eficiencia del 93,9 % y el arsénico del 89,7 %, lo que confirma su fuerte interacción con los grupos funcionales de la resina; mientras que el plomo registró un 57,8 %, lo que sugiere una menor afinidad o posibles limitaciones de difusión en la matriz polimérica. Estos procesos de saturación interna y la posible obstrucción parcial de poros por especies metálicas adsorbidas no se distinguen con claridad en las micrográficas, pero sí se reflejan en el desempeño de adsorción.

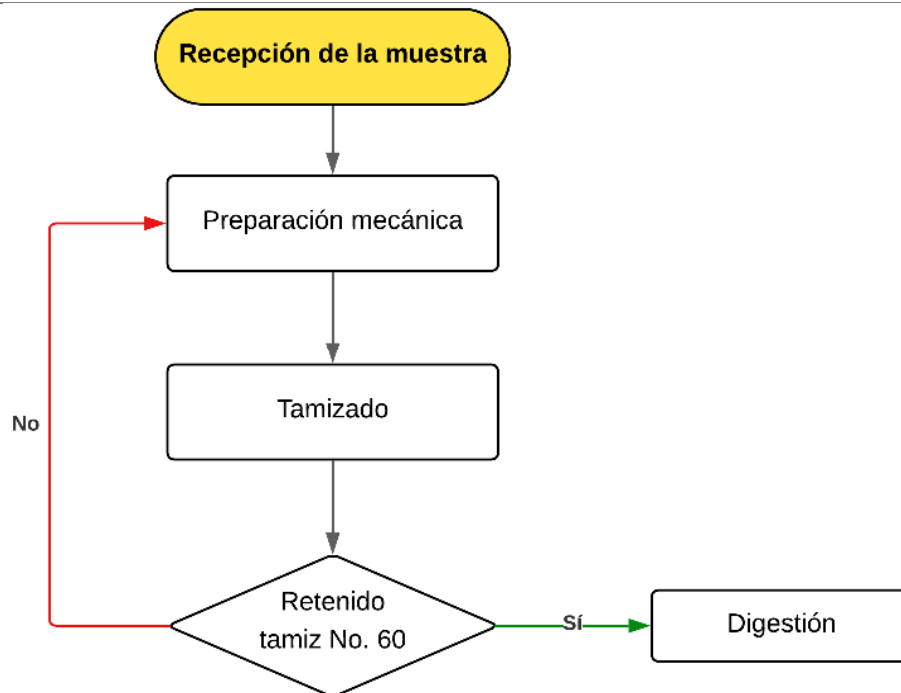
Conclusión integrada del proceso por ruta acuosa/hidrometalúrgica

De manera complementaria, al articular los resultados de la purificación con las fases iniciales de preparación mecánica, disolución selectiva y tratamiento de soluciones, se configura una secuencia integral y coherente del proceso correctivo, que permite visualizar de forma sistemática la transformación de los materiales contaminados hasta la obtención de sólidos controlados y estabilizados.

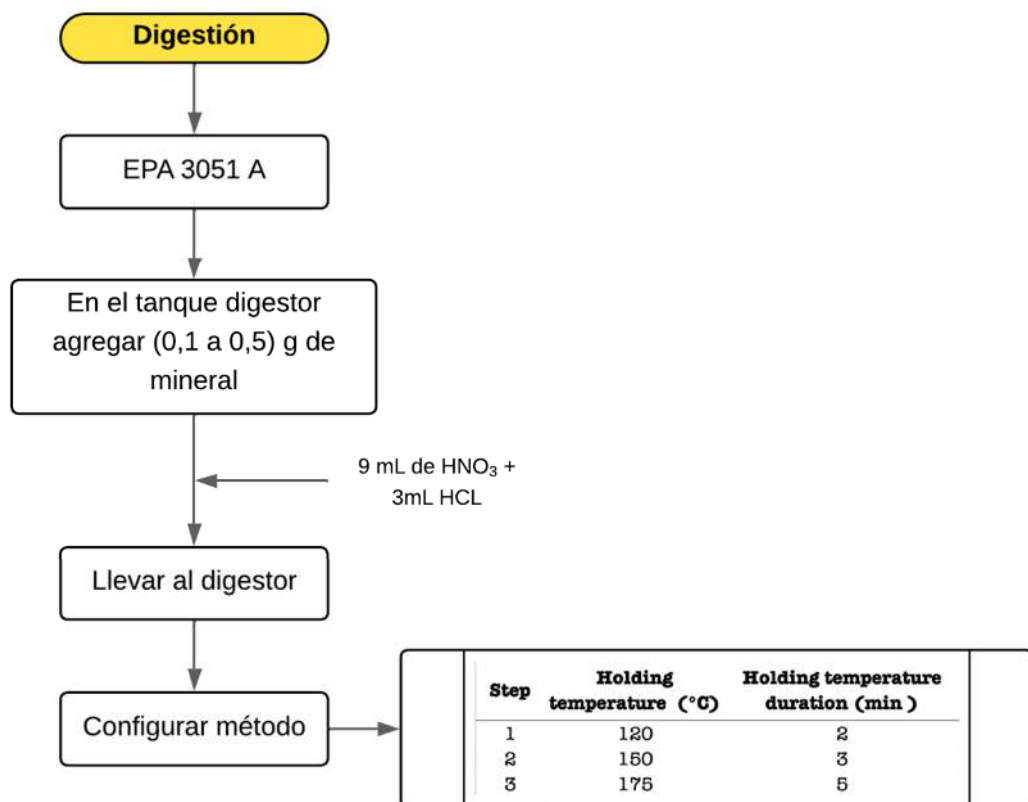
Si bien la metodología fue validada en un territorio específico, con características geológicas y mineralógicas propias, no constituye un modelo aplicable de manera universal a todos los escenarios de minería aurífera. En cada caso, la composición del suelo, la naturaleza de los contaminantes y la mineralogía asociada determinan ajustes particulares en la ruta de tratamiento. No obstante, el prototipo móvil fue concebido con un diseño tecnológico y equipos versátiles que facilitan su adaptación a distintas matrices minerales, lo que habilita su uso en nuevos contextos siempre y cuando se desarrollen previamente procesos específicos ajustados a las características del material por intervenir. De esta forma, el piloto no solo constituye una solución demostrativa puntual, sino también una plataforma experimental para seguir diseñando y optimizando metodologías diferenciales de remediación.

Figura 61. Diagramas de flujo prototipo móvil de remediación

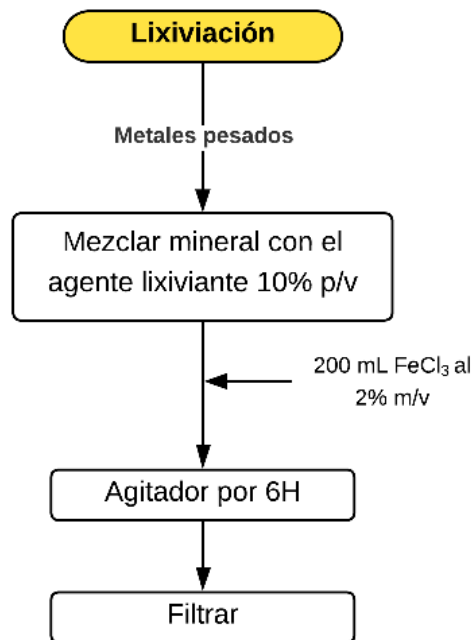
1



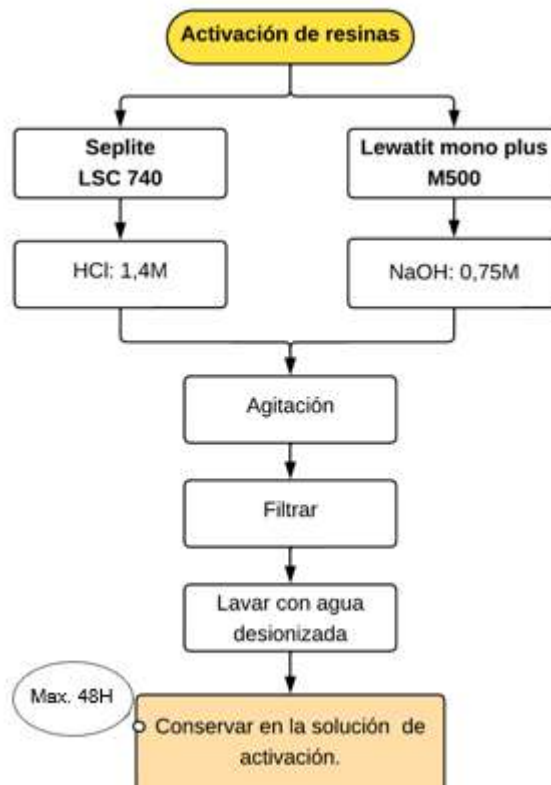
2

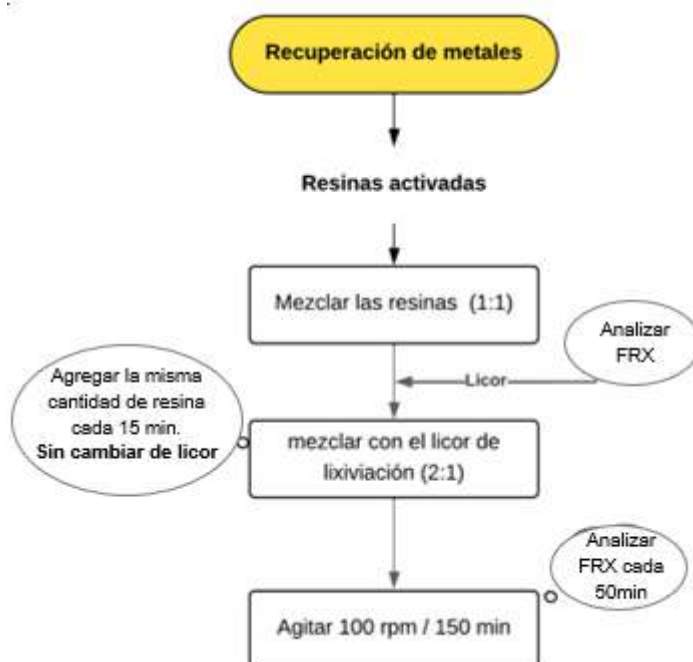


3



4





3.6.1.5. Desarrollo del prototipo móvil

El diseño del prototipo móvil se planteó como una solución integral para garantizar la operación segura, autónoma y eficiente en distintos escenarios de intervención. Su concepción técnica parte de la necesidad de contar con una unidad robusta, adaptable y de fácil transporte, que integre sistemas estructurales, hidráulicos, eléctricos y de soporte ambiental, junto con espacios funcionales para el desarrollo de actividades especializadas. Su desarrollo dependió de los resultados obtenidos de los ensayos experimentales en el prototipo fijo en Tunja, en los cuales se evaluaron alternativas pirometalúrgicas, de concentración física y acuosa/hidrometalúrgica. Con base en estos resultados se determinó que la hidrometalurgia constituye la opción más adecuada para la remediación de materiales contaminados provenientes de labores auríferas del Chocó. Esta elección se sustentó en tres criterios técnicos fundamentales:

- la alta eficiencia de extracción alcanzada con agentes quelantes y oxidantes en condiciones acuosas,
- la menor demanda energética respecto a los procesos pirometalúrgicos, y
- la posibilidad de concebir un sistema portátil, de menor impacto ambiental y adaptable a condiciones de campo.

A continuación se describe la estructura general del diseño del prototipo móvil de remediación:

1. Operatividad y capacidades funcionales

El prototipo móvil está diseñado para operar de manera autónoma y segura en zonas de difícil acceso, permitiendo el desarrollo integral de procesos de remediación metalúrgica directamente en campo. Su concepción prioriza la reproducibilidad de los procedimientos experimentales definidos en el prototipo fijo, adaptándolos a condiciones reales de operación.

La unidad permite la ejecución de ciclos de procesamiento que requieren entre 6 y 10 litros de agua, garantizados mediante un sistema interno de tanques con bombeo controlado. El diseño ergonómico y seguro posibilita la operación simultánea de hasta tres personas, optimizando la eficiencia en las actividades de preparación, procesamiento y análisis de materiales contaminados.

En términos de autonomía, el prototipo cuenta con una planta eléctrica de 8,5 kVA, lo que asegura la continuidad de los trabajos en zonas sin acceso a red eléctrica, y con la flexibilidad de conexión a tomas de 110 V y 220 V en caso de disponibilidad de energía externa.

2. Descripción técnica de los componentes

- **Chasis y movilidad:** tráiler reforzado en perfilería de alta resistencia, con capacidad para soportar hasta 5 toneladas de carga. Incorpora freno de inercia, enganche de bola ajustable en altura, timonera con rueda de maniobra y cuatro llantas rin 16 de seis pernos, adecuadas para diferentes tipos de carreteras.
- **Sistema hidráulico:** cuatro bidones plásticos de 800 L (optimización a 500 L), conectadas a una bomba que presuriza y distribuye el agua hacia dos pocetas diferenciadas: una para aguas limpias (lavado de materiales no contaminados) y otra para aguas contaminadas (residuos líquidos). Incluye contador de agua y mirilla de inspección de nivel.
- **Sistema eléctrico:** planta de 8,5 kVA con arranque eléctrico, distribución en circuitos independientes (110 V y 220 V), protección contra sobrecargas y opción de conexión a fuentes externas. Instalación certificada bajo normativa de tráileres y laboratorios móviles.
- **Estructura y acabados:** tubería metálica de alta calidad con recubrimiento en lámina de fibra de vidrio blanca, resistente a la corrosión y con filtros UV para protección solar.
- **Mobiliario y equipamiento interno:** gabinetes de almacenamiento con cierres de seguridad, mesón de policuarzo de alta resistencia (durable, liso y resistente a manchas, impactos y agentes químicos), ventanas con rejillas de protección y cierres rápidos, escalera de acceso plegable y antideslizante.
- **Sistemas de confort:** aire acondicionado integrado para control de temperatura y humedad, puertas y bodegas con chapas de alta seguridad, vinilo gris en ventanas para privacidad.

A continuación, se presentan los equipos definidos para la integración del prototipo móvil. Las especificaciones técnicas y características detalladas de cada uno de ellos se encuentran disponibles en el Anexo 9.

- **Mufla multipropósito hasta 1200 °C:** necesaria para el secado y pretratamiento térmico de las muestras húmedas obtenidas en campo.
- **Analizador portátil XRF:** permite el análisis inmediato de las concentraciones de metales pesados en muestras sólidas, optimizando tiempos y costos al evitar traslados iniciales a laboratorio central. Su portabilidad es esencial para la caracterización en sitio, garantizando decisiones rápidas sobre la viabilidad del material a procesar.
- **Digestor automático para muestras sólidas:** empleado para preparar muestras que posteriormente son enviadas a un laboratorio especializado en la Universidad Tecnológica del Chocó o al prototipo principal en Tunja, donde se realizan análisis más robustos mediante espectroscopía de emisión atómica. Esta etapa asegura la trazabilidad y validación analítica de los resultados obtenidos en el campo.

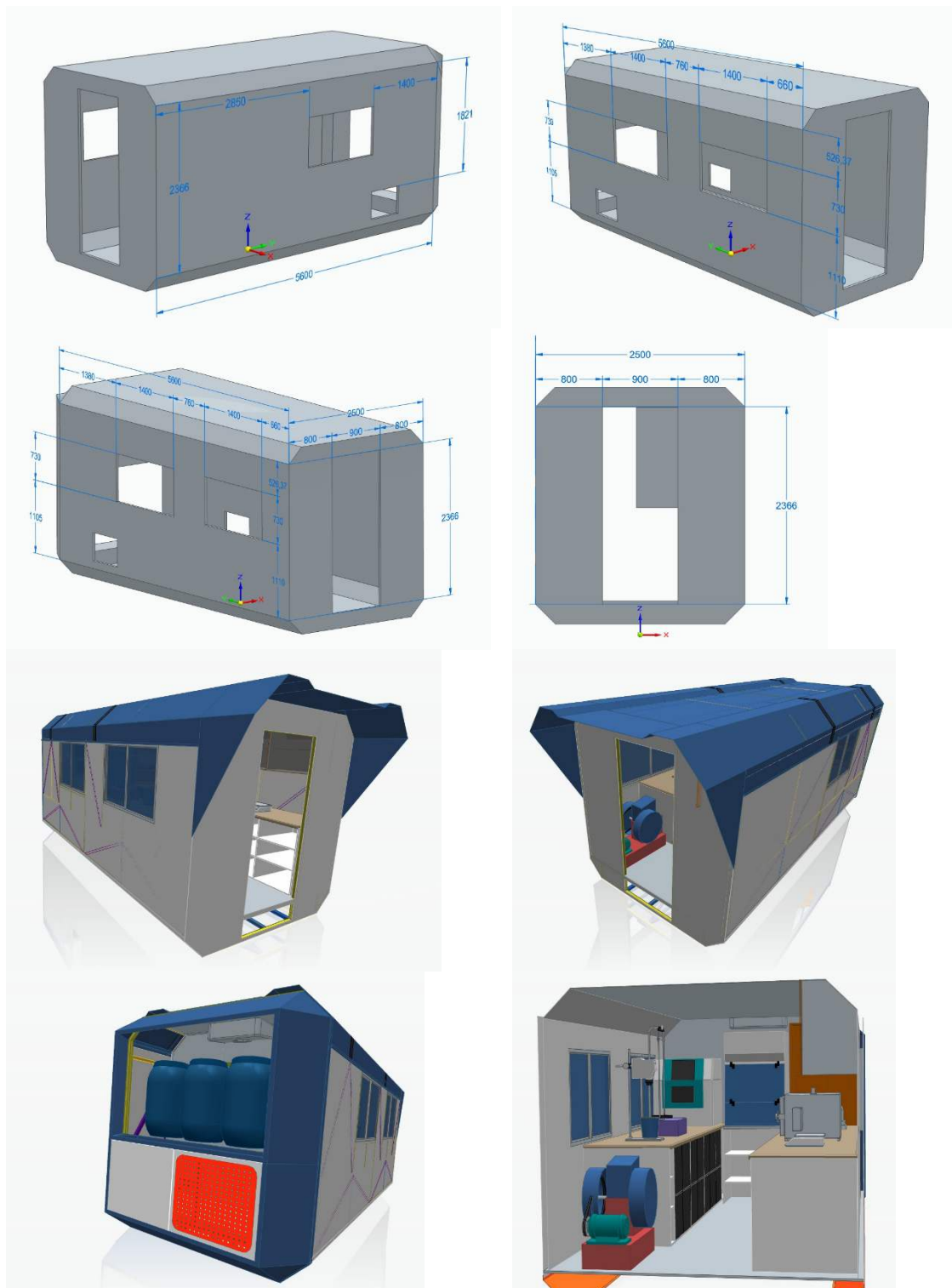
- **Campana extractora de humos:** incorporada como medida de seguridad ocupacional, destinada a la manipulación de reactivos ácidos y oxidantes durante la lixiviación y la regeneración de resinas.
- **Trituradora de mandíbulas:** fundamental para la reducción primaria del tamaño de partícula, con un tamaño máximo de entrada de aproximadamente 150 mm garantizando que el material lixiviado presente una granulometría uniforme que favorezca el contacto reactivo sólido-líquido.
- **Tamizadora electromagnética digital:** complementa el proceso de trituración, permitiendo la clasificación granulométrica precisa, asegurando la reproducibilidad de los ensayos de lixiviación y la eficiencia en la transferencia de masa.
- **Báscula electrónica / balanza digital (hasta 40 kg):** seleccionada para soportar tanto el pesaje de lotes de muestras mayores (arena aurífera en campo) como la dosificación exacta de reactivos en laboratorio. Su capacidad hasta 40 kg responde a la necesidad de manejar cargas relativamente altas en operación móvil.
- **Medidor de pH:** esencial para el control de las condiciones de lixiviación, dado que la especiación de los metales pesados y la eficiencia del EDTA como agente quelante son altamente dependientes del pH.
- **Agitadores mecánicos digitales LCD (capacidad de 20 y 40 L):** seleccionados con base en los ensayos a escala de laboratorio, donde la agitación a 400 rpm resultó crítica para garantizar el contacto entre fases y la cinética de extracción. Su capacidad responde a la escala de operación definida para el prototipo móvil.
- **Filtro prensa de laboratorio:** diseñado para la separación sólido-líquido posterior a la lixiviación. Permite obtener licores clarificados para tratamiento con resinas de intercambio iónico, y un residuo sólido de granulometría controlada para disposición segura.

3. Distribución estructural interna

El diseño del espacio interno, con dimensiones de 5,6 m de largo, 2,5 m de ancho y 2,37 m de alto, permite la adecuada disposición de equipos, gabinetes y áreas de trabajo. La distribución contempla:

- Zona de almacenamiento seguro para reactivos, equipos y herramientas.
- Área de trabajo central con mesón de policuarzo, diseñada para preparación y procesamiento de muestras.
- Espacio de control y operación del sistema hidráulico y eléctrico.
- Áreas diferenciadas para el manejo de aguas limpias y contaminadas.
- Esta configuración asegura ergonomía, circulación fluida y cumplimiento de medidas de seguridad.

Figura 62. Diseño exterior y distribución estructural interna





4. Sistemas de soporte y sostenibilidad

El prototipo móvil garantiza autosuficiencia operativa mediante:

- Planta eléctrica integrada que asegura autonomía en campo.
- Sistema hidráulico de recirculación y diferenciación de corrientes limpias y contaminadas, reduciendo riesgos ambientales.
- Recubrimientos resistentes a la corrosión y radiación solar, lo que prolonga la vida útil de la estructura.
- Posibilidad de integrar sistemas adicionales de tratamiento y disposición final de residuos líquidos y sólidos.

5. Protocolos de seguridad y normatividad aplicable

El diseño cumple con lineamientos de seguridad para tráileres y laboratorios móviles, incluyendo:

- Protección eléctrica contra sobrecargas.
- Chapas de seguridad en accesos y almacenamiento.
- Ventanas con rejas y cierres rápidos.
- Escalera antideslizante para acceso seguro.
- Aire acondicionado para mantener condiciones seguras de operación de equipos y reactivos.

6. Escalabilidad y adaptabilidad futura

El prototipo ha sido concebido con criterios de flexibilidad que permiten su adecuación a diferentes escenarios y demandas técnicas:

- Posibilidad de integrar nuevos equipos según el tipo de materiales a tratar.
- Escalabilidad en capacidad hidráulica y eléctrica en función de los volúmenes procesados.
- Adaptabilidad a diversos entornos geográficos, con sistemas de nivelación y estabilización para terrenos irregulares.
- Potencial para ampliación modular, permitiendo la conexión con unidades adicionales de tratamiento o análisis.

El diseño del prototipo móvil constituye una solución integral que articula de manera coherente criterios técnicos, operativos y de seguridad, respondiendo a las exigencias de intervención en contextos mineros y ambientales de alta complejidad. La disposición de equipos y sistemas garantiza la reproducibilidad de los procesos en condiciones de campo, mientras que la configuración estructural asegura eficiencia, ergonomía y confiabilidad operativa. La integración de fuentes de energía autónomas, sistemas hidráulicos optimizados y materiales de alta durabilidad refuerza su carácter sostenible y autosuficiente, al tiempo que las medidas de seguridad implementadas y el cumplimiento normativo consolidan un marco de operación confiable y estandarizado.

3.7 Gestión de Activos

En el marco del contrato se adquirieron activos estratégicos destinados a garantizar la implementación y operatividad de las actividades previstas, entre los que destacan equipos especializados de laboratorio, suministros para el procesamiento de materiales y el prototipo móvil para la remediación de pasivos ambientales en el Chocó. La relación detallada de estos activos se encuentra consignada en el inventario oficial adjunto, en el que se especifican sus características técnicas, estado de entrega y valor de adquisición.

La custodia y administración de los activos del prototipo fijo estarán a cargo de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, sede Tunja, mientras que los activos correspondientes al prototipo móvil serán administrados por la Universidad Tecnológica del Chocó, en su calidad de entidad ejecutora. Ambas instituciones, de carácter académico y público, garantizan no solo transparencia en la gestión de los recursos, sino también un compromiso permanente con la generación de conocimiento, la formación de talento humano y la transferencia tecnológica al servicio del país. En particular, la Universidad Tecnológica del Chocó asumirá la responsabilidad integral de almacenamiento, operación, mantenimiento preventivo y correctivo del prototipo móvil, asegurando su uso en el cumplimiento de los objetivos del proyecto. Por su parte, al ser de carácter público, la UPTC tiene una alta responsabilidad social en la transferencia de conocimiento y la extensión solidaria. En este sentido, se formaliza la entrega del prototipo a otra institución de carácter público, con el propósito de asegurar la continuidad de iniciativas que generan un verdadero impacto social en las regiones.

Este esquema de administración fortalece las capacidades de investigación e innovación en el ámbito de la ingeniería ambiental y minera, contribuyendo a la mitigación de los impactos derivados de la minería aurífera y al mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades. Asimismo, se consolida un modelo de cooperación académica e institucional que potencia la articulación regional y nacional, respaldado por el Ministerio de Minas y Energía, entidad que hizo posible la materialización de esta iniciativa, reafirmando su papel como promotor de soluciones tecnológicas sostenibles para el Pacífico colombiano.

A continuación, se presenta la relación de activos adquiridos en el marco del contrato GGC No. 1162 de 2024, correspondientes al desarrollo del piloto correctivo.

Tabla 12. Activos adquiridos - Contrato GGC No. 1162 de 2024

Activo	Ubicación Responsable de custodia	Observaciones
<i>Equipos</i>		
Tráiler modular	Prototipo móvil	N/A
Campana extractora portátil sin conducto, para laboratorio.	Prototipo móvil	N/A

Activo	Ubicación Responsable de custodia	Observaciones
Destilador de agua para operación continua para laboratorio	Prototipo fijo	N/A
Digestor automático para análisis de muestras sólidas (minerales) mediante disolución química con ácidos.	Prototipo móvil Prototipo fijo	1 para cada prototipo
Analizador XRF Portátiles	Prototipo móvil Prototipo fijo	1 para cada prototipo
Tamizadora vibratoria (con tamices incluidos)	Prototipo móvil	N/A
Medidor de pH / ORP portátil de pH	Prototipo móvil Prototipo fijo	1 para cada prototipo
Sistema de mezcladora digital con velocidad de agitación de 40 a 1000 rpm. 20 L	Prototipo móvil Prototipo fijo	1 para cada prototipo
Sistema de mezcladora digital con velocidad de agitación de 40 a 1000 rpm. 40 L	Prototipo móvil Prototipo fijo	2 para cada prototipo
Bomba de vacío. Free Air Displacement: 1.9 CFM @ 60HZ, 45 l/m @ 50Hz. Motor Dual Voltage: 1/2hp-1440 rpm (60Hz), 3440 rpm (50Hz). Ultimate Vacuum: 15 microns	Prototipo móvil Prototipo fijo	1 para cada prototipo
Mufla multipropósito	Prototipo móvil	N/A
Máquina de flotación espumante para procesamiento de minerales de laboratorio. Con ajuste de flujo de aire. Que incluya celdas (recipientes) intercambiables de distintos volúmenes: 500 mL, 1 Litro, 2 Litros, 3 Litros.	Prototipo fijo	N/A
Filtro Prensa	Prototipo móvil	N/A
Báscula electrónica multifunciones, capacidad 40 kg	Prototipo móvil	N/A
Trituradora de mandíbulas	Prototipo móvil Prototipo fijo	1 para cada prototipo
Fuente de alimentación de CC programable	Prototipo móvil Prototipo fijo	1 para cada prototipo
Agitador Magnetico Con Plancha De Calentamiento, capacidad máxima 2L H2O	Prototipo móvil Prototipo fijo	1 para cada prototipo
Suministros		
Consumibles MP-AES 4210	Prototipo fijo	N/A

Activo	Ubicación Responsable de custodia	Observaciones
Patrón de calibración para emisión atómica	Prototipo fijo	N/A
Lámpara de cátodo hueco	Prototipo fijo	N/A
Resinas de intercambio iónico	Prototipo móvil Prototipo fijo	35 L 15 L
Reactivos químicos: <ul style="list-style-type: none"> • Ácido clorhídrico • Ácido nítrico • Hidróxido de sodio grado comercial • Tiocianato de sodio grado comercial • Cloruro férrico grado comercial • Ácido etildiaminotetracético grado comercial 	Prototipo móvil Prototipo fijo	Se entrega con stock suficiente para operar durante 5 meses
Insumos de laboratorio: <ul style="list-style-type: none"> • Probeta plástica graduada 100 mL • Probeta plástica graduada 1000 mL • Vasos de precipitado en polimetilpenteno (PMP) transparente, capacidad 500 mililitros • Vasos de precipitado en polimetilpenteno (PMP) transparente, capacidad 1 Litro • Vasos de precipitado en polimetilpenteno (PMP) transparente, capacidad 2 Litros • Vasos de precipitado en polimetilpenteno (PMP) transparente, capacidad 5 Litros • Balón aforado en polimetilpenteno (PMP) transparente, capacidad 500 mililitros • Balón aforado en polimetilpenteno (PMP) transparente, capacidad 1 Litro • Erlenmeyer polimetilpenteno para vacío (PMP) transparente (matraz de filtración), capacidad 1 L • Erlenmeyer polimetilpenteno para vacío (PMP) transparente (matraz de filtración), capacidad 2 L 	Prototipo móvil Prototipo fijo	Se entrega con stock suficiente para realizar ensayos de remediación metalúrgica

Activo	Ubicación Responsable de custodia	Observaciones
<ul style="list-style-type: none"> • Embudo Büchner 240 mm de diámetro (capacidad ~6 L) • Embudo Büchner 125 mm de diámetro (capacidad 800 mL) • Pipeta graduada para laboratorio, capacidad 20 ml • Pera pipeteadora de tres vías • Bandejas para laboratorio. Medidas aproximadas: largo 69 cm X ancho 33 cm X alto 7 cm. • Papel Filtro Cualitativo 125 mm diámetro x100, velocidad media-baja • Papel Filtro Cualitativo 240 mm diámetro x100, velocidad media-baja • Botellas para enjuague plásticas (piseta) de 1000ml • Cepillo para frascos cilíndricos , punta radial, cerdas en nylon. Dimensiones LxAn: 16x8 cm de diámetro • Espátula raspadora rígida de nylon. LargoxAncho: 18.8 x 11.4cm • Espátula para laboratorio 12 cm largo X 2 cm ancho • Tubo De Ensayo Tapa Rosca De plástico. Dimensiones 16 X 150 mm 20ml • Recipientes ámbar 250 mL plástico • Recipientes ámbar 500 ml plástico • Electrodo de ORP con conector BNC. • Vidrio De Reloj Cóncavo De Laboratorio Diámetro Ø 150mm • Rollo de limpiones industriales reutilizables x100 metros 		
<p>Elementos de protección personal:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Guantes de nitrilo N-DEX grandes (talla L). Espesor 4mm, caja por 100 	Prototipo móvil	N/A

Activo	Ubicación Responsable de custodia	Observaciones
<ul style="list-style-type: none"> • Guantes de nitrilo N-DEX grandes (talla M). Espesor 4mm, caja por 100 • Guantes de seguridad de Nylon Poliuretano multipropósito talla M • Guantes de seguridad de Nylon Poliuretano multipropósito talla L • Overol Traje Antifluído Bioseguridad Lavable Impermeable, talla M • Overol Traje Antifluído Bioseguridad Lavable Impermeable, talla L • Batas anti fluidos para laboratorio químico Talla M • Batas anti fluidos para laboratorio químico Talla L • Monogafa Seguridad Transparente Banda Elástica Protección • Protectores auditivos de inserción reutilizables • Protectores auditivos tipo copa • Mascarilla respiratoria doble filtro • Protector respiratorio, mascarilla Kn95 X Caja/50 Und • Botas de seguridad, zuela antideslizante talla 42 • Botas de seguridad, zuela antideslizante talla 38 • Botas Pvc Caña Alta Punta De Acero talla 38 • Botas Pvc Caña Alta Punta De Acero talla 42 • Botiquín primeros auxilios • Kit de señalización de emergencia 		
<p>Elementos para labor en campo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pala para recoger mineral: Medidas Ancho 214 mm x Alto 486 mm, Espesor: 1,6 mm • Extensión eléctrica 5 metros • Brocha cerda sintética 1" • Brocha cerda sintética 2" • Brocha cerda sintética 3" • Almadana 3 Libras 	Prototipo móvil	N/A

Activo	Ubicación Responsable de custodia	Observaciones
<ul style="list-style-type: none"> ● Bolsa Basura 100x120cm Rollo X20und Grande Negro - Generico ● Lonas 80x120cm, resistencia a la rutura por carga de hasta 100 kilos X 100 Uds ● Sillas plegables (2 unidades) 		
Elementos para embalaje de muestras <ul style="list-style-type: none"> ● Paquete Bolsas ziploc medianas 50X40, 100 Unidades ● Bolsas Ziploc Transparentes 30x40cm, X 100 Unidades ● Caja De Marcadores Sharpie Negro Permanente x12 unidades ● Rollo De Etiquetas Adhesivas 9 cm de larg. Color Blanco ● Cinta Ancha Empaque Embalaje Adhesiva Pegante X 100mt 	Prototipo móvil	N/A

Fuente Elaboración Equipo UPTC.

3.8 Plan Correctivo

El Plan Correctivo consolida las acciones derivadas de la implementación de los prototipos, con el objetivo de mitigar de manera efectiva los pasivos ambientales asociados a la minería aurífera en el Chocó. Este plan integra medidas técnicas validadas experimentalmente, estimación de recursos, asignación de responsabilidades, cronograma de actividades y criterios de priorización sectorial, asegurando una estrategia operativa, sostenible y replicable en campo.

3.8.1. Medidas correctivas propuestas

Las medidas correctivas planteadas responden a los hallazgos obtenidos en las pruebas de laboratorio y en la validación de los prototipos. Se priorizan alternativas técnicas que demuestran alta eficiencia, bajo costo relativo y posibilidad de ser implementadas tanto en entornos controlados como directamente en campo.

Tabla 13. *Plan correctivo desarrollado/propuesto*

Medida correctiva	Descripción técnica	Sustento experimental	Impacto esperado
-------------------	---------------------	-----------------------	------------------

Lixiviación con agentes carboxílicos	Disolución selectiva de metales pesados contenidos en lodos y suelos contaminados.	Ensayos de potencial zeta (-55 mV con EDTA) y extracción acuosa de Plomo, Mercurio y Arsénico en laboratorio.	Remoción de metales móviles y recuperación de áreas impactadas.
Encapsulación de residuos con adsorbentes	Estabilización de Hg, As y Pb lixiviados, mediante materiales adsorbentes	Ensayos por agitación	Reducción de riesgos de dispersión de metales y mejora de seguridad ambiental.
Implementación de prototipo móvil	Uso del prototipo móvil en zonas mineras sin infraestructura, para tratamiento in situ.	Validación operativa con capacidad de 4.2 kg/semana aproximadamente	Atención inmediata a pasivos ambientales y comunidades afectadas.

Fuente Elaboración Equipo UPTC.

3.8.2. Costos y estimación de recursos

Los costos de operación del prototipo móvil se estiman considerando tanto los insumos consumibles como el desgaste y mantenimiento de los equipos principales, sin que la UPTC asuma la operación directa en territorio. Entre los componentes incluidos se cuentan los equipos y suministros descritos en el apartado anterior. Adicionalmente, se contemplan los consumos de energía eléctrica, iluminación y servicios menores, así como el uso de reactivos y consumibles necesarios para la operación piloto. Esta estimación proporciona una visión integral del gasto diario y mensual asociado al funcionamiento del prototipo, facilitando la planificación técnica y presupuestal de las operaciones en territorio.

Estará en custodia se estiman considerando

Tabla 14. Costos estimados del funcionamiento prototipo móvil/mes

Concepto	Costo diario (COP)	Costo mensual (COP)	Observaciones
Energía eléctrica (equipos: diagnóstico, conminución, lixiviación)	28000	616000	Tarifa estimada 700 COP/kWh; 22 días de operación/mes
Iluminación y servicios menores	3000	66000	Incluye luces y servicios auxiliares
Uso estimado de equipos principales	40000	880000	Costo relacionado al desgaste y mantenimiento proporcional de los equipos
Reactivos y consumibles	50000	1100000	Colectores, depresores, espumantes, ácidos y bases
Total	121000	2662000	Estimación general de operación diaria y mensual

Fuente Elaboración Equipo UPTC.

Nota: Estos costos corresponden a una estimación; sin embargo, en caso de que la Universidad Tecnológica del Chocó hiciera un uso continuo 24/7, los valores podrían variar.

3.8.3. Actividades y responsables

El éxito del plan correctivo depende de una adecuada articulación institucional. Se contemplan responsabilidades específicas a las universidades involucradas y al Ministerio de Minas y Energía, además de contemplar la participación activa de comunidades locales en la fase operativa.

Tabla 15. *Actividades y responsables del piloto correctivo*

Actividad	Responsable principal
Diseño y operación prototipo fijo	UPTC – Sede Tunja
Diseño y construcción prototipo móvil	UPTC – Sede Tunja
Ensayos de validación en laboratorio	UPTC – Sede Tunja
Operación y custodia de prototipo móvil	UTCH – Quibdó
Implementación piloto en Chocó y diseño de nuevas rutas de tratamiento	UTCH

Fuente Elaboración Equipo UPTC.

3.8.4. Priorización sectorial

Es importante recalcar que no todas las medidas poseen el mismo nivel de urgencia ni el mismo potencial de impacto. Por ello, se estableció un esquema de priorización que considera criterios de riesgo ambiental, factibilidad técnica, relación costo/beneficio y horizonte temporal de aplicación, alineado además con la información y lineamientos de la Fase 2 del Plan Preventivo y Correctivo de la Universidad Nacional. Este esquema de priorización no solo orienta la toma de decisiones estratégicas del sector, sino que, en el marco del piloto correctivo enfocado en mitigar los pasivos ambientales derivados de la minería aurífera, se concibe bajo un enfoque preventivo-operativo. Dicho enfoque reconoce la doble función de los prototipos, tanto como instrumentos de investigación como soluciones aplicables en campo, así como su capacidad de adaptación tecnológica al territorio, garantizando una ruta de acción coherente, eficiente y sostenible.

3.8.4.1. Medidas de carácter técnico-operativo (prioridad alta)

Caracterización detallada de matrices contaminadas: Fundamental para seleccionar tratamientos adecuados y tratar específicamente el material.

- Evaluar arenas, relaves y aguas superficiales para determinar concentraciones de Hg, As y Pb.
- Aplicar técnicas analíticas en campo. Muestras que requieran mediciones especiales, se envían al prototipo principal en Tunja para un análisis más robusto.

Implementación de tecnologías de recuperación de oro sin mercurio: Se prioriza el uso de rutas hidrometalúrgicas con lixiviantes alternativos no tóxicos. Estas tecnologías

permiten una extracción selectiva de oro con menor impacto ambiental y mejor control de contaminantes.

Estabilización o remoción de contaminantes metálico: tecnología de intercambio iónico para remover selectivamente metales como As, Pb y Hg presentes en soluciones contaminadas, optimizando variables como pH, tiempo de contacto y flujo. El sistema permite regeneración y reutilización del material, con alta eficiencia y bajo impacto ambiental.

3.8.4.2. Medidas de apoyo experimental y validación tecnológica

Desarrollo y prueba de los prototipos de tratamiento: Permite intervención directa, con validación técnica y participación comunitaria.

- Priorizar el despliegue del prototipo móvil validado para realizar pruebas in situ en zonas críticas.

Validación cruzada entre prototipo fijo y móvil: Garantiza que las tecnologías sean escalables y adaptables al contexto real.

- Confirmar que los parámetros optimizados en laboratorio puedan ser replicados en condiciones reales de campo.

3.8.4.3. Medidas de articulación comunitaria y sostenibilidad

Capacitación a operadores locales: Asegura sostenibilidad operativa, apropiación tecnológica y reducción del riesgo.

- Formación técnica a pequeños mineros y actores comunitarios en uso, mantenimiento y seguridad de los equipos.
- Selección estratégica de sitios piloto

3.8.4.4. Medidas estratégicas para escalamiento futuro (prioridad media)

Diseño para el escalamiento territorial y continuo del sistema: Incluir modelamiento de cargas másicas, balances energéticos y requerimientos logísticos para una operación sostenida.

3.8.4.5. Aprovechamiento de metales críticos a partir de residuos auríferos (prioridad media)

Recuperación y valorización de As, Pb y Hg: Evaluar y planificar técnicas de recuperación sostenibles de metales pesados, identificando aplicaciones industriales potenciales y minimizando riesgos ambientales. lo anterior se alinea con los principios de la economía circular, que buscan minimizar los residuos y maximizar la reutilización de recursos. Al recuperar estos metales de los residuos mineros, se reduce la necesidad

de minería primaria, se disminuyen los impactos ambientales y se promueve la sostenibilidad en la industria minera.

- Arsénico: a pesar de su toxicidad, tiene aplicaciones industriales en la fabricación de semiconductores, aleaciones de plomo y en la producción de vidrio óptico.
- Plomo: puede ser utilizado en la fabricación de baterías recargables, blindajes contra radiaciones y en la producción de soldaduras y aleaciones.
- Mercurio: puede ser utilizado en la fabricación de termómetros, interruptores eléctricos y en la producción de productos químicos.

Nota: Aunque no se implementa en este piloto correctivo, su planificación es clave para expansión futura.

3.8.5. Enfoque estratégico e institucional

El piloto correctivo desarrollado por la UPTC tiene como objeto proponer y validar, a escala de laboratorio, rutas tecnológicas para la remediación de materiales contaminados derivados de la pequeña minería aurífera, con énfasis en la reducción de la movilidad de metales potencialmente tóxicos (As, Pb, Hg). Si bien su alcance es estrictamente experimental y académico, su diseño metodológico se encuentra en sintonía con los lineamientos normativos que rigen la gestión ambiental y minera en Colombia, lo que garantiza su pertinencia y potencial de adopción por parte de las autoridades competentes.

En este marco, se identifican los principales regímenes aplicables:

- Régimen minero (Ley 685 de 2001 – Código de Minas): establece las obligaciones de los titulares mineros en materia de manejo ambiental y cierre técnico de minas. El piloto aporta información técnica sobre pasivos ambientales, lo cual puede ser utilizada como soporte para la planificación y toma de decisiones de la ANM y del Ministerio de Minas y Energía en procesos de regularización o reconversión productiva, sin asumir funciones regulatorias.
- Régimen ambiental (Ley 99 de 1993 y Decreto 1076 de 2015): Establecen los principios de prevención, mitigación y compensación ambiental, así como las competencias del SINA. La evidencia generada por el piloto, incluyendo parámetros operativos de remoción y estabilización de contaminantes, sirve como herramienta de soporte técnico para la formulación de planes y estrategias ambientales, sin que constituya un instrumento normativo.
- Régimen sancionatorio (Ley 1333 de 2009): establece medidas preventivas y sancionatorias frente a infracciones ambientales. El piloto no tiene competencia sancionatoria.
- Artículo 288 de la Constitución Política: promueve la actuación concurrente y subsidiaria entre la Nación y las entidades territoriales. El piloto se enmarca en este principio al incorporar transferencia tecnológica y capacitación a actores locales, asegurando que la implementación de las medidas correctivas se ejecute en coordinación con las autoridades y comunidades del territorio priorizado, fomentando la participación y fortalecimiento institucional.

La diferencia esencial es que el piloto de la UPTC no constituye una medida administrativa ni un proceso sancionatorio. Su naturaleza es técnico-científica, orientada a anticipar soluciones de remediación basadas en evidencia, de modo que las autoridades puedan apoyarse en resultados experimentales para sustentar jurídicamente las decisiones que adopten.

Adicionalmente, el piloto contempla la transferencia tecnológica al territorio y la apropiación social del conocimiento, asegurando que la propuesta no se limite a un ejercicio académico, sino que ofrezca herramientas concretas para la gestión de pasivos ambientales. Este componente responde a los enfoques actuales del Gobierno de Colombia en sostenibilidad, participación comunitaria, justicia ambiental y solidaridad territorial. En términos técnicos, el piloto introduce rutas de tratamiento basadas en tecnologías limpias e hidrometalúrgicas de bajo impacto, alineadas con los compromisos nacionales de transición y protección ambiental. Desde lo social, integra la transferencia tecnológica y la apropiación del conocimiento como herramientas de empoderamiento local, asegurando que las comunidades priorizadas no solo reciban soluciones, sino que puedan operarlas, mantenerlas y adaptarlas a sus realidades. De esta manera, se refuerza una dimensión solidaria en la que universidad, autoridades y comunidades trabajan de forma conjunta frente a un problema común. Al mismo tiempo, el piloto aporta un valor diferencial frente a la ausencia actual de un instrumento normativo específico para la declaratoria y gestión de pasivos ambientales por actividad minera, anticipando escenarios de remediación que generan insumos prácticos para la construcción futura de política pública en la materia.

3.9 Registro de evidencias del desarrollo del piloto

Durante la ejecución del piloto, se documentaron de manera sistemática todas las etapas del proceso mediante registro fotográfico, garantizando evidencia visual de la operación de los prototipos, la manipulación de materiales, la aplicación de reactivos y la interacción con el personal técnico.

Fotografía 15. *Visita al área del polígono JDN-16071, a 2 km de Cértegui, sin asentamientos humanos y se informa sobre presencia ocasional de barequeros con fines económicos.*



Fotografía 16. Reunión técnica con representantes de entidades territoriales



Fotografía 17. Salida a campo con actores territoriales para ejecución de muestreo manual y reconocimiento preliminar del potencial mineralógico.



Fotografía 18. Muestreo manual en territorio abierto mediante recolección aleatoria, uso de herramientas simples, conformación de muestras compuestas, registro detallado y control de contaminación.



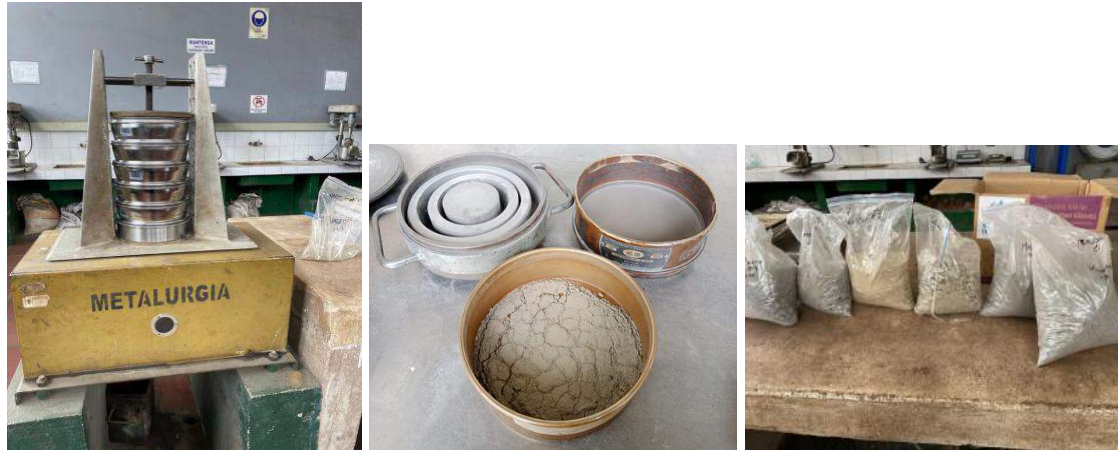
Fotografía 19. Secado de muestras a temperatura ambiente para eliminar humedad sin alterar las fases minerales presentes.



Fotografía 20. Conminución de las muestras mediante trituración para reducir tamaño y facilitar su homogeneización y análisis.



Fotografía 21. Clasificación granulométrica por tamizado para separar fracciones según tamaño de partícula, facilitando análisis específico.



Fotografía 22. Caracterización química mediante MP-AES para determinar concentración elemental con alta precisión y sensibilidad.



Fotografía 23. Calcinación de muestras para oxidar compuestos y confirmar cualitativamente la presencia de sulfuros mediante cambio de color y formación de óxidos.



Fotografía 24. Ensayos de concentración y beneficio para evaluar la recuperación y calidad del mineral mediante técnicas físicas y químicas.



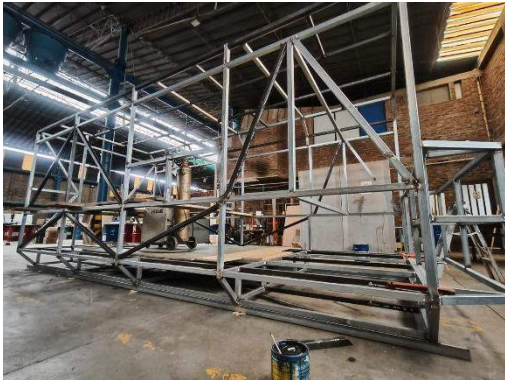
Fotografía 25. Lixiviaciones preliminares para evaluar la solubilidad y recuperación inicial de metales presentes en las muestras.



Fotografía 26. Lixiviación escala prototipo móvil



Fotografía 27. Construcción prototipo móvil





3.10 Conclusiones

Conclusiones técnicas

- La variabilidad mineralógica y química de los residuos contaminados incide directamente en la eficiencia de los procesos de remediación.
- La combinación de EDTA como agente quelante y FeCl_3 como oxidante demostró alta eficiencia en la movilización y control de metales pesados. Los ensayos a escala de laboratorio confirmaron que la concentración de los reactivos es crítica para alcanzar extracciones significativas (ppm), estableciendo parámetros sólidos para el escalamiento a prototipo móvil.
- La utilización de resinas de intercambio iónico permitió remociones casi totales de metales pesados desde los lixiviados, consolidándose como un componente clave para sistemas integrales de tratamiento y control ambiental.
- La secuencia metodológica aplicada transformó los contaminantes dispersos en formas controladas y manipulables, minimizando riesgos de dispersión secundaria y permitiendo la posibilidad de reincorporar algunos metales al ciclo productivo.

Conclusiones generales y estratégicas

- La articulación del prototipo fijo con el prototipo móvil permitió validar experimentalmente soluciones operativas que pueden ser monitoreadas, replicadas y escaladas a distintos escenarios, aportando un valor agregado frente a planes institucionales previos (Plan UNAL).
- El esquema hidrometalúrgico demostró ser versátil y escalable, aplicable la composición mineralógica del piloto de estudio.
- El piloto de remediación fortalece la capacidad del Ministerio de Minas y Energía para orientar políticas públicas basadas en evidencia científica y soluciones tecnológicas probadas, promoviendo prácticas de pequeña minería responsables y alineadas con sostenibilidad y transición energética justa.
- La estrategia metodológica genera evidencia útil para la formulación de futuros planes correctivos, con pertinencia territorial y posibilidad de integración con comunidades y actores locales, asegurando replicabilidad y sostenibilidad de las medidas.

3.11 Recomendaciones

Recomendaciones técnicas y operativas

- Extender la validación de rutas hidrometalúrgicas y de intercambio iónico en otros sectores con características similares, asegurando consistencia de resultados y escalabilidad del modelo.
- Diseñar fases intermedias de escalamiento con enfoque en estabilidad operativa y eficiencia sostenida, aplicando criterios de ingeniería de procesos en la transición desde escala de laboratorio a nivel preindustrial.

Recomendaciones estratégicas e institucionales

- Articular el piloto con entidades académicas, locales y ministeriales para fortalecer capacidades técnicas y políticas de remediación.
- Utilizar la evidencia generada como guía metodológica para la formulación de planes correctivos en otras áreas afectadas, fomentando participación comunitaria y buenas prácticas ambientales.
- Consolidar un esquema integral de corrección de pasivos ambientales que combine ciencia aplicada, transferencia tecnológica, pertinencia territorial y sostenibilidad, alineado con la agenda nacional de minería responsable y transición energética.

Anexos

- Anexo 1. Base de datos consolidada por problemática medidas plan preventivo.
- Anexo 2. Evidencias pilotos
- Anexo 3. Formatos implementación pilotos y taller complementario CARs febrero 2025.
- Anexo 4. Mapas de ubicación y superposición de pilotos.
- Anexo 5. Memorias taller Gremios, Sector Minas y Sector Ambiente junio 2025.
- Anexo 6. Base de datos consolidada por pilotos medidas plan preventivo.
- Anexo 7. Plan de capacitación, prototipo móvil de remediación
- Anexo 8. Protocolos de muestreo y caracterización.
- Anexo 9. Ficha técnica resumida del prototipo móvil
- Anexo 10. Entrega en territorio prototipo móvil.

Bibliografía

- Alianza por la Minería Responsable. (2018). *¡El interesante mundo de la minería responsable!* (1.ª ed.). El Bando Creativo. <https://minasresponsables.org>
- Alianza por la Minería Responsable. (2016). *Cartilla de aspectos ambientales de la pequeña minería* (1.ª ed.). Trendy - Branding, consultoría y diseño. <https://minasresponsables.org>
- Cámara de Representantes. (2022). *Ponencia para el segundo debate del Proyecto de Ley No. 117 de 2021: Por medio de la cual se establece la definición de pasivo ambiental, se fijan lineamientos para su gestión y se dictan otras disposiciones.* <https://www.camara.gov.co/sites/default/files/2022-09/Ponencia%20Segundo%20Debate%20PL%20117%202021%20Pasivos%20Ambientales%202022.09.05.pdf>
- CodeChoco. (2022). *MÁS DE 500 MIL ÁRBOLES SERÁN SEMBRADOS EN CÉRTEGUI y RÍO IRÓ MEDIANTE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA PARTICIPATIVA.* CodeChoco. <https://codechoco.gov.co/publicaciones/3415/mas-de-500-mil-arboles-seran-sembrados-en-certegui-y-rio-iro-mediante-restauracion-ecologica-participativa/>
- Congreso de Colombia. (2015). *Ley 1753 de 2015 por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 “Todos por un nuevo país”.* <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Normograma/Ley%201753%20de%202015.pdf>
- Congreso de la República de Colombia. (2023). *Ley 2294 de 2023 por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 “Colombia Potencia Mundial de la Vida”.* [https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/portalDNP/PND-2023/Ley 2294 del 19 de mayo de 2023.pdf](https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/portalDNP/PND-2023/Ley%202294%20del%2019%20de%20mayo%20de%202023.pdf)
- Congreso de la República de Colombia. (2023). *Ley 2327 de 2023 por medio de la cual se establece la definición de pasivo ambiental, se fijan lineamientos para su gestión y se dictan otras disposiciones.* <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=219230>
- Consejo de Estado. (2022). *Sentencia de Ventanilla Minera.* Bogotá. Recuperado el 3 de diciembre de 2024, de https://www.anm.gov.co/sites/default/files/sentencia-ventanilla-minera_240120230834.pdf
- Consejo de Estado, Sala de lo Contencioso Administrativo, Sección Primera. (2022). *Sentencia en el medio de control de protección de los derechos e intereses colectivos, radicación 25000234100020130245901.* <https://www.dejusticia.org/wp-content/uploads/2022/09/Sentencia-ventanilla-minera.pdf>
- Función Pública. (15 de febrero de 2025). *Ley 2294 de 2023 por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 “Colombia Potencia Mundial de la Vida”.* <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=209510>

Función Pública. (2022). *Plan Nacional de Desarrollo "Colombia potencia de la vida"*. Bogotá. Recuperado el 30 de noviembre de 2024.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (16 de febrero de 2025). *Serie: Documentos para el ordenamiento ambiental territorial. Orientaciones para la definición y actualización de las determinantes ambientales por parte de las autoridades ambientales y su incorporación en los planes de ordenamiento territorial*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/12/VF-CARTILLA-DETERMINANTES-AMBIENTALES-2022.pdf>

Ministerio de Minas y Energía & Ministerio del Medio Ambiente. (s.f.). *Exploración. Proyecto de Energía Minera y Medio Ambiente – CERI-Colombia-CIDA / Lakefield Research Limited*.

Ministerio de Minas y Energía & Ministerio del Medio Ambiente. (s.f.). *Guía minero ambiental: Explotación*. Proyecto de Energía Minera y Medio Ambiente – CERI-Colombia-CIDA / Lakefield Research Limited.

Ministerio de Minas y Energía - Oficina de Asuntos Ambientales y Sociales, Dirección de Minería Empresarial; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Dirección de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana; Agencia Nacional de Minería; Unidad de Planeación Minero-Energética. (2023). *Guía minero ambiental 3: Beneficio y transformación*.

Procuraduría General de la Nación. (2023). Circular No. 15: Aplicación de los principios ambientales de prevención y precaución en sede administrativa. <https://www.anla.gov.co/eureka/images/pdf/sentencias/030424-circular-15-2023-23sep2023.pdf>

Unidad de Planeación Minero Energética – UPME. (2019). *Guía para la incorporación de la dimensión minero-energética en los planes de ordenamiento territorial municipal*. Ministerio de Minas y Energía. <https://www.estudiozuka.com>

Unidad de Planeación Minero Energética – UPME. (2019). [Título del documento]. Ministerio de Minas y Energía. <https://www.estudiozuka.com>

Azizi, S., Beauclair, N., Maaza, M., Mokrani, T., Ambushe, A. A., Seopela, M. P., & M, A. T. M. (2024). Acid mine drainage treatment and metals recovery by means of selective precipitation using magnesium oxide (MgO): An experimental study. *Groundwater For Sustainable Development*, 25, 101151. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101151>

Basu, N., Clarke, E., Green, A., Calys-Tagoe, B., Chan, L., Dzodzomenyo, M., Fobil, J., Long, R., Neitzel, R., Obiri, S., Odei, E., Ovadje, L., Quansah, R., Rajaei, M., & Wilson, M. (2015). Integrated Assessment of Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Ghana—Part 1: Human Health Review. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 12(5), 5143-5176. <https://doi.org/10.3390/ijerph120505143>

Chocó7días. (2025). Ley 70 de 1993: el espejismo legal que frenó el desarrollo afrodescendiente. Chocó7días.com. <https://choco7dias.com/ley-70-de-1993-el-espejismo-legal-que-freno-el-desarrollo-afrodescendiente/>

- Deng, T. L., Yang, Y., Li, L. Y., & Zhang, B. (2013). Hydrometallurgical recovery of heavy metals from hazardous wastes: A review. *Hydrometallurgy*, 140, 101–109. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2013.09.002>
- Dorleku, M. K., Nukpezah, D., & Carboo, D. (2018). Effects of small-scale gold mining on heavy metal levels in groundwater in the Lower Pra Basin of Ghana. *Applied Water Science*, 8(5). <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0773-z>
- Eriksson, G. (1979). An algorithm for the computation of aqueous multicomponent, multiphase equilibria. *Anal. Chim. Acta*, vol. 112, pp, 375–383
- Ghosh, A., & Ray, H. S. (1991). *Principles of Extractive Metallurgy*. New Age International.
- Gupta, C. K., & Mukherjee, T. K. (2019). *Hydrometallurgy in Extraction Processes*. En Routledge eBooks. <https://doi.org/10.1201/9780203751428>
- Habashi, F. (1999). *A Textbook of Hydrometallurgy*. Sainte-Foy : Métallurgie Extractive Quebec.
- Martell, A. E., & Hancock, R. D. (1996). *Metal Complexes in Aqueous Solutions*. Springer.
- Navarro, P., Quispe, D., & Casas, J. (2020). Hydrometallurgical technologies for the recovery of arsenic and mercury from contaminated mining residues. *Minerals Engineering*, 150, 106255. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106255>
- NIST, (2004). *Critically Selected Stability Constants of Metal Complexes*. NIST Standard Reference Database 46, Version 8.0.
- Nordstrom, D. K., & Majzlan, J. (2014). *Arsenic: Environmental Geochemistry, Mineralogy, and Microbiology*. de Gruyter.
- Plan de Desarrollo Territorial 2024 - 2027 – Chocó. Fundación Empresarios por la Educación FExE. (2025). Fundación Empresarios Por la Educación. <https://fundacionexe.org.co/document/plan-de-desarrollo-territorial-2024-2027-choco/#:~:text=Los%20Planes%20Territoriales%20de%20Desarrollo,al%20cumplimiento%20de%20dichas%20metas.>
- Puigdomenech, I., (2004). *Make Equilibrium Diagrams Using Sophisticated. Algorithms (MEDUSA)*. Inorganic Chemistry, Royal Institute of Technology
- Razo, I., Carrizales, L., Castro, J., Díaz-Barriga, F., & Monroy, M. (2004). Arsenic and Heavy Metal Pollution of Soil, Water and Sediments in a Semi-Arid Climate Mining Area in Mexico. *Water Air & Soil Pollution*, 152(1-4), 129-152. <https://doi.org/10.1023/b:wate.0000015350.14520.c1>
- Ritcey, G. M. (2006). *Solvent extraction: principles and applications to process metallurgy* (Rev. 2nd ed. / Gordon M. Ritcey.). G.M. Ritcey & Associates.
- Salazar, M. N. P., & Carmona, A. P. U. (2018). Parentesco y precariedad en la minería de oro en el Chocó, Colombia. *Revista Mexicana de Sociología-A*, 80(4), 801-826. <https://doi.org/10.22201/iis.01882503p.2018.4.57795>

Standard Methods Committee of the American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation. 2017a, 3110 introduction to determining metals by atomic absorption spectrometry In: Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater. Lipps WC, Baxter TE, Braun-Howland E, editors. Washington DC: APHA Press. DOI: 10.2105/SMWW.2882.042

Standard Methods Committee of the American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation. 2017b, 3120 metals by plasma emission spectroscopy In: Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater. Lipps WC, Baxter TE, Braun-Howland E, editors. Washington DC: APHA Press. DOI: 10.2105/SMWW.2882.047

SW-846 Test Method 3051A. Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils, and Oils | US EPA. (2024, 7 noviembre). US EPA. <https://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-test-method-3051a-microwave-assisted-acid-digestion-sediments-sludges-soils-and>

UNODC (2016). *Explotación de oro de aluvión*. Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito. https://www.unodc.org/documents/colombia/2016/junio/Explotacion_de_Oro_de_Aluvion.pdf

Young, C. A. (2019). SME Mineral Processing and Extractive Metallurgy Handbook. Society for Mining, Metallurgy & Exploration.