

# Proyecto “Financiamiento adicional para el apoyo a la preparación para REDD+ del Fondo Cooperativo de los Bosques (FCPF) en Colombia”

---



## Informe de ejecución

Producto 9: protocolo de remediación, rehabilitación y/o Restauración de zonas degradadas por la actividad minera en los bosques de la cuenca del río Quito

Mayo 26 de 2022

## CONTENIDO

1.	Información general .....	4
2.	Introducción .....	4
3.	Objetivo .....	5
4.	Alcance .....	5
5.	Justificación.....	6
6.	Generalidades .....	7
6.1.	Conceptos de análisis de riesgos.....	9
6.1.1.	Riesgos Químicos.....	13
6.1.2.	Riesgos físicos.....	17
6.1.3.	Riesgo Ecosistémico.....	22
6.1.4	Enfoque del riesgo social y biocultural .....	24
6.2.	Protocolo para la selección y evaluación de medidas de intervención.....	31
6.2.1.	Definición de los objetivos de intervención .....	32
6.2.2.	Identificación de las medidas de intervención.....	33
6.2.2.1.	Alternativas para intervenir los riesgos químicos .....	33
6.2.2.2.	Limitantes de las medidas de intervención para el riesgo químico.....	41
6.2.2.3.	Esquema general para intervenciones por riesgo químico.....	41
6.2.2.4.	Alternativas para intervenir los riesgos físicos.....	42
6.2.2.5.	Limitantes de las medidas de intervención para el riesgo físico .....	49
6.2.2.6.	Esquema general para intervenciones por riesgo físico .....	50
6.2.2.7.	Restauración y rehabilitación ecológica .....	50
6.2.2.8.	Medidas de intervención administrativas.....	60
6.2.3.	Evaluación de las medidas de intervención .....	61
6.2.3.1.	Definición de las partes interesadas.....	63
6.2.3.2.	Limitantes de las alternativas.....	64
6.2.3.3.	Métodos de evaluación sostenibles .....	64
6.2.3.4.	Análisis de sensibilidad .....	65
6.2.3.5.	Análisis científico .....	65
6.2.3.6.	Criterios para la toma de decisiones .....	66
6.2.4.	Desarrollo de la estrategia de intervención.....	67
6.2.5.	Preparación del Plan de Implementación .....	67
6.2.6.	Monitoreo y Control .....	69
6.3.	Resultados químicos.....	72
6.4.	Resultados físicos .....	78
6.5.	Intervenciones propuestas .....	96
7.	Conclusiones y recomendaciones .....	129
8.	Glosario.....	131
9.	Referencias .....	133
	ANEXOS .....	139
	Anexo 1. Instrumento guía para la implementación de evaluación de riesgo en salud y ambiente.....	140
	Anexo 2. Instrumento guía para la implementación de evaluación de riesgo en salud y ambiente.....	145



Anexo 3. Descripción de las técnicas de intervención químicas .....	147
Anexo 4. Características y consideraciones de las medidas de intervención por riesgo físico .....	153
Anexo 5. Resultados de las jornadas de campo y los análisis de laboratorio. ....	161
Anexo 6. Modelo 1 - instrumento guía de protocolos para la reproducción y manejo de las especies para la remediación rehabilitación y/o restauración de ecosistemas afectados en la cuenca del río quito.	
Anexo 7. Modelo 2 - instrumento guía de protocolos para la reproducción y manejo de las especies para la remediación rehabilitación y/o restauración de ecosistemas afectados en la cuenca del río quito.	

## 1. Información general

<b>Nombre de la Organización</b>	Corporación Bioparque
<b>Nombre de la consultoría</b>	Diseñar un protocolo de remediación, rehabilitación y/o restauración de zonas degradadas por la actividad minera en los bosques de la cuenca de río Quito, a partir de la información obtenida tanto de la recopilación de muestras de metales pesados en la zona como de un diagnóstico ambiental, que contribuya al mejoramiento de los procesos biológicos de los ecosistemas y al desarrollo de las comunidades que los habitan o dependen de la provisión de bienes y servicios ambientales como modelo con énfasis en el cumplimiento de la orden 5 de la Sentencia T-622 de 2016
<b>Número de contrato</b>	Contrato No 199 de 2021
<b>Fecha de presentación del informe</b>	26 de mayo 2022
<b>Período del Informe</b>	Tercero
<b>Informe presentado a:</b>	Fondo Acción / Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

## 2. Introducción

El termino protocolo, según la Real Academia Española, se refiere a la exposición de actividades de un proceso de actuación. Para el caso de una actuación técnica y/o científica, un protocolo puede ser un documento o una normativa que establece y recoge el cómo se debe actuar en ciertas situaciones y/o procedimientos, de este modo, recopila recomendaciones, acciones y propone técnicas que se consideran adecuadas para atender las situaciones identificadas.

El presente documento es un resultado técnico que atiende el cumplimiento de la Sentencia T-622 del año 2016, de la Corte Constitucional de la República de Colombia, con el cual se busca remediar, rehabilitar y/o restaurar zonas degradadas por la actividad minera en la cuenca del Río Quito, perteneciente a la zona alta de la cuenca del Río Atrato en el Departamento del Chocó. No obstante, también puede tomarse como punto de referencia inicial para tratar zonas por fuera de su territorio objeto y que sufran de afectaciones similares. Esta herramienta o instrumento, presenta un soporte útil para manejar los riesgos y las zonas impactadas por afectaciones químicas, físicas, eco sistémicas y sociales a causa de fuerte minería mecanizada, brindando apoyo a las comunidades, autoridades ambientales e instituciones y consecuentemente mejorar las condiciones del territorio, la naturaleza y la calidad de vida de la gente.

Este producto es una herramienta diseñada con la intención de atender de forma integral algunas zonas afectadas por la minería aluvial mecanizada a lo largo de la cuenca del Río Quito y tiene como propósito

aportar criterios técnicos para una adecuada selección de las medidas de intervención (remediación, rehabilitación y restauración), analizando las diferentes alternativas que se aportan a la mitigación de los riesgos identificados.

Para dicho análisis, se toma como base la medición de contaminantes realizados en campo, la toma de muestras para análisis de laboratorio que se desarrollaron bajo este proyecto; los estudios que se han realizado en la zona de Río Quito en años anteriores y el diagnóstico perceptivo de los expertos, apoyado en el diálogo compartido con los líderes comunitario de la zona, además de; buscando aplicar medidas de intervención según la situación o el riesgo identificado, y considerando aspectos como su disponibilidad, aplicabilidad, análisis de costo-beneficio y las consecuencias de su implementación; todo esto, enfocado en el análisis de los efectos en el ambiente y en la salud humana.

Algunos de los aspectos a considerar, se tuvieron en cuenta gracias a los buenos oficios, diálogos y concertaciones realizadas con los líderes comunitarios ya que, por ejemplo, inicialmente se tenía planteado solamente el análisis químico de las zonas afectadas por la minería de oro en la cuenca del río Quito que comprende los municipios de: Río Quito, Cértegui, Unión Panamericana y Cantón de San Pablo, luego se incluyó Istmina en la parte alta del Río San Pablo (tributario de Río Quito), sin embargo, se decide incluir el riesgo físico, ya que se evidencia afectación en el paisaje, el desvío de cauces y otras situaciones de deterioro ambiental y social que repercuten sobre la calidad de vida de los ecosistemas y las comunidades.

### 3. Objetivo

El objetivo del proyecto es: diseñar un protocolo de remediación, rehabilitación y/o restauración de zonas degradadas por la actividad minera en los bosques de la cuenca de río Quito, a partir de la información obtenida tanto de la recopilación de muestras de metales pesados en la zona, como de un diagnóstico ambiental que contribuya al mejoramiento de los procesos biológicos de los ecosistemas y al desarrollo de las comunidades que los habitan o dependen de la provisión de bienes y servicios ambientales como modelo con énfasis en el cumplimiento de la orden 5 de la Sentencia T-622 de 2016.

El objetivo del documento es: *presentar un instrumento técnico que sirva como protocolo para la selección de estrategias de intervención para la remediación, rehabilitación y/o restauración en sitios identificados como afectados (Enfoque de Riesgos) por las actividades mineras de fuerte impacto en la cuenca del río Quito, cuenca alta de Río Atrato, en el departamento del Chocó.*

### 4. Alcance

El presente protocolo considera los pasos a seguir para la selección y evaluación de medidas de intervención, que pueden ser de remediación, recuperación y/o rehabilitación en el áreas afectadas por las actividades mineras de gran impacto en la cuenca del río Quito y que representen un riesgo inaceptable para el ambiente y/o la salud humana o la integridad de los ecosistemas. Cabe destacar que se deja abierta la posibilidad de considerar otras tecnologías de intervención innovadoras, siempre y cuando estas cumplan con análisis de factibilidad.

El paso a paso que se expone en el presente documento, se diseña teniendo en cuenta las condiciones de modo, tiempo y lugar para la aplicabilidad de las técnicas y se plantean teniendo en cuenta las imágenes satelitales, la cartografía, las observaciones de campo, las fuentes de información secundaria y las opiniones de la comunidad.

El documento se debe entender como una guía base que apoya el proceso de intervención a decidir, adaptándose según las condiciones específicas de cada zona, los peligros identificados y el criterio de los profesionales a cargo. Adicionalmente, deberá ser validada por las diversas partes interesadas, entre las cuales se encuentran principalmente la comunidad y las autoridades competentes.

## 5. Justificación

El departamento del Chocó es una de las regiones estratégicas para la explotación de minerales en Colombia. Desde comienzos del siglo pasado, sus ríos ricos en oro, platino, plata y zinc, han atraído el interés de empresas y mineros a pequeña escala.

La minería ilegal con el uso de grandes maquinas en el departamento del Chocó está causando problemas ambientales, eco sistémicos, en la salud de sus pobladores y serios deterioros sociales, puesto que la contaminación de las fuentes hídricas a causa del uso indiscriminado de elementos químicos como el mercurio, pueden causar graves enfermedades a sus pobladores; además de tener implicaciones en los daños a los ecosistemas (pérdida de la biodiversidad y los conflictos en el orden público que ya se evidencian.

A pesar de los riesgos mencionados, la explotación de oro de aluvión en tierras chocoanas es una de las principales fuentes de ingreso en la región, debido a su alta rentabilidad, ha mantenido su importancia.

El desarrollo de un protocolo de remediación, rehabilitación y/o restauración de zonas degradadas que involucre criterios generales y recomendaciones con la exposición de medidas de intervención, que permitan hacer frente a los problemas ambientales y de salud pública asociados a los impactos que causa la minería ilegal mecanizada de gran impacto, se fundamenta en la ausencia de estos lineamientos para la región. En especial, en poder hacer una selección de posibles medidas de intervención en áreas que presentan un riesgo, impactos o situaciones de afectación ambiental inaceptable, las cuales deben ser gestionadas para lograr su solución.

Estos riesgos deben ser identificados y estudiados antes de llevar a cabo una evaluación de factibilidad; el cual para nuestro caso, se lograron mediante medición de contaminantes de interés en campo, en la toma de muestras llevadas al laboratorio, en la relación constructiva con la comunidad y la observación analítica del paisaje.

A partir de los análisis mencionados, el instrumento técnico – protocolo, brinda un mecanismo para la toma de decisiones y en la generación de procesos efectivos teniendo en cuenta el tiempo, los costos y los posibles beneficios.

## 6. Generalidades

En la minería de oro se usan reactivos químicos que aumentan la eficiencia en la extracción del metal. Uno de los compuestos más usados es el mercurio (Hg), que permite separar y extraer el oro de las rocas donde se encuentra, por medio de la formación de una amalgama, la cual luego se calienta para evaporar el mercurio y extraer el oro con mayor facilidad (UNEP, 2008).

No obstante, el uso de este reactivo en la minería se prohibió en Colombia a través de la Ley 1658 de 2013, con la cual se estableció un plazo de 5 años para erradicar su uso en la minería y 10 años en la industria (Minambiente, s.f.). Esto se debe a los diferentes impactos ambientales que el Hg tiene en la calidad del aire, agua y suelo y que ponen en riesgo los servicios eco sistémicos y la salud de las personas expuestas tanto de manera directa como indirecta. De hecho, las actividades de minería de oro artesanal y de pequeña escala que emplean mercurio constituyen la principal fuente antropogénica del Hg liberado al ambiente a nivel global en la minería a pequeña escala (UNEP, 2013).

Por otro lado, las actividades de minería de oro artesanal y de pequeña escala pueden propiciar la liberación de metales pesados naturalmente presentes en la tierra, incrementando la concentración en suelo, agua y sedimentos de metales como plomo (Pb), cadmio (Cd), arsénico (As), cobre (Cu), zinc (Zn) y el mismo Hg (Vareda, Valente, y Duraes, 2019), incrementos que además han sido asociados a efectos carcinogénicos, alteraciones y teratógenos en humanos por la exposición a estos metales pesados en varios estudios (Xiao, Wang, Li, Wang, y Zhang, 2017). Por esta razón, además del Hg, para el diseño del presente instrumento se tienen en cuenta metales pesados como el plomo (Pb), el cadmio (Cd) y el arsénico (As).

A continuación, se muestran las afectaciones de cada uno de los contaminantes mencionados en la salud de las personas.

**Tabla 1.**

Mecanismo de daño en la salud de los humanos por intoxicación con metales pesados

Contaminante	Vías de entrada	Mecanismo de daño	Enfermedades
Mercurio	Gástrica Respiratoria Contacto	-Daño por reacción antígeno-anticuerpo específico. -Depleción de función linfocitaria.	Alteraciones neurológicas; afecciones del sistema respiratorio
Plomo	Gástrica Respiratoria Contacto	-Almacenamiento en hueso. -Daño mitocondrial y formación de radicales libres. -Apoptosis: activación por vía de las caspasas. -Inflamación por activación del Factor de Necrosis y atracción de macrófagos. -Disminución de producción de NO.	Alteraciones neurológicas (disminución del coeficiente intelectual infantil); nefrotoxicidad; anemia; cáncer de riñón
Arsénico	Gástrica Respiratoria Contacto	-Depleción de GSH (Glutatión). -Formación de radicales libres. -Apoptosis: activación por vía de las caspasas.	Bronquitis; cáncer de esófago, laringe, pulmón y vejiga; hepatotoxicidad; enfermedades vasculares

Contaminante	Vías de entrada	Mecanismo de daño	Enfermedades
Cadmio	Gástrica	-Disfunción por formación de radicales libres. -Apoptosis: activación por vía de las caspasas. -Desnaturalización proteica. -Disminución de la resistencia transepitelial.	Bronquitis; enfisema; nefrotoxicidad; infertilidad; cáncer de próstata; alteraciones neurológicas; hipertensión; enfermedades vasculares

**Fuente:** Adaptado de Díaz y Arceo, 2018; y Pangea.org, s.f.

Los metales que aparecen en la Tabla 1 se analizan en su forma elemental, es decir, sin asociarse químicamente en sales, óxidos u otras sustancias, con lo cual se mide mercurio total, plomo total, arsénico total y cadmio total. Además, su estado de la materia depende del elemento; por ejemplo, por lo general el mercurio se encuentra en forma de vapor y en forma líquida, mientras que los demás contaminantes se encuentran de forma líquida, diluidos con la matriz (agua, suelo o sedimentos). Lo anterior está asociado al riesgo químico identificado en la actividad minera de extracción de oro. Por otro lado, durante las visitas de campo en la cuenca del Río Quito, también se evidenció la situación de riesgos físicos, eco sistémicos y socioeconómicos.

como efectos, impactos o situaciones evidentes, los anteriores incluyen los procesos de remoción en masa, daños paisajísticos, aporte de sedimentos a cuerpos hídricos; procesos erosivos, sedimentación de los cauces, pérdida de la cobertura vegetal, modificación de geo-formas y deterioro de los ecosistemas, contaminación de los suelos, afectaciones a los cauces, inundaciones de lechos y suelos aluviales que afectan los suelos productivos para cultivos agrícolas, (Aquaviva, 2016) y la afección a la flora y fauna del entorno próximo a la explotación minera.

Antes de abordar el concepto de análisis de riesgos, como marco de enfoque para el presente documento, es necesario tener claras las definiciones de remediación, rehabilitación y restauración, con el fin de identificar la medida o intervención que más se ajusta a cada una de las zonas afectadas.

- **Remediación:** “Conjunto de medidas a las que se someten los sitios contaminados para reducir o eliminar los contaminantes hasta un nivel seguro para la salud y el ambiente o prevenir su dispersión en el ambiente sin modificarlos.”. (Ministerio de Ambiente, 2005)
- **Restauración Ecológica:** restablecer el ecosistema degradado a una condición similar al ecosistema pre disturbio respecto a su composición, estructura y funcionamiento. Además, el ecosistema resultante debe ser un sistema auto sostenible y debe garantizar la conservación de especies. (DEC 2099/2016. Ministerio de Ambiente)
- **Rehabilitación Ecológica:** llevar al sistema degradado a un sistema similar o no al sistema pre disturbio, éste debe ser auto sostenible, preservar algunas especies y prestar algunos servicios eco sistémicos. (Aguilar & Wilson, 2016)
- **Recuperación Ecológica:** recuperar algunos servicios eco sistémicos de interés social. Generalmente los ecosistemas resultantes no son auto sostenibles y no se parecen al sistema pre disturbio.

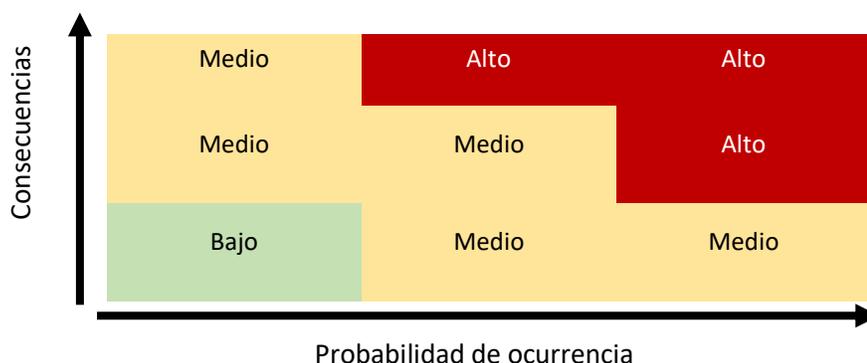
### 6.1. Conceptos de análisis de riesgos

La minería de oro artesanal y a pequeña escala, ha sido una fuente de sustento y oportunidades de empleo para miles de personas en zonas mineras de Colombia; sin embargo, este sector es de carácter artesanal e informal, y escasamente regulado, generando así importantes impactos sobre la salud, el ambiente y los ecosistemas, pero además amenazando los medios de subsistencia de las comunidades, generando condiciones de desplazamiento, violencia y altas tasas de pobreza (Vélez-Torres, Vanegas, McLamore, & Hurtado, 2018; Morgan, McLamore, y Correll, 2021). En el caso de las zonas degradadas por actividades mineras, dichos impactos tienen asociados riesgos que deben ser identificados y valorados correctamente y así poder seleccionar las medidas de intervención más adecuadas para mitigarlos, o por lo menos llevarlos a niveles tales que sean considerados como aceptables por las partes interesadas.

La evaluación de riesgos es una herramienta útil para fundamentar la toma de decisiones con base en la mejor información científica disponible y no en percepciones o juicios de valor. La información que proporciona la evaluación de un riesgo puede apoyar decisiones de control ambiental, evaluar y jerarquizar la importancia ambiental de una medida, así como estimar cuantitativamente los daños al medio ambiente, la salud humana y a los ecosistemas.

En el contexto amplio del análisis de riesgos ambientales el Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) del Reino Unido, define el Riesgo como la consecuencia generada por la ocurrencia de un peligro y la probabilidad de dicha ocurrencia, definiendo a su vez al Peligro como una situación o un agente (biológico, químico o físico) que puede llevar a causar un daño o un efecto adverso, formulando así la definición de Riesgo Ambiental como la consecuencia generada sobre un componente ambiental por la ocurrencia de una situación o un agente físico, químico o biológico y la probabilidad de dicha ocurrencia (DEFRA, 2011) (Figura 1).

**Figura 1. Esquematización del Concepto de Análisis de Riesgo: Proceso de Evaluación de las Consecuencias de un Peligro y la Probabilidad de que Suceda**



Fuente: DEFRA (2011).

Así, cuando las consecuencias y la probabilidad de que los peligros sucedan son bajos - el riesgo se califica como riesgo bajo o aceptable, y por lo tanto la situación no requiere de intervención y solo amerita de

monitoreo (zona verde). Por el contrario, cuando tanto las consecuencias como la probabilidad de que los peligros se configuren son altos (zona roja) - se considera que el nivel de riesgo es inaceptable y por lo tanto se requiere de una estrategia de intervención para su manejo. Los casos intermedios (zona ámbar) corresponden a aquellos para los que es necesario realizar un análisis de riesgos detallado para entender las variables que más contribuyen al riesgo.

Las metodologías para el análisis de riesgo son de carácter iterativo, tanto para los procesos que la conforman (análisis preliminar, evaluación genérica y evaluación detallada) como para el proceso de evaluación como un todo, y por lo general incluye varios puntos o nodos de evaluación y/o decisión.

La metodología a emplear en este estudio se muestra en la Figura 2, y su carácter iterativo y de evaluación permanente busca que la misma ofrezca flexibilidad en términos de las decisiones o respuestas que se deban tomar durante el proceso de evaluación, por ejemplo, permitiendo definir un tipo de intervención sobre un sitio cuando se considere que se han identificado correctamente los riesgos y que no hace falta realizar una evaluación con mayor detalle, posibilitando así optimizar recursos y tiempo.

Este proceso generalmente empieza con una evaluación preliminar, que involucra la recopilación de la historia de un sitio que se sospeche ha sufrido un daño ambiental, al no atender de manera oportuna los impactos ambientales generados durante las actividades ahí desarrolladas o la identificación de las amenazas para un escenario de peligro específico. El principal producto de esta etapa de análisis es la elaboración de un mapa conceptual del sitio o la situación de riesgo, que puede ser una descripción gráfica o esquemática que abarque las fronteras del sistema bajo estudio y establezca las principales relaciones entre la fuente del riesgo, su peligrosidad y la forma en que las personas o el ambiente estarían expuestas al mismo (INNOVA, 2015).

**Figura 2. Enfoque metodológico para el análisis de riesgo en sitios con sospecha de daño ambiental**

No

**Fuente:** Aquaviva, 2016.

Esta primera etapa de evaluación debe involucrar una primera caracterización preliminar del riesgo que complemente la información documental, que se pueda contrastar contra unos niveles o estándares de calidad ambiental y permita definir si existen riesgos potenciales y que acciones tomar ante ellos. En la siguiente Tabla 2 se describen los principales elementos de la evaluación preliminar de riesgos físicos y químicos en un sitio con sospecha de afectaciones por daño ambiental.

**Tabla 2.**

Elementos de la evaluación preliminar de riesgos físicos y químicos en sitios con sospecha de daño ambiental

INVESTIGACIÓN PRELIMINAR	
Riesgos por Contaminación (agentes químicos)	Riesgos por amenazas (agentes físicos)
Historia del sitio	

INVESTIGACIÓN PRELIMINAR	
Riesgos por Contaminación (agentes químicos)	Riesgos por amenazas (agentes físicos)
<ul style="list-style-type: none"> <li>Recopilación de información histórica del sitio y visita de reconocimiento:</li> <li>Registro histórico documentado de los usos y ocupación del sitio:</li> <li>Plano del sitio</li> <li>Inspección y recorrido del sitio</li> <li>Identificación y localización áreas con antecedentes de manejo de sustancias potencialmente contaminantes</li> <li>Descripción características hidrogeológicas del suelo</li> <li>Identificación depósitos de residuos</li> <li>Identificación medios (agua, suelo, aguas subterráneas) potencialmente contaminados y rutas de migración</li> <li>Revisión de estudios previos: POTs, EIAs, PMAs, Planes de gestión de riesgos, Estudios topográficos e hidrogeológicos, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recopilación de información sobre las características de los agentes o situaciones peligrosas, por ejemplo la información general del sitio y sus características físicas (e.g. geológicas, geomorfológicas, parámetros geotécnicos, cartografía, etc.) para la definición del área de estudio y los receptores potenciales, diferenciados estos como las personas (comunidades), el medio ambiente (vida acuática y silvestre terrestre, áreas protegidas, ecosistemas sensibles y patrimonio cultural) y las actividades económicas (ej. agricultura, ganadería, pesca, etc.)</li> <li>Información cartográfica</li> <li>Información geológica y geomorfológica</li> <li>mapas de cobertura y uso del suelo</li> <li>Usos actuales y futuros de las aguas superficiales y subterráneas en el área de influencia.</li> <li>Hidrogeología regional y local (acuíferos de interés regional y local).</li> <li>Hidrología superficial: Cauces receptores, caudales, características, parámetros de calidad (si aplica).</li> <li>Datos sobre los ecosistemas del área de influencia.</li> </ul>
<b>Modelo conceptual inicial</b>	
Esquema donde se visualicen todos y cada uno de los impactos negativos identificados, su posible ruta de afectación y los receptores expuestos.	Mapas donde se visualicen los escenarios de peligro o amenaza (e.g. inestabilidad de taludes, subsidencia, caída de rocas, obras de cierre inconclusas o mal hechas) y potenciales impactos (e.g. daños a bienes físicos o personas) necesarios para establecer riesgos por amenaza y vulnerabilidad.
<b>Caracterización preliminar de riesgos</b>	
<p><u>Muestreo de identificación:</u> consiste en hacer un muestreo representativo del sitio y análisis de laboratorio con el fin de determinar la presencia de contaminantes de interés de acuerdo con estándares de calidad ambiental apropiados. Los estándares de calidad pueden tomar la forma de guías donde se especifique límites máximos de concentración de contaminantes de interés para suelos o aguas.</p> <p><u>Caracterización preliminar:</u> se analizan los resultados del muestreo de identificación con los estándares de calidad y se hace una caracterización preliminar para identificar si existen riesgos potenciales y que acciones se deben seguir.</p>	<p><u>Evaluación preliminar de amenazas y consecuencias:</u> consiste en una primera evaluación cualitativa donde se evalúa la probabilidad de ocurrencia de las amenazas y sus posibles consecuencias. El análisis involucra valorar técnicamente la posibilidad de que se configuren las amenazas y considerar la vulnerabilidad de los elementos expuestos, por ejemplo, considerando el tamaño de las poblaciones expuestas y su cercanía a los escenarios de peligro.</p> <p><u>Caracterización preliminar:</u> se analizan los resultados de la evaluación cualitativa y se categoriza el riesgo (alto, medio, bajo) para identificar si existen riesgos potenciales y que acciones se deben seguir.</p>

**Fuente:** adaptado de Innova (2015).

Para efectuar la identificación de los escenarios de riesgo, se debe relacionar la información recopilada en el diseño del modelo conceptual. Los escenarios de riesgo identificados permitirán evidenciar claramente las situaciones de mayor interés con el fin de calificar y otorgar una clasificación de riesgo de estos.

### 6.1.1. Riesgos Químicos

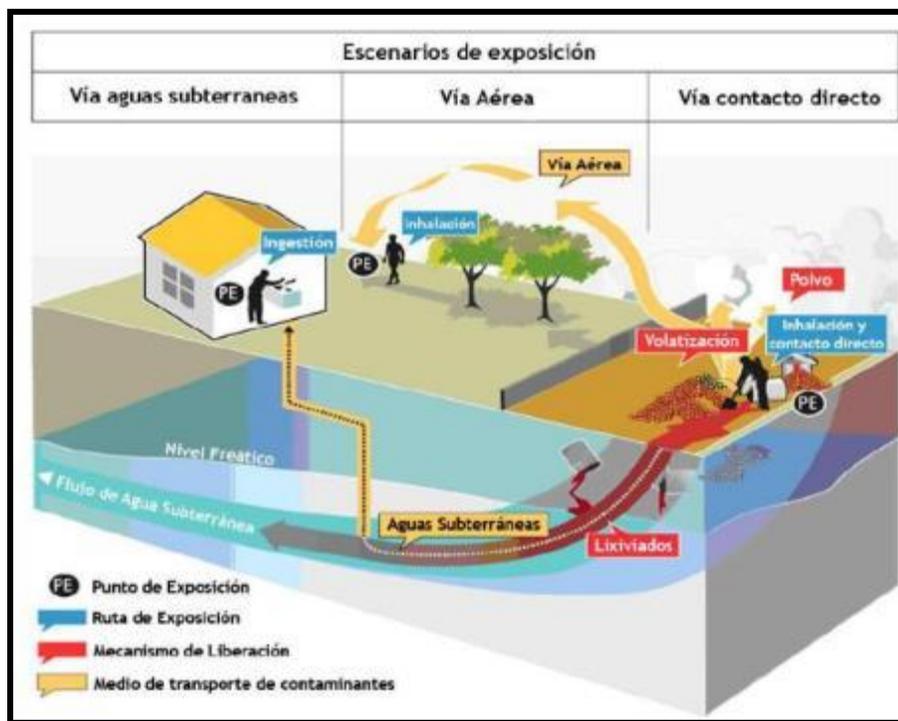
Los riesgos al ambiente y a la salud humana por contaminantes químicos, hacen referencia a todos aquellos efectos adversos que pueden manifestarse en un grupo de población humana expuesto a los contaminantes presentes en el ambiente. Por su parte, los riesgos para los ecosistemas hacen referencia a todos aquellos efectos adversos que pueden alterar cualquier nivel de organización de un ecosistema expuesto a los contaminantes presentes en los diferentes medios a los que hayan podido migrar desde determinada fuente.

La evaluación de riesgos al ambiente y a la salud humana, hacen parte del proceso de análisis de riesgo y se basa esencialmente en la identificación y cuantificación de un contaminante, sus vías de exposición y los efectos que ejerce en sus potenciales receptores. Estos tres componentes del riesgo (fuente – vía de exposición – receptor) deben estar presentes para que se configure un riesgo a la salud humana y son los que deben tenerse en cuenta durante el proceso de análisis del riesgo. Así, una de las primeras etapas en el análisis de riesgos es conseguir la mayor cantidad de información para identificar el conjunto de riesgos que se puedan presentar y así poder evaluar si el riesgo se origina principalmente a partir de contaminación química, vulnerabilidad física, u otro tipo de riesgo.

En este sentido, se considera contaminante a todo elemento químico presente en el lugar de estudio a concentraciones superiores a las naturales o a las de referencia para el respectivo compuesto en el medio en que se esté evaluando. Las vías de exposición son las rutas por las cuales un contaminante puede entrar en contacto con un receptor desde una fuente contaminada al punto de exposición. El receptor es el individuo, grupo, población, suelo, cuerpo hídrico, etc., que puede estar expuesto al contaminante.

Todo esto permite construir un modelo conceptual para cada sitio, como el que se muestra en la Figura 3, y que es una representación de las interrelaciones existentes entre las fuentes de contaminación, las rutas por las cuales los contaminantes pueden migrar a través de diferentes compartimientos ambientales y las poblaciones (humanas o ecológicas) que pueden estar potencialmente expuestas y por lo tanto constituirse en receptores finales; la fuente de los contaminantes y la ruta de exposición (inhalación, ingestión, dérmica).

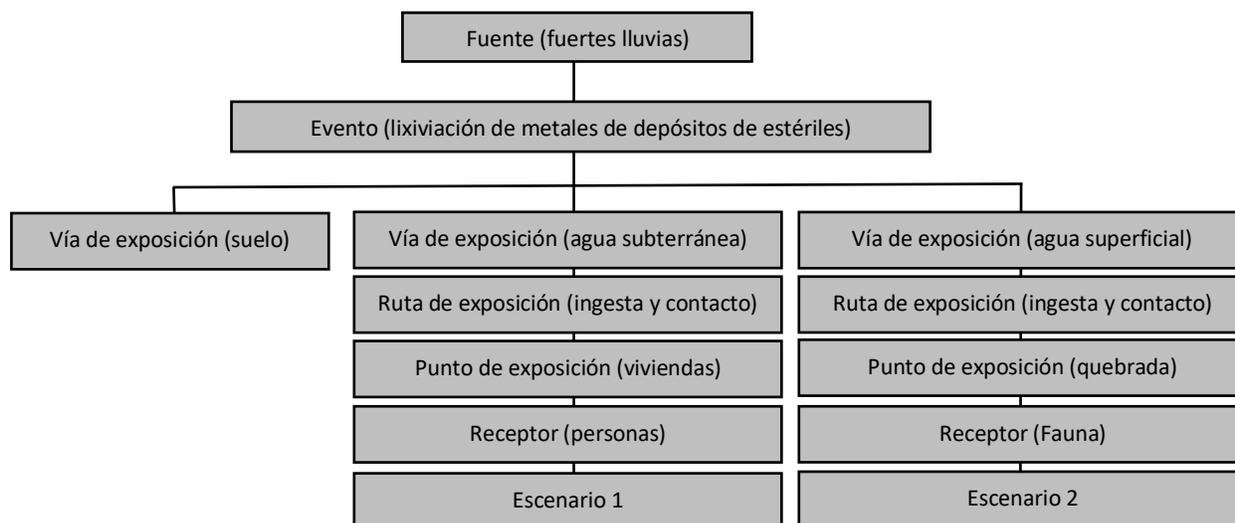
**Figura 3. Esquematización de un modelo conceptual para el análisis de riesgos**



Fuente: E-Tech International, 2015.

En la Figura 4 se esquematiza a manera de ejemplo un modelo conceptual para identificar los escenarios de riesgo químico asociados a una actividad minera. No obstante, es importante identificar que los escenarios de exposición incluyen: los movimientos de los relaves fuera del lugar donde se lleva a cabo la minería; también con el contacto con la ropa y el calzado, entre otros. Es decir, no se limita solamente a la exposición durante la producción y desecho de los minerales extraídos a través de la minería sino del transporte de los relaves hacia los sitios de disposición de residuos peligrosos, según los métodos químicos de extracción.

Figura 4. Ejemplo de modelo conceptual de riesgos químicos por actividad minera



Fuente: Madero, 2021.

En el ejemplo de modelo conceptual mostrado en la Figura 4, de igual manera podría presentar la ruta de exposición correspondiente al transporte fuera del emplazamiento de suelos contaminados en residuos o transporte incidental, y al transporte por el viento de polvo y vapores de mercurio y otros metales pesados.

La construcción del modelo conceptual involucra además la identificación de las fuentes de amenaza, que en este caso corresponden a fuentes de contaminación y los contaminantes de interés. La identificación de amenazas es clave para establecer los receptores y rutas de exposición, y en el caso de los sitios con sospecha de daño ambiental por actividades mineras las principales amenazas están asociadas a la falla de taludes, deslizamientos, subsidencias, explosiones, generación de drenaje ácido de mina, lixiviación de sustancias tóxicas contenidas en los relaves, estériles y demás material de desecho con posibles contenidos de cianuro y metales pesados.

En términos generales los contaminantes de interés son aquellos sobre los que se tiene evidencia de que su máxima concentración medida en los sitios evaluados exceden el valor de referencia considerado seguro para la salud humana y el ambiente, tienen asociados efectos tóxicos o eco tóxicos, y cuyas características fisicoquímicas además les confieren propiedades de permanencia en el ambiente, como se muestra en la Tabla 3. En la normativa colombiana no se han establecido valores de referencia para riesgo químico en suelos; por otro lado, si se han establecido valores de referencia para riesgo químico en agua en la Resolución 0631 de 2015.

**Tabla 3.**

Criterios para identificar compuestos de interés en el análisis de riesgos

Criterio	Característica
Concentración en cada medio afectado	Exceder los valores de concentraciones de referencia en cada medio
Toxicidad del contaminante	Efectos agudos, subagudos, crónicos Efectos carcinógenos Efectos mutagénicos Efectos neurotóxicos Disrupción endocrina
Persistencia	Potencial de bioacumulación y biomagnificación Movilidad en cada medio de acuerdo con sus propiedades fisicoquímicas

**Fuente:** Aquaviva, 2016.

La etapa siguiente en el análisis de riesgo es evaluar la exposición a los contaminantes y sus efectos, es decir medir o estimar la intensidad, frecuencia, ruta y duración de dicha exposición, expresándola en términos de dosis de este, recibida por un receptor a través de cada una de las vías de exposición (e.g. inhalación, ingestión o contacto directo). Esto permite estimar de la cantidad de contaminante que efectivamente ingresa a un organismo por una vía específica, la cual puede compararse con valores de referencia, por ejemplo, en términos de características de toxicidad y la relación entre la dosis del contaminante recibido y la aparición de un efecto adverso en la población expuesta.

La siguiente etapa es la caracterización del riesgo, la cual se encarga de integrar los resultados del análisis de la toxicidad y del análisis de la exposición, para cuantificar y evaluar el nivel de riesgo. Esto implica considerar los diferentes medios, rutas y vías de exposición definidas en el modelo conceptual y calcular el índice de riesgo total asociado a cada contaminante individual, así como el riesgo total asociado a todos los contaminantes de interés considerados.

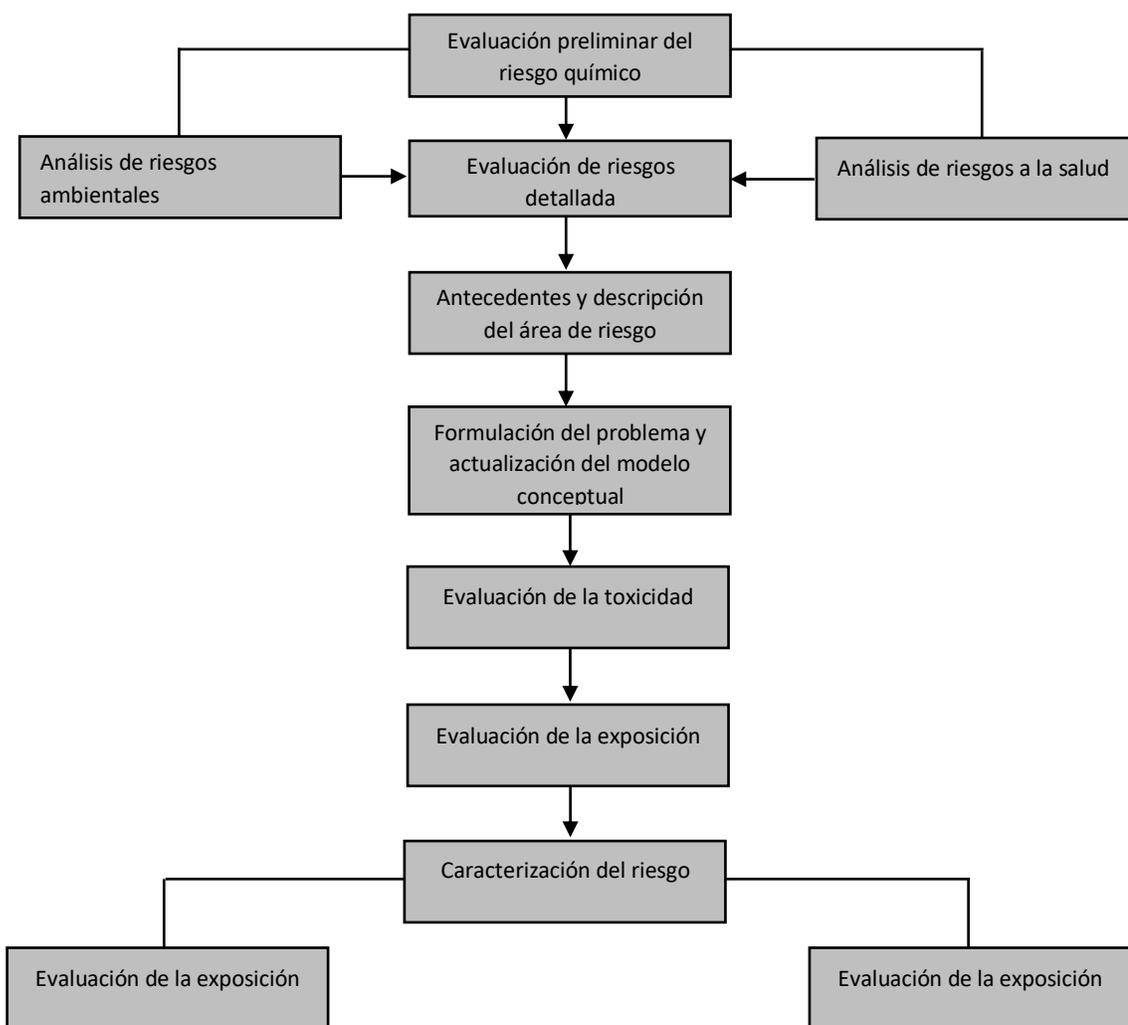
Para valorar los niveles de riesgo que representan los índices calculados, deben establecerse previamente los criterios de aceptabilidad del riesgo, es decir, aquellos rangos dentro de los cuales el riesgo es admisible en unas determinadas circunstancias, así como los umbrales a partir de los cuales puede hablarse de una situación de riesgo inaceptable, es decir aquella para la cual se requiere plantear unas medidas de intervención que eliminen o reduzcan los riesgos a la salud y el ambiente.

Es importante no olvidar tener en cuenta la incertidumbre asociada a las diferentes etapas del proceso antes descritas, como la caracterización del área de estudio y la identificación de los contaminantes y sus características de toxicidad, la cuantificación de la exposición y la influencia que todos estos factores de incertidumbre tienen sobre la valoración de los riesgos considerados en el análisis. Finalmente, se discuten los resultados y se establecen conclusiones respecto el nivel de riesgo observado, teniendo en cuenta los valores de referencia y los elementos que representan un mayor riesgo.

De esta forma, a partir de las diferentes etapas antes descritas, en la Figura 5 se muestra un esquema con todos los elementos a considerar al realizar un análisis de los riesgos que se derivan de zonas donde se

sospecha hay condiciones que pueden generar afectaciones a la salud y el ambiente por contaminantes. Adicionalmente, en el ANEXO 1 se presenta un instrumento que sirve para orientar paso a paso el desarrollo de una evaluación de riesgos para la salud y el ambiente, con énfasis en agentes químicos.

Figura 5. Proceso de análisis de riesgo



Fuente: Adaptado de Aquaviva, 2016.

### 6.1.2. Riesgos físicos

Cuando un área o sitio se evidencian daños ambientales ocasionados por diversos factores o situaciones se genera un riesgo potencial al ambiente, y se crea la necesidad de proponer planes de manejo y mitigación, a través de medidas de intervención o compensación del daño. Este tipo de análisis

generalmente empieza con la revisión de insumos básicos, tanto cartográficos como digitales, que brinden información sobre las principales amenazas, tanto cartográficos como digitales, así como la recopilación de los parámetros de interés del lugar de estudio.

Para evaluaciones de riesgos físicos y especialmente aquellas correspondientes a áreas mineras en estado de abandono se puede partir de la definición dada en las guías elaboradas por el Ministerio de Minas y la Universidad Industrial de Santander (Ministerio de Minas y UIS, 2016), que establecen que la evaluación del riesgo implica determinar la posibilidad de que ocurran determinados sucesos, así como la magnitud de sus posibles consecuencias, considerando los siguientes aspectos:

- Identificar las amenazas, su naturaleza, ubicación, intensidad y probabilidad.
- Identificar la existencia y el grado de vulnerabilidad y exposición ante las amenazas identificadas.
- Definir las capacidades, los recursos de los cuales se dispone para enfrentar o manejar las amenazas.
- Determinar cuál es el grado de riesgo aceptable.

Las metodologías de cuantificación consisten, en general, en la integración de la evaluación de la amenaza, la evaluación de la vulnerabilidad, el mapeo de los elementos expuestos y la determinación de un valor indicativo del riesgo, con el fin de evitar la ocurrencia de un evento que alcance a generar una calamidad.

La amenaza es un peligro latente de que un evento físico o de origen natural o causado o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdidas de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales.

Por su parte, la vulnerabilidad es la susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada en caso de que un evento físico peligroso se presente, por ejemplo, a sufrir pérdidas humanas de su ambiente físico, socioeconómicas y de sus medios de subsistencia. Un análisis de vulnerabilidad consiste en identificar los escenarios de amenaza bajo los cuales se puedan presentar estos daños con relación a los siguientes tres entornos de vulnerabilidad:

- La vulnerabilidad ambiental, que comprende los hallazgos relacionados con el desarrollo de una actividad minera que pueden causar daño al medio ambiente y a la población humana, por ejemplo, la contaminación del agua, afectación a nacimientos de agua y al cauce los ríos, contaminación del suelo y cambios en su uso etc.
- La vulnerabilidad física, cuyo objetivo es determinar el grado de vulnerabilidad de las estructuras que se encuentran dentro de las áreas afectadas por actividades mineras en estado de abandono, orientado a edificaciones e infraestructura propia del proceso minero, así como viviendas dentro del área de desarrollo de la actividad, basándose en sus características estructurales existentes así como en su respuesta ante un evento crítico de origen sísmico y de movimiento en masa que se pudiera presentar.

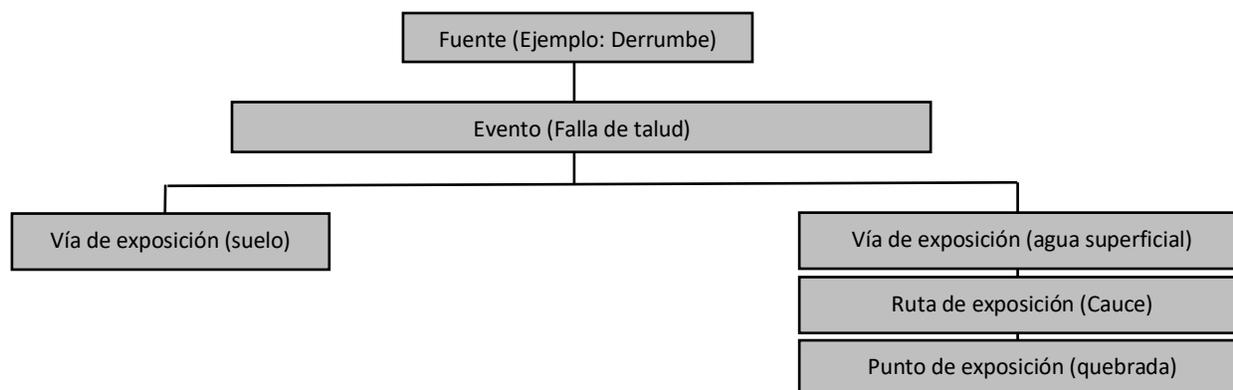
- La vulnerabilidad social, con la que se busca identificar la capacidad de reacción que tiene una comunidad para responder ante adversidades y la disponibilidad de recursos con que cuenta para dicha reacción.

De forma similar al análisis de riesgo químico, donde se busca establecer la relación fuente contaminante-ruta o vía de exposición-receptor, el modelo conceptual para riesgo físico debe priorizar los escenarios de riesgo en los que se identifique la combinación fuente-medio-receptor, de modo que permita establecer claramente:

- i) las condiciones del sitio y características físicas del ambiente,
- ii) la identificación de escenarios de peligro, y
- iii) la identificación de los potenciales receptores, que incluye tanto la población expuesta por residir o trabajar actualmente en el área de influencia, futuros ocupantes del lugar o poblaciones ecológicas ubicadas dentro y fuera del área de influencia.

A manera de ejemplo en la Figura 6 se esquemáticamente un modelo conceptual para identificar los escenarios de riesgo físicos asociados a una actividad minera.

**Figura 6. Ejemplo de modelo conceptual de riesgos físicos por actividad minera**



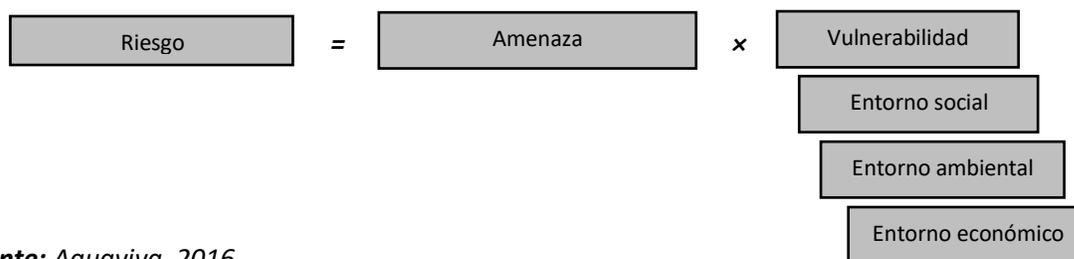
**Fuente:** Madero, 2021.

Una vez que se tienen los escenarios se procede a realizar una valoración de las amenazas, teniendo en cuenta la probabilidad de que estas ocurran, y de la vulnerabilidad de las zonas afectadas. Existen diferentes metodologías en las que se aborda el análisis de riesgo para actividades mineras mediante la priorización de los sitios que requieren intervención teniendo en cuenta la probabilidad de ocurrencia de las amenazas y la severidad de sus consecuencias (SERNAGEOMIN-BGR, 2006; Ministerio del Ambiente, 2010). Dicha evaluación se realiza usando criterios técnicos específicos para el escenario de peligro en estudio y está sujeta al criterio experto del grupo de profesionales que la realizan.

## Cálculo del riesgo

De forma análoga a la evaluación de riesgos químicos por contaminantes, para los riesgos físicos el cálculo del riesgo se evalúa para cada uno de los elementos expuestos como el producto de la amenaza por la vulnerabilidad, para cada uno de los entornos antes considerados (ambiental, físico y social), como se esquematiza en la Figura 7.

**Figura 7. Evaluación del riesgo físico**



**Fuente:** Aquaviva, 2016.

Este cálculo se basa en índices, es decir en cuantificación de indicadores y se obtiene a partir de generar una operación cartográfica entre la amenaza y la vulnerabilidad.

Para la evaluación del riesgo específico se evalúan los elementos expuestos, con base en la amenaza y la vulnerabilidad, pero se integra el valor del elemento expuesto, como un valor total de las pérdidas probables en caso de que ocurra un evento, estimando el costo o pérdida y la afectación en las personas.

## Ejemplo de evaluación del riesgo físico

Una vez se evalúan para cada escenario de peligro tanto la probabilidad de ocurrencia de las amenazas como la severidad de sus consecuencias, se puede aplicar una matriz de evaluación del riesgo que permita clasificar los riesgos generados dependiendo de su ubicación en la matriz mencionada (Tabla 4). Las matrices de evaluación serán alimentadas por los valores de vulnerabilidad y amenaza determinados anteriormente, siendo el riesgo el producto entre la amenaza y la vulnerabilidad.

**Tabla 4.**  
**Matriz de evaluación de riesgo**

ENTORNO		Social					Ambiental					Económico					
Vulnerabilidad		Ninguna	Baja	Regular	Alta	Catastrófica	Ninguna	Baja	Regular	Alta	Catastrófica	Ninguna	Baja	Regular	Alta	Catastrófica	
Valores		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
Amenaza	Muy baja	1															
	Baja	2															
	Media	3															
	Alta	4															
	Muy alta	5															

**Fuente:** Aquaviva, 2016.

La ubicación de los escenarios en la matriz permitirá clasificar el riesgo identificado con el fin de emitir un juicio sobre la importancia de proceder a una evaluación más detallada. Aquellos escenarios de riesgo que se encuentren en la clasificación de riesgo moderado y grave deberán ser evaluados de manera más detallada ya que se consideran escenarios con un riesgo significativo. Para los riesgos clasificados como leves, es necesario tomar medidas de prevención con el fin de reducir la probabilidad de ocurrencia, evitando así la aparición de riesgos significativos.

### Mitigación y Prevención del Riesgo

En esta etapa se identifican las medidas requeridas para reducir los daños potenciales ante la probable ocurrencia de un evento amenazante, de modo que se pueda establecer una hoja de ruta que permita caracterizar las áreas que requieren intervención y las medidas de intervención más apropiadas. Estas medidas se discuten en mayor detalle en el numeral 6.2.2 del presente documento.

En la **Figura 8** se muestra un esquema con todos los elementos a considerar al realizar una evaluación de riesgos físicos; adicionalmente, en el ANEXO 2 se presenta un instrumento que sirve para orientar paso a paso el desarrollo de una evaluación de este tipo de riesgos para la salud y el ambiente.

En la práctica, hay muchos casos en los que se presenta algún riesgo y hay que decidir entre un riesgo aceptablemente bajo, el cual no justifique ninguna acción. Por lo cual, en el segundo cuadro de la anterior figura se debe definir si se identifica un escenario de riesgo donde valga la pena llevar a cabo una intervención, sea debido a su potencial riesgo hacia la salud de la comunidad o el daño hacia el medio ambiente, o si, por el contrario, presenta escenarios de riesgo, pero se encuentra en un rango aceptable, con lo cual no es necesario llevar a cabo la intervención del sitio. **Figura 8. Esquema para la evaluación preliminar de riesgo físico**

**Fuente:** Aquaviva, 2016.

### 6.1.3. Riesgo Eco sistémico

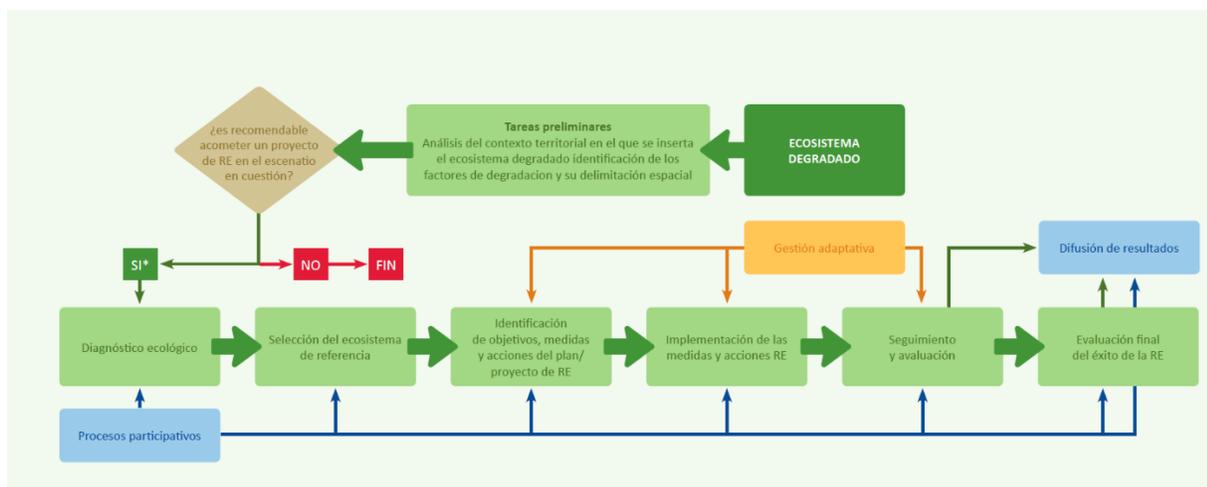
#### Enfoque del Riesgos Eco sistémicos

Son aquellos riesgos que afectan drásticamente todos los componentes y las condiciones micro, meso y macro climáticas del ecosistema, afectando la composición, estructura y función de la biota y del suelo, así como la dinámica hídrica, los flujos de nutrientes y la capacidad regenerativa natural de los ecosistemas, compactación del suelo, lixiviación de nutrientes y pérdida de materia orgánica, lo cual puede generar comunidades propias de sucesiones secundarias o desviadas (ecosistemas degradados). Se consideran los disturbios antrópicos ocasionados por los sistemas productivos agrícolas, pecuarios, pesqueros y agroindustriales; la deforestación por cultivos ilícitos, extracción de madera, la extracción de materiales a cielo abierto y minería en general, la expansión urbana originada por el desarrollo de obras e infraestructura de gran impacto y el incremento de la densidad poblacional, los incendios forestales y quemas.

#### Riesgos eco sistémicos por minería mecanizada

La minería trae consigo cambios drásticos en la estructura del suelo, ejemplificados en la compactación generada por el uso de maquinaria y la erosión de los mismos, fenómeno acelerado por factores climáticos como el viento y la precipitación. Los efectos producidos por la minería en los ecosistemas incluyen degradación del paisaje, pérdida de cobertura vegetal y de biodiversidad, aumento de niveles de ruido y material particulado, sedimentación, erosión, hundimientos e inestabilidad del terreno por explosiones. En relación con el recurso hídrico, la minería tiene como consecuencias la afectación de la dinámica de las aguas superficiales y subterráneas, la interrupción o redireccionamiento de flujos, la extracción y desecación de acuíferos, el cambio en la capacidad de almacenamiento y regulación del agua; el incremento en la sedimentación y la contaminación.

Figura 9. Esquema general del análisis de riesgo ecosistémico



**Fuente:** Guía Práctica de restauración ecológica.

**Todo ello fundado en los siguientes principios:**

- Está basada en criterios científicamente contrastados: Se trata de un conocimiento que sigue el método científico, cuyos resultados están avalados con su publicación en revistas científicas reconocidas, lo que supone que han sido exhaustivamente revisados y posteriormente evaluados por expertos.
- Implica un diagnóstico ecológico. Dado que cada caso es único, la intervención se sirve de un diagnóstico específico del espacio a restaurar que, además, ha de tener un enfoque holístico, en el que se contemplen las necesidades socioeconómicas y el contexto histórico-cultural a distintas escalas. Incluye las relaciones eco sistémicas y también el paisaje.
- La importancia del ecosistema de referencia, que define los procesos ecológicos que se deben recuperar y que suele ser próximo y semejante al original (en el caso de las rehabilitaciones y remplazos, como se verá más adelante, este concepto se puede ver modificado). El ecosistema de referencia no suele ser único ni estático y para su adecuada selección resulta de mucha utilidad conocer la evolución histórica y/o a futuro (en un contexto de cambio global). Este ecosistema de referencia es la base para establecer las características de la intervención (morfología, taxones, hidrología, procesos dinámicos. etc.).
- Busca una intervención mínima: Al identificar los procesos ecológicos clave que rigen el funcionamiento del ecosistema y actuar sobre ellos, se desencadena la expresión de la memoria y se activa la capacidad de auto- regeneración de los ecosistemas. Por ello, se deben tener en cuenta los procesos dinámicos que permitan establecer mecanismos de mínima intervención en la gestión futura.
- Lleva asociados modelos de gestión adaptativa, que permiten marcar fases en las que medir la evolución del ecosistema y así, en caso de producirse desviaciones respecto a los objetivos iniciales

previstos, se pueden reorientar las medidas y acciones de restauración o incluso los objetivos. Esta labor de continuo seguimiento y evaluación del desarrollo del proyecto permite manejar la incertidumbre derivada de sistemas ecológicamente complejos, adaptando el proyecto en todo momento hacia las metas de restauración.

- Debe ser flexible y pragmática, de manera que teniendo en cuenta los marcos ecológico, socioeconómico y cultural se maximice la biodiversidad, los procesos ecológicos y la provisión de servicios ecosistémicos.

### Opciones de intervención a nivel eco sistémico

La intervención necesaria para llevar a cabo una recuperación y/o habilitación se puede clasificar en activa o pasiva:

- **Activa:** consiste en la intervención directa del hombre sobre la estructura y características del ecosistema degradado, con el fin de remplazarlo, rehabilitarlo o restaurarlo para garantizar la existencia de un ecosistema estructurado y funcional.
- **Pasiva:** se centra en eliminar o minimizar las perturbaciones causantes de la degradación, dejando que el ecosistema degradado pueda recuperar por sí mismo su estructura y funcionalidad. Cabe destacar que esta posibilidad siempre debe contemplarse como primera opción, ya que en numerosas ocasiones sus resultados pueden ser comparables y con frecuencia superiores a los de la restauración activa.

#### 6.1.4 Enfoque del riesgo social y lo Biocultural

### El Enfoque del Riesgo Social

El enfoque del riesgo social para el presente protocolo, lo trataremos bajo la percepción social del riesgo (PSR) asociada a la pérdida de los servicios ecosistémicos (SE) y su relación con los elementos de la Bioculturalidad, elemento preponderante en la Cuenca del río Quito. <sup>1</sup> La PSR será entendida como la apreciación que realizan las comunidades, grupos o individuos frente a la problemática identificada y la ocurrencia de daños (presentes y futuros) en su territorio, bien sea, por la pérdida de recursos naturales, la disminución de los bienes y servicios ambientales y sus consecuencias probables (Lee, 1983 citado por Puy, 1994).

La percepción social del riesgo PSR es tratada en este protocolo producto de la articulación de enfoques y se llevó a cabo un análisis cualitativo de la información obtenida en los muestreos, recorridos de campo,

---

<sup>1</sup> Se utiliza una aproximación y adaptación propia, considerando lo planteado por *Vanessa Bolaños, Ingrid Valencia, 2017, en "Percepción Social del Riesgo por Pérdida de Servicios Ecosistémicos"*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Departamento de Geociencias y Medio Ambiente. Medellín, Colombia. 2017, en combinación con otros autores referenciados en el presente documento.

resultados de los dos ciclos de talleres comunitarios de capacitación y socialización, y por los distintos escenarios de trabajo de grupo.

Finalmente, las propuestas de probables intervenciones que propone el protocolo para atender algunos problemas sociales relacionados con las afectaciones ambientales, aportarán a enfrentar la reducción del riesgo social (RS) asociado a los problemas ambientales (RS-A) y así avanzar en entender cuál es la vulnerabilidad existente a nivel colectivo que viven las comunidades y las personas habitantes de la cuenca del río Quito y permitirá focalizar los esfuerzos para la disminución de las mismas.

La percepción social de riesgo (PSR) tuvo sus inicios en los estudios del razonamiento y la toma de decisiones, en el marco del análisis de riesgo en las sociedades industrializadas (Stanojlovic, 2015) y es entendida como la valoración que realizan los individuos o grupos frente a la probabilidad de ocurrencia de un daño a futuro y de sus consecuencias probables (Lee, 1983 citado por Puy, 1994). Si bien la literatura coincide en que la percepción social del riesgo (PSR) es producto de diversos factores que moldean la forma en que los individuos realizan sus evaluaciones frente al riesgo, hay discrepancias sobre la naturaleza de estos. Los estudios desarrollados a partir de la década de 1990 incorporan modelos de la percepción social del riesgo (PSR) que incluyen factores de tipo social, psicológico, psicosocial y cultural (Puy, 1994), económicos y de contextos territoriales (Ortiz, Castro, & Rugiero de Souza, 2012; Almaguer, 2008).<sup>2</sup>

Dado que la amenaza sobre la cual se basa el análisis de la pérdida de los servicios ecosistémicos (SE) y que en este caso para la cuenca del río Quito es la actividad minera, en especial la existente e incontrolada minería pesada, mecanizada e ilegal -aspecto altamente tratado y conocido por todos- ampliaremos un poco más el marco conceptual del Enfoque Biocultural en el análisis del problema.

### El Enfoque Biocultural

El enfoque biocultural establece una perspectiva más amplia para lograr entender las diversas relaciones existentes entre los procesos naturales y las sociedades que la intervienen y habitan en ellas. Partiendo del presupuesto de que la diversidad natural del territorio está en una correlación positiva con la diversidad cultural (Gorenflo et al., 2012), existe un vínculo indisoluble entre las culturas y la naturaleza, el cual requiere una aproximación que permita explicar la convergencia de las culturas y los modos de vida con la diversidad natural y el territorio, los cuales disciplinariamente han estado disociados (Boege, 2011).

Por otro lado (Maffi, 2007), establece las siguientes premisas básicas para su comprensión:

- La diversidad de la vida se compone no solo de la diversidad de especies vegetales y animales, hábitats y ecosistemas que se encuentran en el planeta, sino también de la diversidad de culturas y patrones humanos.

---

<sup>2</sup> Vanessa Bolaños, Ingrid Valencia, 2017, en "Percepción Social del Riesgo por Pérdida de Servicios Ecosistémicos". Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Departamento de Geociencias y Medio Ambiente. Medellín, Colombia. 2017

- Estas diversidades no existen en forma separada y reinos paralelos, sino que interactúan entre sí y se afectan recíprocamente, de formas complejas.
- Los vínculos entre estas diversidades se han desarrollado en el tiempo a través de la adaptación mutua entre los seres humanos y el medio ambiente a nivel local, posiblemente de naturaleza coevolutiva. (Maffi, 2007).

La relación biocultural no es una casualidad, sino que es la consecuencia de la interdependencia entre las sociedades humanas y su entorno ambiental y biológico. Podemos decir que los pueblos étnicos han sobrevivido y en algunos casos han prosperado como pueblo en los lugares donde la selección natural ha producido una rica variedad de paisajes, animales, plantas y recursos naturales de valor. De modo que las culturas cambian a través del tiempo con base a factores históricos, pero también los factores físicos del ambiente y de la naturaleza local. (Casas *et al.* 2007, Caballero y Cortés 2012, Moreno *et al.* 2013)

El concepto de diversidad biocultural surge de conjuntar cuatro evidencias:

1. El traslape geográfico entre la riqueza natural y la diversidad ampliada expresada en el territorio (físico, biótico, social y cultural).
2. El traslape geográfico entre los territorios étnicos y las zonas de alto valor natural - biológico (actuales y proyectadas).
3. La reconocida importancia de los pueblos étnicos como principales pobladores y manejadores de ambientes conservados.
4. La presencia de un comportamiento orientado al conservacionismo entre los pueblos étnicos, derivado de su complejo de creencias-conocimientos-prácticas. (Casas, A., Otero-Arnaiz, A., E. Pérez-Negrón y A. Valiente-Banuet. 2007).

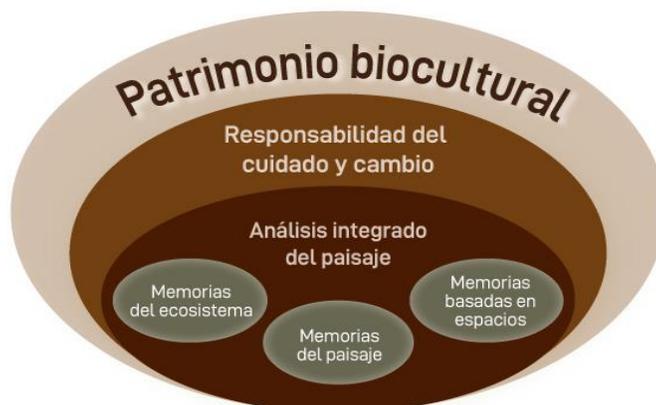
Con las actividades tradicionales agrícolas, las mineras artesanales, forestales de uso social, etc., en la historia, las comunidades étnicas han modelado y modelan el territorio, su contenido genético, las poblaciones y las expresiones paisajístico de los ecosistemas. Por ejemplo, en la medida en que los agricultores desarrollan sistemas y técnicas, va fluctuando la diversidad genética de los cultivos, por lo que la biodiversidad está ligada a la heterogeneidad cultural. Si se pierde la expresión cultural en el territorio, también se pierde y se simplifica la diversidad biológica.<sup>3</sup>

Con el fin de plantear una intervención con enfoque Biocultural en la cuenca del Río Quito, debemos considerar el concepto de Patrimonio biocultural, considerando que “El patrimonio biocultural, es el conocimiento y prácticas ecológicas locales, la riqueza biológica asociada (ecosistemas, especies y diversidad genética), la formación de rasgos de paisaje y paisajes culturales, así como la herencia, memoria y prácticas vivas de los ambientes manejados o construidos”.

---

<sup>3</sup> Casas, A., Otero-Arnaiz, A., E. Pérez-Negrón y A. Valiente-Banuet. 2007. **Manejo de la vegetación, domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica.** Boletín de la Sociedad Botánica de México.

Figura 10. Patrimonio biocultural



**Fuente:** Lindholm y Ekbiom (2019)

Recientemente, los autores suecos Lindholm y Ekbiom (2019), presentaron un enfoque integrado para el manejo del paisaje. El enfoque contempla cinco (5) elementos: los tres primeros son utilizados para describir y entender el paisaje:

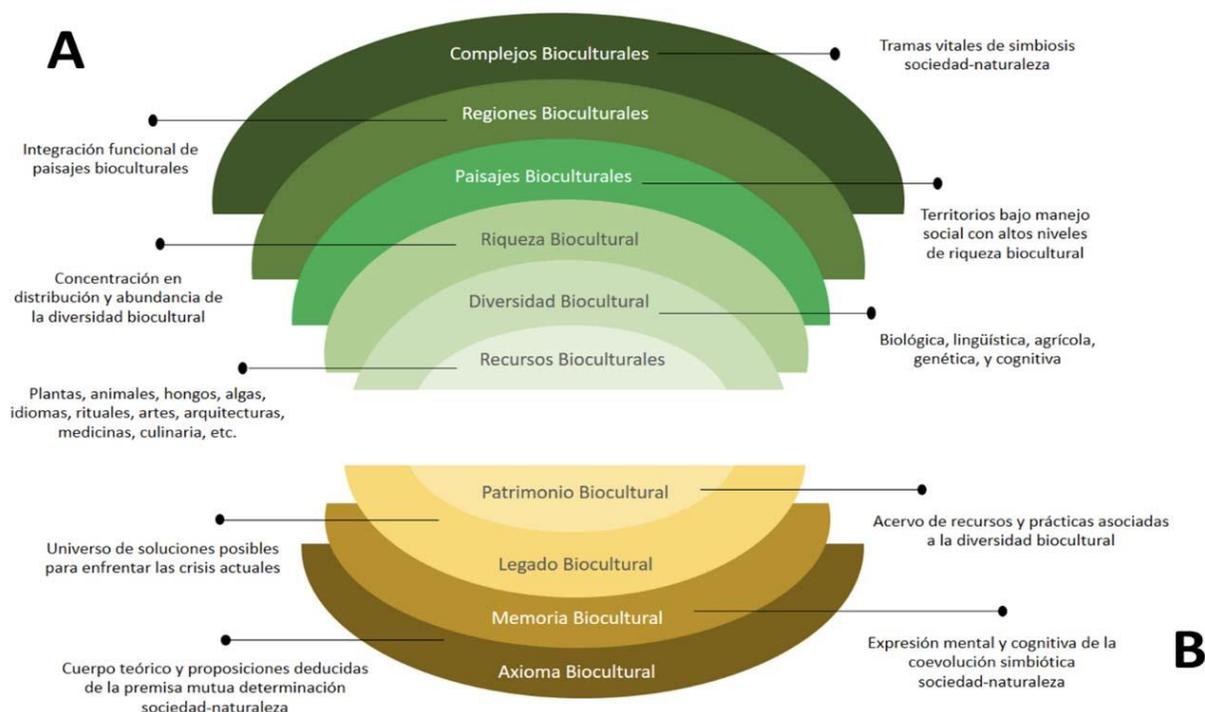
1. **Memorias del ecosistema:** Propiedades biofísicas, especies y agentes afectados directamente o indirectamente por los humanos. Muchos ecosistemas han sido manejados por el ser humano por miles de años. En algunos casos los ecosistemas se han deteriorado y en otros han mantenido una gran diversidad debido al manejo. Es muy importante obtener el conocimiento histórico de las prácticas y la transformación de los ecosistemas.
2. **Memorias del paisaje:** Formas de organización del paisaje tangibles o semi-intangibles por prácticas humanas, como ambientes construidos y sitios arqueológicos. Entre las formas tangibles se ubican sistemas de irrigación, praderas, humedales, campos agrícolas, terrazas y caminos, puentes, presas. En la parte semi-intangible se ubican las formas sociales de organización como ordenamientos territoriales, derechos de propiedad, a veces escritos y a veces orales.
3. **Memorias basadas en espacios:** Rasgos vivos del conocimiento y comunicación humana expresados en toponimia, usos y costumbres, tradiciones orales, arte, ideas y cultura recibidas y transmitidas por generaciones.
4. **Análisis integrado del paisaje:** marco conceptual y herramientas básicas en la integración de los tres elementos anteriores para entender los procesos que determinan el patrimonio biocultural. Integra enfoques de los tres elementos como trabajo arqueológico, botánico, paleo ecológico, sistemas de información geográfico, cartográfico, investigación histórica. El sistema integrado de decisiones permitirá decisiones del manejo del paisaje basadas en diversas disciplinas.

- 5. Responsabilidad del cuidado y cambio:** Integración del conocimiento ecológico y del patrimonio con innovación y conservación de sistemas sustentables e innovadores de manejo y producción. Las prácticas del patrimonio biocultural permiten la construcción y confirmación de identidad y cohesión social.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Lindholm, K.J., and A. Ekbiom. 2019. A framework for exploring and managing biocultural heritage. Anthropocene.

**Figura 11. Representación esquemática del paradigma biocultural. (A) Unidades de integración y análisis. (B) Conceptualizaciones teóricas**



**Fuente:** Tlacaclael Rivera-Núñez, Maite Lascurain-Rangel y Citlalli A. González

La articulación del paradigma biocultural como una arena de interfaz entre el quehacer técnico y la defensa territorial, los marcos normativos y las políticas públicas, puede tener profundas implicaciones para la equidad ambiental y la afirmación cultural de las comunidades locales, étnicas afrodescendientes e indígenas, e incluso mestizas, que son importantes moldeadoras y custodias de la bio-etno-agro-diversidad de un territorio como es la cuenca del río Quito. Por ejemplo, desde este enfoque paradigmático se pueden formular esquemas reivindicativos y no excluyentes de manejo y conservación del patrimonio natural, que partan de las cosmovisiones, los conocimientos y las prácticas locales de manejo de los recursos naturales; estrategias de conservación *in situ* y resguardo de la agro diversidad asociada a las agriculturas tradicionales; el rescate del conocimiento ancestral amenazadas y la tradición oral erosionada; la recuperación de la alimentación, las culturas alimentarias y la medicina autóctona; entre otros importantes frentes de salvaguarda, lucha y revitalización biocultural.

Hay un creciente consenso en que la conservación de la diversidad natural de un territorio puede ser más eficaz, ética y justa si las acciones se enfocan a contrarrestar simultáneamente la erosión de los bienes y servicios de la naturaleza (biológica y física) y cultural (Turner et al., 2000; Turner et al., 2008; McShane et al., 2011; Davidson-Hunt et al., 2012). Entre los postulados, está la necesidad de reconocer y respetar el derecho de los pueblos étnicos y comunidades locales sobre sus territorios. Se reconoce que la conservación de la diversidad biocultural es inseparable de otras preocupaciones centrales de los pueblos

étnicos como el derecho a la autodeterminación, la autonomía, la soberanía alimentaria, la seguridad ambiental, la transmisión intergeneracional del conocimiento y el fortalecimiento de la identidad cultural.

Otro postulado señala que el conocimiento sobre la naturaleza, así como las prácticas y las innovaciones en el uso y manejo de los recursos, están guiados por las cosmovisiones que dan sentido a las experiencias de las comunidades con su ambiente. Este principio implica superar el predominio y exclusividad del conocimiento científico para definir prioridades y acciones manejo, uso y conservación, de manera que no se omitan o subordinen los sistemas del conocimiento local tradicional, étnico o ancestral.

La adopción de postulados de intervención es central en la implementación de este protocolo desde un enfoque biocultural y su relevancia se centra en la búsqueda de alianzas y acuerdos viables en las que puedan concurrir diferentes. El derecho al consentimiento libre, previo e informado de las comunidades étnicas – Consulta Previa, Libre e Informada (Pueblos indígenas y pueblos negros, afrocolombianos, palenqueros y raizales de los Consejos Comunitarios) desde el inicio, deberán conocer la totalidad de la información de la intervención y se solicitará su consentimiento para su ejecución.

### **Lo Biocultural como propuestas del protocolo para el fortalecimiento de la capacidad local instalada**

Considerando lo anterior, se debe tener en cuenta:

- **Devolución de los resultados de las intervenciones realizadas en los territorios:** Pasado el proceso de injerencia en los territorios, las apuestas de intervención tendrían la posibilidad de presentar de manera participativa los resultados de los mismos, escuchar recomendaciones, aprobaciones y/o acciones de mejora.
- **Participar desde el diálogo de saberes:** El saber cultural de los grupos étnicos permiten generar mayores conocimientos desde la visual de sus cosmogonías, de esta manera la incorporación en las intervenciones de miembros (sabedores, líderes comunitarios entre otros), permitirá tener una visión holística de las acciones concertadas. En lo que respecta al patrimonio biocultural, se ha considerado «un concepto holístico, en el que el conocimiento, la biodiversidad biológica, los paisajes y la cultura están interconectados y son interdependientes» (Swiderska, 2013).
- **Toma de decisión:** La participación de los grupos étnicos en los espacios de decisión genera el empoderamiento de las expresiones organizativas, dicha decisiones se realizarán por parte de estos sectores de manera autónoma.
- **Participación en la cogestión de las intervenciones:** Los grupos étnico-territoriales tanto afrocolombianas, como indígenas, deben ser desde el inicio actores fundamentales en el desarrollo de las intervenciones y su participación deben estar de manera transversal desde la formulación de los proyectos hasta la finalización de los mismos, de esta manera se convierten en actor protagónicos de su destino.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Toledo, V. M. (2013). El paradigma biocultural: crisis ecológica, modernidad y culturas tradicionales. Sociedad y Ambiente.

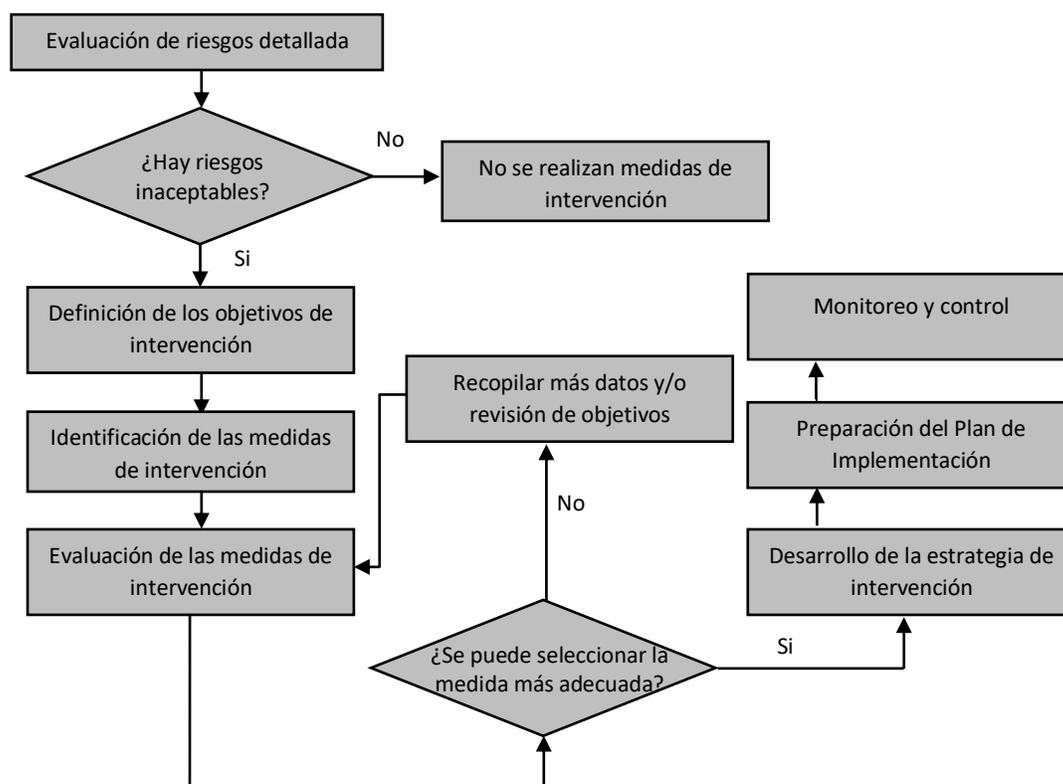
## 6.2. Protocolo para la selección y evaluación de medidas de intervención

El presente protocolo se desarrolla a partir de la identificación de los riesgos (situaciones de afectación), sean químicos o físicos, eco sistémicos o sociales, que deben ser gestionados en las zonas, áreas o sitios mineros. Su aplicación tiene lugar cuando después de completar una evaluación detallada se determina que estas afectaciones (riesgos) son inaceptables, sea por los niveles de concentración en la matriz (suelo, agua, sedimentos) o por el riesgo que conlleva al ambiente, los ecosistemas o a la salud humana, y que por lo tanto deben ser intervenidos.

No obstante, se debe tener en cuenta que puede existir un amplio grupo de medidas de intervención cuyas ventajas y desventajas deberán ser ponderadas hasta encontrar aquellas que sean o resulten factibles en cada caso específico. Debido a ello, la valoración de estas medidas con respecto a las características del sitio es imprescindible para determinar cuáles de ellas ofrecen las mejores condiciones de intervención.

En la siguiente figura se detalla el proceso para la selección y evaluación de las medidas de intervención.

**Figura 12. Diagrama de flujo para la selección y evaluación de medidas de intervención**



*Elaboró: Corporación Bioparque, 2022.*

*Fuente: Aquaviva, 2016.*

### 6.2.1. Definición de los objetivos de intervención

Corresponde a la definición de los niveles de aceptación de la afectación a los cuales se desea solucionar, según los resultados del análisis de riesgo detallado. La definición de los objetivos se debe llevar a cabo mediante dos etapas:

1. En la primera etapa se define el tipo de riesgo que requiere ser intervenido. Por lo tanto, la persona que evalúa las medidas sabe qué riesgos se sujetan a ciertas medidas de intervención. Por otro lado, en la segunda etapa se definen los objetivos puntuales de manera cuantitativa o cualitativa, dependiendo del riesgo identificado. Posterior a ello, se definen los límites dentro de los cuales se consideran las medidas de intervención que éstas deben alcanzar para considerarse como aceptables.

Los objetivos se socializan con la comunidad mediante metodologías de comunicación y se deben validar por las autoridades competentes en caso de ser requerido (Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) y Environment Agency (EA), 2004).

Los factores que se tienen en cuenta para el desarrollo de objetivos son:

- El grado en que los objetivos deben ser reducidos.
  - El tiempo que tarda en hacer efecto la intervención.
  - Viabilidad de aplicación.
  - Eficacia técnica de la estrategia en la reducción o control de riesgos.
  - Durabilidad de la estrategia.
  - Sostenibilidad de la estrategia. Es decir, si se acopla con objetivos ambientales, y si trae beneficios socio económicos, visto desde los tres pilares de la sostenibilidad.
  - Beneficios de las estrategias, como la recuperación del valor ecológico de un área, o la contribución a la mejora de las actividades económicas o fomentar la regeneración del paisaje.
  - Beneficios de las personas afectadas, como indemnizaciones por daños y perjuicios.
  - Marco jurídico en el cual se encuentra el sitio, incorporando la normatividad que deben cumplir las medidas de intervención.
  - Marco financiero y comercial.
2. Los objetivos de las medidas de intervención se detallan mediante criterios específicos para cada sitio. Los criterios brindan una medida con la que se pueden comparar los objetivos, determinando el cumplimiento. Algunos de los criterios son:
    - Restauración de las características funcionales que el área brinda al ecosistema.
    - Valores de referencia del suelo, estándares de agua.
    - Criterios relacionados con la vulnerabilidad, como, por ejemplo, la vulnerabilidad de una población ante fenómenos de remoción en masa -riesgo físico- (Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) y Environment Agency (EA), 2004).

## 6.2.2. Identificación de las medidas de intervención

Esta sección se refiere a la búsqueda de alternativas de intervención acorde a la experiencia de los expertos, literatura, avances y/o innovación tecnológica, con el fin de obtener un listado de alternativas que se evaluarán detalladamente.

El propósito de esta etapa es identificar una lista de medidas de intervención viables según la situación o afectación identificada, teniendo en cuenta las características del sitio. En ocasiones es difícil identificar estrategias de intervención que cumplan todos los objetivos especificados, ya que es posible que exista incertidumbre si una medida controlará los riesgos hasta el nivel requerido, o si se cuenta con los recursos requeridos para llevar a cabo la intervención.

El proceso de selección y evaluación debe ser capaz de equilibrar diversos factores, considerando principalmente las opiniones de las partes interesadas, pues cada parte interesada puede tener consideraciones propias sobre las medidas de intervención más dependiendo de los objetivos priorizados; por ejemplo, el propietario se enfoca en devolver la productividad a su territorio, el representante legal se enfoca hacia lo que se exige legalmente y la comunidad en general se enfoca en la protección de la tierra y la reducción de los efectos en el ambiente. En lo posible, se debe buscar una medida de intervención que supla los requerimientos de cada uno de los actores.

En el caso de que no existan medidas que satisfacen a los objetivos planteados, habrá que revisar la base inicial con la que se evaluaron dichos objetivos, aunque en ocasiones, se pueden aceptar medidas de intervención de menor nivel.

En algunos casos, se evidencia que solo una medida de intervención es factible, por lo que una evaluación al detalle sería innecesaria, ya que no se puede comparar sus ventajas y desventajas con respecto a otra medida. En otros casos, el evaluador tiene una lista de medidas que se consideran viables de acuerdo con los objetivos específicos de cada sitio en base al riesgo, y la selección de la medida óptima se determina mediante un análisis más detallado (Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) y Environment Agency (EA), 2004).

### 6.2.2.1. Alternativas para intervenir las afectaciones por riesgo químico

Para la construcción del presente protocolo, el proceso de identificación de las potenciales alternativas para intervenir los riesgos por contaminación química se aborda mediante un proceso en el que se hace una primera selección de estas con base en la revisión de experiencias de su uso, con énfasis en aquellas aplicadas a la remediación de zonas degradadas por minería, y luego se evalúa su aplicabilidad al caso de estudio analizando características de su funcionamiento que permitan (U.S. Army Environmental Center, 2002):

- Seleccionar las posibles tecnologías de tratamiento
- Distinguir entre tecnologías emergentes o tecnologías maduras

- Hacer una valoración de su efectividad con base en los datos existentes de su desempeño, su aplicación en campo y el juicio de expertos en la temática

En la Tabla 5. se muestran varias de las tecnologías consideradas, las cuales pueden estar enfocadas a la destrucción de los contaminantes o alteración de sus propiedades fisicoquímicas (e.g. tratamientos térmicos, biológicos o químicos), otras a la extracción o separación de los contaminantes mediante tratamientos físico-químicos in situ para el suelo, como la desorción térmica, lavado del suelo, extracción por solventes y de vapores en el suelo o su tratamiento biológico in situ mediante Bioventilación, biorremediación, fitorremediación, o ex situ como en el caso de biopilas, compostaje, etc.

Por otro lado, existen otras medidas de intervención para tratar la contaminación por metales pesados y agentes inorgánicos en aguas subterráneas, aguas superficiales y lixiviados, que pueden incluir métodos fisicoquímicos (e.g. la adsorción con carbón, lavado de gases, intercambio iónico) y biológicas in situ (biodegradación mejorada, fitorremediación, atenuación natural) o ex situ como cuando se usan biorreactores o humedales construidos, como se muestra en la Tabla 6.

Generalmente, las alternativas de intervención para riesgos por contaminantes en el ambiente incluyen el uso de varias tecnologías que se combinan en lo que se conoce como un tren de tratamiento.

**Tabla 5.**

Medidas de intervención para riesgo por contaminación química por metales pesados y materiales inorgánicos en suelo, sedimento, roca y lodo

Códigos de calificación:		Estado de desarrollo	Tren de tratamiento	Costo y rendimiento general					Disponibilidad	Inorgánicos	Metales pesados
				Operación y mantenimiento intensivo	Capital	Fiabilidad y mantenimiento	Costos relativos	Tiempo			
•	Efectivo										
e	Efectividad media										
O	Efectividad baja										
N/A	"No aplicable"										
D/I	"Datos insuficientes"										
◊	El nivel de efectividad depende en gran medida del contaminante y su aplicación										
SUELO, SEDIMENTO, ROCA Y LODO											
<b>1. Tratamiento biológico in-situ</b>											
1.1	Bioventilación	•	•	•	•	•	e	•	O	O	
1.2	Biorremediación mejorada	•	•	O	e	e	•	e	◊	N/A	
1.3	Fitorremediación	•	•	•	•	O	•	O	e	•	
1.4	Bioaspersión	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	O	
<b>2. Tratamiento físico/químico in-situ</b>											
2.1	Oxidación química	•	•	O	e	e	e	•	•	◊	



El ambiente es de todos

Minambiente



Códigos de calificación:		Estado de desarrollo	Tren de tratamiento	Costo y rendimiento general					Disponibilidad	Inorgánicos	Metales pesados
				Operación y mantenimiento intensivo	Capital	Fiabilidad y mantenimiento	Costos relativos	Tiempo			
●	Efectivo										
e	Efectividad media										
O	Efectividad baja										
N/A	"No aplicable"										
D/I	"Datos insuficientes"										
◇	El nivel de efectividad depende en gran medida del contaminante y su aplicación										
2.2	Separación electrocinética	●	O	O	e	e	O	e	e	●	N/A
2.3	Fractura	●	e	e	O	e	e	e	●	O	N/A
2.4	Lavado de suelo	●	●	O	e	e	e	e	●	●	●
2.5	Extracción de vapores del suelo	●	O	O	e	●	●	e	●	O	O
2.6	Solidificación / Estabilización	●	●	e	O	●	●	●	●	●	N/A
2.7	Enmiendas superficiales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	●
<b>3. Tratamiento térmico in-situ</b>											
3.1	Tratamiento térmico	●	O	O	O	●	e	●	●	O	N/A
3.2	Vitrificación	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	●
<b>4. Tratamiento biológico ex-situ (suponiendo excavación)</b>											
4.1	Biopilas	●	●	●	●	●	●	e	●	◇	O
4.2	Compostaje	●	●	●	●	●	●	e	●	O	N/A
4.3	Landfarming	●	●	●	●	●	●	e	●	O	O
4.4	Tratamiento biológico fase en suspensión	●	O	O	O	e	e	e	●	◇	O
4.5	Torneado de hileras (Windrow turning)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	O
<b>5. Tratamiento físico/químico ex-situ (suponiendo excavación)</b>											
5.1	Extracción química	●	O	O	O	e	e	e	●	●	N/A
5.2	Extracción por solvente	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	O
5.3	Reducción / oxidación química	●	e	e	O	●	e	●	●	●	N/A
5.4	Deshalogenación	●	e	O	O	O	O	e	e	O	O
5.5	Separación	●	e	O	e	●	e	●	●	e	N/A
5.6	Lavado de suelo	●	O	O	O	●	e	●	●	e	●
5.7	Solidificación / estabilización	●	●	e	O	●	●	●	●	●	N/A
<b>6. Tratamiento térmico ex-situ (suponiendo excavación)</b>											
6.1	Descontaminación del gas caliente	O	●	O	O	●	●	●	e	O	N/A
6.2	Incineración	●	●	O	O	e	O	●	●	O	●
6.3	Quema abierta / detonación abierta	●	●	O	O	●	●	●	●	O	N/A
6.4	Pirólisis	●	●	O	O	O	O	●	●	O	N/A
6.5	Desorción térmica	●	●	O	O	e	e	●	●	O	●
6.6	Vitrificación	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	●
<b>7. Contención</b>											

Códigos de calificación:		Estado de desarrollo	Tren de tratamiento	Costo y rendimiento general					Disponibilidad	Inorgánicos	Metales pesados
				Operación y mantenimiento intensivo	Capital	Fiabilidad y mantenimiento	Costos relativos	Tiempo			
●	Efectivo										
e	Efectividad media										
O	Efectividad baja										
N/A	"No aplicable"										
D/I	"Datos insuficientes"										
◇	El nivel de efectividad depende en gran medida del contaminante y su aplicación										
	7.1 Cubierta de un vertedero	●	●	e	O	●	●	O	●	e	N/A
	7.2 Alternativas de mejora de la cubierta de un vertedero	●	●	e	O	●	●	O	●	e	N/A
	7.3 Barreras de contención en tierra	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	●
<b>8. Otros tratamientos</b>											
	8.1 Excavación, recuperación, eliminación fuera del sitio	●	●	●	●	●	◇	●	●	e	●

Fuente: Adaptado de Aquaviva, 2016.

**Tabla 6.**

Medidas de intervención para el riesgo por contaminación química a razón de metales pesados y materiales inorgánicos en aguas subterráneas, aguas superficiales y lixiviados:

Códigos de calificación:		Estado de desarrollo	Tren de tratamiento	Costo y rendimiento general					Disponibilidad	Inorgánicos	Metales pesados
				Operación y mantenimiento intensivo	Capital	Fiabilidad y mantenimiento	Costos relativos	Tiempo			
●	Efectivo										
e	Efectividad media										
O	Efectividad baja										
N/A	"No aplicable"										
D/I	"Datos insuficientes"										
◇	El nivel de efectividad depende en gran medida del contaminante y su aplicación										
<b>AGUAS SUBTERRÁNEAS, AGUAS SUPERFICIALES Y LIXIVIADOS</b>											
<b>1. Tratamiento biológico in-situ</b>											
	1.1 Biorremediación mejorada	●	●	O	e	e	●	◇	●	◇	N/A



El ambiente es de todos

Minambiente



Códigos de calificación:		Estado de desarrollo	Tren de tratamiento	Costo y rendimiento general					Disponibilidad	Inorgánicos	Metales pesados
				Operación y mantenimiento intensivo	Capital	Fiabilidad y mantenimiento	Costos relativos	Tiempo			
●	Efectivo										
e	Efectividad media										
O	Efectividad baja										
N/A	"No aplicable"										
D/I	"Datos insuficientes"										
◇	El nivel de efectividad depende en gran medida del contaminante y su aplicación										
1.2	Atenuación natural monitoreada	●	●	O	e	e	●	◇	●	O	●
1.3	Fitorremediación	●	●	●	●	O	●	O	e	◇	N/A
1.4	Bioaspersión	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	O
<b>2. Tratamiento físico/químico in-situ</b>											
2.1	Inyección de aire	●	●	●	●	●	●	●	●	O	N/A
2.2	Aspersión de aire	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	O
2.3	Biosorción	●	e	●	●	e	●	e	●	e	N/A
2.4	Oxidación química	●	●	O	e	e	e	●	●	◇	O
2.5	Pozos direccionales (de mejora)	●	●	e	O	e	e	e	●	e	N/A
2.6	Extracción en fase dual	●	O	O	O	e	e	e	●	O	O
2.7	Tratamiento térmico	●	O	O	O	e	e	●	●	O	N/A
2.8	Hidrofractura mejorada	●	e	●	●	●	e	e	●	e	N/A
2.9	Separación por aire	●	e	e	O	e	e	O	●	O	N/A
2.10	Paredes de tratamiento pasivo / reactivo	●	●	e	O	●	e	O	●	◇	N/A
2.11	Barreras reactivas permeables	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	●
<b>3. Tratamiento biológico ex-situ</b>											
3.1	Biorreactores	●	●	e	O	e	●	e	●	O	N/A
3.2	Humedales construidos	●	●	e	O	◇	e	◇	O	●	N/A
<b>4. Tratamiento físico/químico ex-situ (suponiendo excavación)</b>											
4.1	Adsorción / Absorción	●	●	O	e	e	O	O	●	●	N/A
4.2	Procesos de oxidación avanzada	●	e	O	O	e	e	O	●	◇	N/A
4.3	Extracción con aire	●	e	O	e	●	●	O	●	O	N/A
4.4	Carbón activado granulado / Adsorción con carbón fase líquida	●	e	O	e	●	e	O	●	◇	N/A
4.5	Bombeo de agua subterránea / bombeo y tratamiento	●	e	O	O	●	O	O	●	e	N/A
4.6	Intercambio iónico	●	e	O	O	●	e	O	●	●	N/A
4.7	Precipitación / coagulación / floculación	●	e	e	O	●	e	O	●	●	N/A
4.8	Separación	●	e	O	O	●	O	●	●	◇	N/A
4.9	Riego por aspersión	●	●	●	●	●	O	O	●	O	N/A
<b>5. Contención</b>											

Códigos de calificación:	Estado de desarrollo	Tren de tratamiento	Costo y rendimiento general					Disponibilidad	Inorgánicos	Metales pesados
			Operación y mantenimiento intensivo	Capital	Fiabilidad y mantenimiento	Costos relativos	Tiempo			
● Efectivo										
e Efectividad media										
O Efectividad baja										
N/A "No aplicable"										
D/I "Datos insuficientes"										
◇ El nivel de efectividad depende en gran medida del contaminante y su aplicación										
5.1 Barreras físicas	●	●	e	O	●	●	O	●	●	N/A
5.2 Inyección en pozos profundos	●	●	●	●	e	●	O	●	e	N/A
5.3 Barreras de contención hidráulica	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	●
5.4 Barreras de contención en tierra	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	●

**Fuente:** Department environment, food, and rural affairs -DEFRA- y U.S. Army Environmental Center - USAEC-, 2002.

Según la Tabla 5, las medidas de intervención que se ajustan en mayor medida a las condiciones del estudio de identificación de sitios contaminados por metales pesados en la Cuenca de Río Quito, Chocó son: Biorremediación mejorada; Fitorremediación; Enmiendas superficiales; y Lavado de suelo. Se explican sus ventajas y desventajas, y adicional, se encuentran sus tipos y definiciones en el ANEXO 3.

**Tabla 7.**

Características y consideraciones de las medidas de intervención por riesgo químico

Medida de intervención	Características	Consideraciones
<i>Biorremediación mejorada</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Generalmente solo origina cambios físicos menores sobre el medio.</li> <li>Permite la revegetalización natural.</li> <li>Puede ser útil para retirar algunos de los compuestos tóxicos del petróleo.</li> <li>Ofrece una solución más simple y completa que las tecnologías físicas o químicas, como la incineración utilizada para remover sustancias tóxicas del suelo.</li> <li>Es menos costosa que otras tecnologías.</li> <li>Puede aplicarse in-situ o ex – situ.</li> <li>Es más efectiva que otros métodos, pudiendo lograr la detoxificación completa.</li> <li>Como subproducto se obtiene un suelo útil para la agricultura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La fitorremediación trabaja lo mejor posible cuando los contaminantes están al alcance de las raíces de las plantas, típicamente de tres a seis pies de profundidad para las herbáceas y 10 a 15 pies para los árboles.</li> <li>El metal pesado o el contaminante emplea el ciclo natural de plantas y por lo tanto toma tiempo.</li> <li>Algunas plantas absorben muchos metales venenosos, lo que implica un riesgo potencial a la cadena alimenticia.</li> <li>En especies como los árboles o arbustos, la fitorremediación es un proceso relativamente lento.</li> <li>Se restringe a sitios de contaminación superficial dentro de la rizosfera de la planta.</li> </ul>

Medida de intervención	Características	Consideraciones
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apenas se generan residuos y los que se generan en su mayoría no son tóxicos.</li> <li>• Es un proceso natural, aceptado por la opinión pública y normativas medioambientales.</li> <li>• Mientras que los tratamientos físicos y buena parte de los químicos están basados en transferir la contaminación entre medios gaseoso, líquido y sólido, en la biorremediación se transfiere poca contaminación de un medio a otro; lo que ocasiona es su degradación final.</li> <li>• Cuando se utiliza correctamente no produce efectos adversos significativos.</li> <li>• No requiere de equipamiento especializado para su aplicación, es poco invasiva y generalmente no requiere componentes estructurales o mecánicos que signifiquen una amenaza para el medio. (Agudelo, Macías y Suárez, 2005; Delgadillo et al, 2011; citado por Posada, 2012)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El crecimiento de las plantas está limitado por concentraciones tóxicas de contaminantes, por lo tanto, es aplicable a ambientes con concentraciones bajas de contaminantes.</li> <li>• En el caso de la fitovolatilización, los contaminantes acumulados en las hojas pueden ser liberados nuevamente al ambiente.</li> <li>• Los contaminantes acumulados en maderas pueden liberarse por procesos de combustión.</li> <li>• No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras.</li> <li>• La solubilidad de algunos contaminantes puede incrementarse, resultando en un mayor daño ambiental o migración de contaminantes.</li> <li>• Se requieren áreas relativamente grandes.</li> <li>• En sistemas acuáticos se puede favorecer la diseminación de plagas, tales como los mosquitos. (Agudelo, Macías y Suárez, 2005; Delgadillo et al, 2011; citado por Posada, 2012)</li> </ul>
Fitorremediación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generalmente solo origina cambios físicos menores sobre el medio.</li> <li>• Permite la revegetalización natural.</li> <li>• Puede ser útil para retirar algunos de los compuestos tóxicos del petróleo.</li> <li>• Ofrece una solución más simple y completa que las tecnologías físicas o químicas, como la incineración utilizada para remover sustancias tóxicas del suelo.</li> <li>• Es menos costosa que otras tecnologías.</li> <li>• Puede aplicarse in-situ o ex-situ.</li> <li>• Es más efectiva que otros métodos, pudiendo lograr la detoxificación completa.</li> <li>• Como subproducto se obtiene un suelo útil para la agricultura.</li> <li>• Apenas se generan residuos y los que se generan en su mayoría no son tóxicos.</li> <li>• Es un proceso natural, aceptado por la opinión pública y normativas medioambientales.</li> <li>• Mientras que los tratamientos físicos y buena parte de los químicos están basados en transferir la contaminación entre medios gaseoso, líquido y sólido, en la biorremediación se transfiere poca contaminación de un medio a otro; lo que ocasiona es su degradación final.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La fitorremediación trabaja lo mejor posible cuando los contaminantes están al alcance de las raíces de las plantas, típicamente de tres a seis pies de profundidad para las herbáceas y 10 a 15 pies para los árboles.</li> <li>• El metal pesado o el contaminante emplea el ciclo natural de plantas y por lo tanto toma tiempo.</li> <li>• Algunas plantas absorben muchos metales venenosos, lo que implica un riesgo potencial a la cadena alimenticia.</li> <li>• En especies como los árboles o arbustos, la fitorremediación es un proceso relativamente lento.</li> <li>• Se restringe a sitios de contaminación superficial dentro de la rizósfera de la planta.</li> <li>• El crecimiento de las plantas está limitado por concentraciones tóxicas de contaminantes, por lo tanto, es aplicable a ambientes con concentraciones bajas de contaminantes.</li> <li>• En el caso de la fitovolatilización, los contaminantes acumulados en las hojas pueden ser liberados nuevamente al ambiente.</li> <li>• Los contaminantes acumulados en maderas pueden liberarse por procesos de combustión.</li> <li>• No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras.</li> </ul>

Medida de intervención	Características	Consideraciones
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuando se utiliza correctamente no produce efectos adversos significativos.</li> <li>• No requiere de equipamiento especializado para su aplicación, es poco invasiva y generalmente no requiere componentes estructurales o mecánicos que signifiquen una amenaza para el medio. (Agudelo, Macías y Suárez, 2005; Delgadillo et al, 2011; citado por Posada, 2012).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La solubilidad de algunos contaminantes puede incrementarse, resultando en un mayor daño ambiental o migración de contaminantes.</li> <li>• Se requieren áreas relativamente grandes.</li> <li>• En sistemas acuáticos se puede favorecer la diseminación de plagas, tales como los mosquitos. (Agudelo, Macías y Suárez, 2005; Delgadillo et al, 2011; citado por Posada, 2012).</li> </ul>
<i>Enmiendas superficiales</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduce la biodisponibilidad de un amplio rango de contaminantes que al mismo tiempo contribuye al crecimiento de la vegetación ayudando a evitar el movimiento de contaminantes por el agua y el aire.</li> <li>• El aprovechamiento de residuos para enmiendas superficiales ofrece el potencial de hacer ahorros significativos a comparación de otras alternativas.</li> <li>• La revegetalización generada puede proveer beneficios ecológicos como hábitat para la vida salvaje, diversidad de especies, espacios de recreación y mejoramiento del paisaje.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El uso apropiado de las enmiendas del suelo depende completamente de la caracterización apropiada tanto del sitio como de los materiales residuales a emplear. Por ejemplo, algunas desventajas de materiales específicos son:</li> <li>• En el caso de biosólidos, no se encuentra regulado de forma consistente, la calidad varía, no es tratado rutinariamente para la reducción del patógeno.</li> <li>• Lodos de pulpa, la calidad es muy variable, puede contener otros residuos como cenizas, cal, arcilla, que pueden ser beneficiosos como perjudiciales. El valor nutritivo es muy bajo.</li> <li>• Desechos de madera, alta variabilidad, puede ser difícil de obtener y contener herbicidas.</li> </ul>
<i>Lavado de suelo</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lavado de suelos: Los contaminantes se remueven con soluciones acuosas en suelo excavado, disminuyendo el material contaminado.</li> <li>• Inyección de grandes cantidades de agua al suelo o un cuerpo de agua cercano, a veces con algún aditivo, para favorecer el paso de contaminantes de suelo al agua (Sellers, 1999; EPA, 2001; citado por Volke &amp; Velasco, 2002).</li> <li>• Ha sido utilizado con éxito para extraer HAP, metales pesados, hidrocarburos, pesticidas y PCP.</li> <li>• Mediante inundación, se pueden recuperar metales, y tratarse gasolinas, CVOS, COV y pesticidas.</li> <li>• Los costos de remediación son de corto a mediano plazo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las sustancias utilizadas pueden modificar las propiedades fisicoquímicas del suelo y alterar su porosidad.</li> <li>• Existen inconvenientes al tratar suelos heterogéneos o poco permeables.</li> <li>• Los fluidos pueden reaccionar con el suelo y dificultar la movilidad de los contaminantes.</li> <li>• Es necesario tratar previamente los suelos que tienen materia orgánica y los vapores generados.</li> <li>• Los costos de la inundación varían entre 20 a 200 USD/m<sup>3</sup>, y para el lavado aproximadamente 150 USD/m<sup>3</sup>.</li> </ul>

**Fuente:** Adaptado de Aquaviva, 2016.

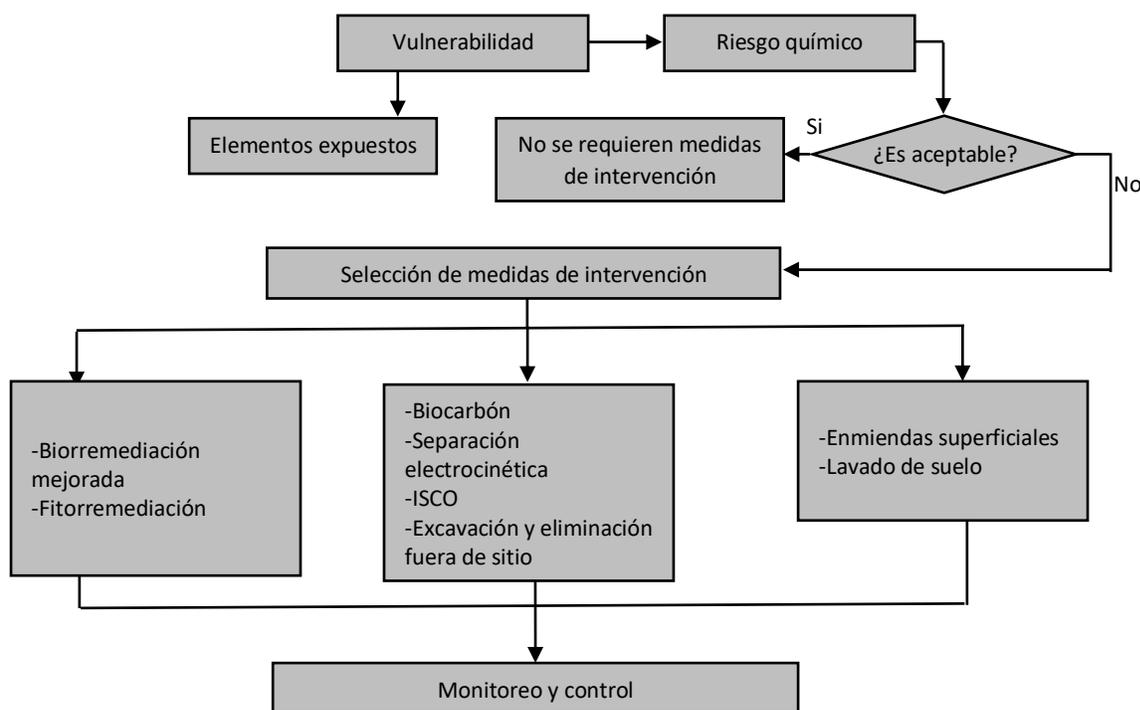
### 6.2.2.2. Limitantes de las medidas de intervención

Algunos enfoques para las medidas de intervención no son aplicables en ciertos contextos. Por ejemplo, en las situaciones que involucran el agua, por lo general no es posible eliminar el receptor, aunque es posible modificar su comportamiento, controlando el flujo de agua subterránea por medios hidráulicos o limitando los usos al agua. Es posible retirar el receptor en entornos residenciales, y el control administrativo a través de restricciones legales o contractuales de su acceso. (DEFRA, 2011).

Es pertinente considerar que existen contaminantes fácilmente degradables por medio de procesos naturales, siendo un mecanismo adecuado para la gestión del contaminante en un periodo de tiempo aceptable (Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) y Environment Agency (EA), 2004).

### 6.2.2.3. Esquema general para intervenciones de afectaciones por riesgo químico

Figura 13. Esquema general para intervenciones de afectación por riesgo químico



**Elaboró:** Corporación Bioparque, 2022.

**Fuente:** Aquaviva, 2016.

#### 6.2.2.4. Alternativas para intervenir las afectaciones por riesgos físicos

En la Tabla 8. se encuentran las alternativas para intervenir afectaciones por riesgos físicos en el ambiente, junto con sus características y consideraciones. Adicionalmente, en el ANEXO 4 se encuentran sus definiciones y tipos.

**Tabla 8.**

Características y consideraciones de las medidas de intervención por riesgo Físico

Tipo	Características	Consideraciones
<b>Obras de drenaje (MME y UNAL, 2014)</b>		
<i>Superficial</i>		
Cunetas y zanjas de corona	Manejo de agua de escorrentía	Deben revestirse, cuando el terreno es erodable.
Sellado de fisura	Evitar infiltración hacia el suelo o la roca.	Aplica para el control de masas falladas y grietas de tracción. En minería se emplea rutinariamente arcilla o geotextil.
Perfilado	Control apozamientos y manejar la escorrentía.	En las bermas de los bancos evita el flujo de agua hacia los taludes parciales de minas. Se manejan pendientes menores al 2%.
Recubrimiento de superficie	Minimizar la erosión causada por la escorrentía.	En las áreas de actividad minera en estado de abandono se sugiere la revegetalización.
<i>Subsuperficial</i>		
Filtros	Control y manejo de flujos subterráneo.	
Trincheras drenantes	Control de flujos puntuales que afloran en los taludes.	Constituyen estructuras de contención que mejoran localmente la estabilidad.
Dren horizontal	Reducción de presión producto de flujos de agua subterránea	Adecuado para profundidades medias del flujo.
Pozos	Control de flujo de agua subterráneo a altas profundidades.	Útil para el control del flujo en la parte alta de los taludes.
Barreras impermeables	Impiden el flujo de agua subterránea hacia el talud.	
<b>Obras de subdrenaje como medidas de estabilización (Suárez, 2009)</b>		
Canales superficiales para el control de escorrentía	Se recomienda construirlos como obra complementaria en la mayoría de los casos. Generalmente, las zanjas se construyen arriba de la corona del talud.	Se deben construir estructuras para la entrega de las aguas y la disipación de energía.
Subdrenes de zanja	Muy efectivos para estabilizar deslizamientos poco profundos, en suelos saturados subsuperficialmente.	Poco efectivo para estabilizar los deslizamientos profundos o los deslizamientos con nivel freático profundo.
Subdrenes horizontales de penetración	Muy efectivos para interceptar y controlar las aguas subterráneas relativamente profundas.	Se requieren equipos especiales de perforación y su costo puede ser alto.

Tipo	Características	Consideraciones
Galerías o túneles de subdrenaje	Efectivos para estabilizar los deslizamientos profundos en las formaciones con permeabilidad significativa y aguas subterráneas.	Muy costosos y complejos de construir.
Pozos profundos de subdrenaje	Útiles en los deslizamientos profundos con aguas subterráneas. Efectivos para las excavaciones no permanentes.	Su uso es limitado debido a la necesidad de operación y mantenimiento permanente.
<b>Estructuras de contención (Suárez, 2009)</b>		
Muros en bloques de roca	Efectivos en los deslizamientos no muy grandes, especialmente en los rotacionales que actúan como contrapeso. Son flexibles y permeables.	Se requiere una cimentación competente para colocar el relleno del enrocado. Se necesitan grandes volúmenes de roca.
Muros en gaviones	Son flexibles y se acomodan a los movimientos, Son permeables.	Actúan por gravedad y comúnmente se requiere que tengan un gran volumen.
Muros MSE (tierra con refuerzo)	Utilizan el suelo del sitio. El refuerzo ayuda a la estabilidad interna.	Son muy vulnerables a los movimientos. Requieren de un sistema de drenaje.
Muros de concreto	Poseen buena resistencia interna. Útiles para estabilizar movimientos Relativamente pequeños. Son rígidos.	Se necesita una buena calidad de cimentación. Son poco efectivos en los taludes de gran altura.
Pilas, Pilotes o tablestacas	No requieren gran espacio. Se pueden cimentar a gran profundidad. Son efectivos en movimientos poco profundos. Su construcción es rápida.	No son efectivos en los deslizamientos profundos o cuando aparece la roca o el suelo muy duro debajo de la superficie de falla. Poco efectivo en los deslizamientos rotacionales.
Anclajes o pernos	Efectivos en la roca, especialmente, cuando es estratificada.	Se requieren equipos especiales y que son costosos, por lo general.
Pantallas ancladas o claveteadas	Útiles como estructuras de contención de masas, de tamaño pequeño a mediano. Son muy efectivas cuando hay roca para el anclaje.	Existen algunas incertidumbres sobre su efectividad cuando hay aguas subterráneas. Generalmente son costosas.
<b>Relleno hidráulico, neumático y manual (adaptado de Huamán (2007), y Fernández (1995))</b>		
Relleno Hidráulico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evitan el movimiento y caída de las rocas, facilitan la recuperación de pilares, evitan o minimizan la subsidencia y estabilizan el macizo rocoso en las minas reduciendo la posibilidad de estallidos de roca</li> <li>• Controlan y previenen incendios en las minas</li> <li>• Minimizar la deposición de relaves o material rocoso en superficie ayudado al control ambiental</li> <li>• Los costos son bajos cuando se utiliza relave de una planta concentradora</li> <li>• Al usar material detrítico se contribuye a maximizar la vida útil del sistema y a minimizar el impacto ambiental.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El sistema de relleno hidráulico requiere una inversión inicial elevada.</li> <li>• Al introducir agua en el relleno de la mina es un problema si el drenaje se realiza por bombeo.</li> <li>• Si se utiliza material con altos contenidos de pirita o pirrotita, pues cuando se oxida se produce una reacción que eleva la temperatura y produce anhídrido sulfuroso.</li> <li>• El agua de drenaje transporta sedimentos que se depositan en niveles inferiores de los lugares rellenos.</li> </ul>

Tipo	Características	Consideraciones
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El transporte por medio de tuberías es más económico, eficiente y rápido.</li> <li>• Cuando el relleno se deposita en el tajo se esparce de forma natural, sin necesidad de utilizar otras herramientas para adecuarlo.</li> <li>• Debido a la alta resistencia del relleno se permite un gran movimiento en el área.</li> <li>• Se aumenta la eficiencia y productividad de los tajos, debido a la disminución en el uso de madera y reducción del costo de minado debido a la versatilidad que ofrece (Fernández, 1995).</li> </ul>	
Relleno neumático	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El sistema neumático consiste en un alimentador, un soplante y una tubería; el cual funciona transportando el material por la tubería utilizando una corriente de aire suministrada por el soplante</li> <li>• Ayudan a la prevención de incendios</li> <li>• Mejora de la ventilación de la mina y la temperatura por un efecto de refrigeración</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En cuanto al material se debe considerar la potencial generación de chispas y si puede ocurrir combustión espontánea (por ej. por la presencia de carbón)</li> <li>• se debe tener en cuenta el efecto que la humedad, forma y tamaño de las partículas sólidas pueda tener en el atasco de alimentadores y obstrucción de tuberías</li> </ul>
Relleno Manual	Su uso se limita a capas de 2 a 2,5 metros, en el cual se levantan muros con los estériles de mayor tamaño y posteriormente se rellenan con el material de menor tamaño	
<b>Sellos permanentes, sellos estructurales y barreras (MME y UNAL, 2014)</b>		
Sellos permanentes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elimina cualquier posibilidad de acceso a la excavación.</li> <li>• Ayuda a mejorar la estabilidad de la excavación subterránea en la entrada, que es donde se tiene un menor confinamiento y por lo tanto una mayor probabilidad de falla.</li> <li>• Ayuda a controlar problemas locales de estabilidad en los accesos de la excavación, porque busca recuperar la morfología inicial de la ladera.</li> <li>• No requiere mantenimiento.</li> <li>• Es posible utilizar material estéril sobrante que se haya dejado inadecuadamente dispuesto en la vecindad de la excavación.</li> </ul>	Puede presentar problemas al colocarse en bocaminas con ejes subverticales, ya que se generan zonas con falso soporte, que fallarían más adelante.
Sellos estructurales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se requiere una gran alteración del área de trabajo.</li> <li>• No es necesario acceder a la excavación para su implementación.</li> <li>• No se requiere efectuar un trabajo de ingeniería de detalle para su diseño, más allá</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Debe garantizarse el apoyo de las losas sobre roca competente.</li> <li>• Se debe tener una longitud de apoyo adecuada, para garantizar la estabilidad de la losa.</li> </ul>

Tipo	Características	Consideraciones
	de las dimensiones de la excavación y la preparación del terreno de apoyo de la losa.	
Barreras	Su uso se limita a capas de 2 a 2,5 metros, en el cual se levantan muros con los estériles de mayor tamaño y posteriormente se rellenan con el material de menor tamaño	<ul style="list-style-type: none"> <li>no eliminan el riesgo de ingreso a las excavaciones</li> </ul>
<b>Control de erosión (MME y UNAL, 2014; Suárez, 2001; Suárez, 2009.)</b>		
Revegetalización	Pastos: Versátiles y baratos; variedades para escoger con diferentes tolerancias; fácil de establecer; buena densidad de cobertura.	Raíces poco profundas y se requiere mantenimiento permanente.
	Juncos: Crecen rápidamente y son fáciles de establecer en las riberas de ríos.	Difíciles de obtener y el sistema de plantación no es sencillo.
	Hierbas: Raíz relativamente profunda.	Algunas veces son difíciles de establecer y no se consiguen raíces.
	Arbustos: Amplia variedad de especies, algunas reproducibles por estaca. Raíz profunda, buena cobertura, bajo mantenimiento.	Algunas veces son difíciles de establecer.
	Árboles: Raíces profundas, requieren bajo o muy poco mantenimiento.	Es demorado su establecimiento y generalmente son más costosos.
Drenaje superficial	Consisten en sistemas de recolección de aguas superficiales que captan el agua de escorrentía tanto del talud como de la cuenca de drenaje arriba del talud, para llevar el agua a un sitio lejos y proteger el talud	En general, los taludes deben protegerse del agua de escorrentía y el agua de las lluvias para evitar daños por acción de la erosión, almacenamiento o infiltración
	Canales para redireccionar el agua de escorrentía	Se debe impedir que el agua de escorrentía se dirija hacia la zona inestable.
	zanjas de corona	Son zanjas interceptoras de la escorrentía en la parte alta del talud.
	Diques en la corona del talud	Son diques en relleno, colocados arriba de la corona, con el objeto de desviar hacia los lados las aguas de escorrentía.
	Drenes franceses	Son zanjas rellenas de material granular grueso que tienen por objetivo captar y conducir las aguas de escorrentía.
	Trinchos o Cortacorrientes	Consisten en diques a través del talud para desviar lateralmente, las aguas de escorrentía
	Torrenteras	Generalmente, incluyen elementos para disipar la energía del flujo del agua mediante estructuras que recogen las aguas de los canales, diques o cortacorrientes y las conducen hacia abajo del talud.
	Sellado de grietas con arcilla o mortero	El objeto es impedir la infiltración de agua hacia el deslizamiento.

Tipo	Características	Consideraciones
	Imprimación del talud con asfalto o impermeabilización con mortero	La impermeabilización tiene por objeto evitar los cambios de humedad en el suelo.
	Recubrimiento con plásticos	Busca proteger contra el impacto de las gotas de lluvia, disminuir los volúmenes de agua infiltrada y mantener la humedad
	Conformación y nivelación del terreno	El objetivo es evitar o eliminar las depresiones y empozamientos de agua superficiales para disminuir los volúmenes de infiltración. No se recomienda en problemas de taludes, la utilización de conducciones en tubería por la alta susceptibilidad a agrietarse o a taponarse, con lo cual se generan problemas de infiltración masiva concentrada
Perfilado del talud	Es generalmente la primera medida a considerar y consiste en el abatimiento de las pendientes para mejorar la estabilidad. Es una medida efectiva en deslizamientos rotacionales, pero no tiene mucho efecto en deslizamientos de traslación	Es viable en taludes de poca altura, pero es importante chequear que no se activen o reactiven fallas profundas, por lo que se deben evaluar los potenciales efectos de la disminución de la pendiente
Trincheras drenantes	Son zanjas profundas y anchas rellenas de material filtrante, con un dren interceptor o un sistema tipo espina de pescado, que pueden profundizarse por debajo de la superficie de falla y utilizar su capacidad de resistencia al cortante para aumentar el factor de seguridad	Al excavar se pueden activar deslizamientos de tierra de gran magnitud. Es un tipo de dren interceptor profundo y por lo tanto deben tenerse en cuenta los requerimientos de diseño para este tipo de drenes.
Obras transversales de control	Canales desviadores del flujo arriba del talud Se construyen arriba del corte de la vía o estructura, con el fin de desviar la escorrentía y alejarla de la estructura a proteger: la zanja es usualmente 60 cm de ancho y 50 cm de profundidad, aunque depende el sitio o área en estudio	No deben ubicarse cerca al borde superior del talud para evitar nuevos deslizamientos, o que se produzca la falla de la corona del talud. Los canales deben ser totalmente impermeabilizados y deben tener la pendiente apropiada.
	• Diques en la corona del talud Son montículos de tierra o pantallas que se ubican en la parte superior del talud para impedir el paso de la escorrentía hacia éstos	Se recomienda la construcción de un canal superior
	• Cortacorrientes o canales interceptores Son canales transversales al talud, espaciados a intervalos para recolectar el agua de escorrentía y evitar corrientes del agua	Las contracorrientes deben estar protegidas por medio de sacos de suelo, cemento o vegetación. El agua debe ser transportada a unos colectores fuera del talud.
<b>Medidas de intervención para drenajes de minas (Aquaviva, 2016)</b>		
Drenajes abiertos de piedra caliza	Para su aplicación, el drenaje ácido debe tener las siguientes características (Taylor et al., 2005, citado por MME y UNAL, 2014):	En el caso de la minería puede construirse al interior de minas subterráneas y ahorrar espacio, pero se debe tener en cuenta la



Tipo	Características	Consideraciones
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Promedio de la tasa de acidez (mg CaCO<sub>3</sub>/L): &lt; 500</li> <li>• Promedio carga ácida (kg CaCO<sub>3</sub>/día): &lt; 150</li> <li>• Promedio tasa de flujo (L/s): &lt; 20</li> <li>• Concentración de oxígeno: ambiente</li> <li>• Rango de pH: &gt; 2</li> <li>• pH máximo alcanzable: 6 – 8</li> </ul> <p>Posee una capacidad de remover aproximadamente 70% de hierro, 40-50% de aluminio y 10-20% de manganeso, favorecer la coprecipitación de otros metales (Skousen, 2002 citado por MME y UNAL, 2014).</p>	<p>estabilidad de las minas, lo cual puede implicar actividades de mantenimiento constante, por ejemplo, para remover los lodos precipitados y revisar que no se produzca recubrimiento perjudicial sobre la caliza.</p>
<p>Drenajes anóxicos sobre caliza</p>	<p>Para su aplicación, el drenaje ácido debe tener las siguientes características (Taylor et al., 2005, citado por MME y UNAL, 2014):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Promedio de la tasa de acidez (mg CaCO<sub>3</sub>/L): &lt; 500</li> <li>• Promedio carga ácida (kg CaCO<sub>3</sub>/día): &lt; 150</li> <li>• Promedio tasa de flujo (L/s): &lt; 20</li> <li>• Concentración de oxígeno: &lt; 1</li> <li>• Rango de pH: &gt; 2</li> <li>• pH máximo alcanzable: 6 – 8</li> </ul>	<p>En el caso de la minería puede construirse al interior de minas o zonas con pendientes variables, dejando espacio para instalar lagunas de decantación o precipitación de los metales que se van obteniendo en la parte superficial del área.</p> <p>Aunque requieren poco se debe cuidar de mantener condiciones anóxicas e igualmente controlar las fluctuaciones de flujo.</p>
<p>Humedales aeróbicos</p>	<p>Se utilizan generalmente para tratar efluentes alcalinos con el fin de remover Fe, Mn y As, requiriendo tiempos de retención altos y una buena aireación, permitiendo el precipitado de metales como Fe(OH)<sub>3</sub> y MnO<sub>2</sub></p> <p>Para su aplicación, el drenaje debe tener las siguientes características (Taylor et al., 2005, citado por MME y UNAL, 2014):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Promedio de la tasa de acidez (mg CaCO<sub>3</sub>/L): &lt; 500</li> <li>• Promedio carga ácida (kg CaCO<sub>3</sub>/día): ≤ 1</li> <li>• Promedio tasa de flujo (L/s): Tiempo de permanencia máximo permitido de 1-5 días</li> <li>• Concentración de oxígeno: ambiente</li> <li>• Rango de pH: &gt; 6</li> </ul> <p>pH máximo alcanzable: N/A</p>	<p>Se requieren extensiones importantes de terreno con pendientes ~ 1% y controlar las variaciones de flujo. Igualmente se debe revisar las condiciones de operación de modo que se garantice un flujo que posibilite condiciones aeróbicas y permita controlar procesos de precipitación y sedimentación.</p>
<p>Humedales anaeróbicos</p>	<p>Se utiliza cuando el influente es netamente ácido, pudiendo tratar efluentes con</p>	<p>Se deben revisar las condiciones de operación de modo que se mantengan</p>

Tipo	Características	Consideraciones
	<p>concentraciones importantes de Fe, Zn, Cu, Cd, Pb, As, Cr, Mo, Sb, Se, sulfatos y acidez.</p> <p>Para su aplicación, el drenaje debe tener las siguientes características (Taylor et al., 2005, citado por MME y UNAL, 2014):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Promedio de la tasa de acidez (mg CaCO<sub>3</sub>/L): &lt; 500</li> <li>• Promedio carga ácida (kg CaCO<sub>3</sub>/día): 1</li> <li>• Promedio tasa de flujo (L/s): Tiempo de permanencia máximo permitido de 1-5 días</li> <li>• Concentración de oxígeno: ambiente cerca de la superficie, &lt; 1 mg/L en zona subsuperficial</li> <li>• Rango de pH: &gt; 2.5</li> </ul> <p>pH máximo alcanzable: 6 - 8</p>	<p>condiciones de flujo subsuperficial y controlar procesos de precipitación y sedimentación que puedan colmatar el medio de soporte utilizado.</p>
<p>Sistemas productores continuos de alcalinidad</p>	<p>Para su aplicación, el drenaje debe tener las siguientes características (Taylor et al., 2005, citado por MME y UNAL, 2014):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Promedio de la tasa de acidez (mg CaCO<sub>3</sub>/L): &lt; 300</li> <li>• Promedio carga ácida (kg CaCO<sub>3</sub>/día): &lt; 100</li> <li>• Promedio tasa de flujo (L/s): &lt; 15</li> <li>• Concentración de oxígeno: 1 - 3</li> <li>• Rango de pH: &gt; 2.5</li> </ul> <p>pH máximo alcanzable: 6 – 8</p>	<p>Los efluentes del tratamiento son normalmente transportados a un humedal aeróbico donde precipitan los metales.</p> <p>Una desventaja es si el drenaje ácido posee altos contenidos de aluminio o hierro, debido a que al precipitar se cubre la caliza, minimizando la efectividad.</p>
<p>Barreras reactivas permeables</p>	<p>Es de fácil construcción ya que consiste en realizar una excavación que atraviesa el flujo del drenaje con el objetivo de que pase a través de ella.</p> <p>Para su aplicación, el drenaje debe tener las siguientes características (MME y UNAL, 2014):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Promedio de la tasa de acidez (mg CaCO<sub>3</sub>/L): &lt; 500</li> <li>• Promedio carga ácida (kg CaCO<sub>3</sub>/día): 1 - 5</li> <li>• Promedio tasa de flujo (L/s): &lt; 1</li> <li>• Concentración de oxígeno: baja</li> <li>• Rango de pH: &gt; 3</li> </ul> <p>pH máximo alcanzable: &gt; 6.5</p>	<p>Debe contar con elementos adicionales como piezómetros anteriores y posteriores a la barrera, así como perforaciones de muestreo al interior de esta.</p>

**Fuente:** adaptado de Aquaviva, 2016.

#### 6.2.2.5. Limitantes de las medidas de intervención

Con el objetivo de seleccionar adecuadamente la medida de intervención se debe considerar algunos aspectos relevantes relacionados con especificaciones técnicas del área o sitio de interés. De esta manera, se debe tener en cuenta que la selección de las alternativas debe estar a cargo de un grupo interdisciplinario, por ejemplo, en casos de inestabilidad de suelos se debe contar con el recurso humano que posea conocimientos en geotecnia.

A continuación, se mencionan otros aspectos a involucrar dentro del proceso de selección de las medidas de intervención. Sin embargo, estos aspectos pueden variar dependiendo de las condiciones específicas del área o sitio de interés.

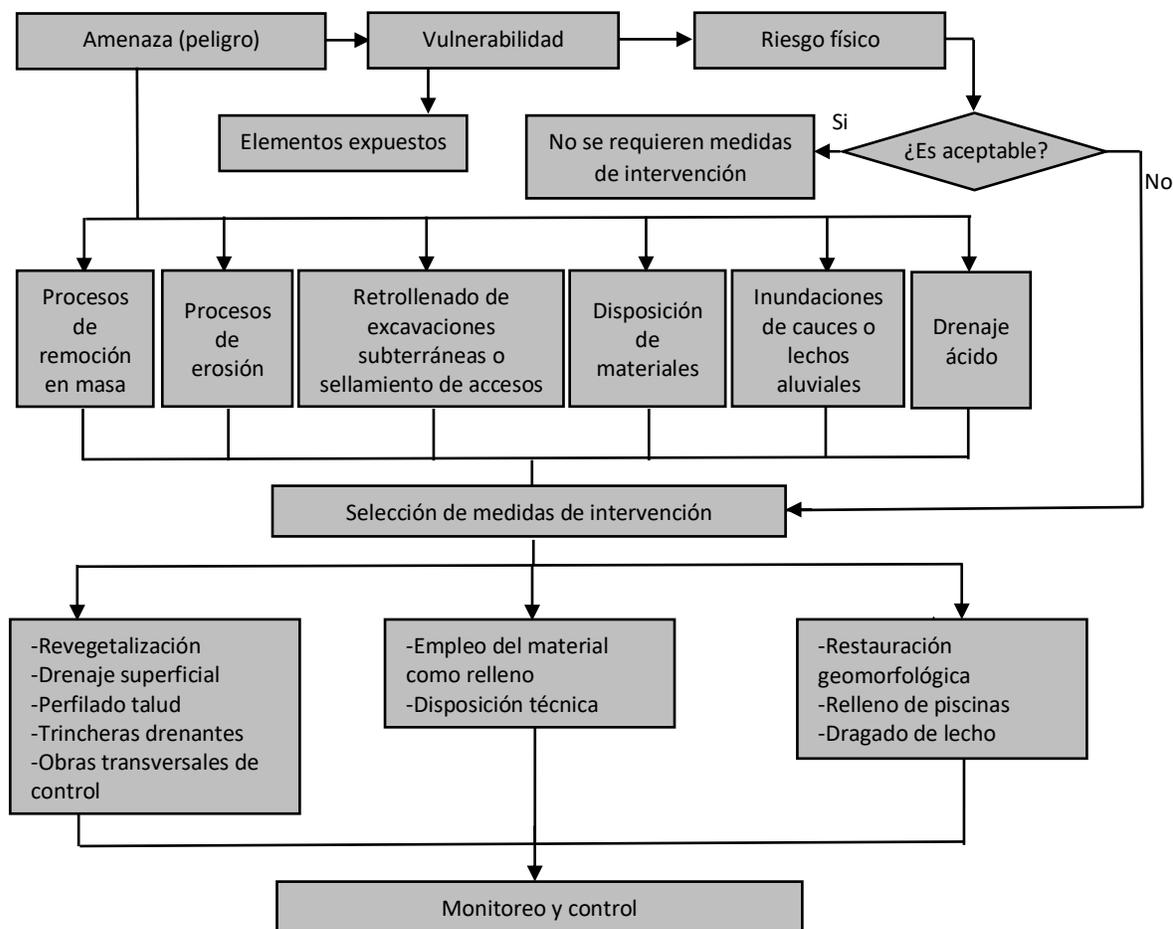
- Escala de trabajo, ya sea talud general o parcial,
- Tipo de proceso de inestabilidad,
- Erodabilidad del material,
- Limitaciones de acceso al emplazamiento debido a carreteras, masas de agua, zonas urbanizadas, etc.
- Disponibilidad de espacio,
- Disponibilidad de materiales,
- Disponibilidad de mano de obra,
- Costos (MME y UNAL, 2014).

En el caso de deslizamientos, por medio de un estudio de estabilidad de taludes se logra diseñar medidas de control y estabilización para reducir la afectación ambiental, teniendo en cuenta que la selección de una medida de intervención requiere un análisis conceptual de las causas y consecuencias.

Por otra parte, uno de los limitantes más grandes es la disponibilidad de recursos, en algunas áreas se tiene grandes presupuestos para este tipo de eventos, permitiendo construir medidas de gran dimensión. Sin embargo, es más frecuente encontrarse lugares donde los recursos económicos son limitados y se requiere usar tecnologías más asequibles (Suárez J. , 2009).

### 6.2.2.6. Esquema general para intervenciones por afectaciones de riesgo físico

Figura 14. Esquema general para intervenir afectaciones por riesgos físicos



**Elaboró:** Corporación Bioparque, 2022.

**Fuente:** Aquaviva, 2016.

### 6.2.2.7. Restauración y rehabilitación ecológica

Estas medidas tienen como fin restablecer las condiciones a su estado inicial o al menos a un estado ambiental y socialmente aceptable. Su desarrollo implica tres enfoques: restauración ecológica, rehabilitación y recuperación, en conjunto con un mecanismo de compensación por la pérdida de biodiversidad.

**Tabla 9.**  
**Restauración y rehabilitación ecológica**

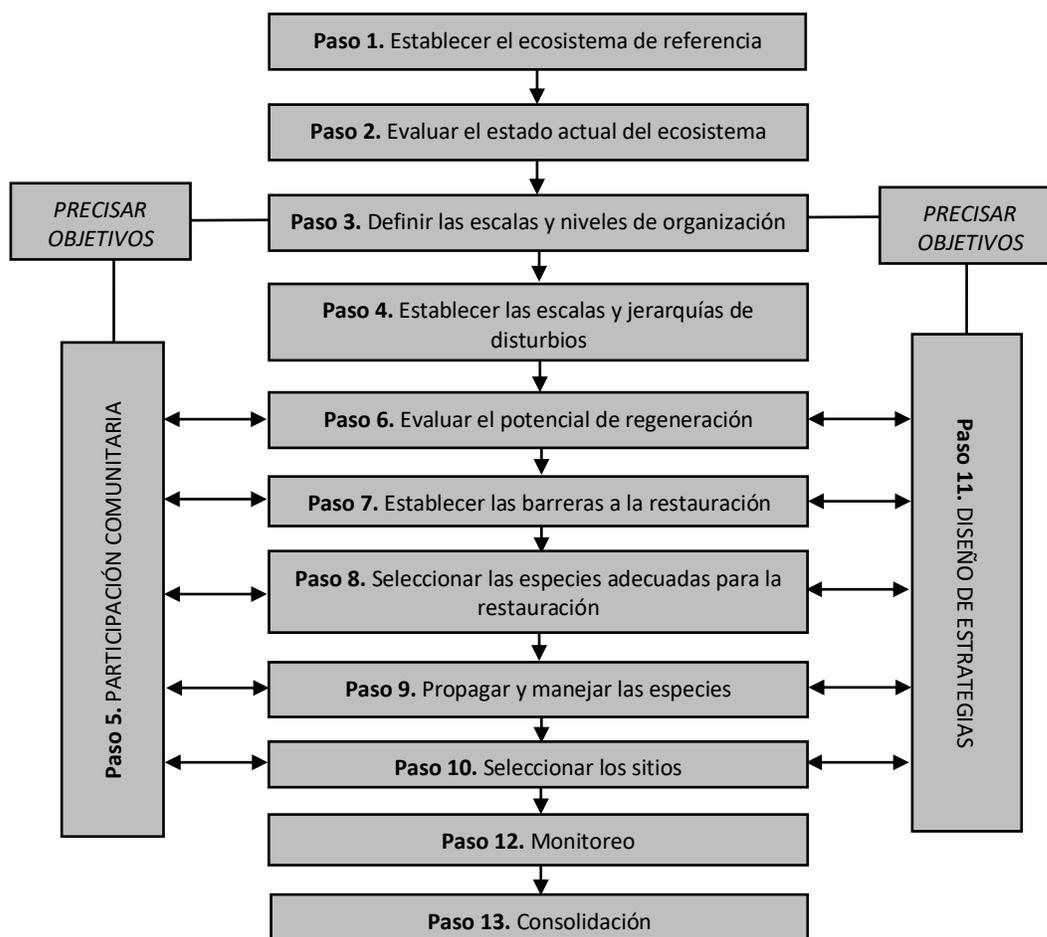
Medidas de intervención	Descripción
<p>Restauración y rehabilitación de áreas disturbadas y ecosistemas (MADS, 2015)</p>	<p>La restauración ecológica consiste en restablecer el ecosistema degradado a una condición similar al ecosistema predisturbio respecto a su composición, estructura y funcionamiento. Además, el ecosistema resultante debe ser un ecosistema autosostenible y debe garantizar la conservación de las especies y la mayoría de sus bienes y servicios.</p> <p>La rehabilitación ecológica, consiste en llevar al sistema degradado a un sistema similar o predisturbio. Debe ser autosostenible, preservar algunas especies y prestar servicios ecosistémicos.</p> <p>La recuperación ecológica, consiste en recuperar algunos servicios ecosistémicos de interés social. Generalmente, los ecosistemas resultantes no son autosostenibles y no se parecen al sistema predisturbio.</p> <p>Para llevar a cabo una restauración ecológica, se deben tener en cuenta las etapas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Planeación del proyecto de restauración</li> <li>• Ejecución del proyecto de restauración</li> <li>• Mantenimiento del proyecto de restauración</li> <li>• Monitoreo de la restauración ecológica</li> <li>• Divulgación de modelos regionales.</li> </ul> <p>Adicionalmente, se consideran algunas estrategias de recuperación de uso común en el país, que deben estar enmarcadas dentro de la viabilidad económica, social y funcional:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Encerramiento del bosque</li> <li>• Enriquecimiento y suplementación del bosque</li> <li>• Conectividad a través de cercas vivas</li> <li>• El rescate como estrategia de conservación de especies amenazadas y especies claves</li> <li>• Establecimiento de barreras</li> <li>• Establecimiento de franja protectora de cuerpos de agua</li> <li>• Redistribución de plántulas</li> <li>• Restauración pasiva en páramos</li> <li>• Siembra de <i>Lupinus bogotensis</i> como facilitadora del crecimiento y supervivencia de <i>Espeletia grandiflora</i> y macollas de pajonal</li> <li>• Restablecimiento del régimen hidrológico en humedales</li> <li>• Reconstrucción de la estructura física del hábitat en humedales</li> </ul>

**Elaboró:** Corporación Bioparque, 2022.

**Fuente:** Aquaviva, 2016.

En la Guía Metodológica para la Restauración Ecológica del Bosque Andino (Vargas, Guía Metodológica para la Restauración Ecológica del Bosque Altoandino, 2007) se formula una estrategia por fases conformada por un número de pasos fundamentales para tener en cuenta en un proyecto de restauración ecológica que pueden ayudar a estructurar proyectos en diferentes zonas y circunstancias (**Figura 15**). Los autores señalan que los pasos a seguir no necesariamente tienen que ser en el orden propuesto, todo depende de la particularidad de los sitios, de las escalas y los objetivos de restauración propuestos.

Figura 15. Pasos para la restauración ecológica



Fuente: Vargas, 2007.

Como se puede observar en la **Figura 15**, los pasos 5 y 11 son transversales y están presentes en casi todo el proceso de las fases diagnóstica y experimental. Esto quiere decir que la participación comunitaria es muy importante en todo el proceso de restauración y que el diseño de estrategias se va retroalimentando de los conocimientos derivados de los pasos 6 a 10. A continuación se resumen los pasos descritos en la figura.

## FASE DIAGNÓSTICA (PASOS 1-7)

### **PASO 1. Definir el ecosistema de referencia**

Un primer paso es tener un conocimiento claro de la región y su historia de uso, para lo cual es necesario hacer una reconstrucción histórica del ecosistema a restaurar: su extensión, el tipo de ecosistema, sus especies más importantes y como fue la transformación y las épocas en que aparecieron sus diferentes usos.

### **PASO 2. Evaluar el estado actual del ecosistema**

Se hace una evaluación previa del ecosistema, y se evalúan sus condiciones actuales (teniendo en cuenta al ecosistema de referencia, paso 1), en términos de su integridad ecológica: composición de especies, estructura y función.

### **PASO 3. Definir las escalas y niveles de organización**

Dentro de los ecosistemas se presentan múltiples procesos los cuales operan a diferentes escalas regulando la composición de especies y la estructura y función del ecosistema, por lo tanto, una comprensión de la estructura y función del ecosistema en varias escalas espaciotemporales es esencial en los proyectos de restauración.

Los proyectos de restauración ecológica abarcan diferentes niveles de organización, desde poblaciones de especies, comunidades, ecosistemas y paisajes, y por lo tanto en cada nivel es necesario definir los objetivos pues la escala puede ser regional, local o de parcela. A escalas espaciales se realizan estudios para observar requerimientos de germinación de semillas o crecimiento de plántulas hasta estudios sobre unidades de paisaje y cuencas hidrográficas, normalmente a mayor especificidad (menor escala) se necesita un mayor número de datos para poder determinar el estado del ecosistema. A escalas temporales el estudio se determina principalmente por los ciclos de disturbio y/o procesos sucesionales.

A partir del paso 3 se van precisando los objetivos del proyecto de restauración y sus escalas, es decir, se define el estado deseado dentro de las posibles trayectorias sucesionales posibles del ecosistema. En este momento es importante que inicie activamente la participación de las comunidades locales en la definición de los objetivos.

### **PASO 4. Establecer las escalas y jerarquías de disturbio**

Puede considerarse que un disturbio es cualquier evento relativamente discreto en el tiempo, que irrumpe en la estructura de las poblaciones, las comunidades o el ecosistema y cambia la disponibilidad de recursos y el ambiente físico. En general, se consideran como disturbios los eventos destructivos de origen natural o antrópico y las fluctuaciones ambientales que estos puedan presentar en espacio y tiempo.

Además de los disturbios naturales a megaescala (ej. movimiento de placas tectónicas, ciclos glaciales, etc.), los disturbios naturales comunes pueden ser la erosión, lluvias y vientos, heladas, disturbios producidos por animales y fuego. Disturbios antrópicos comunes son la ganadería y agricultura, la explotación de minas (por ejemplo, de oro), la construcción de obras civiles y el uso de especies (corte para leña) y del suelo (siembra de especies forestales).

Tras la ocurrencia de un disturbio es difícil realizar predicciones respecto al rumbo o dirección que seguirá la comunidad en su sucesión en el tiempo, ya que las dimensiones espaciales (tamaño, forma), temporales (duración, frecuencia) y la magnitud (intensidad, severidad) de los disturbios se constituyen en factores determinantes de la dirección (composición y diversidad de especies) de la sucesión ecológica.

## **FASES DIAGNÓSTICA Y EXPERIMENTAL (PASOS 5-7)**

### **PASO 5. Lograr la participación comunitaria**

La restauración ecológica es una actividad de largo y por consiguiente es esencial para su implementación y continuidad garantizar la participación en los proyectos, desde su formulación, de las poblaciones locales (específicamente desde sus conocimientos sobre su región, su historia de uso, la ubicación de las especies y en algunos casos su propagación) y el apoyo de organizaciones locales, municipales, departamentales y nacionales. De esta forma la educación ambiental se vuelve más práctica y se puede consolidar a corto y largo plazo una educación ambiental para la restauración ecológica de la región de interés.

### **PASO 6. Evaluar el potencial de regeneración**

En la fase diagnóstica la evaluación del potencial de regeneración se refiere a la disponibilidad de especies en la región (su ubicación, su etapa sucesional y abundancia), tanto las pioneras y sucesionales tardías, como las dominantes, codominantes y raras y, especialmente importantes, las especies que potencialmente pueden ser utilizadas en actividades de restauración.

### **PASO 7. Establecer las barreras a la restauración a diferentes escalas**

Consiste en la definición de las diferentes barreras a la restauración, tanto ecológicas como sociales, para lo cual es muy importante el conocimiento del estado de la región y así definir hasta qué punto las condiciones actuales (por ejemplo, del suelo o hidrológicas) pueden garantizar la recuperación del ecosistema a una trayectoria sucesional posible, tomada como meta. Las barreras se pueden definir teniendo en cuenta las diferentes etapas de las plantas en la fase de dispersión, establecimiento y persistencia y las barreras sociales que impiden la regeneración de los ecosistemas.

## FASE EXPERIMENTAL (PASO 8-11)

### **PASO 8. Seleccionar las especies adecuadas para la restauración**

A partir del conjunto de especies y sus trayectorias sucesionales registrado en el potencial de regeneración, y combinando el conocimiento de la gente y con el de expertos locales y científicos, se seleccionan las especies que pueden ser útiles en los sitios que se van a restaurar bajo una escala de atributos o rasgos de historia de vida.

### **PASO 9. Programar y manejar las especies**

Una vez seleccionadas las especies se deben resolver las dificultades relacionadas con la consecución del material, pues muchas especies no se consiguen en viveros locales, o las cantidades no son suficientes para los requerimientos de restauración o el tamaño de las áreas a intervenir. La construcción de viveros o invernaderos es una alternativa para la propagación y crecimiento permanente del material requerido, o cuando los costos de construcción de un vivero son altos es posible conseguir plántulas o rebrotes o sembrar directamente las semillas en el área a restaurar.

### **PASO 10. Seleccionar los sitios**

Partiendo del conocimiento a diferentes escalas de lo que sucede en la zona a restaurar, principalmente en términos de cómo actúa el régimen de disturbios naturales y antrópicos, en este paso se evalúa principalmente el estado del suelo a escalas locales y de parcela considerando criterios de selección como:

1. Ubicación en sitios accesibles.
2. Definir el área y su grado de alteración.
3. Evaluar el estado del suelo y su hidrología
4. Definir si aún persisten los disturbios a esa escala y predecir si se pueden volver a presentar. Si no se eliminan de una forma definitiva los factores tensionantes es posible que el proyecto no sea viable.
5. Evaluar con las comunidades locales las actividades humanas, buscando la mayor compatibilidad posible con el proyecto.
6. Tener en cuenta las recomendaciones de las comunidades locales en cuanto a fenómenos estacionales como inundaciones.

### **PASO 11. Diseñar estrategias para superar las barreras a la restauración**

Dada la variedad de disturbios y sitios en los que ocurren, es necesario el desarrollo de técnicas físicas, químicas y biológicas que puedan ser utilizadas independientemente y/o conjuntamente para alcanzar los resultados deseados a partir de diferentes condiciones iniciales. Este es un paso crítico para los programas de restauración y rehabilitación donde se hace la identificación y posterior supresión o atenuación de los factores responsables de la degradación ambiental. Un segundo paso crítico es el restablecimiento de las condiciones edáficas, hidrológicas y microclimáticas con reintroducción de biota nativa.

## FASE DE MONITOREO (PASO 12)

### PASO 12. Monitorear el proceso de restauración

Este paso consiste en el diseño de un sistema de seguimiento del área sujeta a restauración, estableciendo indicadores que resulten apropiados para la escala y tipo de caso que se trate y un método estándar para medir sus variaciones espaciotemporales. Con la información colectada durante el proceso de monitoreo se puede replantear tanto el modelo de intervención como la formulación y evaluación de los indicadores de éxito.

## FASE DE CONSOLIDACIÓN (PASO 13)

### PASO 13. Consolidar el proceso de restauración

La consolidación de un proyecto de restauración implica que se han superado casi todas las barreras a la restauración y que el ecosistema marcha de acuerdo a los objetivos planteados, y que por lo tanto las labores de mantenimiento y monitoreo indican que el proceso marcha satisfactoriamente y el ecosistema empieza a mostrar variables de auto sostenimiento, como el enriquecimiento de especies, la recuperación de la fauna y el restablecimiento de servicios ambientales relacionados con la calidad del agua y el suelo. Un aspecto a tener en cuenta en la consolidación es la integración natural del área restaurada con el aspecto del paisaje natural remanente.

La reforestación es una medida comúnmente utilizada dentro de las actividades de cierre de minas. Sin embargo, es igualmente común que se hace sin tener en cuenta los criterios técnicos adecuados. Por ejemplo, se suele preferir la siembra de especies de fácil adaptabilidad y rápido crecimiento, olvidando la necesidad de emplear especies nativas y de valor ecológico.

En los procesos de restauración ecológica, la reforestación debe considerar un conjunto de especies que permitan acelerar el proceso de sucesión ecológica, propiciando un aumento de la diversidad de la forma más rápida posible (SER, 2004). También se debe controlar la introducción de especies exóticas introducidas, como *Acacia Mangium*, una especie de uso frecuente en la revegetación de áreas afectadas por minería en el Chocó que puede convertirse en invasora y afectar el curso de los procesos de regeneración natural de estos ecosistemas (Valois-Cuesta y Martínez-Ruiz, 2017).

Las especies con diferentes características sucesionales (pioneras, secundarias o intermedias, y tardías) deben combinarse en los procesos de restauración de modo que se cree sinergia al favorecer la complementariedad entre ellas y en cambio reduzcan aquellas interacciones que provocan la exclusión de especies. De esta forma, al considerar los atributos morfológicos y ecológicos de las especies vegetales y el arreglo espacial de su siembra, se puede mejorar la productividad de dichas plantaciones.

En la Tabla 10 se resumen algunos criterios para el diseño de plantaciones y selección de especies utilizadas en procesos de restauración ecológica de zonas degradadas por minería aluvial en la región amazónica del

Perú, mientras que en la Figura 16 se esquematiza el diseño de plantaciones de restauración utilizado en la recuperación de bosques de Mata Atlántica en el Sureste de Brasil.

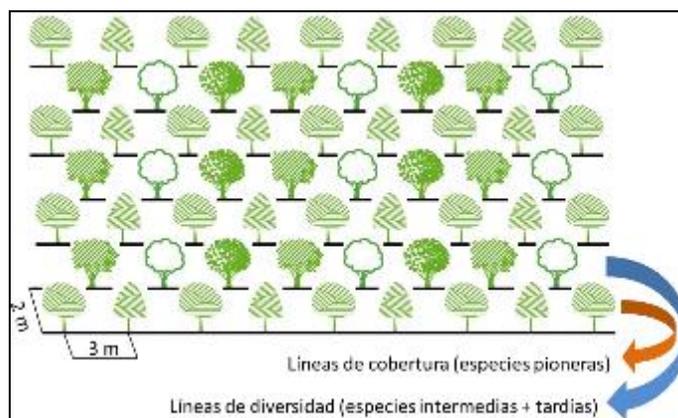
**Tabla 10.**

Criterios para la selección de especies y diseño de plantaciones de restauración

Criterios para el diseño de las plantaciones	Criterios para la selección de especies
<ul style="list-style-type: none"> <li>Hay que asegurar que las especies seleccionadas sean complementarias unas con otras (por ejemplo, tolerantes de sombra – demandantes de luz, copa estrecha – copa extendida, raíz pivotante – raíz extendida);</li> <li>El arreglo espacial de las especies en la plantación debe potenciar al máximo la complementariedad (por ejemplo, especies pioneras rodean especies intermedias y tardías) para que esto se traduzca en mayor productividad;</li> <li>Las especies tardías deben ser cuidadosamente seleccionadas para asegurar su compatibilidad con el sitio; muchas de estas especies tienen alta mortalidad en áreas descubiertas y suelos pobres.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fáciles de propagar, idealmente, producir plántulas de 30-50 cm de altura en menos de un año;</li> <li>Altas tasas de supervivencia al ser plantadas en sitios degradados;</li> <li>Sistema radicular extendido y profundo que asegure su enraizamiento;</li> <li>Crecimiento rápido;</li> <li>Copas densas y extensas para producir sombra sobre las malezas;</li> <li>Provisión de flores, frutos u otros recursos a una edad joven para atraer fauna dispersora de semillas;</li> <li>Productividad, valor de los productos y servicios ecológicos provistos.</li> </ul>

*Fuente: Pure Earth, 2020*

**Figura 16. Modelo de plantaciones de restauración utilizado en la recuperación de bosques de Mata Atlántica en el Sureste de Brasil**



*Fuente: Rodríguez, Lima, Gandolfi y Nave, 2009.*

Valois y Martínez (2017) realizaron una caracterización de las especies vegetales que crecen en minas abandonadas en el Chocó, Colombia, encontrando que las más representativas corresponden a familias identificadas en otras zonas mineras neotropicales, señalando que a pesar de las diferencias que pueden existir en términos de riqueza de especies entre sitios y dentro de los sitios, las diferencias respecto de los principales grupos taxonómicos parecen ser bajas, especialmente en la etapa de sucesión temprana.

Esto sugiere que las experiencias de restauración mediante revegetación realizadas en otras zonas mineras neotropicales pueden servir como guía al momento de seleccionar especies vegetales potencialmente aptas para procesos de restauración ecológica en zonas degradadas por la minería.

Como parte de la implementación de un modelo de cierre de minas en una zona minera de Perú se instaló una plantación de restauración ecológica en áreas degradadas por minería fluvial empleando especies forestales previamente identificadas como promisorias (Pure Earth, 2020). Con base en la información producida por el Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA), se sembraron especies vegetales para promover la diversidad, Shiihuahuaco (*Dipteryx micrantha*), Copaiba (*Copaifera officinalis*), Tahuari (*Tabebuia serratifolia*), Huayruru (*Ormosia coccinea*), Palisangre (*Brosimum rubescens*) y Lupuna (*Ceiba pentandra*), y especies vegetales de cobertura, Amasisa (*Erythrina ulei*), Pashaquillo (*Leucaena leucocephala*), Shimbillo de playa (*Inga sp.*) y Shimbillo peludo (*Inga sp.*).

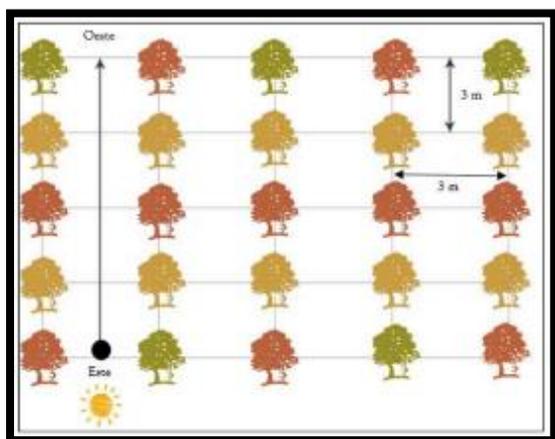
El trabajo consistió en las siguientes cinco etapas:

### 1. Delimitación de la parcela y marcado de hoyos

Consiste en delimitar la parcela donde se va a reforestar mediante la ubicación de vértices y las líneas de plantación.

Un ejemplo de cómo se debe hacer la parcelación se muestra en la siguiente figura.

Figura 17. Parcelación. a) Teórica; b) Práctica



Fuente: CINCIA Peru, 2020.

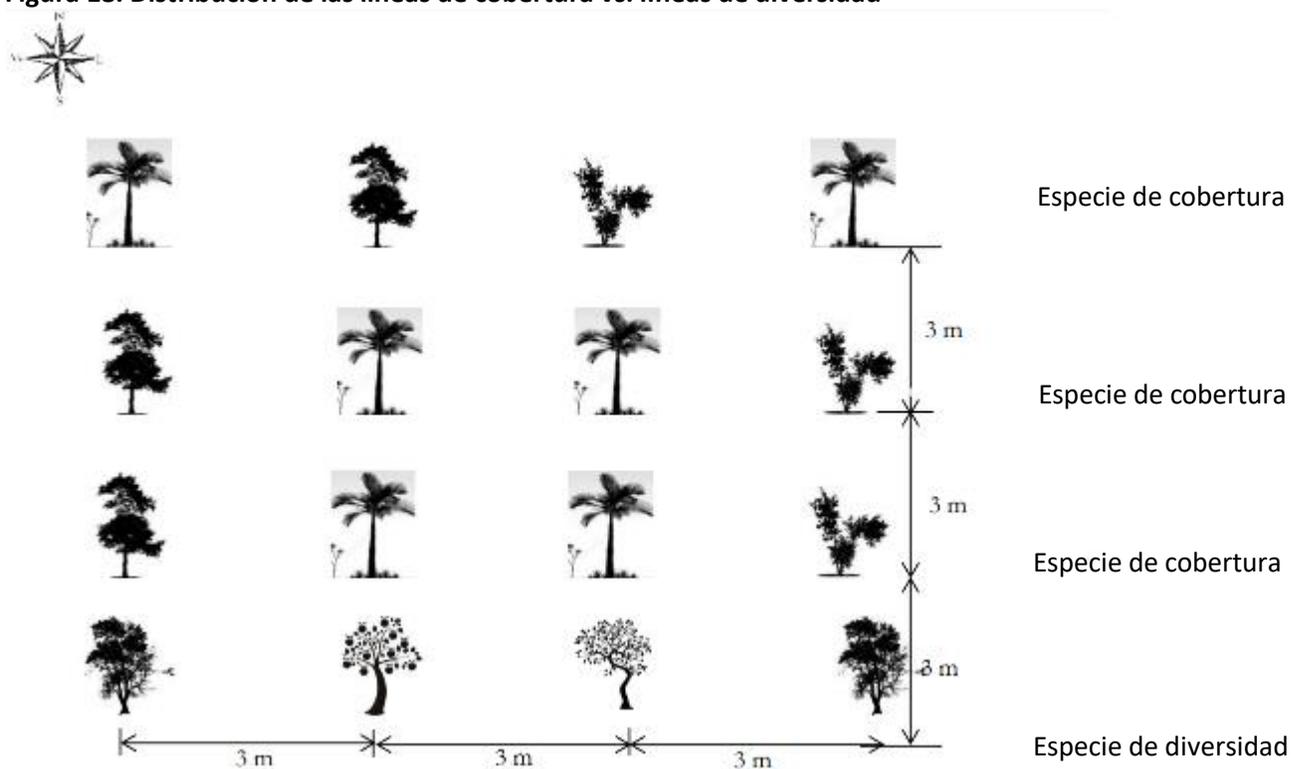
## 2. Hoyado, aleatorización y distribución de plantas

El hoyado consiste en realizar agujeros donde se va a plantar, cuya profundidad debe ser igual a la altura que va desde la base de la planta hasta donde inicia el tallo para cada especie. La aleatorización consiste en separar las plantas que son para cobertura y de diversidad, y su distribución consiste en llevarlas a las líneas de plantación donde van a ser plantadas.

## 3. Plantación

Se plantó tres líneas de cobertura y una de diversidad, y así sucesivamente intercaladas entre ellas, con una separación de 3 metros entre cada especie sembrada en todas las direcciones, como se esquematiza en la Figura 18. Así mismo la dispersión de los plántones en las líneas de especies de cobertura y de diversidad se hizo al azar.

Figura 18. Distribución de las líneas de cobertura vs. líneas de diversidad



Fuente: CINCIA Peru, 2020.

#### 4. Evaluación

La evaluación se hizo mediante la toma de datos de altura y diámetro de los individuos al inicio, para poder hacer un seguimiento de su crecimiento y desarrollo; empleando cintas métricas y “vernier” digitales para tomar registros de la altura y el diámetro a la altura de la base (DAB) de los plantones.

#### 5. Fertilización

Se fertilizó con 45 gramos de fertilizante NPK/planta (Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K) y 100 mL de abono foliar/planta.

Mediante esta metodología se logró revegetar un área de 2.5 hectáreas, y se emplearon 2778 especies vegetales, de las cuales el 75% corresponden a especies de cobertura y 25% especies de diversidad. Es de destacar que el área intervenida estuvo conformada en su mayoría por “suelo desnudo”, es decir un suelo arenoso poco fértil, típico de estas zonas, rodeado por las pozas mineras o lagunas que deja la actividad y bosque poco intervenido. Este tipo de formaciones topográficas es igualmente característico de las zonas intervenidas en la cuenca del Río Quito, como se evidenció en varias de las zonas visitadas durante el muestreo realizado. (Ver Figura 19).

**Figura 19. Suelo erosionado en el Chocó**



*Fuente: Corporación Bioparque, 2022.*

#### 6.2.2.8. Medidas de intervención administrativas

Esta sección contiene algunas medidas de intervención que no se excluyen de las identificadas para riesgo físico, químico, eco sistémico y social, se pueden aplicar en ambos casos de manera individual o combinada con las medidas de intervención específicas para los sitios evaluados. Se enfoca en las acciones administrativas que una autoridad competente pueda establecer para la protección de la salud humana y del medio ambiente. Las medidas de intervención administrativas involucran el control institucional, las

cuales permiten proteger a la comunidad, por ejemplo, reubicar a la población expuesta y restringir los asentamientos en áreas no permitidas.

En la Tabla 11 se exponen algunas medidas de intervención administrativa. Cabe destacar que cada medida se debe adaptar a los requerimientos del sitio de interés. Además, se puede optar por otras alternativas que no contemplen dentro del documento, siempre y cuando cumplan con los requerimientos mínimos de factibilidad técnico-financiera.

**Tabla 11.**  
Medidas de intervención administrativas

Medidas de intervención	Descripción
Reubicación de la población expuesta	Garantiza la protección de la salud humana por medio del traslado de una comunidad a su sitio más seguro ante un riesgo inminente, ya sea por riesgo físico o contaminación química.
Restricción de asentamientos en áreas no permitidas	Es una medida administrativa que evidencia el control institucional de la autoridad competente en un área específica. Presenta un perfil preventivo donde se evita que la población se ubique en zonas de alto riesgo.

*Fuente: Adaptado de Aquaviva, 2016.*

### 6.2.3. Evaluación de las medidas de intervención

Se desarrolla un análisis matricial con el fin de evaluar diferentes opciones de intervención, teniendo en cuenta experiencias en la aplicación de las medidas de intervención en el país, la accesibilidad, la opinión de las partes interesadas, los limitantes de las alternativas, los métodos de evaluación de la sostenibilidad, el análisis de sensibilidad y los criterios para la toma de decisiones. En la siguiente tabla se muestran los factores que pueden afectar la selección de posibles medidas de intervención.

**Tabla 12.**  
Factores que posiblemente afecten la selección de medidas de intervención

Factor	Circunstancias
<b>Características del sitio</b>	
Configuración del sitio	Zona densamente poblada con receptores sensibles en proximidad o ubicación remota sin características especiales cerca.
Tamaño del sitio	Sitio pequeño con poca capacidad de operación y almacenamiento de la planta pesada y equipo, o sitio grande con un amplio espacio de trabajo.
Uso y condición del sitio	Sitio abandonado con terreno abierto y pocas limitaciones físicas en intervención o sitio operacional con edificios, estructuras, plantas y vehículos
Acceso al sitio	Acceso con seguridad bajo el control de personal o de difícil acceso sin seguridad o seguridad determinada por otra parte
Servicios del sitio	Ninguna o limitada capacidad autóctona para rehabilitación o acceso a la energía, agua, telecomunicaciones, etc.
<b>Contexto</b>	
Legal, comercial, financiera	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planificación y control de desarrollo (por ejemplo, intervención emprendida como parte de un proyecto más grande de construcción).</li> </ul>

Factor	Circunstancias
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Política ambiental corporativa (por ejemplo, provisión financiera prevista).</li> </ul>
<b>Opiniones de partes interesadas</b>	
Propietario, fundador, asegurador del sitio	Tolerancia del riesgo residual; flexibilidad en el uso de la tierra; opiniones sobre obligaciones de mantenimiento y control a largo plazo
Regulador	<ul style="list-style-type: none"> <li>Requisitos legales</li> <li>Promoción de mejores prácticas</li> </ul>
Propietarios vecinos, y ocupantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Impacto sobre los valores de propiedad</li> <li>Implicaciones a corto plazo en cuanto a molestias y trastornos</li> </ul>
<b>Escala de tiempo</b>	
En cuanto a la naturaleza del riesgo	Riesgo inmediato a un efecto adverso, o efecto sólo después de la exposición a largo plazo
En términos de un contexto más amplio	Restricciones comerciales o financiación en el tiempo

**Fuente:** Aquaviva, 2016.

En esta etapa se decide cuál medida de intervención es la más factible, que mitigue los riesgos inaceptables que han sido identificados previamente. Lo anterior, por medio de una evaluación de criterios, que se base en la intervención, la gestión y los objetivos adaptados para el sitio. La información sobre la naturaleza del riesgo se revisa y complementa. De acuerdo con el resultado de la evaluación, se identifica la medida más adecuada teniendo en cuenta los beneficios que prestan cada una de ellas (Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) y Environment Agency (EA), 2004).

La determinación de riesgos inaceptables no siempre se soluciona aplicando una medida de intervención. Por ejemplo, algunas veces se decide que la mejor medida es cambiar el uso del recurso en el sitio. En estos casos, se debe justificar que las medidas de intervención no son necesarias (Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) y Environment Agency (EA), 2004).

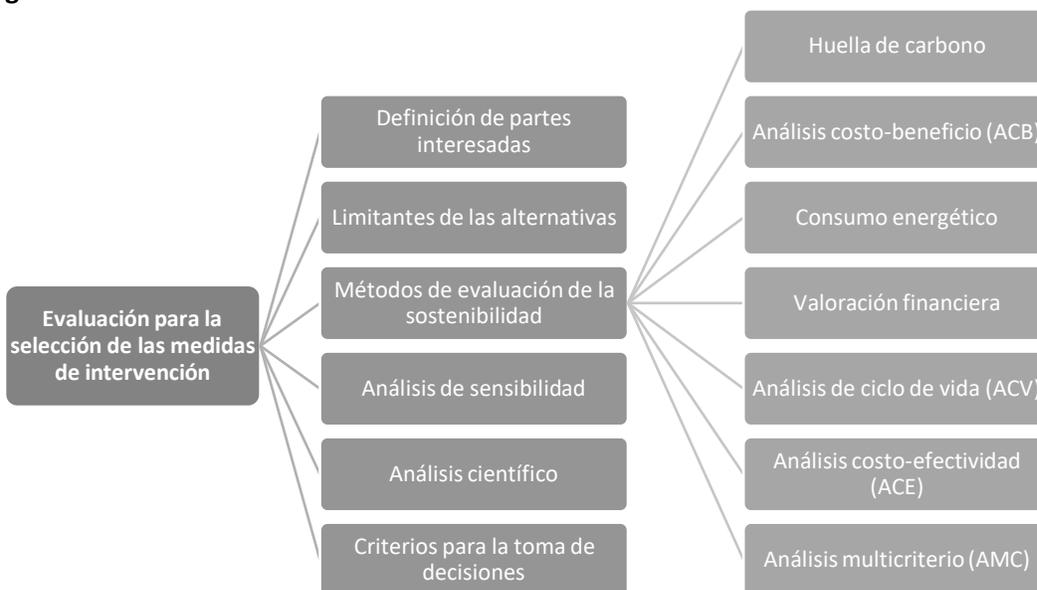
La evaluación de las medidas de intervención ofrece la oportunidad de asegurar su rendimiento, antes de dedicarse recursos en la implementación de esta. El efecto debe ser una reducción en los costos y aumentar la confianza en que la estrategia aprobada es la más apta para la finalidad prevista (Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) y Environment Agency (EA), 2004).

Es necesario evaluar cada uno de los criterios para una buena selección de la medida de intervención. Cada criterio tiene un alcance diferente dependiendo del sitio, sin embargo, se recomienda que el profesional defina la mayor cantidad de variables para la evaluación de dichos criterios. Hay criterios con un alto grado de complejidad e incertidumbre, por lo que se recomienda que se tenga en cuenta alguna de las alternativas de evaluación de la sostenibilidad expuestas en este documento u otra que pueda ser válida. A continuación, se identifican los métodos de evaluación de la sostenibilidad, los cuales serán explicados en el numeral 6.2.3.3.

La mayoría de los trabajos de remediación implican una combinación de las tecnologías mencionadas, como algunas excavaciones/eliminación fuera del sitio para los suelos contaminados con altas concentraciones; luego la biorremediación, la fitorremediación o la contención de suelos de baja

concentración; también con trabajos de restauración ecológica y controles administrativos. Al comparar las alternativas de remediación, es necesario incluir todos los componentes de un plan para cada alternativa considerada, de modo que la evaluación y la comparación sean exhaustivas.

**Figura 20. Métodos de evaluación de sostenibilidad recomendados**



**Fuente:** Aquaviva, 2016.

### 6.2.3.1. Definición de las partes interesadas

El desarrollo de una estrategia de intervención en torno a una serie de objetivos definidos utilizando procesos de evaluación. Para tal fin se debe considerar:

- Identificar las posiciones de los actores involucrados, con el fin de considerarlos y llevar a cabo un proceso transparente.
- El tema jurídico, técnico y comercial influencia la consideración de medidas de intervención.
- En la evaluación objetiva se tienen en cuenta las limitantes y las ventajas de las diferentes medidas de intervención.

Generalmente se tienen en cuenta las siguientes partes interesadas:

- Comunidades aledañas,
- Líderes comunitarios,
- Miembros del consejo comunitario de las zonas afectadas,
- Personal de las universidades y escuelas,
- Personal de los centros médicos,

- Líderes de las comunidades indígenas,
- Propietarios de las tierras donde se piensa hacer la intervención,
- Los mineros,
- Ejecutivos que llevarán a cabo el proyecto.

Tener el apoyo de las partes interesadas es esencial para el éxito del proyecto.

Adicional a lo anterior, se deben tener presentes los requisitos de las comunidades locales, cumpliendo con la normatividad vigente relacionada a la participación comunitaria.

### 6.2.3.2. Limitantes de las alternativas

Los limitantes de las alternativas contemplan factores específicos del sitio, dado que todas las medidas de intervención presentan ventajas y desventajas, lo que determina si una medida es aplicable o no en un sitio. Adicionalmente, los factores técnicos determinan la medida de intervención más adecuada. Algunos factores involucran el tipo, cantidad, distribución y medios afectados. Otros se refieren a características como el tamaño, ubicación, accesibilidad, topografía, ambiente, existencia o proyectos de construcción de infraestructuras (Aquaviva, 2016). Además, debe tenerse en cuenta el uso previsto del sitio para asegurar que las medidas de intervención no comprometen los servicios ecológicos que brinda el suelo.

Dentro de los aspectos técnicos a tener en cuenta es la posibilidad de fallar en una de las alternativas. Por ejemplo, que una remediación falle después de un periodo de tiempo, el fracaso de las estructuras de contención; fallas en los controles de erosión; el futuro mal uso del suelo por un mal control administrativo. Muchas veces este factor suele ser el mayor riesgo para la sostenibilidad de las técnicas de remediación que se implementan.

Otros de los factores para tener en cuenta están relacionados con el aspecto legal y el contexto comercial en el que se encuentra el sitio, las opiniones de las partes interesadas (propietarios de terrenos, compradores, proveedores, reguladores, comunidad local), los costos y los beneficios del uso de cualquier medida de intervención seleccionada (Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) y Environment Agency (EA), 2004).

### 6.2.3.3. Métodos de evaluación sostenibles

Las medidas de intervención seleccionadas con anterioridad deben ser evaluadas, con el fin de escoger la opción óptima tanto técnica como económicamente. Dicha evaluación permitirá establecer de manera comparativa cual intervención puede generar mejores resultados, y si se puede trabajar una combinación de actividades para cubrir las necesidades del sitio en específico. Otro factor clave es el análisis de sostenibilidad, identificando los riesgos de falla luego de implementar las medidas de intervención, como el fracaso de las estructuras de contención, en los controles de erosión, entre otros.

A continuación, se presentan algunos sistemas de evaluación que puede escoger el profesional a cargo, de acuerdo con su criterio.

**Tabla 13. Métodos de evaluación de sostenibilidad**

Método de evaluación	Definición
Huella de carbono	Es una medida del impacto tienen las actividades humanas en el ambiente en términos de la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos.
Análisis de costo-beneficio (ACB)	Tiene en cuenta los impactos que pueden diferir de una propuesta de solución. Compara el valor monetario con el cambio en la salud humana, el cambio en el medio ambiente, entre otros; para finalmente, evaluar si el beneficio es mayor al costo.
Consumo energético	Se considera minimizar o eliminar el consumo de energía eléctrica, fomentando el uso de energías renovables en actividades de rehabilitación.
Valoración financiera	Especifica las ventajas y/o desventajas de un proyecto en base a su rendimiento financiero.
Análisis de ciclo de vida (ACV)	Evalúa los impactos ambientales en la cadena productiva de un servicio o producto.
Análisis costo-efectividad (ACE)	Determina la opción menos costosa de llevar a cabo un objetivo, sin medir los beneficios desde el componente económico.
Análisis multicriterio (AMC)	Es un sistema estructurado para la toma de decisiones considerando diferentes variables.

Fuente: Adaptado de SuRF, 2010.

#### 6.2.3.4. Análisis de sensibilidad

Las evaluaciones de sostenibilidad suelen ser subjetivas, especialmente cuando se incluyen factores difíciles de medir como la percepción de la comunidad, o el costo económico de los impactos ambientales. Cuando esto sucede, lo mejor es contar con la opinión de diferentes actores, ya que no va a tener el mismo impacto para todos, por lo que se recomienda generar la respectiva información documentada sobre las opiniones de las partes interesadas y generar un análisis de sensibilidad como parte de la evaluación de sostenibilidad, partiendo de la información documentada, con el fin de informar a los evaluadores de cómo las variaciones en los datos de entrada influyen en el resultado de una evaluación (SuRF, 2010).

La evaluación de estos factores permitirá mostrar qué criterios ejercen una mayor influencia sobre el resultado de la evaluación y así generar un análisis más detallado para medir con una mejor precisión la relación beneficio/impacto asociado a ese factor.

Al finalizar el proceso de evaluación, el evaluador define si una decisión es robusta, o si un pequeño cambio en ciertos valores de entrada altera significativamente el resultado.

#### 6.2.3.5. Análisis científico

Se sugiere realizar un análisis científico, que corresponda a la revisión de ventajas y desventajas de las medidas de intervención preseleccionadas, y los casos de éxito presentados. Lo anterior, con el fin de tener herramientas para evaluar las diversas opciones disponibles en el mercado, y cuáles pueden ser más útiles en casos específicos.

### 6.2.3.6. Criterios para la toma de decisiones

La determinación de las variables en la toma de decisiones es un aspecto importante. La correlación entre la ciencia y la documentación son fundamentales para llegar a un resultado que se considere razonable y equitativa (SuRF, 2010). En este apartado es importante realizar un análisis matricial de las opciones de intervención con los distintos factores comentados anteriormente. Cada opción debe incluir todos los componentes implicados (las distintas tecnologías y medidas administrativas) para ser completa, ya que la mayoría de las intervenciones implican varios tipos de acciones y tecnologías.

- **Método de sostenibilidad / técnica usada:**

Busca describir el método utilizado (ejemplo: análisis multicriterio, análisis costo-beneficio, evaluación cualitativa, entre otros). La medida de intervención debe lograr los objetivos de gestión de los riesgos para que se considere sostenible. Se debe reconocer, además, que la toma de decisiones tendrá en cuenta factores más influyentes en la aplicación de un esquema de intervención. En estos se pueden incluir factores demográficos, plazos de cumplimiento de los proyectos de intervención, el riesgo por inundaciones, alteración en el transporte de productos y recursos humanos, entre otros (SuRF, 2010).

También se debe tener claro que se pueden requerir permisos reglamentarios para desarrollar las medidas de intervención, los cuales se deben identificar en las primeras etapas de la intervención o antes, de ser posible. En la siguiente tabla se describen algunos trámites ambientales, sin embargo, no se está exento de solicitar otros proyectos.

**Tabla 14.**

Trámites ambientales

Trámites ambientales	Especificación
Licencias	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Licencia ambiental por proyecto, obra o actividad.</li> </ul>
Permisos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permisos de vertimientos.</li> <li>• Permiso de aprovechamiento forestal de bosques naturales.</li> <li>• Autorización para aprovechamiento forestal de árboles aislados.</li> <li>• Permiso de prospección y exploración de aguas subterráneas.</li> <li>• Permiso de emisiones atmosféricas para fuentes fijas.</li> <li>• Permiso de emisión de ruido (municipal).</li> <li>• Permiso de tala, poda o traslado de árboles.</li> <li>• Permiso de construcción de obras hidráulicas o para la protección de cauces.</li> <li>• Permiso de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de investigación no comercial.</li> </ul>
Autorizaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Salvoconducto único para la movilización de especímenes de la diversidad biológica.</li> <li>• Sustracción de áreas de reserva forestal.</li> <li>• Autorización para la construcción de obras que ocupen el cauce de una corriente o depósito de agua.</li> </ul>
Concesiones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concesión de aguas superficiales.</li> </ul>
Registros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Registro Único Ambiental (RUA) para el sector manufacturero.</li> <li>• Registro de generadores de residuos o desechos peligrosos.</li> </ul>

Trámites ambientales	Especificación
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Registro de plantaciones forestales protectoras.</li> <li>• Registro de Bifenilos Policlorados (PCB).</li> <li>• Registro de usuarios de mercurio para el sector minero.</li> </ul>

**Fuente:** Aquaviva, 2016.

Lo ideal es conseguir las aprobaciones correspondientes para llevar a cabo las medidas de intervención antes del inicio de las labores. Además, es importante contar con la aprobación de las diferentes partes interesadas.

#### 6.2.4. Desarrollo de la estrategia de intervención

El propósito de esta etapa es determinar una estrategia de intervención que se pueda aplicar en un sitio, incluyendo una descripción detallada de la medida adoptada, y cómo cumple los objetivos inicialmente planteados. Adicionalmente, se deben analizar a detalle los siguientes ítems:

- Personal
- Equipos
- Suministros
- Accesos

Al inicio de esta etapa, ya se tienen identificadas las medidas de intervención más apropiadas para los riesgos identificados, y durante la etapa se considera al detalle cómo las medidas de intervención se pondrán en práctica. Algunos de los problemas que se pueden presentar en la práctica son:

- La división de sitios con jurisdicciones diferentes.
- Demostrar que se cumplen los objetivos específicos del sitio.
- No tener en cuenta información de las primeras etapas correspondiente a vigilancia, creación de nuevas rutas de acceso, entre otros (Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) y Environment Agency (EA), 2004).

#### 6.2.5. Preparación del Plan de Implementación

Esta etapa comprende el detalle de la implementación de la estrategia de intervención, incluyendo el tiempo necesario para su ejecución, y aspectos de diseño, preparación, elaboración, verificación, monitoreo, entre otros. La ejecución de medidas de intervención puede implicar un proyecto independiente o combinado con otros trabajos previstos para el sitio (Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) y Environment Agency (EA), 2004).

Un quehacer primordial es el desarrollo de un plan de implementación, que se ocupe de todos los aspectos de diseño, preparación, ejecución y monitoreo de las medidas de intervención.

Dependiendo del tamaño y escala de tiempo que abarque el proyecto, el desarrollo de la estrategia de intervención y la implementación del plan puede ser una actividad continua. El principal objetivo de la implementación es asegurar que las medidas de intervención logren los objetivos específicos planteados, de una manera eficiente para todos los riesgos identificados, y con la adecuada garantía de calidad (Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) y Environment Agency (EA), 2004).

El proceso se puede construir alrededor de un Plan de Implementación, el cual contendrá como mínimo:

- Alcance del trabajo
- Objetivos
- Responsabilidades
- Cronograma
- Recursos humanos
- Métodos de adquisición (compras)
- Preparación y aplicación del método de intervención a aplicar
- Implementación in situ
- Supervisión
- Verificación de medidas
- Preparación de imágenes, y documentos necesarios
- Planos y diseños detallados
- Procedimientos de seguridad, salud y protección del medio ambiente
- Consulta con las partes interesadas
- Verificación (datos, muestreos, resultados)
- Informes

### Determinación de los tipos de medidas de intervención con base en los resultados obtenidos

La jornada de muestreo se llevó a cabo con la toma de un total de 1.200 muestras obtenidas entre el 1 y el 21 de noviembre del 2021 en la matriz: suelo, sedimentos y agua cubriendo el total del área de interés de la cuenca del Río Quito; distribuido de la siguiente manera:

**Tabla 15.**  
zonas, áreas y plan de muestreo

ID	Nombre	Área (ha)	Suelo		Agua		Sedimentos	
			Precampo	Campo	Precampo	Campo	Precampo	Campo
1	Quebrada Peradó o Santa Mónica	2021,03	46	17	8	4	8	4
2	Quebrada Suruco Adentro	1831,14	67	20	3	3	3	3
3	Río Raspadura	1488,09	45	46	5	6	5	6
4	Río San Pablo 1	1283,96	45	51	5	7	5	6
5	Río Chigorodó	2127,77	64	20	9	3	9	5
6	Quebrada Las Animas	1191,36	52	52	9	10	9	10
7	Río Rijorodó	953,07	35	40	6	8	6	8
8	Río San Pablo 2	3372,12	120	132	12	14	12	14

ID	Nombre	Área (ha)	Suelo		Agua		Sedimentos	
			Precampo	Campo	Precampo	Campo	Precampo	Campo
9	Río Cértegui	2884,28	87	87	6	6	6	6
10	Quebrada Guapandó	564,99	18	20	5	6	5	6
11	Río Taridó	2279,37	80	88	6	9	6	8
12	Río Quito Principal 1	3798,00	128	184	19	23	19	15
13	Río Paimadó	1154,28	48	54	9	4	9	4
14	Río Quito Principal 2	1983,13	88	121	13	14	13	15
15	Río Quito Principal 3	973,62	33	24	7	5	7	12
Subtotal		27906,2	956	956	122	122	122	122
TOTAL		27906,2	1200					

**Elaboró:** Corporación Bioparque, 2022.

### 6.2.6. Monitoreo y Control

Es importante establecer procesos de monitoreo y control en el momento que se desarrolle una intervención a un área específica. El monitoreo es la recolección sistemática y repetida de datos, observaciones y estudios sobre un área o fenómeno determinado con el fin de caracterizar el estado actual, documentar los cambios que ocurren a lo largo del tiempo y analizar la información necesaria para entender la relación de dichos cambios con las presiones o factores que causan alteraciones en un ecosistema (Vos, Meelis y Ter Keurs, 2000). También puede definirse como el proceso de acopiar información sobre un conjunto de variables de un ecosistema con el fin de evaluar el estado de este y hacer inferencias sobre los cambios que éste experimenta a lo largo del tiempo.

El monitoreo de un área en proceso de remediación, restauración o recuperación se desarrolla para evaluar en qué medida se están cumpliendo los objetivos y las metas que se plantearon al comienzo del proceso (Yoccoz, Nichols y Boulinier, 2001). Para esto se requiere que los proyectos tengan objetivos claros y realistas, metas concretas y un conjunto de indicadores y cuantificadores precisos que permitan medir el avance de la restauración en el tiempo y tomar las decisiones de gestión pertinentes para hacer posibles ajustes en las medidas que se definieron en forma oportuna.

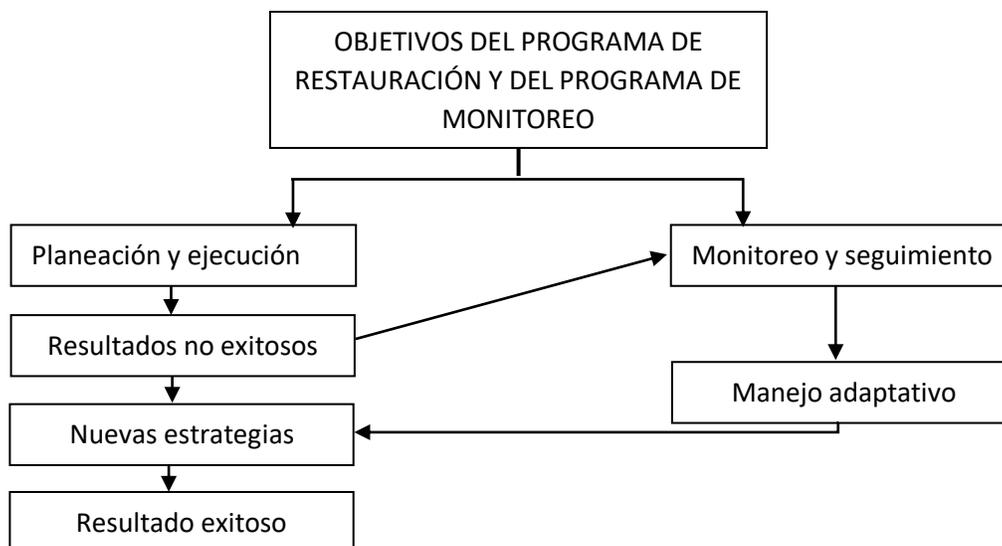
En cuanto a los indicadores, es importante elegir aquellos que cumplan con ciertas características, entre las cuales se pueden destacar las siguientes (Vargas, Guía Metodológica para la Restauración Ecológica del Bosque Altoandino, 2007)

- Ser definibles claramente.
- Ser fácilmente medibles e interpretables.
- Ser útiles para múltiples análisis.
- No tener carácter destructivo.
- Brindar el máximo de información por unidad de área.
- Proveer información con respecto al incremento en las características deseables y la reducción de las no deseables.

En la Guía Metodológica para la Restauración Ecológica del Bosque Andino (Vargas, Guía Metodológica para la Restauración Ecológica del Bosque Altoandino, 2007) se resalta la importancia de aplicar un

monitoreo bajo un enfoque de manejo adaptable (**Figura 21**), que implica la realización de un monitoreo constante hasta el momento en que se considere que el ecosistema ha recuperado su integridad ecológica y no necesita ninguna acción humana para auto sostenerse y auto mantenerse.

**Figura 21. Esquema de desarrollo de un plan efectivo de restauración que involucre el monitoreo**



**Fuente:** Vargas, 2007.

Bajo este enfoque, para asegurar la restauración del ecosistema, el diseño del programa de monitoreo debe realizarse en el mismo momento en el que se plantean los objetivos de la restauración y se planean los tratamientos que serán aplicados. Así, el monitoreo se concibe como un proceso que acompaña al proceso de restauración desde el diagnóstico del estado actual del ecosistema, y continúa durante la implementación de los tratamientos y el desarrollo de estos, terminando en el momento en que se considera que el ecosistema ha recuperado su integridad ecológica.

El diseño de un plan de monitoreo debe realizarse para el sitio específico, no importa si existen áreas contiguas con las mismas características de intervención, cada una tiene que ser analizada en forma independiente como un sistema aparte (Dillon Consulting Limited, 1999). Para lograr un plan efectivo en el monitoreo de una intervención en un área específica, es necesario desarrollar las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son los parámetros clave que deben medirse? Estos deben ser indicativos tanto para el proceso de remediación como para el proceso de restauración y/o tienen impacto en el ecosistema.
- ¿Qué lugares, matrices, contaminantes o especies de muestreo son indicativos del monitoreo?
- ¿Qué tan fácil es el acceso para desarrollar el muestreo de un monitoreo?
- ¿Existen condiciones particulares específicas del sitio que puedan afectar la intervención seleccionada (por ejemplo, elevación del nivel freático)?

- ¿Los usos actuales o futuros de la tierra en o cerca del sitio tienen el potencial de afectar el ecosistema? (eje. Ampliación de zonas residenciales)
- ¿Cuál es la tasa de movilidad de los contaminantes, en el caso de una remediación o cuál es la velocidad de crecimiento de una especie en el caso de una restauración?
- ¿Cuál es la duración apropiada del monitoreo? (Valores que deben considerar desde el contaminante de interés hasta la especie que se quiere monitorear.
- ¿Qué recursos monetarios y de personal están disponibles para llevar a cabo el seguimiento a largo plazo?

Un proceso de monitoreo se considera efectivo si responde a las siguientes preguntas:

- ¿Se exceden los objetivos de la intervención?
- ¿Existe una tendencia general de la disminución de la contaminación o incremento de la vegetación?
- ¿Existe cambios evidentes en el ecosistema si necesidad de realizar muestreos?

### **Tiempos establecidos para la implementación y monitoreo de zonas intervenidas**

Estudios de la Facultad de Ciencias Forestales y Medioambientales de la Universidad de Yale concluyó que los ecosistemas pueden volver a crecer tras fuertes daños o perturbaciones. En general, los ecosistemas forestales tardan alrededor de 42 años en recuperarse (SLC, 2020). Dicho esto, es importante tener en cuenta que cuando el ser humano implementa medidas de intervención, tienen el objetivo de recuperar los ecosistemas en mucho menos tiempo.

Con respecto al monitoreo, el Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico presenta un protocolo con los lineamientos de manejo eco sistémico post aprovechamiento minero en ambientes naturales del Chocó, Colombia (Ramírez, Klinger y Valois, 2016). En dicho protocolo se establece que el monitoreo debe ser periódico para garantizar la eficiencia de cada uno de los tratamientos, ya que, por ejemplo, para el caso de la revegetación, es posible que algunas especies no germinen, por lo que habría que resembrar hasta lograr el éxito parcial de este tratamiento. Se recomienda llevar a cabo un monitoreo no inferior a 10 años. Para áreas con temporalidad entre 0 y 15 años se deben realizar 2 visitas semestrales que garanticen la efectividad de las actividades, teniendo en cuenta las temporadas secas y de lluvia. Posterior a los años establecidos, se debe realizar el monitoreo cada 2 años.

En el protocolo del IIAP, se menciona que las visitas serán efectuadas por un técnico comunitario asesorado por un profesional con el cual tomen nota de datos para el cumplimiento de indicadores y metas.

## Medidas prospectivas y correctivas en los proyectos mineros priorizados

En caso de que el proyecto se localice en un área de susceptibilidad alta o media, o amenaza alta o media, por movimientos en masa, inundaciones y/o avenidas torrenciales, es necesario realizar visita de campo de carácter extraordinario, en la que se tengan en cuenta las recomendaciones descritas en la siguiente tabla.

**Tabla 16**  
**Productos asociados al protocolo de inspección de obras para el seguimiento a las actividades mineras**

Análisis	Actividad	Unidad de Medida	Frecuencia	
			Condición normal	Condiciones críticas
Socavación	Medición del ancho del cauce en dos puntos cercanos a la zona de estudio.	Metros	Semestral	Quincenal
	Medición de la profundidad máxima del cauce en dos puntos cercanos a la zona de estudio.	Metros		
	Inspección visual de las obras de protección de la orilla en la zona de estudio.	Reporte de inspección		
	Identificación y cuantificación de sedimentos acumulados en las orillas	Metros y metros cuadrados		
Estabilidad de Taludes	Inspección visual de las condiciones actuales de los taludes que conforman las presas.	Reporte de Inspección	Semestral	Quincenal
	Medición de grietas e identificación de escarpes.	Metros		
	Identificación de procesos erosivos superficiales.	Reporte de Inspección		
	Seguimiento de la revegetalización de taludes.	Metros cuadrados revegetalizados		
Estabilidad de laderas naturales	Identificación de procesos de inestabilidad en laderas.	Reporte de Inspección	Anual	Semestral
	Cuantificación del grado de actividad y la posible afectación sobre las estructuras de interés.	Metros cuadrados y grado de actividad		
	Identificación de posibles factores detonantes.	Reporte		
	Análisis de cobertura y uso del suelo.	Metros cuadrados		

**Fuente:** Terra, 2017

## Resultados químicos

Para llevar a cabo los análisis químicos para la detección de los contaminantes de interés en las diferentes muestras se tuvieron en cuenta los laboratorios (Ver

**Tabla 17),** y los métodos de análisis (Ver Tabla 17)

**Tabla 17**

Laboratorios involucrados en el análisis de metales pesados.

NOMBRE	DIRECCIÓN	TELÉFONO
INAMCON SAS	Calle 82bis #83-56 - Bogotá	3166248145
MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S	Carrera 17 #166-72 - Bogotá	601 6797855
CIAN LTDA	Cra 65 #5ª – 45- Bogotá	320 3425485

**Elaboró:** Corporación Bioparque, 2022.

**Tabla 18.**

Métodos de análisis en laboratorio para la identificación de metales pesados

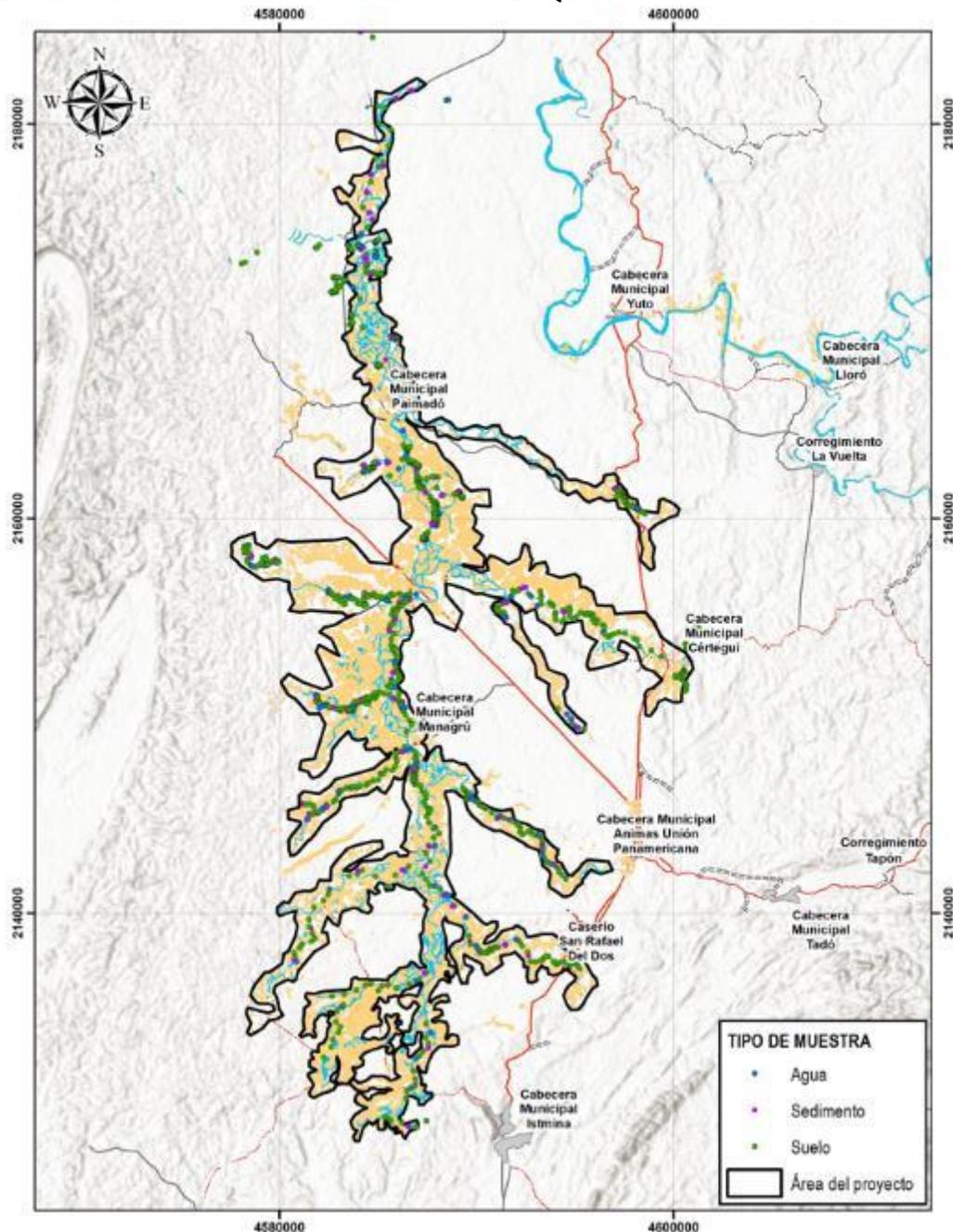
METAL	MÉTODO DE ANÁLISIS EN LABORATORIO	
	AGUA	REFERENCIA
Plomo (Pb)	SM 3030E APHA METHOD	(American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 1992)
Cadmio (Cd)	SM 3030E APHA METHOD	(American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 1992)
Mercurio (Hg)	SM 3112 B E.A.A Vapor Frío	(American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 1992)
Arsénico (As)	3114 B APHA METHOD	(American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 1992)
SUELO Y SEDIMENTOS		
Plomo (Pb)	EPA 3050 B	(EPA, 1996)
Cadmio (Cd)	EPA 3050 B	(EPA, 1996)
Arsénico (As)	EPA 3050 B	(EPA, 1996)

**Elaboró:** Corporación Bioparque, 2022.

**Fuente:** INAMCON SAS, MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S, CIAN LTDA, 2022.

La Figura 22 muestra la georreferenciación de los sitios correspondientes a la recolección de muestras analizadas con el uso de equipos portátiles y técnicas de análisis de laboratorios acreditados para la determinación de los metales pesados: Mercurio, Plomo, Cadmio y Arsénico.

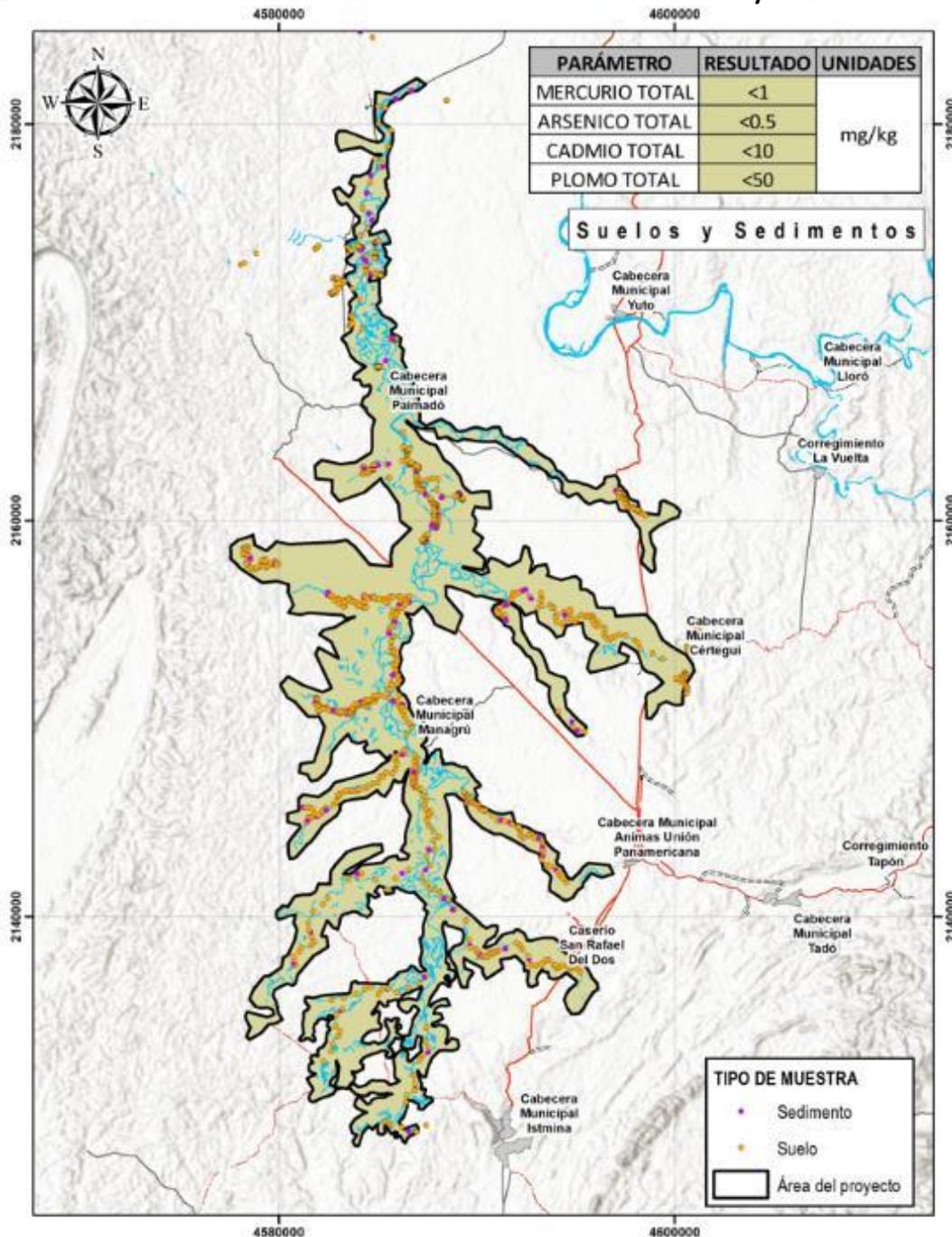
Figura 22. Puntos de muestreo total en la cuenca del Rio Quito.



Elaboró: Corporación Bioparque, 2022.

La Figura 23 muestra los resultados de los análisis realizados por parte del laboratorio a las muestras correspondientes de suelo y sedimento de los metales de interés.

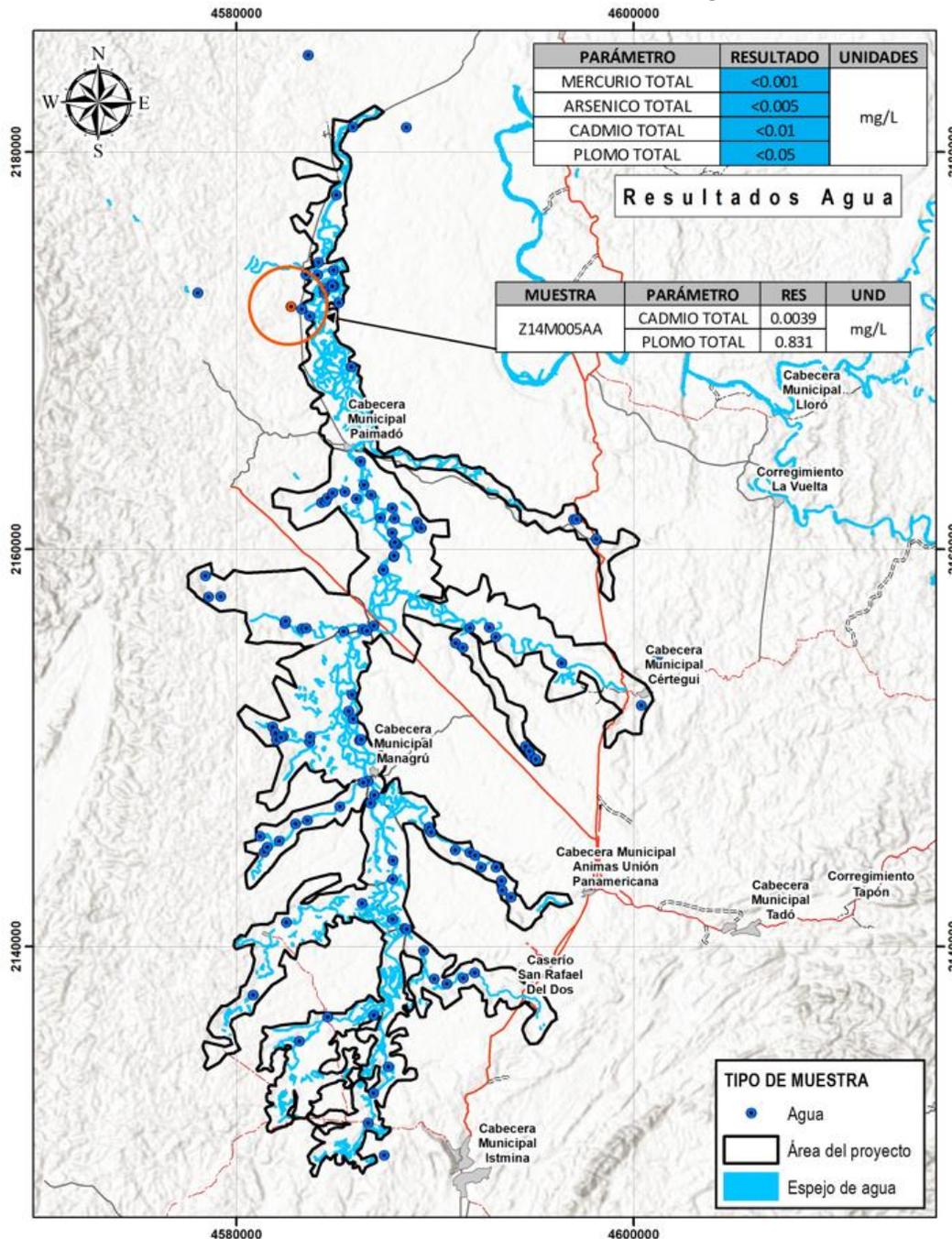
Figura 23. Resultados de los análisis de laboratorio de las muestras de suelo y sedimento



Elaboró: Corporación Bioparque, 2022.

La Figura 24 muestra los resultados de los análisis realizados por parte del laboratorio a las muestras correspondientes de agua superficial de los metales de interés.

Figura 24. Resultados de los análisis de laboratorio de las muestras de agua



Elaboró: Corporación Bioparque, 2022.

Como se puede observar, en general los resultados de laboratorio muestran que no se detectaron concentraciones de Hg, Pb, Cd y As importantes en ningunas de las zonas muestreadas, excepto para el

caso de Cd, donde el límite de detección del equipo para los análisis de laboratorio (< 5 ppm) estuvo por encima de algunos de los valores de referencia reportados.

En el ANEXO 5 se resumen los resultados de las mediciones de metales pesados realizadas en campo, mediante el equipo XRF, y los resultados de los análisis de laboratorio para las muestras de suelo, agua y sedimento tomadas durante las jornadas de muestreo. En la Tabla 19 se comparan los valores promedio de concentración medidos para los cuatro metales y se comparan con valores de referencia dados en la literatura.

**Tabla 19.**

Concentraciones promedio de Hg, Pb, Cd, As medidas y valores de referencia reportados en la literatura

Elemento	Resultados Muestreo Valor máximo (ppm)	(WHO - FAO - EPA) Límite permisible <sup>(1)</sup> (ppm)	MEF		EPA <sup>(4)</sup>	
			Valor límite <sup>(2)</sup> (ppm)	Valor guía inferior <sup>(3)</sup> (ppm)	Suelo residencial (ppm)	Suelo industrial (ppm)
As	< 0.5	20	5	50	0,68	3
Cd	< 5	3	1	10	71	980
Hg	0.0039	72	0.5	2	11	46
Pb	0.831	100	60	200	400	800

**Elaboró:** Corporación Bioparque, 2022.

**Fuente:** Ministry of the Environment, (2007); EPA, (2020).

**Nota:** <sup>1</sup> Límite permisible; <sup>2</sup> Valor límite para suelos: indica la necesidad de una evaluación adicional del nivel de contaminación; <sup>3</sup> Valor guía para suelos: si se excede, el sitio tiene un nivel de contaminación que representa un riesgo a la salud o al ambiente; <sup>4</sup> Los valores de la EPA corresponden a los límites permisibles de concentración en suelo según el uso dado.

En términos del Hg, que es el compuesto de interés para el caso de la minería artesanal y de pequeña escala en la cuenca del río Quito, es importante discutir las razones por las que posiblemente no se hayan detectado concentraciones de relevancia ambiental, entre las que puede considerarse:

- El uso de Hg en las actividades de minería en la zona evaluada se hace en áreas puntuales, que pueden ser confinadas o que están lejos de los compartimentos ambientales que facilitan su transporte al ambiente como los ríos o quebradas. Por ejemplo, puede hacerse en tierra, lejos de los cauces de los ríos, y en muchos casos los residuos pueden ser dejados en recipientes sobre el suelo o incluso enterrados. Es conocido también que se puede hacer dentro de las dragas grandes, para luego ser llevado a tierra y depositado o enterrado.
- Dadas las características hidrológicas de la zona es probable que el Hg elemental liberado de los procesos de amalgamación sea rápida y continuamente lavado y transportado lejos de las zonas donde se hace su uso, con su consecuente dilución, por lo que no se detectan concentraciones significativas ni en las zonas donde se desarrolla la actividad ni en sus zonas de influencia. Los procesos de metilación del mercurio: aunque la gran mayoría del Hg liberado por las actividades de minería esté en su forma elemental (Hg<sup>0</sup>), cuando entra sistemas acuáticos (e.g.

ríos, lagos) puede unirse al material particulado disuelto y biotransformarse en Metilmercurio, un compuesto neurotóxico capaz de concentrarse en el organismo (bioacumulación) y concentrarse conforme avanza en la cadena trófica acuática (biomagnificación), por lo que puede causar graves daños a los humanos y la biota acuática (Gutierrez, y otros, 2021).

Las bajas concentraciones de Hg encontradas en este estudio son correspondientes con los resultados reportados por (Gutierrez H. , Marrugo, Morales, Montoya y Jonathan, 2020) quienes determinaron concentraciones promedio mayores (0.147 ppm) en muestras de sedimento tomadas de lagunas abandonadas en los municipios de Tadó y Unión Panamericana (5°15'N and 76°33'W - 5°16'N and 76°37'W) en el área de San Juan en el Chocó.

Las concentraciones de Hg reportadas por Gutiérrez-Mosquera et al. (2020) fueron mayores a las medidas durante los muestreos en este estudio, lo que se explica dada la naturaleza léntica, bajo pH, lato contenido de materia orgánica y condiciones anóxicas que caracterizan a las lagunas de sedimentación y que además favorece la formación de metilmercurio. Gutiérrez-Mosquera et al. (2020) anotan sin embargo que las concentraciones y distribución de Hg elemental medidas en lagunas abandonadas en la zona de San Juan son alarmantes dada la capacidad de estas para transformarse en metilmercurio, lo que representa una seria amenaza a los cuerpos de agua y un riesgo significativo para la salud humana y los ecosistemas.

### 6.3. Resultados físicos

La Figura 25 muestra diferentes formaciones topográficas identificadas en diversas zonas de la cuenca de Río Quito donde la vegetación emerge gradualmente con el paso de tiempo, tales como zona de transición mina-bosque (ecotono), zonas llanas no inundables, taludes, depresiones cenagosas o zonas pantanosas y montículos de arena y grava.

**Figura 25. Formaciones topográficas resultantes de las labores de minería a cielo abierto en bosques naturales de la cuenca del Río Quito, Chocó, Colombia: a) zonas planas no inundables, b) taludes de pendiente fuerte, c) depresiones cenagosas o zonas pantanosas y d) montículos de arena y grava**



Elaboró: Corporación Bioparque, 2022.

En un estudio realizado por Valois y Martínez (2017) donde se caracterizaron especies vegetales presentes en minas abandonadas durante la regeneración temprana (<15 años de abandono) en los municipios de Cértegui, Unión Panamericana y Tadó las zonas de borde bosque-mina y las depresiones cenagosas albergaron mayor riqueza de especies que los montículos de arena y grava, y los taludes. Al respecto, los autores recomiendan que las depresiones cenagosas, las zonas de transición bosque-mina y las llanuras no inundables sean hábitats promovidos para la revegetación después de las actividades mineras, más que los taludes o los montículos de arena y grava.

Las especies encontradas más representativas de la zona estudiada pertenecen a las familias *Cyperaceae*, *Melastomataceae* y *Rubiaceae*, y coinciden con aquellas encontradas en otras zonas neotropicales afectadas por la minería (Díaz y Elcoro, 2009).

Tabla 20.

Posibles especies vegetales para la revegetación de áreas degradadas en Río Quito.

Clasificación	Género
Herbáceas	<i>Aciotis rubicaulis</i> (Mart. ex DC.) Trana, <i>Acisanthera quadrata</i> Pers., <i>Coccocypselum hirsutum</i> Bartl. ex DC., <i>Eleocharis filiculmis</i> Kunth, <i>Fuirena umbellata</i> Rottb, <i>Rhynchospora tenerima</i> Nees ex Spreng, <i>Scleria robusta</i> Camelb. & Goetgh, <i>Mimosa pudica</i> L., <i>Nepsera aquatica</i> (Aubl.) Naudin y <i>Sauvagesia erecta</i> L.;

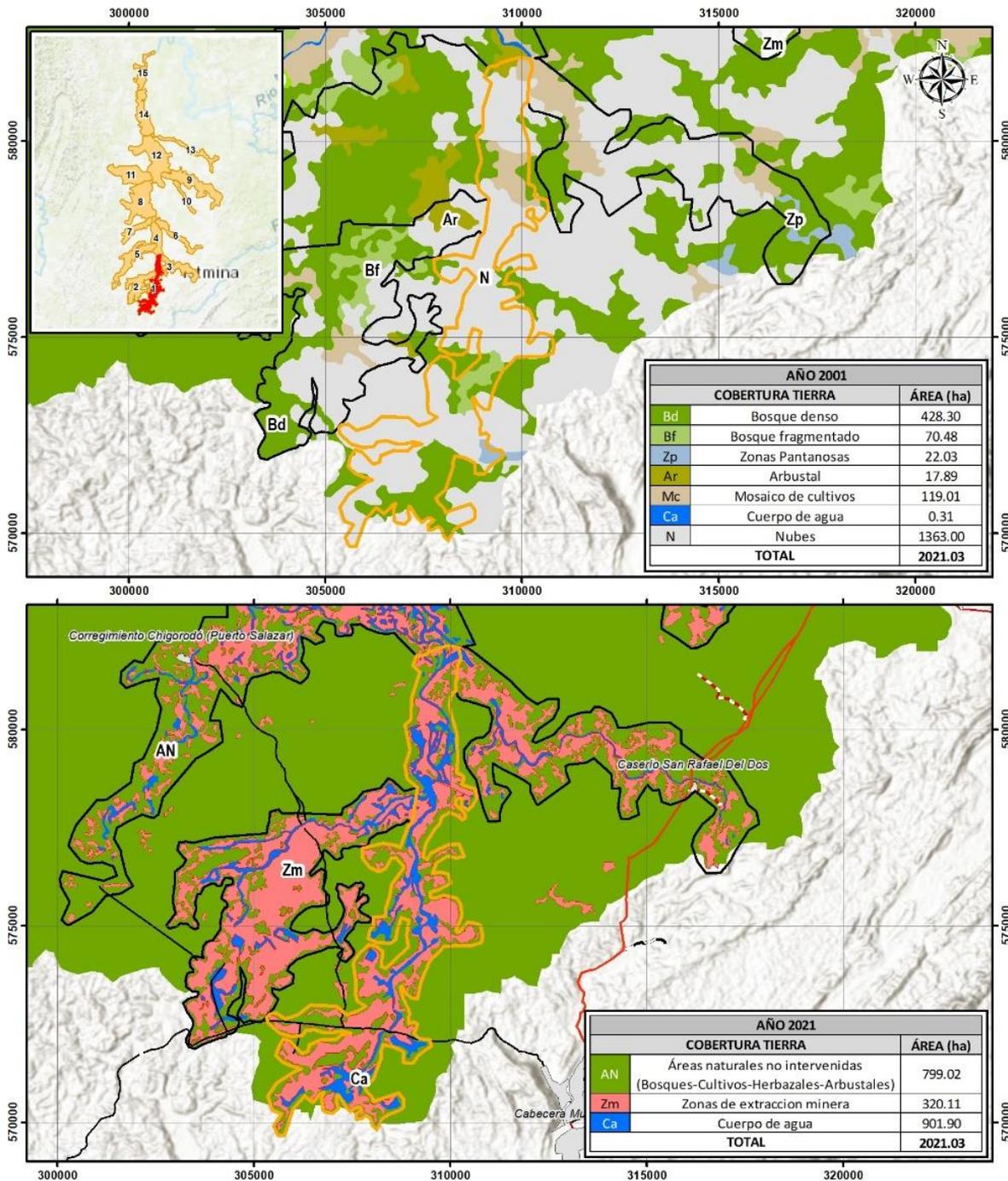
Arbustivas	<i>Lepidaploa lehmannii</i> (Hieron.) H. Rob., <i>Psychotria cooperi</i> Standl., <i>Sabicea panamensis</i> Wernham y <i>Spermacoce alata</i> Aubl.
Arboreas	<i>Croton killipianus</i> Croizat, <i>Vismia baccifera</i> (L.) Planch. & Triana, <i>Vismia macrophylla</i> Kunth, <i>Miconia reducens</i> Triana, <i>Cespedesia spathulata</i> (Ruiz & Pavon) Planch., <i>Isertia pittieri</i> (Standl.) Standl., <i>Cecropia hispidissima</i> Cuatrec. y <i>Cecropia peltata</i> L.

**Elaboró:** Corporación Bioparque, 2022.

**Fuente:** Valois y Martínez (2017)

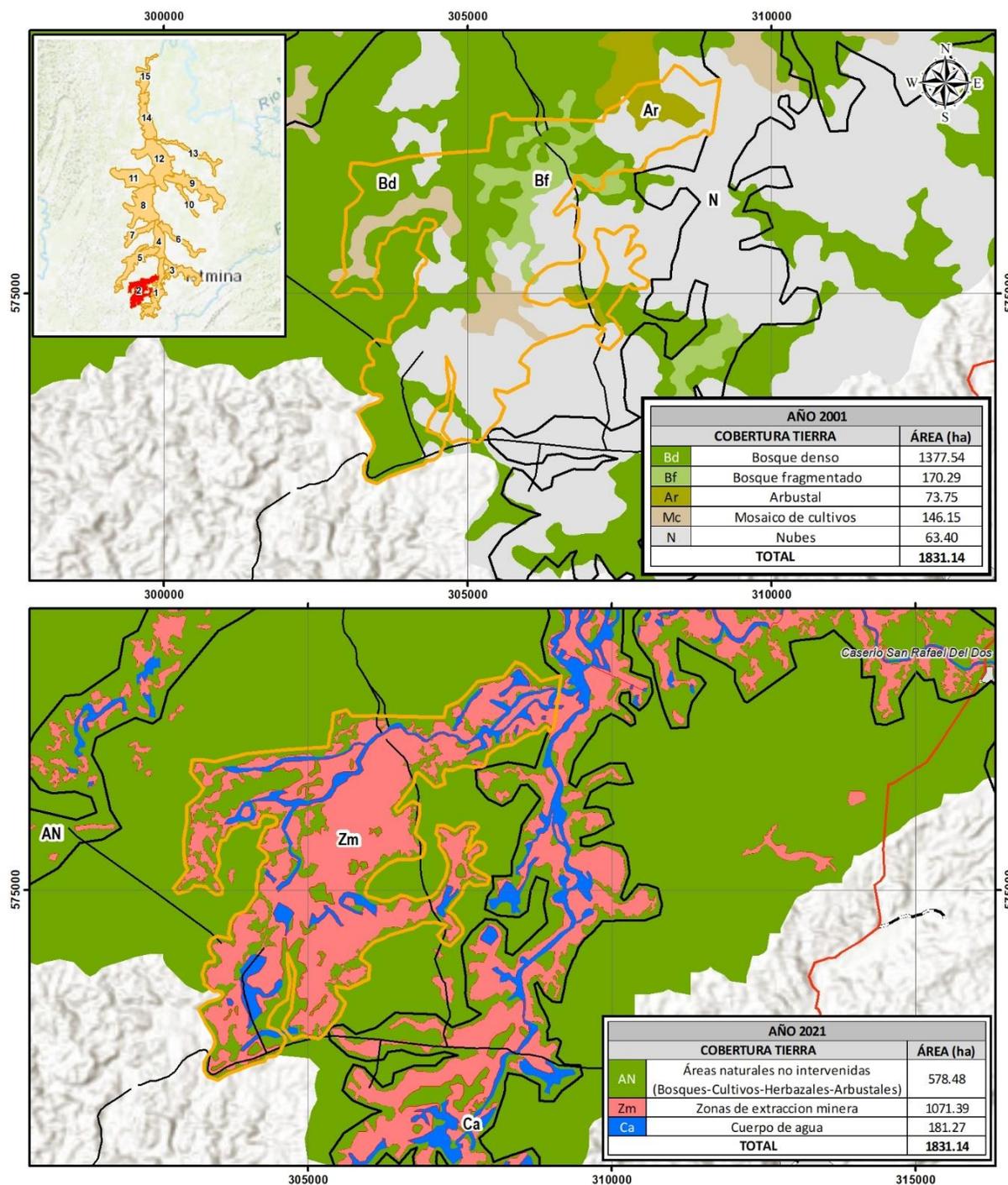
A continuación, se muestra un comparativo temporal por cada una de las zonas en donde se puede evidenciar el cambio entre los años 2001 y 2021, es decir 20 años de actividad minera en donde en la mayoría de las zonas se ve el cambio en la afectación de forma negativa. No obstante, también se identificaron zonas con impactos positivos.

Figura 26. Comparativa temporal Zona 01, Quebrada Peradó o Santa Mónica.



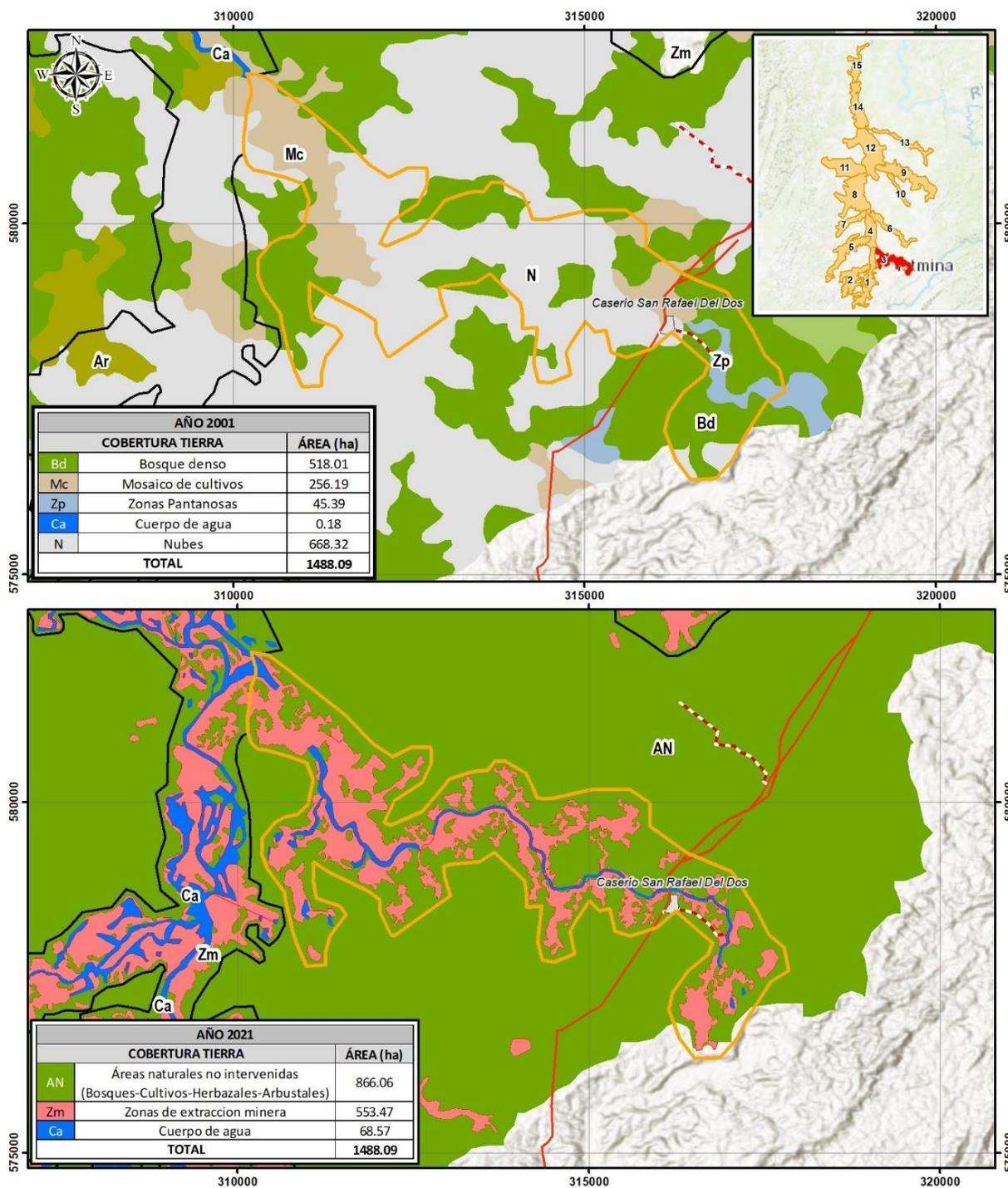
Elaboró: Corporación Bioparque, 2022.

Figura 27. Comparativa temporal Zona 02, Quebrada Suruco Adentro.



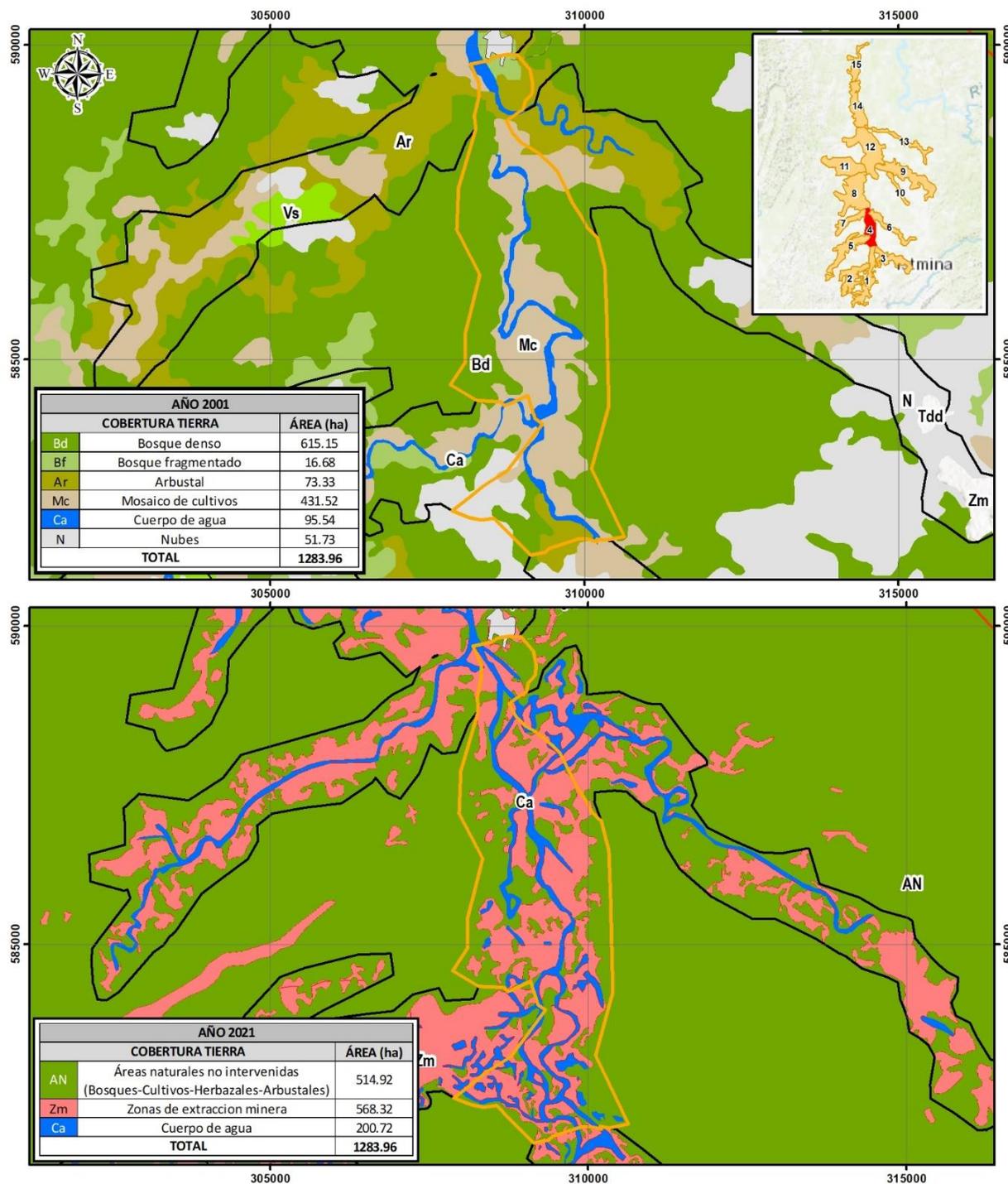
Elaboró: Corporación Bioparque, 2022.

Figura 28. Comparativa temporal Zona 03, río Raspadura.



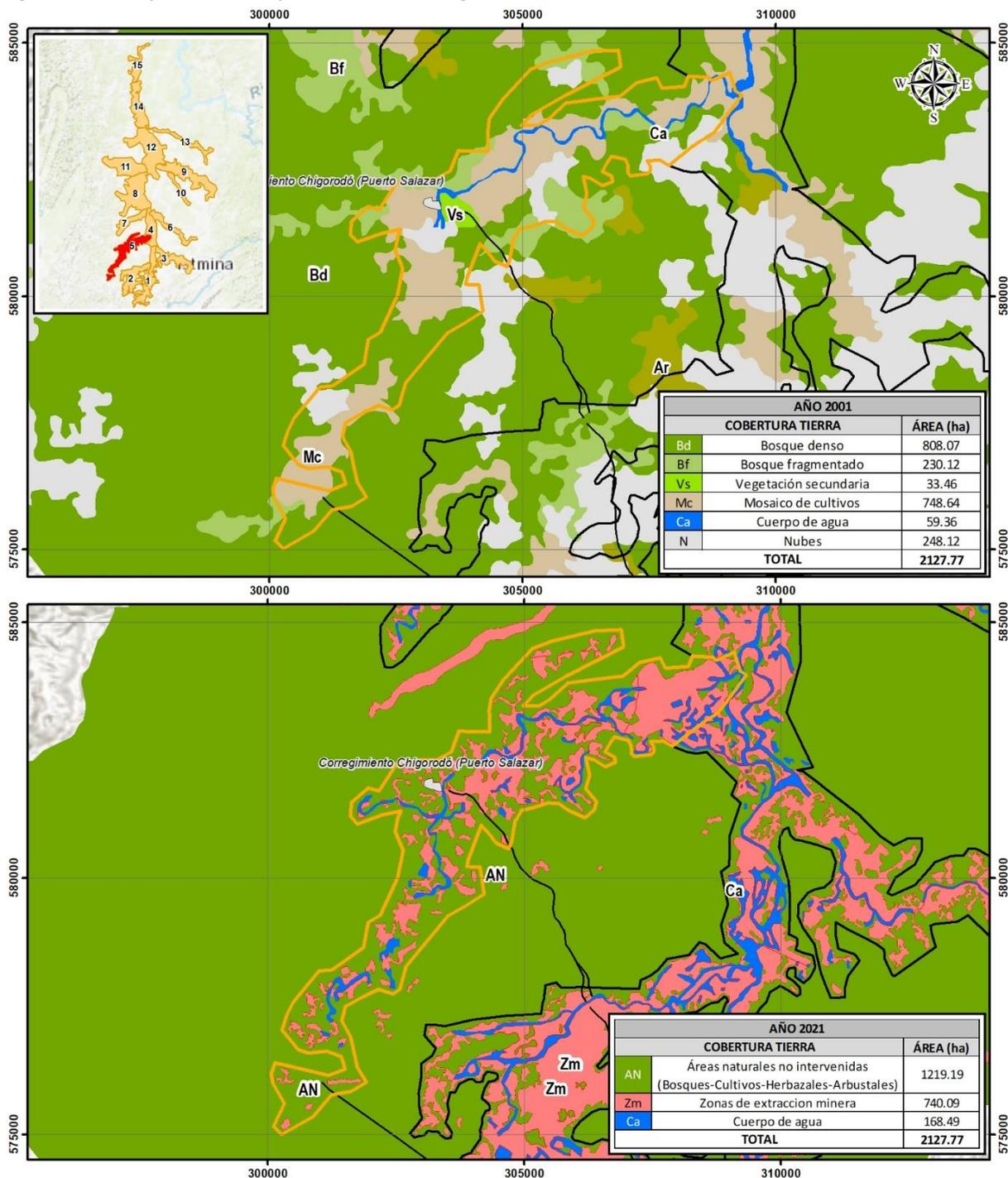
Elaboró: Corporación Bioparque, 2022.

Figura 29. Comparativa temporal Zona 04, río San Pablo 1.



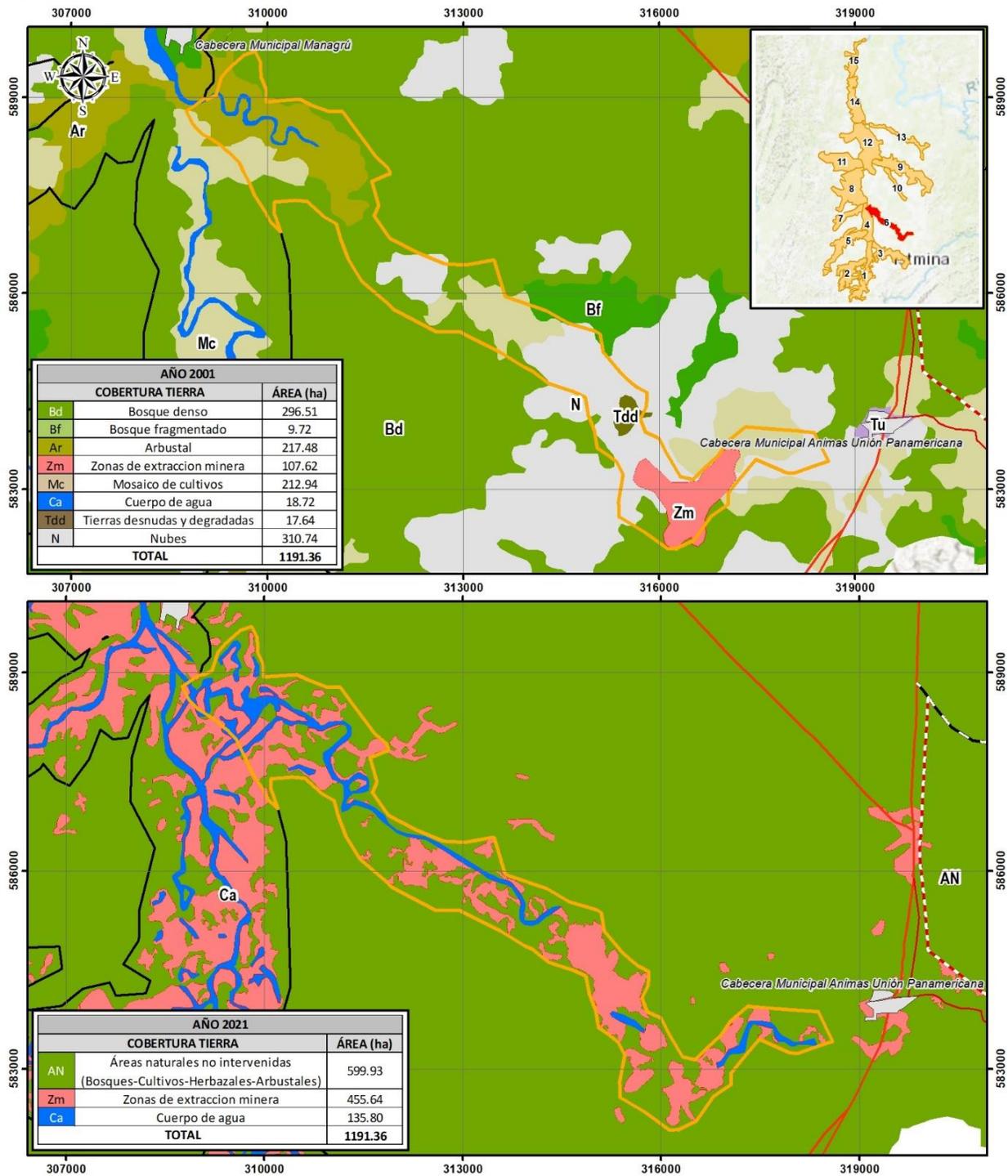
Elaboró: Corporación Bioparque, 2022.

Figura 30. Comparativa temporal Zona 05, Chigorodó.



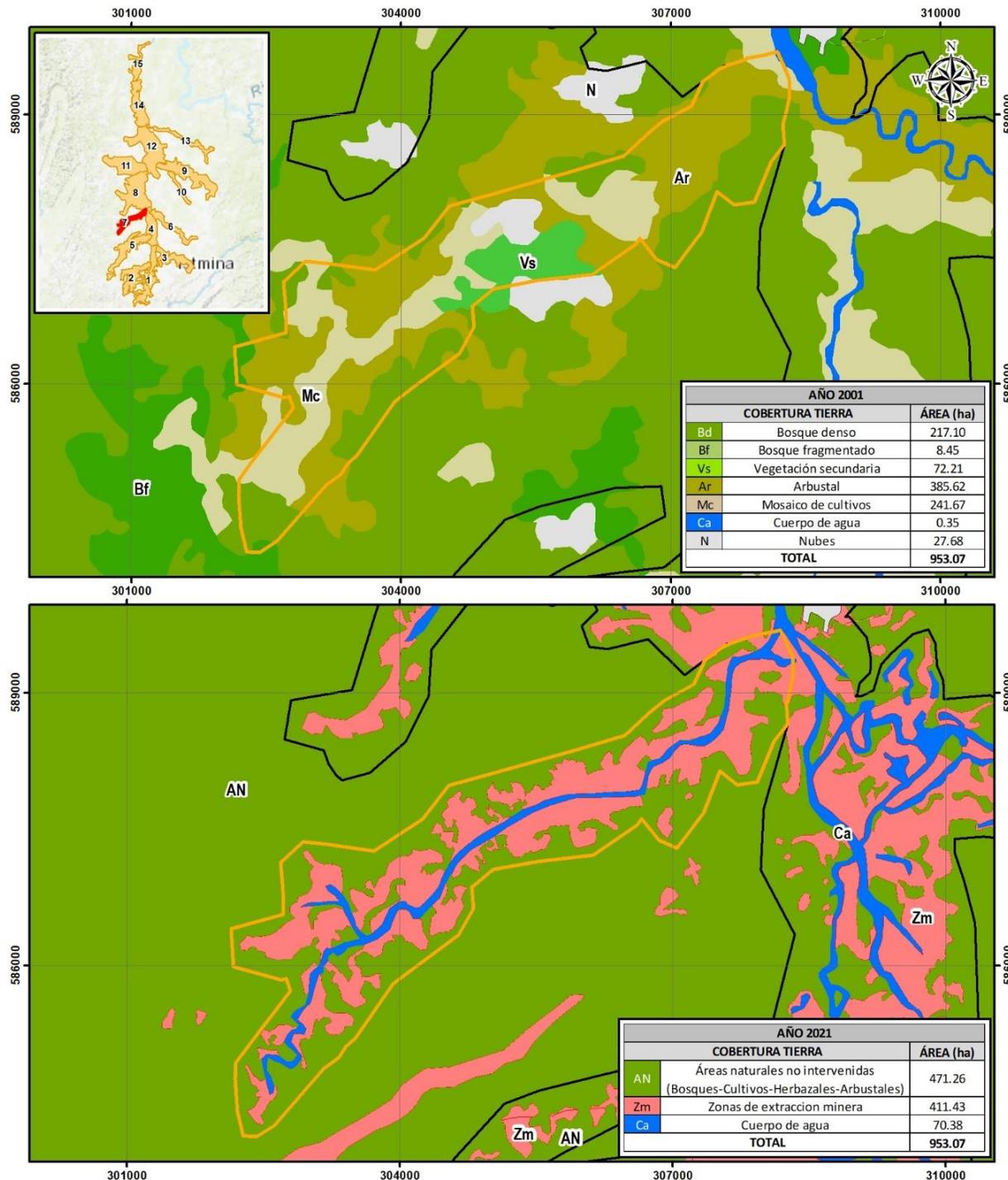
Elaboró: Corporación Bioparque, 2022.

Figura 31. Comparativa temporal Zona 06, Quebrada Las Animas.



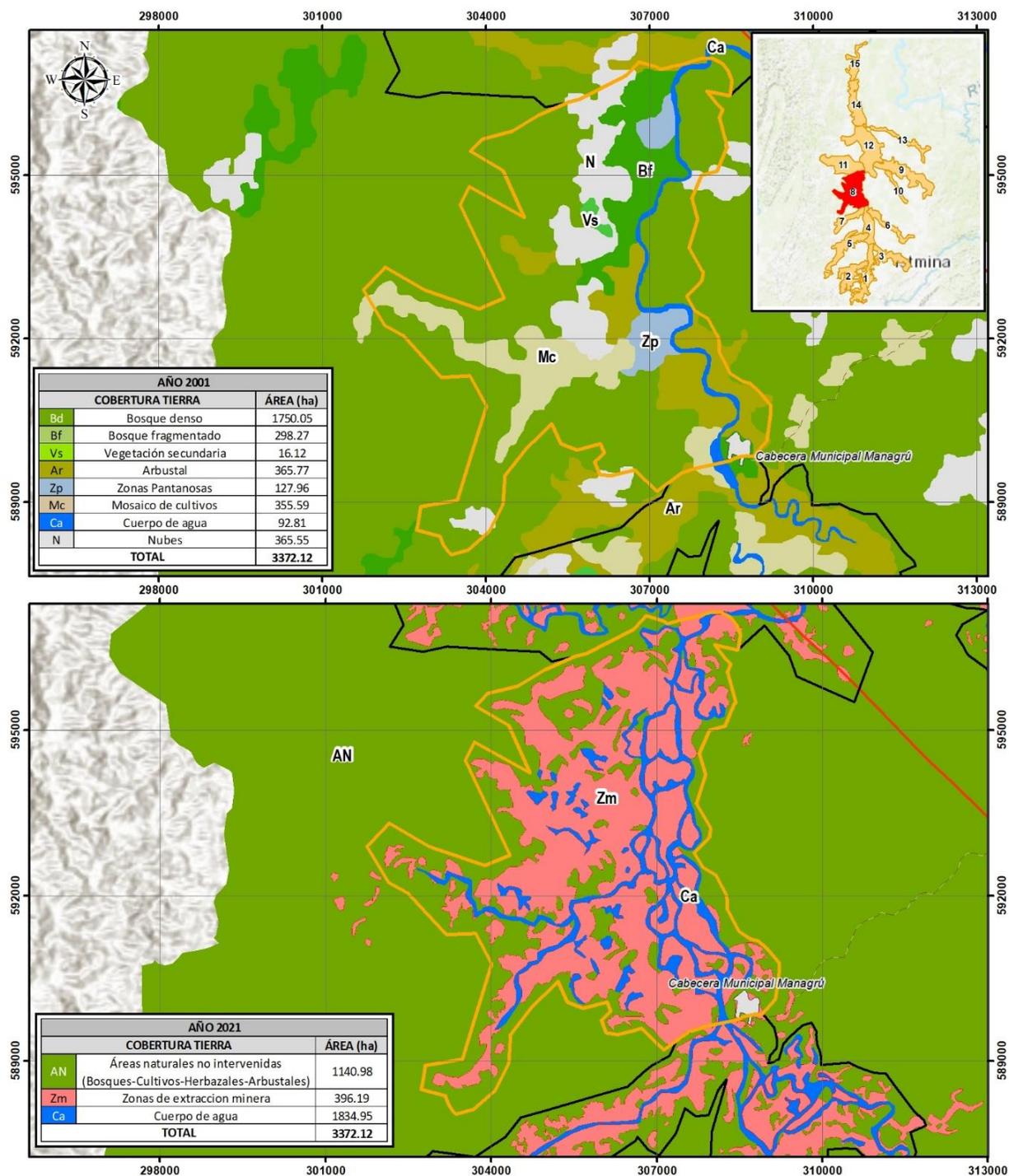
Elaboró: Corporación Bioparque, 2022.

Figura 32. Comparativa temporal Zona 07, río Jorodó.



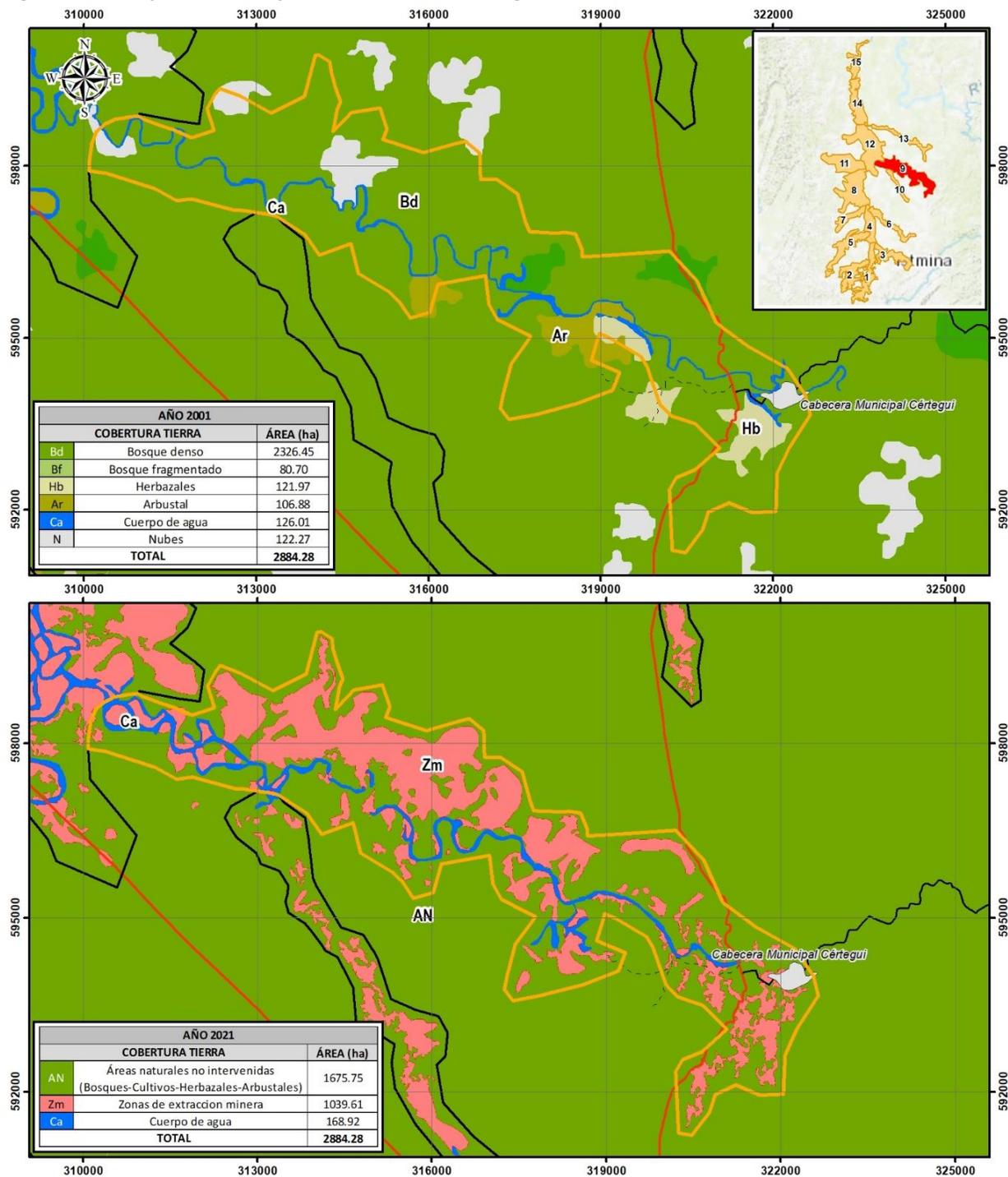
Elaboró: Corporación Bioparque, 2022.

Figura 33. Comparativa temporal Zona 08, río San Pablo 2.



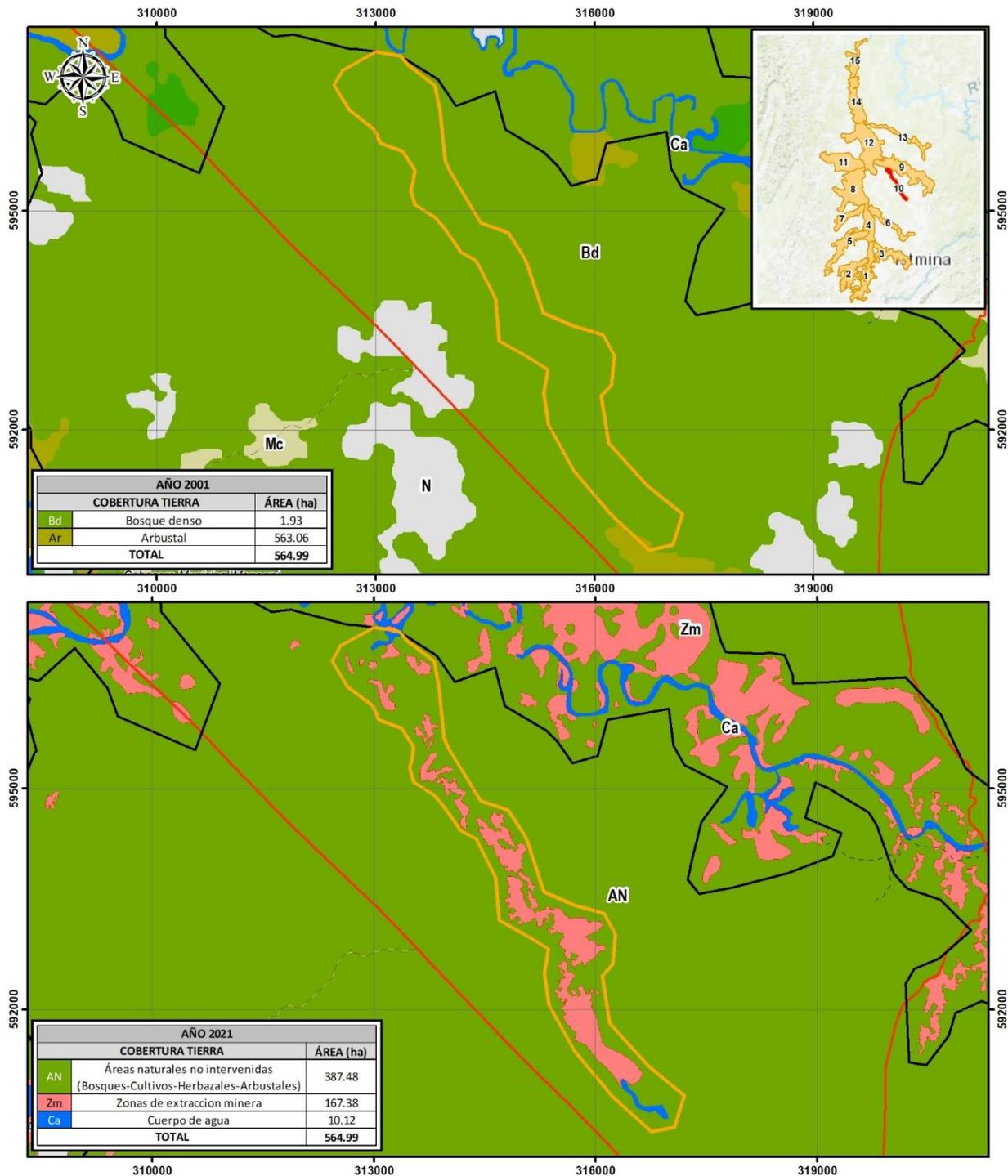
Elaboró: Corporación Bioparque, 2022.

Figura 34. Comparativa temporal Zona 09, río Cértegui.



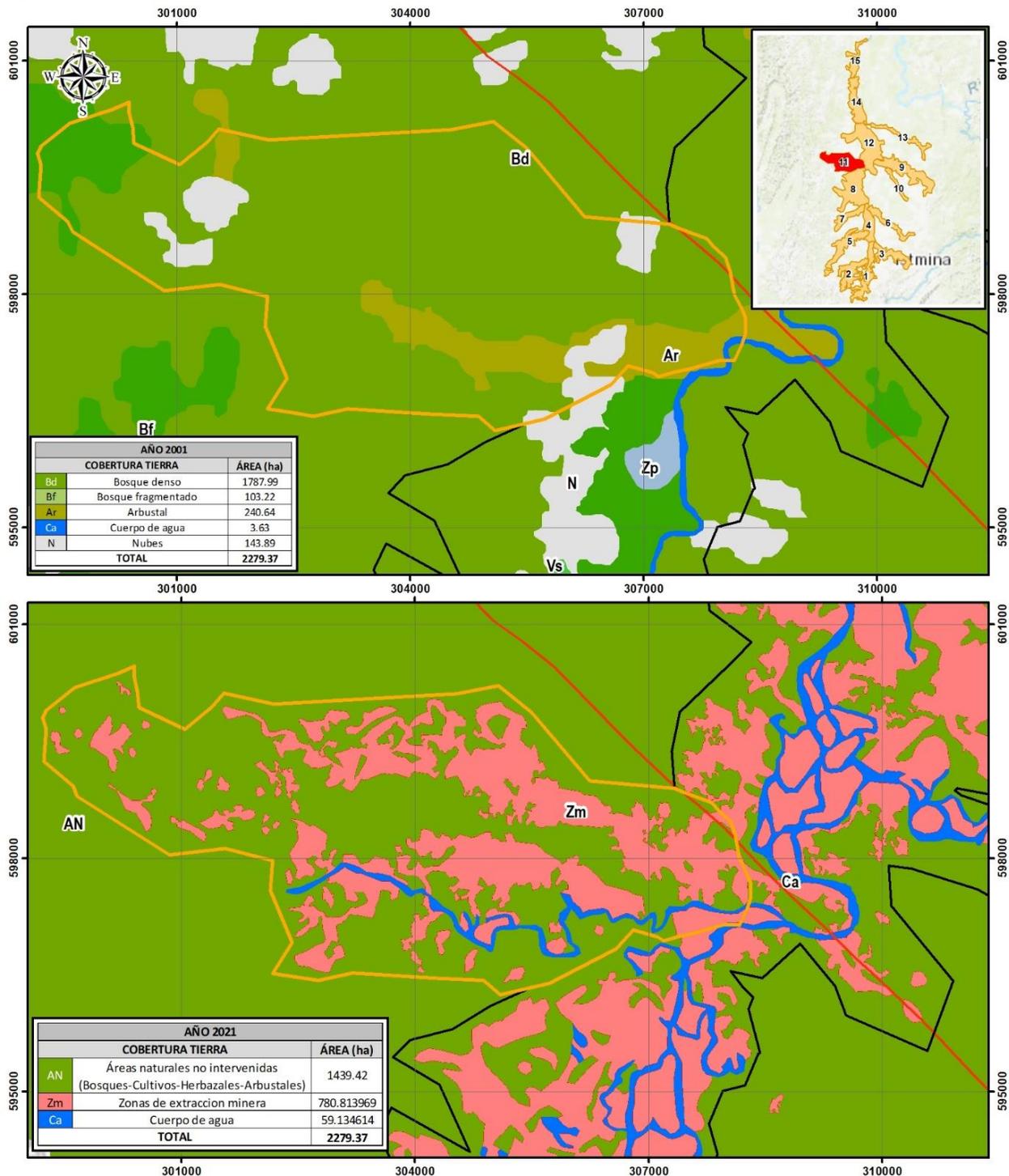
Elaboró: Corporación Bioparque, 2022.

Figura 35. Comparativa temporal Zona 10, Quebrada Guapandó.



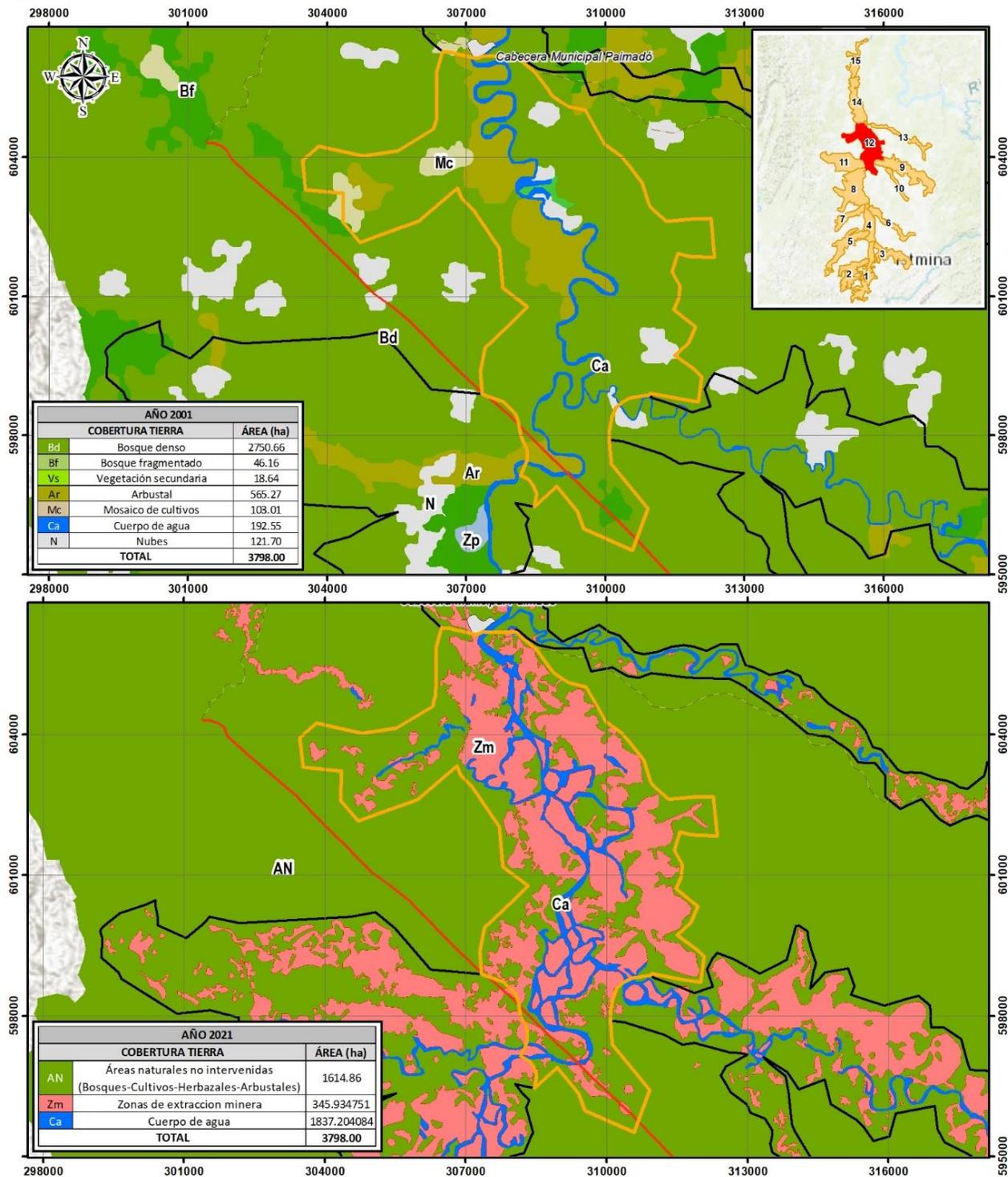
Elaboró: Corporación Bioparque, 2022.

Figura 36. Comparativa temporal Zona 11, río Taridó.



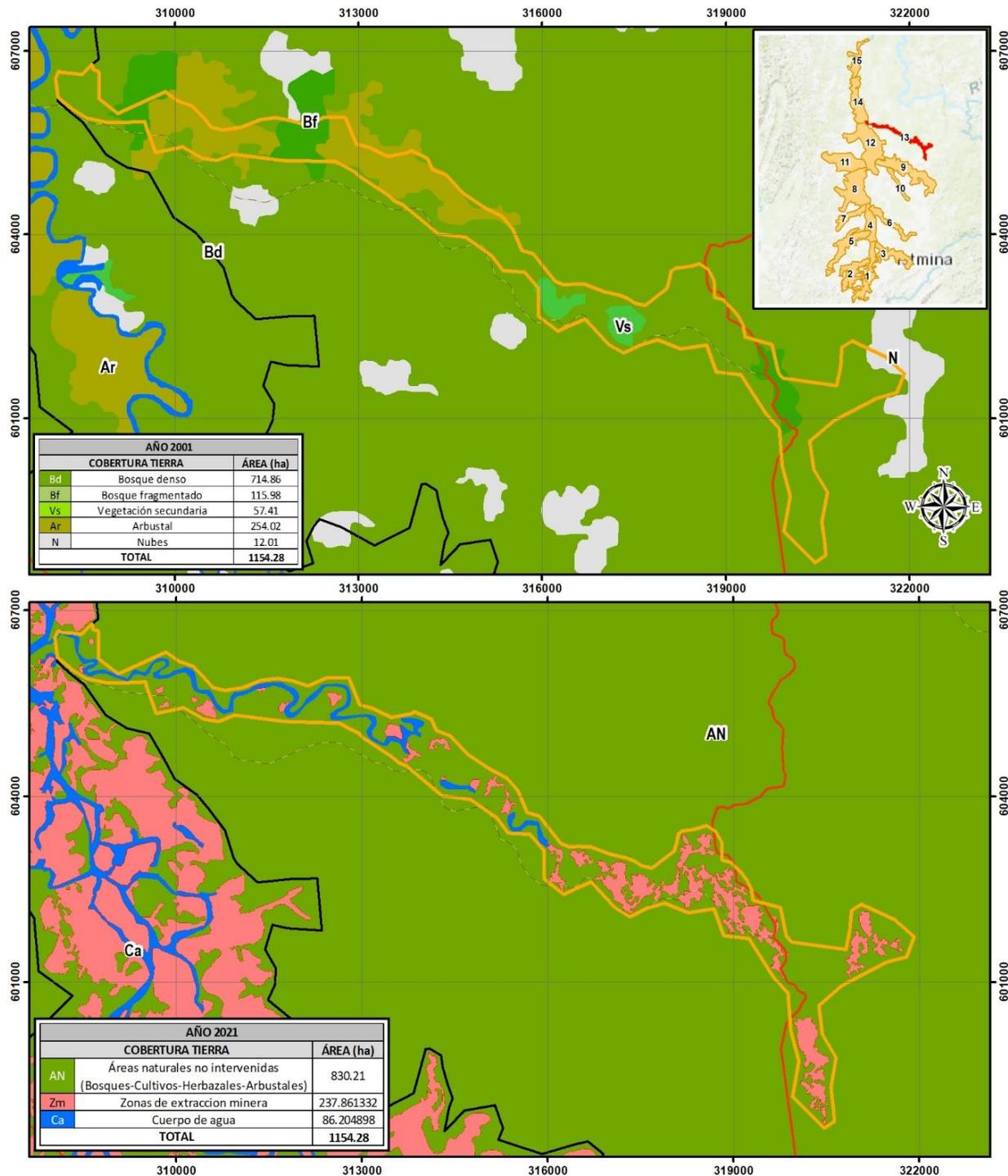
Elaboró: Corporación Bioparque, 2022.

Figura 37. Comparativa temporal Zona 12, río Quito Principal 1.



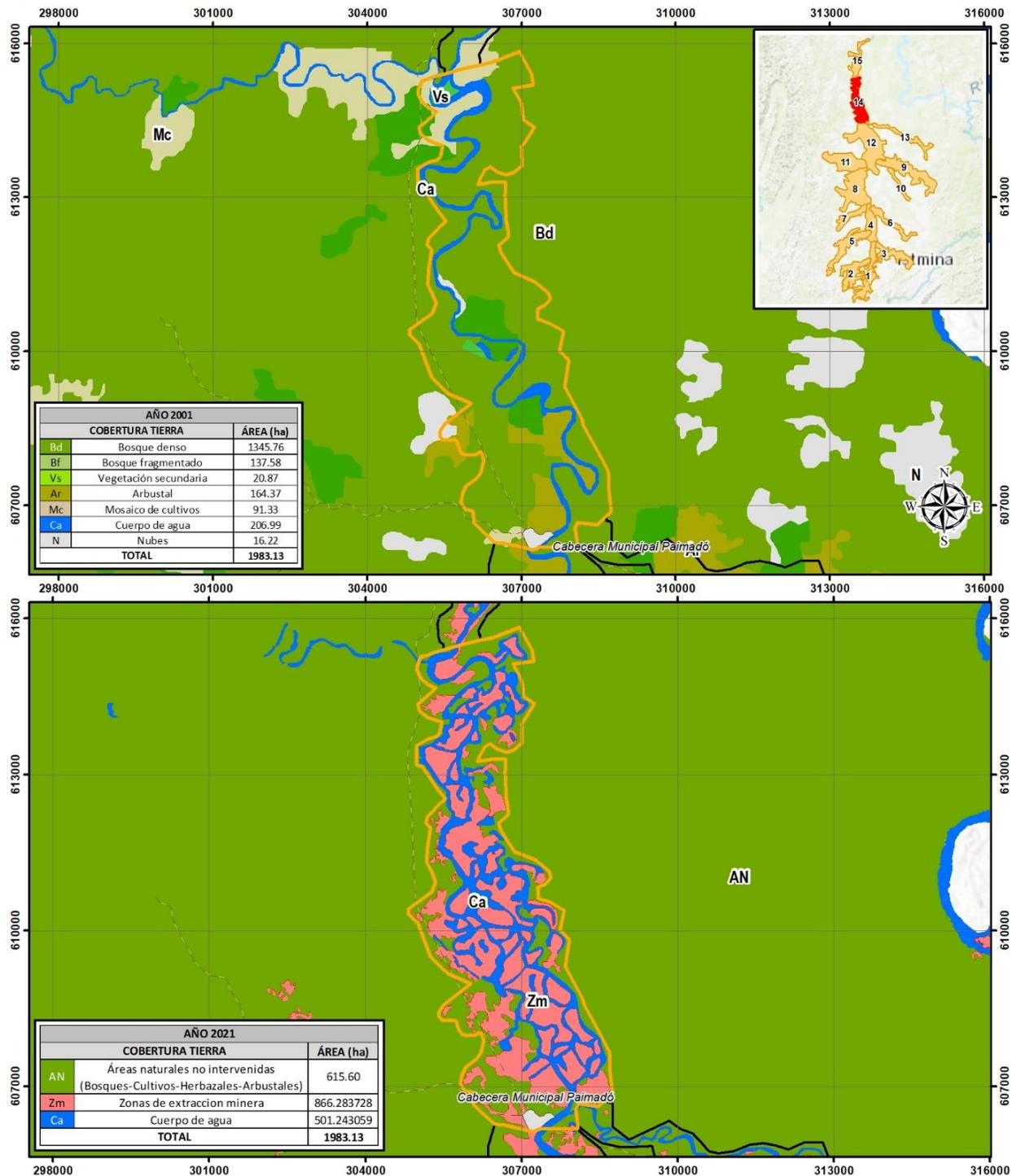
Elaboró: Corporación Bioparque, 2022.

Figura 38. Comparativa temporal Zona 13, río Paimadó.



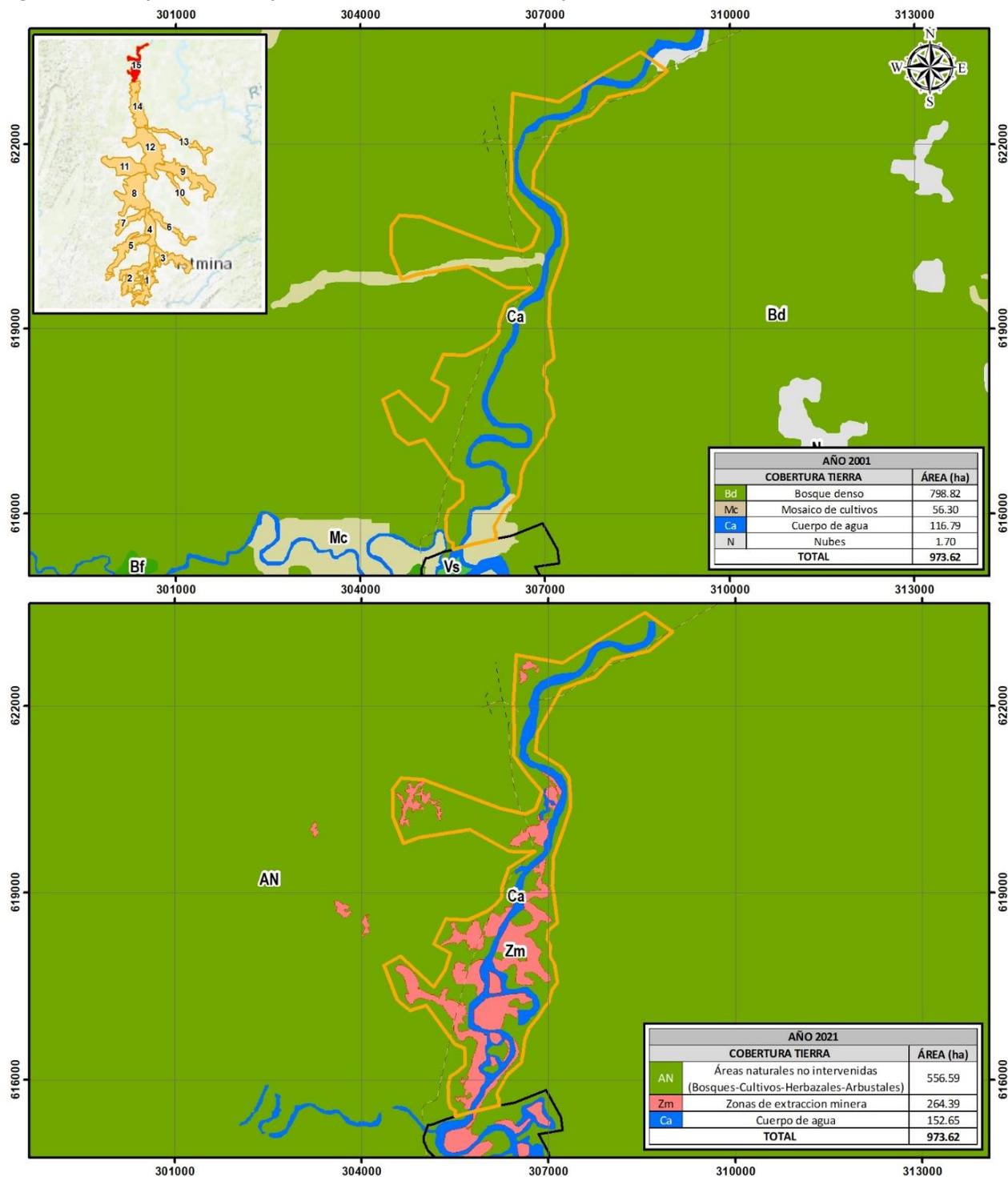
Elaboró: Corporación Bioparque, 2022.

Figura 39. Comparativa temporal Zona 14, río Quito Principal 2.



Elaboró: Corporación Bioparque, 2022.

Figura 40. Comparativa temporal Zona 15, río Quito Principal 3.



Elaboró: Corporación Bioparque, 2022.

#### 6.4. Intervenciones propuestas

Para llevar a cabo el análisis de las medidas de intervención a lo largo de las 15 zonas de estudio, se toma como punto de partida los esquemas para riesgo químico (Ver **sección 6.2.2.3**) y riesgo físico (Ver **sección 6.2.2.6**), teniendo en cuenta en principio los resultados del laboratorio de metales pesados de Mercurio, Plomo, Cadmio y Arsénico en las matrices de agua, suelo y sedimento. También se tiene en cuenta la información recolectada en las inspecciones de los sitios; y, por último, la información histórica de estudios anteriores. Dichos esquemas muestran un algoritmo general que permite seleccionar una medida de intervención según el riesgo existente.

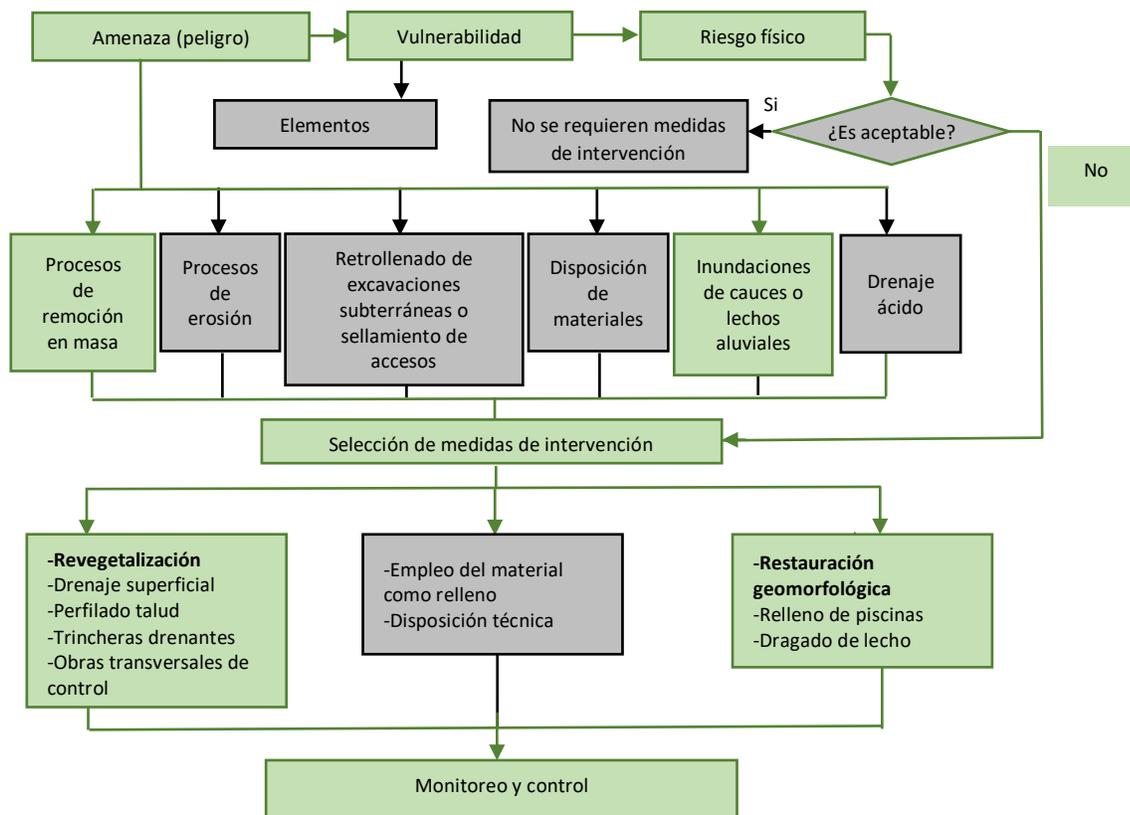
A continuación, se muestra un ejemplo del paso a paso que puede ser aplicado para cualquiera de las 15 zonas de interés y así poder establecer qué medidas de intervención son las más adecuadas para aplicar en la zona respectiva. El ejemplo a continuación, hace referencia a la zona 1, correspondiente a la Quebrada Peradó.

Teniendo en cuenta el **ANEXO 5** (Resultados de las jornadas de campo y los análisis de laboratorio), se observa que la zona 1 no reporta valores de Mercurio, Arsénico, Plomo ni Cadmio que sobrepasen los límites de detección de los métodos de cuantificación, según el laboratorio en las matrices de agua, suelo y sedimentos. Es por ello, que se menciona que el riesgo químico es aceptable en esta zona, por lo que según la Figura 13 el algoritmo para riesgo químico terminaría allí. Sin embargo, tal como se discutió en la sección 0, hay que tener en cuenta que las mediciones de concentración de metales comprendidas en este estudio no abarcan ni el muestreo de todos los compartimientos ambientales ni la caracterización de todas las especies contaminantes potencialmente presentes en las zonas impactadas por minería. De este modo, en el evento de definir estrategias de intervención en áreas específicas, se deben considerar aquellos estudios previos (e.g. Gutiérrez-Mosquera et al., 2020; Gutiérrez, y otros, 2021) que hayan indicado un nivel de riesgo químico importante e incluir alternativas de intervención apropiadas (como las descritas en el ANEXO 3 (Descripción de las técnicas de intervención químicas)).

Para el análisis del riesgo físico en la zona 1 se tiene en cuenta el diagrama de flujo de la **Figura 14**, correspondiente al algoritmo para escoger las medidas de intervención disponibles para este tipo de riesgo. Además de ello, se tuvo en cuenta la cartografía generada para el presente estudio, observaciones de campo y la opinión de la comunidad.

A continuación, en la figura 41 se muestra el detalle para la selección de medidas de intervención por riesgo físico.

Figura 41. Intervenciones por riesgo físico propuestas para la zona 1 con base en el protocolo general



Elaboró: Corporación Bioparque, 2022.

Dicha zona, abarca 2021,03 hectáreas, de las cuales 320,11 ha corresponden a zonas disturbadas por la extracción minera (Ver **Figura 26**), es decir, aproximadamente el 15,8% de la zona; evidencia amenazas como sedimentación en el agua, modificación en el paisaje e inundación de cauces o lechos aluviales (Ver **ANEXO 4** (Características y consideraciones de las medidas de intervención por riesgo físico)). Se considera que no es un riesgo aceptable, ya que puede desencadenar otros riesgos de tipo sociales, bioculturales y ecosistémicos; llegando a afectar a la salud humana y el medio ambiente, por lo que se requiere llevar a cabo una modificación del perfil paisajístico, o una restauración geomorfológica, que permita controlar la erosión acelerada y mejorar el manejo forestal (Ver **Tabla 8** y **ANEXO 4**).

Para llevar a cabo el monitoreo de las medidas de intervención física, se debe tener en cuenta los criterios contenidos en la **sección 6.2.6**, según los lineamientos brindados por el protocolo del IIAP para el post aprovechamiento minero en ambientes naturales del Chocó; además, para el monitoreo de la restauración de los sistemas fluviales, se definen 5 criterios de éxito para la restauración ecológica de los cauces (Vargas, Díaz, Reyes y Gómez, 2012):

1. Imagen guía de estado dinámico, es decir, un punto ecológico dinámico de llegada identificado a priori y usado para guiar la restauración.
2. Mejoramiento del ecosistema, es decir, condiciones ecológicas de río apreciablemente mejoradas.
3. Incremento de la resiliencia, es decir, el ecosistema es más autosostenible que antes de la restauración.
4. Daños no perdurables provocados, es decir, la implementación de la restauración no causa daños irreparables.
5. Evaluación ecológica completa, es decir, algún nivel de evaluación pre y post proyecto es transmitida y su información se hace disponible.

Se recomienda la medición de los siguientes parámetros:

- Microclima: gradientes microclimáticos que indican condiciones en ambientes terrestres y sistemas acuáticos adyacentes.
- Heterogeneidad de parches: indicador de la integridad del régimen de descargas.
- Biodiversidad: Incrementos en las unidades de vegetación, así como en la riqueza de especies de plantas y de escarabajos carábidos, son indicadores de procesos de restauración hidromorfológica exitosos.
- Terrestrialización: incremento en la abundancia relativa de especies terrestres.
- Seston: material particulado suspendido.
- Macroinvertebrados acuáticos: el incremento de la diversidad, la riqueza de taxones y el porcentaje de Ephemeroptera y Trichoptera son indicadores de una buena calidad de agua.
- Reducción en la abundancia absoluta y el porcentaje de Moluscos, los cuales son indicadores de sedimentación y contaminación por materia orgánica.

*En caso de que, al evaluar las medidas de intervención sugeridas, alguna no cuente con los resultados esperados, puede establecerse otra alternativa de las que se encuentra en el ANEXO 6, según se considere necesario.*

Con el fin de realizar un análisis más completo dentro del protocolo de remediación, recuperación y restauración se analizan los posibles riesgos sociales y ecosistémicos presentes; junto con sus posibles medidas de intervención. Si bien, no se establece un diagrama de flujo con el algoritmo, si se tiene en cuenta el mismo esqueleto, donde se determina si la zona presenta una o más amenazas, cuales son y en caso de que esta amenaza no sea aceptable, orientar en la selección adecuada de medidas de intervención.

A continuación, se muestra el análisis anterior resumido en la tabla 21, la cual muestra a través de evidencias fotográficas los riesgos identificados a lo largo de las 15 zonas estudiadas a lo largo de la cuenca del río Quito; se proponen posibles medidas de intervención iniciales a considerar para la remediación, restauración y/o rehabilitación de las zonas según se requiera y se ajusten de manera adecuada. Adicional a ello, se sugieren las condiciones de monitoreo, teniendo en cuenta la frecuencia en los monitoreos.

**Tabla 21.**  
Identificación de riesgos y posibles medidas de intervención aplicables en la Zona 01

<b>ZONA 1 (Quebrada Peradó o Santa Mónica)</b>  Elaboró: Corporación Bioparque, 2021.	
<b>Área disturbada</b>	320,11 ha (15,84%)
<b>Riesgo químico identificado</b>	De acuerdo con los resultados obtenidos en campo y laboratorio, no se evidencia la presencia de metales de Mercurio, Cadmio, Arsénico y Plomo que superen los niveles de detección de los equipos ni los valores de referencia permitidos. No obstante, no es posible descartar completamente la presencia de las sustancias de interés, o de otros adicionales, ejemplo, sus derivados, en otras matrices o componentes.
<b>Riesgo físico identificado</b>	De acuerdo con las evidencias fotográficas y la observación en campo, la zona presenta sedimentación en el agua, modificación paisajística e inundación de cauces o lechos aluviales.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo físico)</b>	Se recomienda llevar a cabo una modificación del perfil paisajístico, o una restauración geomorfológica, que permita controlar la erosión acelerada y mejorar el manejo forestal.
<b>Riesgo social y biocultural identificado</b>	Los problemas de mayor relevancia son las fuertes afectaciones en los bosques tropicales, lugar y escenario natural de uso social para el aprovechamiento de madera, la recolección de semillas, resinas, bejucos, la caza, la pesca y el uso para la agroforestería; de igual manera se percibe la fractura en la relación de aprendizaje cultural, ancestral y generacional sobre el uso del bosque. El evidente daño en la calidad de los suelos a lo largo del cauce de los ríos y quebradas, las vegas y playas, e se convierten en una situación de amenaza para la agricultura tradicional y la seguridad alimentaria.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo social y biocultural)</b>	Estudiar la situación actual de la composición, estructura y funcionalidad del bosque hoy existente en conjugación con el saber comunitario tradicional. Avanzar en la instalación de sistemas agroforestales comunitarios. Incentivos para el desarrollo de prácticas de agricultura tradicional en áreas afectadas. Desarrollar experiencias de siembras forestales en zonas específicas con especies nativas y algunas especies introducidas compatibles a resolver problemas físicos. Hacer aislamientos de bosques con técnicas naturales, esto para aumentar la recuperación resiliente natural. Motivar y fortalecer la gobernanza social del bosque.

	Fortalecer las capacidades para recuperar y ejercer la minería artesanal tradicional, reconociendo el valor agregado de esta actividad para la conservación de naturaleza y el saber ancestral.
<b>Riesgo ecosistémico identificado</b>	De acuerdo con los resultados obtenidos en campo se evidencia la pérdida estructural y funcional de la biodiversidad.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo ecosistémico)</b>	Introducción de especies (plantaciones, siembras, etc.). Atracción de especies del entorno (dispersores, polinizadores, etc.).
<b>Monitoreo</b>	Para las acciones correspondientes al monitoreo, se recomienda tener en cuenta los aspectos mencionados en el numeral 6.2.6. Teniendo en cuenta, una duración mínima de 12 años para la implementación, ya que se presenta una situación crítica con la presencia de inundaciones. Por otro lado, se recomienda tener en cuenta un lapso mayor a 15 años para el monitoreo con una frecuencia de una visita semestral. Terminado este tiempo, se sugiere un monitoreo permanente con un periodo de 2 años cada visita. La duración y las actividades del monitoreo dependen de la estrategia de intervención seleccionada, los objetivos y los indicadores establecidos. Si alguna de las medidas de intervención para riesgo físico que se plantearon para esta zona no genera los resultados esperados, se proponen algunas alternativas en el <b>ANEXO 6.</b>

**Tabla 22.**  
Identificación de riesgos y posibles medidas de intervención aplicables en la Zona 02

<b>ZONA 2 (Quebrada Suruco Adentro)</b>	
	
<b>Elaboró:</b> Corporación Bioparque, 2021.	
<b>Área disturbada</b>	1071,33 ha (58,51%).
<b>Riesgo químico identificado</b>	De acuerdo con los resultados obtenidos en campo y laboratorio, no se evidencia la presencia de metales de Mercurio, Cadmio, Arsénico y Plomo que superen los niveles de detección de los equipos ni los valores de referencia permitidos. No obstante, no es posible descartar completamente la presencia de las sustancias de interés, o de otros adicionales, ejemplo, sus derivados, en otras matrices o componentes.
<b>Riesgo físico identificado</b>	Teniendo en cuenta los registros fotográficos y la observación en campo, se encuentra que la zona está expuesta a procesos de remoción en masa asociados al movimiento de taludes; estancamiento de aguas asociado a las propiedades geológicas de la formación; afectación paisajística; y procesos de erosión, con los cuales se ha perdido gran parte de la cobertura vegetal.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo físico)</b>	Teniendo en cuenta los registros fotográficos y la observación en campo, se encuentra que la zona está expuesta a procesos de remoción en masa asociados al movimiento de taludes; estancamiento de aguas asociado a las propiedades geológicas de la formación; afectación paisajística; y procesos de erosión, con los cuales se ha perdido gran parte de la cobertura vegetal. Es recomendable hacer una modificación del perfil por medio del perfilado de taludes con cobertura vegetal; llevar a cabo obras de drenaje superficial para hacer frente al estancamiento de agua, y generar un control sobre la erosión a través de la Revegetalización.
<b>Riesgo social y biocultural identificado</b>	La zona refleja las dificultades que tienen las comunidades en recuperar el uso social del territorio en actividades diferentes a la minería mecanizada; se evidencia la pérdida de la capacidad agro productiva de los suelos; el escaso aprovechamiento de los bienes y los servicios ambientales del bosque, este dejó de ser el aula natural de aprendizaje cultural; la erosión de los suelos y el deterioro en las riberas, playas y los riesgos por represamiento en los cauces, se han convertido en una situación de amenaza para las comunidades.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo social y biocultural)</b>	Fortalecer la organización de productores para recuperar el aprovechamiento de los bienes y servicios del bosque. Implementar proyectos de acuicultura con especies adaptables.

	<p>Aplicación de formación social para la recuperación comunitaria de suelos, riveras y cauces</p> <p>Desarrollar experiencias de siembras forestales comunitarias en áreas específicas con especies nativas y algunas compatibles a resolver problemas físicos estudiados.</p> <p>Fortalecer las capacidades para recuperar y ejercer la minera artesanal tradicional, reconociendo el valor agregado de esta actividad para la conservación de naturaleza y el saber ancestral.</p>
<b>Riesgo ecosistémico identificado</b>	Se evidencia la degradación del paisaje, presencia suelos erosionados, pérdida de cobertura vegetal y de servicios ecosistémicos.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo ecosistémico)</b>	<p>Reperfilado del relieve para conseguir formas compatibles con el entorno.</p> <p>Enmiendas en el sustrato (añadir materia orgánica, cal, extendidos de tierra vegetal, etc.).</p> <p>Introducción de especies (plantaciones, siembras, fauna, etc.).</p>
<b>Monitoreo</b>	<p>Para las acciones correspondientes al monitoreo, se recomienda tener en cuenta los aspectos mencionados en el numeral 6.2.6. Teniendo en cuenta, una duración de 10 años mínimo para la implementación, y un lapso entre 0 a 15 años para el monitoreo con una frecuencia de una visita semestral. Terminado este tiempo, se sugiere un monitoreo permanente con un periodo de 2 años cada visita.</p> <p>La duración y las actividades del monitoreo dependen de la estrategia de intervención seleccionada, los objetivos y los indicadores establecidos.</p> <p>Si alguna de las medidas de intervención para riesgo físico que se plantearon para esta zona no genera los resultados esperados, se proponen algunas alternativas en el</p> <p><b>ANEXO 6.</b></p>

**Tabla 23.**  
Identificación de riesgos y posibles medidas de intervención aplicables en la Zona 03

<b>ZONA 3 (Río Raspadura)</b>	
	
Elaboró: Corporación Bioparque, 2021.	
<b>Área disturbada</b>	553,47 ha (37,19%)
<b>Riesgo químico identificado</b>	De acuerdo con los resultados obtenidos en campo y laboratorio, no se evidencia la presencia de metales de Mercurio, Cadmio, Arsénico y Plomo que superen los niveles de detección de los equipos ni los valores de referencia permitidos. No obstante, no es posible descartar completamente la presencia de las sustancias de interés, o de otros adicionales, ejemplo, sus derivados, en otras matrices o componentes.
<b>Riesgo físico identificado</b>	De acuerdo con la evidencia fotográfica y los avistamientos en campo, se observa que la zona 03 presenta procesos de remoción en masa por movimientos de taludes; además de la afectación paisajística y la presencia del fenómeno de erosión laminar en los suelos.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo físico)</b>	Se recomienda hacer una modificación de perfil para la recuperación de taludes y el control de la erosión; esto, mediante obras transversales de control, perfilado de taludes y Revegetalización de las zonas erosionadas.
<b>Riesgo social y biocultural identificado</b>	Esta zona en la parte alta de la cuenca, localizada en Istmina y Unión Panamericana, diagnóstica principalmente afectación de la gobernanza social en el territorio; pérdida de conocimientos sobre el valor histórico del territorio y del rol natural como conector natural entre la cuenca del pacífico y el Atrato. La evidencia de erosión en los suelos y el deterioro en las riberas, playas y cauces refleja serias amenazas sociales por derrumbes y represamientos. La agricultura tradicional retrocede en estos lugares y en consecuencia aparece el riesgo a la inseguridad alimentaria.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo social y biocultural)</b>	Generar proceso de formación de talentos humanos en temas de historia, sociología y culturales que recuperen y fortalezcan el saber del territorio. Aplicar la sabiduría tradicional para atender los fenómenos de riesgos por amenazas en los suelos. Fortalecimiento de la organización comunitaria de administración étnica – territorial. Desarrollar experiencias de siembras forestales en zonas específicas con especies nativas y algunas compatibles a resolver problemas físicos estudiados.

<b>Riesgo ecosistémico identificado</b>	De acuerdo con los resultados obtenidos en campo se evidencia la presencia de suelos erosionados y pérdida de biodiversidad.
<b>Posibles medidas de intervención ecosistémico</b>	Riesgo ecosistémico: Reperfilado del relieve para conseguir formas compatibles con el entorno. Diseño y construcción de una adecuada red de drenaje. Introducción de especies (plantaciones, siembras, fauna etc.).
<b>Monitoreo</b>	Para las acciones correspondientes al monitoreo, se recomienda tener en cuenta los aspectos mencionados en el numeral 6.2.6. Teniendo en cuenta, una duración de 10 años mínimo para la implementación, y un lapso entre 0 a 15 años para el monitoreo con una frecuencia de una visita semestral. Terminado este tiempo, se sugiere un monitoreo permanente con un periodo de 2 años cada visita. La duración y las actividades del monitoreo dependen de la estrategia de intervención seleccionada, los objetivos y los indicadores establecidos. Si alguna de las medidas de intervención para riesgo físico que se plantearon para esta zona no genera los resultados esperados, se proponen algunas alternativas en el <b>ANEXO 6.</b>

**Tabla 24.**  
Identificación de riesgos y posibles medidas de intervención aplicables en la Zona 04

<b>ZONA 4 (Río San Pablo 1)</b>	
	
Elaboró: Corporación Bioparque, 2021.	
<b>Área disturbada</b>	568,32 ha (44,26%)
<b>Riesgo químico identificado</b>	De acuerdo con los resultados obtenidos en campo y laboratorio, no se evidencia la presencia de metales de Mercurio, Cadmio, Arsénico y Plomo que superen los niveles de detección de los equipos ni los valores de referencia permitidos. No obstante, no es posible descartar completamente la presencia de las sustancias de interés, o de otros adicionales, ejemplo, sus derivados, en otras matrices o componentes.
<b>Riesgo físico identificado</b>	De acuerdo con las observaciones en campo, en la zona correspondiente al río San Pablo no se identifica la presencia del riesgo físico.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo físico)</b>	No se recomiendan medidas de intervención debido a que no se identificó riesgo físico.
<b>Riesgo social y biocultural identificado</b>	Zona de gran intervención por minería mecanizada el cual muestra un desorden en la actividad productiva, que evidencia la poca gobernanza y gobernabilidad que se tiene en el territorio por las autoridades institucionales y en especial las autoridades étnicas locales.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo social y biocultural)</b>	Fortalecer la capacidad de ejercer control social de las actividades de minería mecanizada por parte de los Consejos Comunitarios. Diversificar las actividades productivas de las comunidades en el territorio, en especial recuperar la agro-productividad. Fortalecer las capacidades para recuperar y ejercer la minería artesanal tradicional, reconociendo el valor agregado de esta actividad para la conservación de naturaleza y el saber ancestral
<b>Riesgo ecosistémico identificado</b>	De acuerdo con los resultados obtenidos en campo se evidencia la degradación del paisaje y pérdida de biodiversidad.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo ecosistémico)</b>	Introducción de especies (plantaciones, siembras, etc.). Atracción de especies del entorno (dispersores, polinizadores, etc.).
<b>Monitoreo</b>	Aunque la zona 04 no presenta riesgo físico asociado, si se recomienda llevar a cabo planes de monitoreo con un mínimo de una visita anual. Esto con el fin de verificar, prevenir o corregir la presencia de fenómenos que generen riesgo físico en la zona.

Tabla 25.

Identificación de riesgos y posibles medidas de intervención aplicables en la Zona 05

ZONA 5 (Río Chigorodó)	
	
Elaboró: Corporación Bioparque, 2021.	
<b>Área disturbada</b>	740,09 ha (34,78%)
<b>Riesgo químico identificado</b>	De acuerdo con los resultados obtenidos en campo y laboratorio, no se evidencia la presencia de metales de Mercurio, Cadmio, Arsénico y Plomo que superen los niveles de detección de los equipos ni los valores de referencia permitidos. No obstante, no es posible descartar completamente la presencia de las sustancias de interés, o de otros adicionales, ejemplo, sus derivados, en otras matrices o componentes.
<b>Riesgo físico identificado</b>	Teniendo en cuenta los registros fotográficos se observan procesos de remoción en masa asociados a la modificación de taludes; además de cambios paisajísticos asociados a la erosión del terreno.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo físico)</b>	Se sugiere una modificación del perfil y el control de erosión por medio de la Revegetalización, el perfilado de taludes y llevar a cabo obras transversales de control para las zonas erosionadas.
<b>Riesgo social y biocultural identificado</b>	Zona localizada en jurisdicción del municipio de Istmina, de gran valor ecosistémico y de tránsito inter-cuencas, se percibe daño en los bosques de uso social, se percibe la grieta en la relación de aprendizaje cultural ancestral y generacional sobre el uso del bosque. Se evidencia un daño en la calidad de los suelos a lo largo del cauce, que se convierten en una situación de amenaza para la agricultura tradicional y la seguridad alimentaria.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo social y biocultural)</b>	Hacer aislamientos de bosques con técnicas naturales para aumentar la recuperación natural. Motivar y fortalecer la gobernanza social del bosque. Avanzar en el ordenamiento de la actividad minera. Fortalecer la capacidad de ejercer control social por parte de los Consejos Comunitarios en el uso de los recursos naturales. Diversificar las actividades productivas de las comunidades en el territorio, con énfasis en las agroproductivas sostenibles.

<b>Riesgo ecosistémico identificado</b>	De acuerdo con los resultados obtenidos en campo se evidencia la degradación del paisaje, presencia suelos erosionados, pérdida de cobertura vegetal y de servicios ecosistémicos.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo ecosistémico)</b>	Enmiendas en el sustrato (añadir materia orgánica, cal, extendidos de tierra vegetal, etc.). Introducción de especies (plantaciones, siembras, etc.). Atracción de especies del entorno (dispersores, polinizadores, etc.).
<b>Monitoreo</b>	Para las acciones correspondientes al monitoreo, se recomienda tener en cuenta los aspectos mencionados en el numeral 6.2.6. Teniendo en cuenta, una duración de 8 años mínimo para la implementación, y un lapso entre 0 a 15 años para el monitoreo con una frecuencia de una visita semestral. Terminado este tiempo, se sugiere un monitoreo permanente con un periodo de 2 años cada visita. La duración y las actividades del monitoreo dependen de la estrategia de intervención seleccionada, los objetivos y los indicadores establecidos. Si alguna de las medidas de intervención para riesgo físico que se plantearon para esta zona no genera los resultados esperados, se proponen algunas alternativas en el <b>ANEXO 6.</b>

**Tabla 26.**  
Identificación de riesgos y posibles medidas de intervención aplicables en la Zona 06

ZONA 6 (Quebrada Las Animas)	
	
Elaboró: Corporación Bioparque, 2021.	
<b>Área disturbada</b>	455,64 ha (38,25%)
<b>Riesgo químico identificado</b>	De acuerdo con los resultados obtenidos en campo y laboratorio, no se evidencia la presencia de metales de Mercurio, Cadmio, Arsénico y Plomo que superen los niveles de detección de los equipos ni los valores de referencia permitidos. No obstante, no es posible descartar completamente la presencia de las sustancias de interés, o de otros adicionales, ejemplo, sus derivados, en otras matrices o componentes.
<b>Riesgo físico identificado</b>	En la Quebrada Las Animas se evidencian riesgos físicos como la modificación en el paisaje asociado a la actividad minera, además de la modificación de los cauces principales, y fenómenos de erosión.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo físico)</b>	Se recomienda llevar a cabo un dragado y canalización del cauce principal, además de obras de drenaje con el fin de restablecer los servicios ambientales asociados a la quebrada; por otro lado, se sugiere llevar a cabo medidas de Revegetalización, y obras transversales de control de erosión.
<b>Riesgo social y biocultural identificado</b>	Zona que refleja daños y recuperación natural multitemporal al mismo tiempo, esto a causa de la intervención minera de años anteriores y aunque se ha venido recuperando la cobertura vegetal en el cauce, el territorio vive una fractura de la gobernanza sobre el uso de todos los recursos naturales, esto entre las autoridades locales y étnicas; Se nota una distorsión de la actividad productiva minera hacia una monetización concreta como su prioridad y no hacia el valor social de los recursos naturales. Igual que otros tributarios de la zona alta y media de la cuenca, hay una pérdida sobre el conocimiento histórico de su territorio en el rol natural conector entre la cuenca del pacifico y el Atrato.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo social y biocultural)</b>	Desarrollar procesos de fortalecimiento de la organización comunitaria en administración étnica – territorial.

	<p>Fomentar fundamentación en gobernanza territorial sobre los recursos naturales.</p> <p>Aplicar la sabiduría tradicional para atender los fenómenos de riesgos por amenazas en los suelos.</p> <p>Fortalecer las capacidades para recuperar y ejercer la minera artesanal tradicional, reconociendo el valor agregado de esta actividad para la conservación de naturaleza y el saber ancestral.</p> <p>Desarrollar experiencias de siembras forestales en zonas específicas con especies nativas y algunas compatibles a resolver problemas físicos estudiados.</p> <p>Generar proceso de formación de talentos humanos en temas de historia, sociología y cultura que recuperen y fortalezcan el saber del territorio.</p>
<b>Riesgo ecosistémico identificado</b>	Se evidencia la afectación de servicios ecosistémicos y la pérdida de biodiversidad.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo ecosistémico)</b>	<p>Introducción de especies (plantaciones, siembras, etc.).</p> <p>Atracción de especies del entorno (dispersores, polinizadores, etc.).</p>
<b>Monitoreo</b>	<p>Para las acciones correspondientes al monitoreo, se recomienda tener en cuenta los aspectos mencionados en el numeral 6.2.6. Teniendo en cuenta, una duración de 8 años mínimo para la implementación, y un lapso entre 0 a 10 años para el monitoreo con una frecuencia de una visita semestral. Terminado este tiempo, se sugiere un monitoreo permanente con un periodo de 2 años cada visita.</p> <p>La duración y las actividades del monitoreo dependen de la estrategia de intervención seleccionada, los objetivos y los indicadores establecidos.</p> <p>Si alguna de las medidas de intervención para riesgo físico que se plantearon para esta zona no genera los resultados esperados, se proponen algunas alternativas en el</p> <p><b>ANEXO 6.</b></p>

**Tabla 27.**  
Identificación de riesgos y posibles medidas de intervención aplicables en la Zona 07

ZONA 7 (Río RiJorodó)	
	
Elaboró: Corporación Bioparque, 2021.	
<b>Área disturbada</b>	411,43 ha (43,17%)
<b>Riesgo químico identificado</b>	De acuerdo con los resultados obtenidos en campo y laboratorio, no se evidencia la presencia de metales de Mercurio, Cadmio, Arsénico y Plomo que superen los niveles de detección de los equipos ni los valores de referencia permitidos. No obstante, no es posible descartar completamente la presencia de las sustancias de interés, o de otros adicionales, ejemplo, sus derivados, en otras matrices o componentes.
<b>Riesgo físico identificado</b>	En el río Ríjorodó se evidencian procesos de remoción en masa asociados al dragado, el cual provocó la modificación paisajística y erodabilidad sobre el suelo de la zona.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo físico)</b>	Se sugiere llevar a cabo la restauración geomorfológica mediante el control de la aceleración de la erosión y el manejo forestal de las especies vegetales presentes en la zona. Por otro lado, se requiere la implementación de obras transversales de control y la Revegetalización de zonas erosionadas.
<b>Riesgo social y biocultural identificado</b>	Zona de gran intervención por minería mecanizada, el cual muestra el deterioro de la navegabilidad en el río con énfasis en el uso social, económica y comunitario. El río se ha convertido en un riesgo a la seguridad humana y la pérdida del valor de la conexión de los territorios. Existe un desorden en el desarrollo de la actividad productiva minera, con la presencia de grandes máquinas y actores, que evidencia la baja gobernanza sobre la actividad en el territorio. El deterioro del cauce y las riberas son una amenaza de seguridad para las comunidades.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo social y biocultural)</b>	Fortalecer las capacidades de ejercer la minera artesanal tradicional, reconociendo el valor agregado de esta actividad para la conservación de naturaleza y el saber ancestral. Hacer aislamientos de bosques con técnicas naturales para aumentar la recuperación natural. Motivar y fortalecer la gobernanza social del bosque. Avanzar en el ordenamiento de la actividad minera.

	<p>Fortalecer la capacidad de ejercer control social por parte de los Consejos Comunitarios en el uso de los recursos naturales...</p> <p>Diversificar las actividades productivas de las comunidades en el territorio, con énfasis en las agroproductivas sostenibles.</p>
<b>Riesgo ecosistémico identificado</b>	<p>Se evidencia la presencia suelos erosionados, pérdida de cobertura vegetal y de biodiversidad.</p>
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo ecosistémico)</b>	<p>Enmiendas en el sustrato (añadir materia orgánica, cal, extendidos de tierra vegetal, etc.).</p> <p>Introducción de especies (plantaciones, siembras, fauna, etc.).</p> <p>Atracción de especies del entorno (dispersores, polinizadores, etc.).</p>
<b>Monitoreo</b>	<p>Para las acciones correspondientes al monitoreo, se recomienda tener en cuenta los aspectos mencionados en el numeral 6.2.6. Teniendo en cuenta, una duración de 8 años mínimo para la implementación, y un lapso entre 0 a 10 años para el monitoreo con una frecuencia de una visita semestral. Terminado este tiempo, se sugiere un monitoreo permanente con un periodo de 2 años cada visita.</p> <p>La duración y las actividades del monitoreo dependen de la estrategia de intervención seleccionada, los objetivos y los indicadores establecidos.</p> <p>Si alguna de las medidas de intervención para riesgo físico que se plantearon para esta zona no genera los resultados esperados, se proponen algunas alternativas en el</p> <p><b>ANEXO 6.</b></p>

**Tabla 28.**

Identificación de riesgos y posibles medidas de intervención aplicables en la Zona 08

ZONA 8 (Río San Pablo 2)	
 <p style="text-align: center;">Elaboró: Corporación Bioparque, 2021.</p>	
<b>Área disturbada</b>	396,19 ha (11,75%)
<b>Riesgo químico identificado</b>	De acuerdo con los resultados obtenidos en campo y laboratorio, no se evidencia la presencia de metales de Mercurio, Cadmio, Arsénico y Plomo que superen los niveles de detección de los equipos ni los valores de referencia permitidos. No obstante, no es posible descartar completamente la presencia de las sustancias de interés, o de otros adicionales, ejemplo, sus derivados, en otras matrices o componentes.
<b>Riesgo físico identificado</b>	De acuerdo con las evidencias fotográficas y las observaciones en campo, se identifican diferentes afectaciones sobre el río San Pablo, los cuales involucran la modificación del paisaje, con la presencia de sedimentación seca y zonas erodadas, la cual se relaciona directamente con el desvío de los cauces.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo físico)</b>	Se recomienda implementar medidas de intervención por obras de drenaje superficial y el reencauzamiento del río, para devolverlo a sus condiciones iniciales, cuando no presentaba sedimentación seca.
<b>Riesgo social y biocultural identificado</b>	Zona de gran intervención por minería mecanizada el cual muestra desorden en el desarrollo de la actividad productiva y que evidencia la poca gobernanza y gobernabilidad que se tienen sobre el territorio por todas las autoridades institucionales y en especial las autoridades étnicas locales
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo social y biocultural)</b>	<p>Desarrollar procesos de fortalecimiento de la organización comunitaria de administración étnica – territorial.</p> <p>Fomentar fundamentación en gobernanza territorial sobre los recursos naturales.</p> <p>Aplicar la sabiduría tradicional para atender los fenómenos de riesgos por amenazas en los suelos y en los bosques.</p> <p>Fortalecer las capacidades para recuperar y ejercer la minera artesanal tradicional, reconociendo el valor agregado de esta actividad para la conservación de naturaleza y el saber ancestral. Desarrollar experiencias de siembras forestales en zonas específicas con especies nativas y algunas compatibles a resolver problemas físicos estudiados.</p> <p>Generar proceso de formación de talentos humanos en temas de historia, sociología y cultura que recuperen y fortalezcan el saber del territorio.</p>

<b>Riesgo ecosistémico identificado</b>	De acuerdo con los resultados obtenidos en campo se evidencia la degradación del paisaje, presencia suelos erosionados, pérdida de cobertura vegetal y de biodiversidad y de servicios ecosistémicos.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo ecosistémico)</b>	Enmiendas en el sustrato (añadir materia orgánica, cal, extendidos de tierra vegetal, etc.). Introducción de especies (plantaciones, siembras, fauna, etc.). Atracción de especies del entorno (dispersores, polinizadores, etc.).
<b>Monitoreo</b>	Para las acciones correspondientes al monitoreo, se recomienda tener en cuenta los aspectos mencionados en el numeral 6.2.6. Teniendo en cuenta, una duración de 10 años mínimo para la implementación, y un lapso entre 0 a 15 años para el monitoreo con una frecuencia de una visita semestral. Terminado este tiempo, se sugiere un monitoreo permanente con un periodo de 2 años cada visita. La duración y las actividades del monitoreo dependen de la estrategia de intervención seleccionada, los objetivos y los indicadores establecidos. Si alguna de las medidas de intervención para riesgo físico que se plantearon para esta zona no genera los resultados esperados, se proponen algunas alternativas en el <b>ANEXO 6.</b>

**Tabla 29.**  
Identificación de riesgos y posibles medidas de intervención aplicables en la Zona 09

ZONA 9 (Río Cértegui)	
	
Elaboró: Corporación Bioparque, 2021.	
<b>Área disturbada</b>	1039,61 ha (36,42%)
<b>Riesgo químico identificado</b>	De acuerdo con los resultados obtenidos en campo y laboratorio, no se evidencia la presencia de metales de Mercurio, Cadmio, Arsénico y Plomo que superen los niveles de detección de los equipos ni los valores de referencia permitidos. No obstante, no es posible descartar completamente la presencia de las sustancias de interés, o de otros adicionales, ejemplo, sus derivados, en otras matrices o componentes.
<b>Riesgo físico identificado</b>	No hay evidencia de la presencia de dragas debido a la prohibición en la toma de fotos. Sin embargo, hay zonas específicas que presentan erosión, procesos de remoción en masa y modificación del paisaje.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo físico)</b>	Se sugiere llevar a cabo una modificación de perfil mediante controles de erosión y restauración geomorfológica; a través de un adecuado manejo forestal, perfilado de taludes y obras de Revegetalización.
<b>Riesgo social y biocultural identificado</b>	Zona que refleja especialización de los daños y recuperación natural del territorio a causa de la intervención minera en años anteriores. Se evidencian afectaciones en los bosques naturales, recordando que es el lugar y escenario natural del uso social para el aprovechamiento de bienes ambientales y servicios ecosistémicos y limita el uso para la agroforestería; el deterioro de las vegas y playas que se convierten en una situación de amenaza para la agricultura tradicional y la seguridad alimentaria.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo social y biocultural)</b>	Fortalecer las capacidades de ejercer la minera artesanal tradicional, reconociendo el valor agregado de esta actividad para la conservación de naturaleza y el saber ancestral. Hacer aislamientos de bosques con técnicas naturales para aumentar la recuperación natural. Motivar y fortalecer la gobernanza social del bosque. Avanzar en el ordenamiento de la actividad minera. Fortalecer la capacidad de ejercer control social por parte de los Consejos Comunitarios en el uso de los recursos naturales.

	Diversificar las actividades productivas de las comunidades en el territorio, con énfasis en las agroproductivas sostenibles.
<b>Riesgo ecosistémico identificado</b>	De acuerdo con los resultados obtenidos en campo se evidencia la pérdida de biodiversidad.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo ecosistémico)</b>	Introducción de especies (plantaciones, siembras, fauna, etc.). Atracción de especies del entorno (dispersores, polinizadores, etc.).
<b>Monitoreo</b>	<p>Para las acciones correspondientes al monitoreo, se recomienda tener en cuenta los aspectos mencionados en el numeral 6.2.6. Teniendo en cuenta, una duración de 8 años mínimo para la implementación, y un lapso entre 0 a 10 años para el monitoreo con una frecuencia de una visita semestral. Terminado este tiempo, se sugiere un monitoreo permanente con un periodo de 2 años cada visita.</p> <p>La duración y las actividades del monitoreo dependen de la estrategia de intervención seleccionada, los objetivos y los indicadores establecidos.</p> <p>Si alguna de las medidas de intervención para riesgo físico que se plantearon para esta zona no genera los resultados esperados, se proponen algunas alternativas en el</p> <p><b>ANEXO 6.</b></p>

**Tabla 30.**

Identificación de riesgos y posibles medidas de intervención aplicables en la Zona 10

ZONA 10 (Quebrada Guapandó)	
	
Elaboró: Corporación Bioparque, 2021.	
<b>Área disturbada</b>	167,38 ha (29,63%)
<b>Riesgo químico identificado</b>	De acuerdo con los resultados obtenidos en campo y laboratorio, no se evidencia la presencia de metales de Mercurio, Cadmio, Arsénico y Plomo que superen los niveles de detección de los equipos ni los valores de referencia permitidos. No obstante, no es posible descartar completamente la presencia de las sustancias de interés, o de otros adicionales, ejemplo, sus derivados, en otras matrices o componentes.
<b>Riesgo físico identificado</b>	Se evidencia un riesgo muy leve, sin embargo, se tiene en cuenta, ya que como se observa en la fotografía, hay una zona residencial cerca de las zonas trabajadas.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo físico)</b>	Se recomienda llevar a cabo una recuperación de perfil, ya que las zonas trabajadas afectan el paisaje y el nivel del río, lo que dificulta el paso de los vehículos acuáticos.
<b>Riesgo social y biocultural identificado</b>	Zona de leve intervención minera mecanizada y de un interesante proceso de recuperación natural del bosque, donde se refleja que es una zona de baja atracción hacia la minería pesada, mas no se ha escapado de su interés en buscar el mineral. Puede ser utilizado como una zona de proyección piloto para aplicar algunas intervenciones que propone el protocolo.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo social y biocultural)</b>	Fortalecer la capacidad de ejercer control a la minería por parte de los Consejos Comunitarios. Diversificar las actividades productivas de las comunidades en el territorio.

	Fortalecer las capacidades de ejercer la minera artesanal tradicional, reconociendo el valor agregado de esta actividad para la conservación de naturaleza y el saber ancestral.
<b>Riesgo ecosistémico identificado</b>	De acuerdo con los resultados obtenidos en campo se evidencia la pérdida de biodiversidad.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo ecosistémico)</b>	Introducción de especies (plantaciones, siembras, fauna, etc.). Atracción de especies del entorno (dispersores, polinizadores, etc.).
<b>Monitoreo</b>	<p>Para las acciones correspondientes al monitoreo, se recomienda tener en cuenta los aspectos mencionados en el numeral 6.2.6. Teniendo en cuenta, una duración de 5 años mínimo para la implementación, y 8 años para el monitoreo con una frecuencia de una visita semestral. Terminado este tiempo, se sugiere un monitoreo permanente con un periodo de 2 años cada visita.</p> <p>La duración y las actividades del monitoreo dependen de la estrategia de intervención seleccionada, los objetivos y los indicadores establecidos.</p> <p>Si alguna de las medidas de intervención para riesgo físico que se plantearon para esta zona no genera los resultados esperados, se proponen algunas alternativas en el <b>ANEXO 6.</b></p>

Tabla 31.

Identificación de riesgos y posibles medidas de intervención aplicables en la Zona 11

<p>ZONA 11 (Río Taridó)</p>  <p>Elaboró: Corporación Bioparque, 2021.</p>	
<b>Área disturbada</b>	780,81 ha (34,26%)
<b>Riesgo químico identificado</b>	De acuerdo con los resultados obtenidos en campo y laboratorio, no se evidencia la presencia de metales de Mercurio, Cadmio, Arsénico y Plomo que superen los niveles de detección de los equipos ni los valores de referencia permitidos. No obstante, no es posible descartar completamente la presencia de las sustancias de interés, o de otros adicionales, ejemplo, sus derivados, en otras matrices o componentes.
<b>Riesgo físico identificado</b>	De acuerdo con las observaciones en campo, en la zona correspondiente al río San Pablo no se identifica la presencia del riesgo físico.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo físico)</b>	No se recomiendan medidas de intervención debido a que no se identificó riesgo físico.
<b>Riesgo social y biocultural identificado</b>	Zona de alta intervención por minería mecanizada y de deterioro progresivo del bosque y aunque es una zona de poca población y movilidad comunitaria, es un corredor natural inter-cuencas de gran importancia, la zona nos muestra poco control en el desarrollo de la actividad minera pesada y que evidencia la falta de gobernanza y gobernabilidad de la actividad, en especial de las autoridades étnicas locales. Se nota el deterioro del bosque de uso social para el aprovechamiento de la madera, la recolección de semillas, resinas, bejuco, la caza, la pesca y el uso para la agroforestería; de igual manera se percibe la fractura en la posibilidad de ser utilizada como área de aprendizaje cultural ancestral y generacional sobre el uso del bosque.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo social y biocultural)</b>	Estudiar la situación actual de la composición, estructura y funcionalidad del bosque hoy existente, en conjugación con el saber comunitario tradicional. Instalación de sistemas agroforestales comunitarios. Incentivos para el desarrollo de prácticas de agricultura tradicional.

	<p>Desarrollar experiencias de siembras forestales en zonas específicas con especies nativas y algunas compatibles a resolver problemas físicos estudiados.</p> <p>Hacer aislamientos de bosques con técnicas naturales para aumentar la recuperación natural.</p> <p>Motivar y fortalecer la gobernanza social del bosque.</p> <p>Fortalecer la capacidad de ejercer control a la minería por parte de los Consejos Comunitarios.</p> <p>Diversificar las actividades productivas de las comunidades en el territorio.</p> <p>Fortalecer las capacidades de ejercer la minería artesanal tradicional, reconociendo el valor agregado de esta actividad para la conservación de naturaleza y el saber ancestral.</p>
<b>Riesgo ecosistémico identificado</b>	De acuerdo con los resultados obtenidos en campo se evidencia la pérdida de biodiversidad.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo ecosistémico)</b>	Introducción de especies (plantaciones, siembras, fauna, etc.). Atracción de especies del entorno (dispersores, polinizadores, etc.).
<b>Monitoreo</b>	Aunque la zona 11 no presenta riesgo físico asociado, si se recomienda llevar a cabo planes de monitoreo con un mínimo de una visita anual. Esto con el fin de verificar, prevenir o corregir la presencia de fenómenos que generen riesgo físico en la zona.

**Tabla 32.**

Identificación de riesgos y posibles medidas de intervención aplicables en la Zona 12

<p><b>ZONA 12 (Río Quito Principal 1)</b></p>  <p>Elaboró: Corporación Bioparque, 2021.</p>	
<b>Área disturbada</b>	345,93 ha (9,11%)
<b>Riesgo químico identificado</b>	De acuerdo con los resultados obtenidos en campo y laboratorio, no se evidencia la presencia de metales de Mercurio, Cadmio, Arsénico y Plomo que superen los niveles de detección de los equipos ni los valores de referencia permitidos. No obstante, no es posible descartar completamente la presencia de las sustancias de interés, o de otros adicionales, ejemplo, sus derivados, en otras matrices o componentes.
<b>Riesgo físico identificado</b>	Debido a la extensión areal de la zona y la actividad minera mediante el uso de retroexcavadoras, se observa el estancamiento de aguas, desvío de cauces, cambios en el nivel freático del río, erodabilidad de los suelos, procesos de remoción en masa y finalmente modificación paisajística.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo físico)</b>	Se recomienda llevar a cabo una restauración geomorfológica, que permita definir un adecuado manejo forestal, junto con obras de control de erosión, que incluya el perfilado de taludes a través de la Revegetalización con diferentes especies vegetales; con respecto al recurso hídrico, se recomienda llevar a cabo reencauzamiento de ríos y obras de drenaje superficiales para hacer frente al estancamiento de aguas.
<b>Riesgo social y biocultural identificado</b>	Zona de alta intervención por minería mecanizada y de deterioro progresivo del bosque. Es una Zona de alto interés para la población local y de alta movilidad comunitaria, es un corredor natural intra-cuencas de gran importancia, la zona nos muestra poco control al desarrollo de la actividad minera pesada y evidencia la falta de gobernanza y gobernabilidad de la actividad, en especial de las autoridades institucionales y étnicas. Se nota el deterioro del bosque de uso social para el aprovechamiento cultural (Madera, la recolección de semillas, resinas, bejucos), la caza, la pesca y el uso para la agroforestería; de igual manera se percibe la fisura en la posibilidad de ser utilizada como área de aprendizaje cultural ancestral y generacional sobre el uso del agua y bosque. El deterioro del cauce, el litoral y el canal navegable y en general del agua del río Quito es notorio para el uso de las comunidades. el deterioro de las vegas y

	playas que se convierten en una situación de grave amenaza para las actividades de la agricultura tradicional y la seguridad alimentaria, situación de gran preocupación.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo social y biocultural)</b>	<p>Desarrollar procesos de fortalecimiento de la organización comunitaria de administración étnica – territorial.</p> <p>Fomentar fundamentación en gobernanza territorial sobre los recursos naturales.</p> <p>Aplicar la sabiduría tradicional para atender los fenómenos de riesgos por amenazas en los suelos, bosques y aguas.</p> <p>Desarrollar experiencias de siembras forestales en zonas específicas con especies nativas y algunas compatibles a resolver problemas físicos estudiados.</p> <p>Generar proceso de formación de talentos humanos en temas de historia, sociología y cultura que recuperen y fortalezcan el saber del territorio.</p> <p>Organización de productores para recuperar el aprovechamiento de los bienes y servicios del bosque.</p> <p>Implementación de proyectos de acuicultura con especies adaptables.</p> <p>Aplicación de formación social para la recuperación de suelos, riveras y cauces.</p>
<b>Riesgo ecosistémico identificado</b>	De acuerdo con los resultados obtenidos en campo se evidencia la degradación del paisaje, Presencia suelos erosionados, pérdida de cobertura vegetal y de biodiversidad y de servicios ecosistémicos.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo ecosistémico)</b>	<p>Reperfilado del relieve para conseguir formas compatibles con el entorno. Diseño y construcción de una adecuada red de drenaje.</p> <p>Enmiendas en el sustrato (añadir materia orgánica, cal, extendidos de tierra vegetal, etc.).</p> <p>Introducción de especies (plantaciones, siembras, fauna, etc.).</p> <p>Atracción de especies del entorno (dispersores, polinizadores, etc.).</p>
<b>Monitoreo</b>	<p>Para las acciones correspondientes al monitoreo, se recomienda tener en cuenta los aspectos mencionados en el numeral 6.2.6. Teniendo en cuenta, una duración de 12 años mínimo para la implementación, debido a su extensión areal; y un lapso entre 0 y 20 años para el monitoreo con una frecuencia de una visita semestral. Terminado este tiempo, se sugiere un monitoreo permanente con un periodo de 2 años cada visita.</p> <p>La duración y las actividades del monitoreo dependen de la estrategia de intervención seleccionada, los objetivos y los indicadores establecidos.</p> <p>Si alguna de las medidas de intervención para riesgo físico que se plantearon para esta zona no genera los resultados esperados, se proponen algunas alternativas en el</p> <p><b>ANEXO 6.</b></p>

**Tabla 33.**  
Identificación de riesgos y posibles medidas de intervención aplicables en la Zona 13

<p><b>ZONA 13 (Río Paimadó)</b></p>  <p><b>Elaboró:</b> Corporación Bioparque, 2021.</p>	
<b>Área disturbada</b>	237,86 ha (20,61%)
<b>Riesgo químico identificado</b>	De acuerdo con los resultados obtenidos en campo y laboratorio, no se evidencia la presencia de metales de Mercurio, Cadmio, Arsénico y Plomo que superen los niveles de detección de los equipos ni los valores de referencia permitidos. No obstante, no es posible descartar completamente la presencia de las sustancias de interés, o de otros adicionales, ejemplo, sus derivados, en otras matrices o componentes.
<b>Riesgo físico identificado</b>	Se identifica la modificación paisajística, asociado a procesos de remoción en masa; también se evidencia la erosión de suelos y cambios en el nivel freático relacionados con la actividad de explotación de oro.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo físico)</b>	Se recomienda aplicar una modificación de perfil mediante una restauración geomorfológica y controles de erosión, que permitan revegetalizar la zona y plantear una estrategia para el adecuado manejo forestal; por otro lado, se sugiere el reencauzamiento de los ríos, cambiando el nivel freático del río y permitiendo una mejor movilidad en la zona por vía acuática.
<b>Riesgo social y biocultural identificado</b>	Zona de intervención por minería mecanizada, con deterioro progresivo del bosque. Es una Zona de interés para la población local y aunque es un área de media movilidad comunitaria, es un corredor natural inter-cuencas de gran importancia. La zona nos muestra poco control al desarrollo de la actividad minera pesada y evidencia la falta de gobernanza y gobernabilidad de la actividad, en especial de las autoridades institucionales y étnicas. Se nota el deterioro del bosque de uso social para el aprovechamiento cultural (Madera, la recolección de semillas, resinas, bejucos), la caza, la pesca y el uso para la agroforestería. Se percibe la pérdida de posibilidades de ser utilizada como área de aprendizaje cultural ancestral y generacional sobre el uso del agua y bosque. El deterioro del cauce, el litoral y el

	<p>canal navegable y en general del agua del río Quito es notorio para el uso de las comunidades. el deterioro de las vegas y playas que se convierten en una situación de grave amenaza para las actividades de la agricultura tradicional y la seguridad alimentaria, situación de gran preocupación.</p>
<p><b>Posibles medidas de intervención (riesgo social y biocultural)</b></p>	<p>Aplicar la sabiduría tradicional para atender los fenómenos de riesgos por amenazas en los suelos y aguas.  Fortalecer la organización de productores para recuperar el aprovechamiento de los bienes y servicios del bosque.  Implementar proyectos de acuicultura con especies adaptables.  Desarrollar procesos de fortalecimiento de la organización comunitaria de administración étnica – territorial.  Fomentar fundamentación en gobernanza territorial sobre los recursos naturales.  Generar proceso de formación de talentos humanos en temas de historia, sociología y cultura que recuperen y fortalezcan el saber del territorio.  Aplicación de formación social para la recuperación de suelos, riberas y cauces  Desarrollar experiencias de siembras forestales en zonas específicas con especies nativas y algunas compatibles a resolver problemas físicos estudiados.</p>
<p><b>Riesgo ecosistémico identificado</b></p>	<p>De acuerdo con los resultados obtenidos en campo se evidencia la pérdida de biodiversidad.</p>
<p><b>Posibles medidas de intervención (riesgo ecosistémico)</b></p>	<p>Introducción de especies (plantaciones, siembras, fauna, etc.).  Atracción de especies del entorno (dispersores, polinizadores, etc.).</p>
<p><b>Monitoreo</b></p>	<p>Para las acciones correspondientes al monitoreo, se recomienda tener en cuenta los aspectos mencionados en el numeral 6.2.6. Teniendo en cuenta, una duración de 12 años mínimo para la implementación, y un lapso entre 0 y 15 años para el monitoreo con una frecuencia de una visita semestral. Terminado este tiempo, se sugiere un monitoreo permanente con un periodo de 2 años cada visita.  La duración y las actividades del monitoreo dependen de la estrategia de intervención seleccionada, los objetivos y los indicadores establecidos.  Si alguna de las medidas de intervención para riesgo físico que se plantearon para esta zona no genera los resultados esperados, se proponen algunas alternativas en el</p> <p><b>ANEXO 6.</b></p>

**Tabla 34.**  
Identificación de riesgos y posibles medidas de intervención aplicables en la Zona 14

ZONA 14 (Río Quito Principal 2)	
	
Elaboró: Corporación Bioparque, 2021.	
<b>Área disturbada</b>	866,28 ha (43,68%)
<b>Riesgo químico identificado</b>	De acuerdo con los resultados obtenidos en campo y laboratorio, no se evidencia la presencia de metales de Mercurio, Cadmio, Arsénico y Plomo que superen los niveles de detección de los equipos ni los valores de referencia permitidos. No obstante, no es posible descartar completamente la presencia de las sustancias de interés, o de otros adicionales, ejemplo, sus derivados, en otras matrices o componentes.
<b>Riesgo físico identificado</b>	Para la zona 14 se identifican procesos de remoción en masa, el estancamiento de aguas y desvío de cauces que se reflejan en modificaciones paisajísticas.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo físico)</b>	Se recomienda llevar a cabo obras de drenaje superficial, reencauzamiento del río y la Revegetalización de la zona teniendo en cuenta un adecuado manejo forestal.
<b>Riesgo social y biocultural identificado</b>	Zona de alta intervención por minería mecanizada y de deterioro progresivo del bosque. Es una Zona de alto interés para la población local y de alta movilidad comunitaria, es un corredor natural intra-cuencas de gran importancia, la zona nos muestra poco control al desarrollo de la actividad minera pesada y evidencia la falta de gobernanza y gobernabilidad de la actividad, en especial de las autoridades institucionales y étnicas. Se nota el deterioro del bosque de uso social para el aprovechamiento cultural y económico (Madera, la recolección de semillas, resinas, bejucos), la caza, la pesca y el uso para la agroforestería; de igual manera se percibe la fisura en la posibilidad de ser utilizada como área de aprendizaje cultural ancestral y generacional sobre el uso del agua y bosque. El deterioro del cauce, el litoral y el canal navegable y en general del agua del río Quito es notorio para el uso de las comunidades. el deterioro de las vegas y playas que se convierten en una situación de grave amenaza para las actividades de la agricultura tradicional y la seguridad alimentaria, situación de gran preocupación.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo social y biocultural)</b>	Desarrollar procesos de fortalecimiento de la organización comunitaria de administración étnica – territorial. Fomentar fundamentación en gobernanza territorial sobre los recursos naturales.

	<p>Aplicar la sabiduría tradicional para atender los fenómenos de riesgos por amenazas en los bosques, suelos y aguas.</p> <p>Desarrollar experiencias de siembras forestales en zonas específicas con especies nativas y algunas compatibles a resolver problemas físicos estudiados.</p> <p>Generar proceso de formación de talentos humanos en temas de historia, sociología y cultura que recuperen y fortalezcan el saber del territorio.</p> <p>Organización de productores para recuperar el aprovechamiento de los bienes y servicios del bosque.</p> <p>Implementación de proyectos de acuicultura con especies adaptables.</p> <p>Aplicación de formación social para la recuperación de suelos, riberas y cauces.</p>
<b>Riesgo ecosistémico identificado</b>	De acuerdo con los resultados obtenidos en campo se evidencia la degradación del paisaje, presencia suelos erosionados, pérdida de cobertura vegetal y de biodiversidad y de servicios ecosistémicos.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo ecosistémico)</b>	<p>Reperfilado del relieve para conseguir formas compatibles con el entorno. Diseño y construcción de una adecuada red de drenaje.</p> <p>Enmiendas en el sustrato (añadir materia orgánica, cal, extendidos de tierra vegetal, etc.).</p> <p>Introducción de especies (plantaciones, siembras, fauna, etc.).</p> <p>Atracción de especies del entorno (dispersores, polinizadores, etc.).</p>
<b>Monitoreo</b>	<p>Para las acciones correspondientes al monitoreo, se recomienda tener en cuenta los aspectos mencionados en el numeral 6.2.6. Teniendo en cuenta, una duración de 8 años mínimo para la implementación, y un lapso entre 0 y 10 años para el monitoreo con una frecuencia de una visita semestral. Terminado este tiempo, se sugiere un monitoreo permanente con un periodo de 2 años cada visita.</p> <p>La duración y las actividades del monitoreo dependen de la estrategia de intervención seleccionada, los objetivos y los indicadores establecidos.</p> <p>Si alguna de las medidas de intervención para riesgo físico que se plantearon para esta zona no genera los resultados esperados, se proponen algunas alternativas en el</p> <p><b>ANEXO 6.</b></p>

**Tabla 35.**  
Identificación de riesgos y posibles medidas de intervención aplicables en la Zona 15

ZONA 15 (Río Quito Principal 3)	
	
Elaboró: Corporación Bioparque, 2021.	
<b>Área disturbada</b>	264,39 ha (27,16%)
<b>Riesgo químico identificado</b>	De acuerdo con los resultados obtenidos en campo y laboratorio, no se evidencia la presencia de metales de Mercurio, Cadmio, Arsénico y Plomo que superen los niveles de detección de los equipos ni los valores de referencia permitidos. No obstante, no es posible descartar completamente la presencia de las sustancias de interés, o de otros adicionales, ejemplo, sus derivados, en otras matrices o componentes.
<b>Riesgo físico identificado</b>	La zona presenta procesos de remoción en masa junto con problemas de erosión y la inestabilidad de taludes que se reflejan en una alteración paisajística.
<b>Posibles medidas de intervención (riesgo físico)</b>	se sugiere llevar a cabo controles de erosión a través del perfilado de taludes y su revegetalización con pasto y otras especies de la zona, que permitan mantener y mejorar la estabilidad de los taludes, para finalmente mejorar las condiciones del paisaje.
<b>Riesgo social y biocultural identificado</b>	Zona de intervención por minería mecanizada, con deterioro progresivo del bosque. Se dice por las comunidades locales que en esta zona comenzó en gran parte la minería pesada que hoy cubre toda la cuenca del río Quito. Es una Zona de interés para la población local y s un área de alta movilidad comunitaria es un corredor natural intra-cuencas de gran importancia para las comunidades. La zona nos muestra poco control al desarrollo de la actividad minera pesada y evidencia la falta de gobernanza y gobernabilidad de la actividad, en especial de las

	<p>autoridades institucionales y étnicas. Se nota el deterioro del bosque de uso social, la disminución de su uso para el aprovechamiento cultural (Madera, la recolección de semillas, resinas, bejucos), la caza, la pesca y el uso para la agroforestería. Se percibe la pérdida de las posibilidades de ser utilizada como área de aprendizaje cultural ancestral y generacional sobre el uso del agua y bosque. El deterioro del cauce, el litoral y el canal navegable y en general del agua del río Quito es notorio para el uso de las comunidades. el deterioro de las vegas y playas que se convierten en una situación de grave amenaza para las actividades de la agricultura tradicional y la seguridad alimentaria, situación de gran preocupación.</p>
<p><b>Posibles medidas de intervención (riesgo social y biocultural)</b></p>	<p>Desarrollar experiencias de siembras forestales en zonas específicas con especies nativas y algunas compatibles a resolver problemas físicos estudiados.</p> <p>Generar proceso de formación de talentos humanos en temas de historia, sociología y cultura que recuperen y fortalezcan el saber del territorio.</p> <p>Organización de productores para recuperar el aprovechamiento de los bienes y servicios del bosque.</p> <p>Implementación de proyectos de acuicultura con especies adaptables.</p> <p>Aplicación de formación social para la recuperación de suelos, riveras y cauces.</p>
<p><b>Riesgo ecosistémico identificado</b></p>	<p>De acuerdo con los resultados obtenidos en campo se evidencia la degradación del paisaje, presencia suelos erosionados, pérdida de cobertura vegetal y de biodiversidad y de servicios ecosistémicos.</p>
<p><b>Posibles medidas de intervención (riesgo ecosistémico)</b></p>	<p>Reperfilado del relieve para conseguir formas compatibles con el entorno. Diseño y construcción de una adecuada red de drenaje.</p> <p>Enmiendas en el sustrato (añadir materia orgánica, cal, extendidos de tierra vegetal, etc.).</p> <p>Introducción de especies (plantaciones, siembras, fauna, etc.).</p> <p>Atracción de especies del entorno (dispersores, polinizadores, etc.).</p>
<p><b>Monitoreo</b></p>	<p>Para las acciones correspondientes al monitoreo, se recomienda tener en cuenta los aspectos mencionados en el numeral 6.2.6. Teniendo en cuenta, una duración de 8 años mínimo para la implementación, y un lapso entre 0 y 10 años para el monitoreo con una frecuencia de una visita semestral. Terminado este tiempo, se sugiere un monitoreo permanente con un periodo de 2 años cada visita.</p> <p>La duración y las actividades del monitoreo dependen de la estrategia de intervención seleccionada, los objetivos y los indicadores establecidos.</p> <p>Si alguna de las medidas de intervención para riesgo físico que se plantearon para esta zona no genera los resultados esperados, se proponen algunas alternativas en el</p> <p><b>ANEXO 6.</b></p>

*Elaboró: Corporación Bioparque, 2022.*

Cabe aclarar que las medidas de intervención presentadas en la tabla anterior son una aproximación, más no son las medidas definitivas a implementar, ya que se requiere de una evaluación específica de cada caso visto desde el concepto del análisis de riesgo encontrado en los primeros capítulos del presente documento.

Con respecto a la priorización de sitios para implementar las respectivas medidas de intervención sugeridas, no hay un modelo específico para ello, por lo que se trataría de un análisis cualitativo y subjetivo. No obstante, el área disturbada (encontrada en las Tablas de la sección 6.4) se puede tomar como un indicador para determinar el orden de las zonas a intervenir. Dicho lo anterior, el orden de mayor a menor prioridad sería el siguiente:

- Zona 02 (1071,33 hectáreas)
- Zona 09 (1039,61 hectáreas)
- Zona 14 (866,28 hectáreas)
- Zona 11 (780,81 hectáreas)
- Zona 05 (740,09 hectáreas)
- Zona 04 (568,32 hectáreas)
- Zona 06 (455,64 hectáreas)
- Zona 03 (553,47 hectáreas)
- Zona 07 (411,43 hectáreas)
- Zona 08 (396,19 hectáreas)
- Zona 12 (345,93 hectáreas)
- Zona 01 (320,11 hectáreas)
- Zona 15 (264,39 hectáreas)
- Zona 13 (237,86 hectáreas)
- Zona 10 (167,38 hectáreas)

Por otro lado, se relaciona un factor cualitativo, como lo es las observaciones de campo. Por lo que se descartan las zonas 4 y 11, ya que, aunque se presenta la minería por medio de dragas, no se evidencia un riesgo físico notorio en dichas zonas. De esta manera, el orden sugerido para la intervención de las zonas muestreadas quedaría de la siguiente manera:

- Zona 02 (1071,33 hectáreas)
- Zona 09 (1039,61 hectáreas)
- Zona 14 (866,28 hectáreas)
- Zona 05 (740,09 hectáreas)
- Zona 06 (455,64 hectáreas)
- Zona 03 (553,47 hectáreas)
- Zona 07 (411,43 hectáreas)
- Zona 08 (396,19 hectáreas)
- Zona 12 (345,93 hectáreas)
- Zona 01 (320,11 hectáreas)

- Zona 15 (264,39 hectáreas)
- Zona 13 (237,86 hectáreas)
- Zona 10 (167,38 hectáreas)

Asimismo, se recomienda el monitoreo de las dos zonas descartadas, ya que no están exentas de presentar riesgos a futuro.

## 7. Conclusiones y recomendaciones

Es necesario que el análisis de los impactos a la salud y el ambiente, así como la identificación de alternativas de intervención para zonas degradadas por minería, se haga con base en el enfoque del análisis de riesgos.

De las mediciones de la concentración de Hg, Pb, Cd y As realizadas en campo y en laboratorio no se evidencian valores que superen los valores límite de relevancia ambiental consultados en la literatura, e incluso ni siquiera los valores de detección de los equipos utilizados en el laboratorio para las matrices: agua, suelo y sedimentos. No obstante, no es correcto afirmar que las 15 zonas están exentas de presentar contaminación por los metales pesados mencionados. Con el fin de tener un panorama más completo, se recomienda emplear el monitoreo del aire, con el objetivo de generar un análisis mucho más robusto sobre las rutas de exposición de la contaminación por metales pesados. Además, se recomienda ajustar el enfoque hacia la remediación, o restauración o rehabilitación, ya que al emplear los tres en conjunto, se requiere de más detalle y robustez.

Aunque a lo largo del presente documento se hace referencia a estudios anteriores, no es posible generar una comparación histórica de datos, debido a que se refieren a distintas condiciones, sean: las zonas, tipos de muestro o las matrices analizadas.

A pesar de que en el caso Colombia no existen valores de referencia para suelos en la normativa existente, la comparación de los resultados con otros valores considerados en normativas internacionales muestra en términos generales no hay evidencia riesgo químico significativo en las zonas de estudio; pese a esto, si se identifica la presencia de contaminantes en las matrices de estudio.

Se sugiere brindar apoyo al gobierno para establecer rangos recomendados para definir límites permisibles de la presencia de contaminación por metales pesados en suelo, con el fin de no contrastar los valores encontrados en Colombia con información secundaria con estándares internacionales.

No se recomienda un tiempo específico de intervención por zona, ya que cada una de ellas abarca un estudio mucho más robusto, dado que todas las zonas presentan parámetros variados. No obstante, se recomienda un tiempo de implementación no menor a 10 años y un plan de monitoreo permanente, donde los primeros 15 años se realice una visita semestral, y posterior a dicho tiempo se realicen visitas de monitoreo cada 2 años, con el fin de verificar el cumplimiento de metas e indicadores y evidenciar la efectividad de la medida implementada, ya que esto permite llevar un mejor control sobre los impactos

sobre las zonas afectadas a lo largo de la cuenca. Por otro lado, también se recomienda adelantar estudios en especies bióticas: peces, humanos, aves, vegetación (monitoreo para riesgo fisicobiótico); ya que de esta manera se puede tener un mayor control sobre las rutas de exposición de los contaminantes de interés.

De otro lado, durante el trabajo de campo si se pudo evidenciar las múltiples afectaciones de tipo físico a los cuerpos de agua, cauces de los ríos y bosques, principalmente en la forma de alteraciones de los cauces por la extracción de material del lecho, la acumulación de material grava, piedra y suelo en taludes, el lavado del suelo y derrumbe de barrancos en la rivera de los ríos, y la deforestación. Esto genera daños identificados durante las jornadas de muestreo, como la consecuente alteración del caudal ecológico y navegabilidad de los ríos, y el daño a infraestructura esencial de las comunidades como caminos y carreteras por la acción de dragas, retroexcavadoras y otro equipo pesado usado en las actividades mineras.

Con respecto a la priorización de sitios para implementar las respectivas medidas de intervención sugeridas, no hay un modelo específico para ello, por lo que se trataría de un análisis cualitativo y subjetivo. No obstante, el área disturbada (encontrada en las Tablas de la sección 6.5) se puede tomar como un indicador cuantitativo para determinar el orden de las zonas a intervenir. Descartando las zonas 4 y 11, donde según las observaciones de campo no presentan riesgo físico, el orden sugerido para implementar las medidas de intervención, de mayor a menor prioridad, es el siguiente: Zona 02, Zona 09, Zona 14, Zona 05, Zona 06, Zona 03, Zona 07, Zona 08, Zona 12, Zona 01, Zona 15, Zona 13 y Zona 10.

El análisis llevado a cabo para brindar posibles medidas de intervención adecuadas para las zonas se realizó teniendo en cuenta la cartografía generada, observaciones de campo y las opiniones de la comunidad.

Finalmente, es importante anotar que el protocolo aquí presentado toma en cuenta una serie de medidas de intervención acordes con los resultados del diagnóstico ambiental, social y fisicobiótico realizado y el conocimiento construido con la participación de las organizaciones y comunidades de la zona involucradas en el estudio. Sin embargo, esto no debe tomarse como una camisa de fuerza que evite considerar otras alternativas, pero si brinda criterios y herramientas para identificar y evaluar otras medidas que contribuyan a la rehabilitación y restauración de las zonas degradadas por minería en la cuenca del río Quito.

## Glosario

### **Contaminantes:**

Son fenómenos físicos, sustancias o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente y la salud humana; que solos, en combinación o como productos de una reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, causas naturales o una combinación de estas.

### **Criterios para las medidas de intervención:**

Son los lineamientos con los cuales se evalúan los objetivos de intervención, y que permitirán seleccionar las medidas de intervención adecuadas.

### **Factibilidad:**

Es la recopilación de información que sirve para orientar la toma de decisiones en la evaluación de un proyecto. La factibilidad es valorada en tres formas principales: operacional, técnica y económicamente.

### **Medida de intervención:**

Son las actividades necesarias para eliminar o minimizar los riesgos identificados en un área determinada.

### **Metales pesados:**

Son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad alta. Son generalmente tóxicos para los seres humanos. Entre los más susceptibles de presentarse en el agua están: mercurio, plomo, cromo, níquel y cromo.

### **Plan de implementación:**

Es el conjunto de lineamientos que establece los aspectos relacionados con el diseño, preparación, implementación y verificación de la medida de intervención seleccionada.

### **Protocolo:**

Se refiere a las instrucciones o recomendaciones que deben seguirse para la restauración, remediación y/o rehabilitación de sitios contaminados.

### **Recuperación:**

Hace referencia a rescatar algunos servicios ecosistémicos de interés social. Generalmente los ecosistemas resultantes no son autosostenibles y no se parecen al sistema predisturbio.

### **Rehabilitación:**

Corresponde a llevar al sistema degradado a un sistema similar al predisturbio. Este debe ser autosostenible, preservar algunas especies y prestar algunos servicios ecosistémicos.

### **Remediación:**

Conjunto de medidas a las que se someten los sitios contaminados para reducir o eliminar los contaminantes hasta un nivel seguro para la salud y el ambiente o prevenir su dispersión en el ambiente sin modificarlos.

### **Restauración:**

Restablecer parcial o totalmente la composición, estructura y función de la biodiversidad, que hayan sido alterados o degradados.

### **Riesgo físico:**

Probabilidad o posibilidad de que un evento físico de origen natural, causado o inducido por la acción humana de manera accidental o intencional, ocasionen efectos adversos en la salud humana y/o al ambiente.

### **Riesgo químico:**

Probabilidad o posibilidad de la exposición a un material, residuo o contaminante ocasionen efectos adversos en el medio ambiente y la salud humana.

## 8. Referencias

- Aguilar, M., & Wilson, R. (2016). *Fundamentos y consideraciones generales sobre restauración ecológica para Colombia*. Instituto Humboldt.
- American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. (1992). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Hg)*. Washington, D.C: American Public Health Association.
- American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. (1992). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Pb and Cd)*. Washington D.C: American Public Health Association.
- American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. (1992). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (As)*. Washington, D.C: American Public Health Association.
- Aquaviva. (11 de 2016). *Diseño de instrumentos técnicos específicos para la gestión de los pasivos ambientales en Colombia. Instrumento técnico No 7. Guía técnica con criterios generales y recomendaciones para la implementación de técnicas de remediación*. Bogotá D.C: Ministerio de Ambiente.
- Chaparro, L. (2015). Drenajes ácidos de mina formación y manejo. *ESAICA*, 1(1), 53-57. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/296639939\\_Drenajes\\_acidos\\_de\\_mina\\_formacion\\_y\\_manejo](https://www.researchgate.net/publication/296639939_Drenajes_acidos_de_mina_formacion_y_manejo)
- Chin, J., Soto, G., & Elizondo, M. (2018). Práctica: uso del biocarbón o biochar. *Manejo y conservación de suelos*. Obtenido de [https://fundecooperacion.org/wp-content/uploads/2020/08/03-USO-DEL-BIOCARBON-1.pdf?\\_\\_cf\\_chl\\_managed\\_tk\\_\\_=pmd\\_vUylU62EwKtfiMsSwYV406xeTLmrFnSIldQQ06khIZzl-1632895260-0-gqNtZGzNAuWjcnBszRNI](https://fundecooperacion.org/wp-content/uploads/2020/08/03-USO-DEL-BIOCARBON-1.pdf?__cf_chl_managed_tk__=pmd_vUylU62EwKtfiMsSwYV406xeTLmrFnSIldQQ06khIZzl-1632895260-0-gqNtZGzNAuWjcnBszRNI)
- DEFRA. (2011). *Guidelines for Environmental Risk Assessment and Management-Green Leaves III*. Cranfield University: Department for Environment, Food and Rural Affairs, UK; and the Collaborative Centre of Excellence in Understanding and Managing Natural and Environmental Risks.
- Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) y Environment Agency (EA). (2004). *Model Procedures for the management of Land Contamination*. Obtenido de [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/924451/Model\\_procedures\\_for\\_the\\_management\\_of\\_land\\_contamination\\_CLR11.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/924451/Model_procedures_for_the_management_of_land_contamination_CLR11.pdf)
- Díaz, J., & Arceo, E. (2018). Daño renal asociado a metales pesados: trabajo de revisión. *Revista nefrología*, 5(1), 43-53. doi:<http://dx.doi.org/10.22265/acnef.5.2.254>

- Díaz, W., & Elcoro, S. (2009). Plantas colonizadoras en áreas perturbadas por la minería en el estado de Bolívar, Venezuela. *Acta Botánica Venezuelica*(32), 453-466.
- Dillon Consulting Limited. (1999). *A Federal Approach to Contaminated Sites*. Ottawa, Canada: Contaminated Sites Management Working Group. Obtenido de Contaminated Sites Management Working Group.
- Elliott, S. (2010). *El río y la forma, introducción a la geomorfología fluvial*. Santiago de Chile, Chile: RIL Editores. Obtenido de <https://books.google.com.co/books?id=WB-WtOx86XoC&pg=PA270&dq=restauraci%C3%B3n+geomorfol%C3%B3gica&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjM9biWrvTQAhXMRiYKHexMAMIQ6AEIJAC#v=onepage&q=restauraci%C3%B3n%20geomorfol%C3%B3gica&f=false>
- EPA. (1996). *Method 3050B: Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils*. Washington, DC: U.S. EPA.
- EPA. (2020). *Regional Screening Level (RSL) Summary Table (TR=1E-06, HQ=1)*. Obtenido de <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-generic-tables>
- Escalante, A., Pérez, G., Hidalgo, C., López, J., Campo, J., Valtierra, E., & Etchevers, J. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoam*, 367-382. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf>
- E-Tech International. (2015). *Las mejores prácticas para la caracterización, remediación y monitoreo ambiental de la contaminación petrolera en las áreas naturales protegidas de Loreto*. Santa Fe: e-tech international. Obtenido de <https://docplayer.es/47327566-.html>
- Fernández, L. (1995). *Manual de reutilización de residuos de la industria minera, siderometalúrgica y termoeléctrica*. Madrid, España: Instituto Tecnológico Geominero de España. Obtenido de [https://books.google.com.co/books?id=NO56Cgyf6uwC&printsec=frontcover&hl=es&source=gb\\_s\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=NO56Cgyf6uwC&printsec=frontcover&hl=es&source=gb_s_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Gómez, J. (14 de 12 de 2017). *Lo que le ha hecho la explotación de oro al Chocó*. Obtenido de Semana: <https://www.semana.com/contenidos-editoriales/atrato-el-rio-tiene-la-palabra/articulo/consecuencias-de-la-explotacion-de-oro-en-el-choco/551283/>
- Gutierrez, H., Marrugo, J., Morales, G., Montoya, L., & Jonathan, M. (2020). Distribution of chemical forms of mercury in sediments from abandoned ponds created during former gold mining operations in Colombia. *Chemosphere*, 258(127319).
- Gutierrez, M., Marrugo, J., Negrete, S., Morales, G., Mira, L., Montoya, J., & Jaramillo, M. (February 2021). Mercury distribution in different environmental matrices in aquatic systems of abandoned gold mines, Western Colombia: Focus on human health. *Journal of Hazardous Materials*, 404.

Huamán, L. (2007). *Aplicación de relleno hidráulico en la Mina Jimena de Compañía Minera Poderosa S.A. Lima, Perú*. Recuperado el 22 de 12 de 2021, de Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/3182>

INNOVA. (2015). *Diseño de una estrategia integral para la gestión de los pasivos ambientales de Colombia*. Colombia: Innovación Ambiental Innova. Obtenido de <https://www.innovaambiental.com.co/wp-content/uploads/Taller-4-Propuesta-Integral-para-la-Gestion-de-los-Pasivos-Ambientales-en-Colombia.pdf>

Madero, L. (2021). *Caracterización de las amenazas y vulnerabilidades en áreas mineras en estado de abandono - AMAEA como elementos fundamentales para la evaluación de riesgos*. Bogotá, D.C: Universidad Javeriana. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/54282?locale-attribute=pt>

MADS. (2015). *Decreto Unico Ambiental 1076 de 2015*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>

Minambiente. (s.f.). *Ley 1658 de 2013*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/ley-1658-de-2013/>

Ministerio de Ambiente. (30 de 12 de 2005). *Decreto 4741 de 2005*. Obtenido de Ideam: <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/526371/Decreto+4741+2005+PREVENCION+Y+MANEJO+DE+REIDUOS+PELIGROSOS+GENERADOS+EN+GESTION+INTEGRAL.pdf/491df435-061e-4d27-b40f-c8b3afe25705>

Ministerio de Minas y UIS. (2016). *Metodología para el análisis de riesgo en las áreas afectadas por actividades mineras en estado de abandono (AMAEA)*.

Ministerio del Ambiente. (2010). *Guía de evaluación de riesgos ambientales*. Lima: Ministerio del Ambiente. Obtenido de [https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/guia\\_riesgos\\_ambientales.pdf](https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/guia_riesgos_ambientales.pdf)

Ministry of the Environment. (2007). *Government Decree on the Assessment of Soil Contamination and Remediation Needs (214/2007)*. Finland: Ministry of the Environment, Finland.

MME y UNAL. (2014). *Metodología para la intervención de áreas afectadas por actividades mineras en estado de abandono en Colombia*. Bogotá D.C, Colombia: Ministerio de Minas y Energía y Universidad Nacional de Colombia.

Morgan, V., McLamore, E., & Correll, M. (2021). Emerging mercury mitigation solutions for artisanal small-scale gold mining communities evaluated through a multicriteria decision analysis approach. *Environ. Syst. Decis*(41), 413-424.

Pangea.org. (s.f.). *Metales pesados: efectos sobre la salud*. Obtenido de [http://vmitjans.pangea.org/pvc/metales\\_pesados.html](http://vmitjans.pangea.org/pvc/metales_pesados.html)

Pérez, C., Juárez, P., Anzaldo, J., Alia, I., Salcedo, E., & Balois, R. (2021). Beneficios potenciales del biocarbón en la productividad de cultivos agrícolas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 713-725. Obtenido de <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwin39rzv6PzAhWgSzABHckIB1AQFnoECCMQAQ&url=https%3A%2F%2Fcienciasagricolas.inifap.gob.mx%2Findex.php%2Fagricolas%2Farticle%2Fdownload%2F2542%2F4055&usg=AOvVaw0XXng8PGmEKKftfXldVjLy>

Pure Earth. (2020). Informe técnico - Plantación de restauración ecológica como modelo de cierre de minas. *Restaura Amazonía*.

Ramírez, G., Klinger, W., & Valois, H. (2016). *Lineamientos de manejo ecosistémico post aprovechamiento minero en ambientes naturales del Chocó, Colombia*. Chocó: Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP). Obtenido de <https://iiap.org.co/files/b63e21a07736083410e6fb15d3a7b5b0>

REGENESIS. (2021). *In Situ Chemical Oxidation*. Recuperado el 09 de 01 de 2022, de Remedial Approaches: [regenesism.com/en/site-remediation-solutions/in-situ-chemical-oxidation-isco/](https://regenesism.com/en/site-remediation-solutions/in-situ-chemical-oxidation-isco/)

Rodríguez, A. (2014). *El biocarbón y su aplicación en suelos contaminados*. Obtenido de Environmental Technology: <http://www.r3environmental.com.co/noticias/71-el-biocarbón-y-su-aplicación-en-suelos-contaminados.html>

Rodríguez, R., Lima, R., Gandolfi, S., & Nave, A. (2009). On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. *Biological Conservation* 142, 1242-1251.

SER. (2004). *Principios de SER Internacional sobre la restauración ecológica. Grupo de trabajo sobre ciencia y política*. Society for Ecological Restoration (SER).

SERNAGEOMIN-BGR. (2006). *Manual de evaluación de riesgos de faenas mineras abandonadas o paralizadas (FMA/P)*. Servicio Nacional de Geología y Minería - Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales. Obtenido de <https://biblioteca.sernageomin.cl/opac/DataFiles/13090.pdf>

Shen, Z., Xu, D., Li, L., Wang, J., & Shi, X. (s.f.). Ecological and health risk of heavy metal on farmland soils of mining areas around Tongling City, Anhui, China. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 26(15), 15698-15709.

SLC. (19 de 02 de 2020). *How quickly can nature recover after a damaged or disturbed ecosystem?* Obtenido de Sustainable Lifestyle Consultant: <https://www.sustainablelifestyleconsultant.com/blog-2/2020/1/10/how-quickly-can-nature-recover-after-a-damaged-or-disturbed-ecosystem>

- Suárez. (2001). *Control de erosión en zonas tropicales*. Bucaramanga, Colombia: División Editorial de Publicaciones Universidad Industrial de Santander. Obtenido de [www.erosion.com.co](http://www.erosion.com.co)
- Suárez, J. (2009). *Deslizamientos: técnicas de remediación*. (S. C.-U. Bucaramanga, Productor) Recuperado el 22 de 12 de 2021, de (UIS, Ed.): [www.erosion.com.co](http://www.erosion.com.co)
- SuRF. (2010). *A Framework for Assessing the Sustainability of Soil and Groundwater Remediation*. CLAIRE. Obtenido de [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewie\\_MzDrPPOAhUISzABHa9PD3EQFnoECAQQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.claire.co.uk%2Fcomponent%2Fphocadownload%2Fcategory%2F16-surf-uk-bulletins%3Fdownload%3D61%3Asurf-uk-framework-final-march](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewie_MzDrPPOAhUISzABHa9PD3EQFnoECAQQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.claire.co.uk%2Fcomponent%2Fphocadownload%2Fcategory%2F16-surf-uk-bulletins%3Fdownload%3D61%3Asurf-uk-framework-final-march)
- Terrae. (2017). *Elaborar concepto técnico sobre impactos físicos de la explotación minera en el Alto Atrato*. Convenlo.
- U.S. Army Environmental Center. (2002). *Restoration Compliance Conservation Pollution Prevention*. Obtenido de USAEC: <https://www.asaie.army.mil/Public/ESOH/doc/fy02-army-eqt-arc.pdf>; <https://frtr.gov/matrix2/section1/toc.html#Pref>
- UNEP. (2008). *Módulo 3: El uso del mercurio en la minería del oro artesanal y en pequeña escala*. Obtenido de Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente: [https://ige.org/archivos/IGE/mercurio\\_en\\_la\\_Mineria\\_de\\_Au.pdf](https://ige.org/archivos/IGE/mercurio_en_la_Mineria_de_Au.pdf)
- UNEP. (2013). *Global Mercury Assessment 2013: Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport*. Chemical Branch.
- Valois-Cuesta, H., & Martínez-Ruiz, C. (2017). Especies vegetales colonizadoras de áreas perturbadas por la minería en bosques pluviales del Chocó, Colombia. *Biota Colombiana*, 18(1), 88-104. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/491/49154105007/html/>
- Vareda, J., Valente, A., & Duraes, L. (2019). Assessment of heavy metal pollution from anthropogenic activities and remediation strategies: A review. *J. Environ. Manag*(246), 101-118.
- Vargas, O. (2007). Guía Metodológica para la Restauración Ecológica del Bosque Altoandino. *Grupo de Restauración Ecológica, Universidad Nacional de Colombia*.
- Vargas, O., Díaz, J., Reyes, S., & Gómez, P. (2012). *Guías técnicas para la restauración ecológica de los ecosistemas en Colombia*. Colombia: Grupo de Restauración Ecológica GREUNAL.
- Vélez-Torres, I., Vanegas, D., McLamore, E., & Hurtado, D. (2018). Mercury pollution and artisanal gold mining in Alto Cauca, Colombia: woman's perception of health and environmental impacts. *J. Environ. Dev.*, 27(4), 415-444.

- Villen, M., Cerrillo, M., Paz, J., Vereda, C., Gómez, C., & Rodríguez, J. (2020). *Remediación electrocinética de un suelo real contaminado con plomo asistida con la adición de un agente complejante*. Obtenido de Scielo: <https://www.scielo.br/j/qn/a/rxGZGK4FT84Dyc4Vq9XRL4g/?lang=es>
- Vos, P., Meelis, E., & Ter Keurs, W. (2000). A framework for the design of ecological monitoring programs as a tool for environmental and nature management. *Environmental Monitoring and Assessment*(61), 317-344.
- Xiao, R., Wang, S., Li, R., Wang, J., & Zhang, Z. (2017). Soil heavy metal contamination and health risks associated with artisanal gold mining in Tongguan, Shaanxi, China. *Ecotoxicol. Environ. saf.*(141), 17-24. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28285205/>
- Yoccoz, N., Nichols, J., & Boulinier, T. (2001). Monitoring of biological diversity in space and time. *Trends in Ecology and Evolution*(16), 446-453.



## ANEXOS

## ANEXO 1 INSTRUMENTO GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE EVALUACIÓN DE RIESGO EN SALUD Y AMBIENTE

El presente Anexo ofrece una orientación en el orden secuencial requerido para desarrollar una evaluación de riesgos para la salud humana y el ambiente, derivada de condiciones asociadas a áreas con sospecha de generar afectaciones ambientales.

### Paso 1: determine el tipo de riesgo en el área de estudio y defina el problema

Como primera medida identifique el conjunto de riesgos que se pretende evaluar y establezca si el riesgo se origina principalmente por contaminación química, vulnerabilidad física, u otro tipo de riesgo.

La definición del problema implica obtener la mayor cantidad de información disponible del área en la que se encuentra la zona con sospecha, para lo cual se recomienda consultar la información sugerida en la siguiente tabla:

**Tabla 36.**

Información de referencia necesaria para la definición y delimitación del problema, y sus posibles fuentes de obtención

	TIPO DE INFORMACIÓN REQUERIDA	POSIBLE FUENTE
Información documental	Georreferenciación del lugar o cartografía digital	Secretaría de hacienda IGAC Alcaldía Google maps
	Registros de propiedad del predio	Superintendencia de notariado y registro
	Histórico de uso del lugar	Certificado de tradición y libertad
	Información topográfica	IGAC
	Información hidrogeológica	Ideam
	Información climatológica	Ideam
	Explotación de recursos naturales	ANLA – Minminas
	Información de ecosistemas del lugar	Minambiente – Instituto Humboldt ANLA
Información de contaminación en el lugar	Autoridad municipal o departamental de salud	
Información de terreno	Proveniencia y usos del agua	Visita al lugar
	Potenciales receptores o propiedades vecinas	Visita al lugar
	Distancia al asentamiento humano más cercano	Visita al lugar
	Tamaño de la población más cercana	Registros demográficos - DANE
	Distancia a la fuente de agua superficial	Visita al lugar

**Fuente:** Aquaviva, 2016.

Lo anterior permite contar con información para construir el modelo conceptual.

Una vez obtenida la información, describa completamente el área de estudio, resumiendo las características de afectación o contaminación del lugar y describiendo las posibles fuentes de los contaminantes presentes, planteando una posible interrelación entre la fuente, la ruta y el receptor.

## **Paso 2: establezca ajustes al modelo conceptual**

Para actualizar el modelo conceptual elaborado, tenga en cuenta tres elementos principales: la fuente u origen del factor de riesgo derivado del área con sospecha, las rutas de desplazamiento del contaminante y los receptores que pueden verse afectados por la exposición a través de las diferentes rutas.

De manera complementaria, defina las posibles sustancias de interés de acuerdo con la información recopilada, y describa las posibles rutas o mecanismos a través de las cuales las sustancias de interés alcanzan al receptor.

El siguiente elemento para tener en cuenta es la identificación de receptores, para lo cual es requerido caracterizar y localizar a los mismos. De acuerdo con la ruta y al tipo de contaminante, se determina la ruta de mayor interés, sea la inhalación, ingesta o contacto con la dermis.

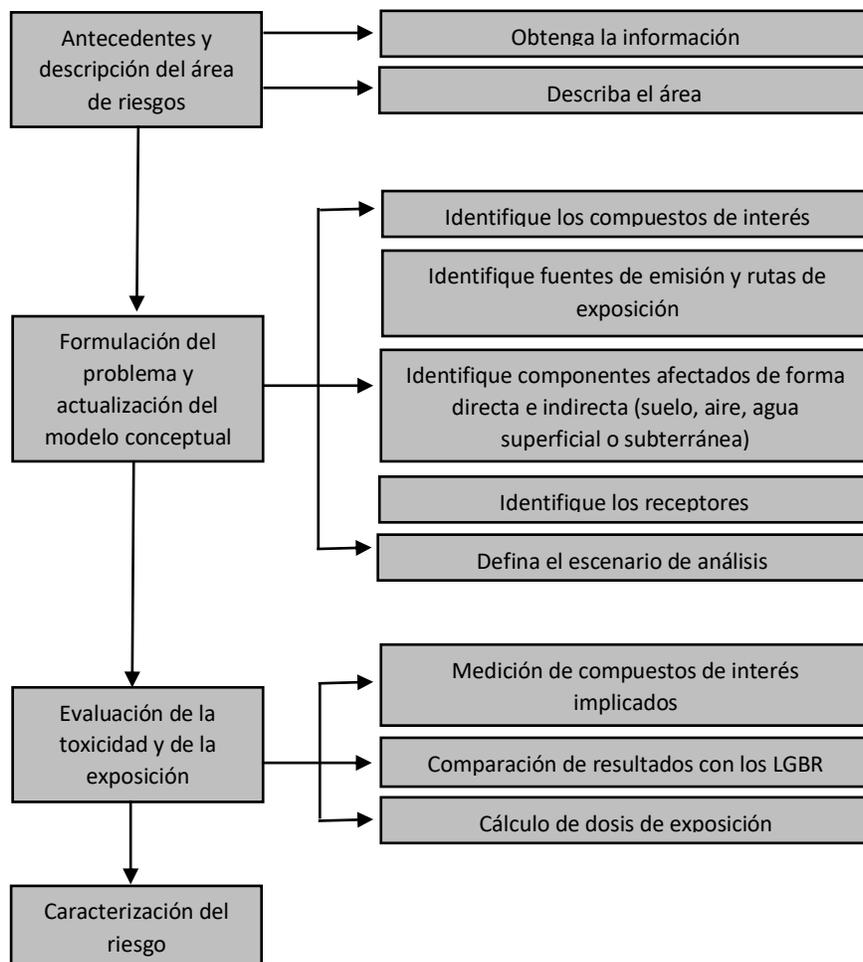
Complete los vacíos de información detectados y con los datos recopilados efectúe una descripción de las condiciones del sitio, los peligros identificados, las diferentes fuentes, rutas de desplazamiento, exposición y potenciales receptores. Posteriormente, construya una representación gráfica inicial del modelo, basado en la interacción de los diferentes componentes, tal como se plantea en la Figura 43. Para contar con un modelo inicial, se debe trazar una flecha entre la fuente de emisión y el o los compartimientos afectados, el grosor de esta depende de la magnitud de la emisión; luego, de acuerdo con las características del factor, se establecen los compartimientos de mayor relevancia, identificándolos con un color que resalte esta característica. Posteriormente, se trazan flechas entre los compartimientos y los receptores relevantes, las cuales representan la exposición, y su grosor depende de la intensidad de la misma.

Cuando se tenga claridad del modelo, se puede construir un esquema gráfico que permita conseguir mayor claridad visual de las relaciones entre los elementos que lo conforman.

## **Paso 3: evalúe la exposición**

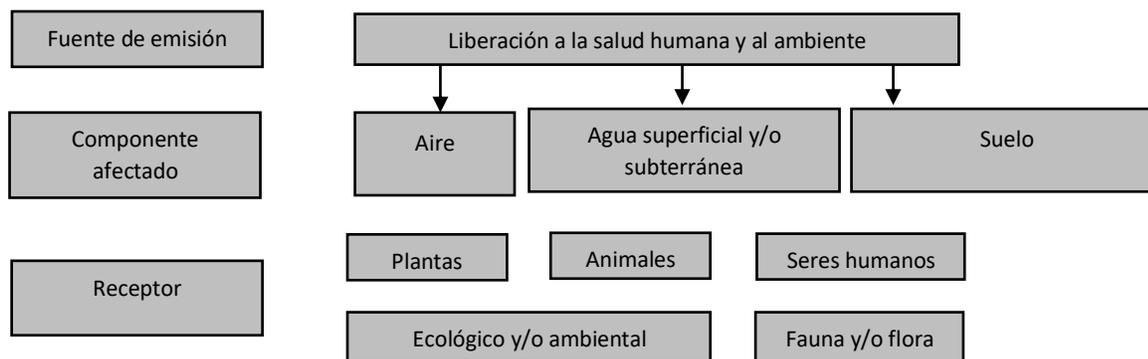
Para la evaluación de la exposición se requiere estimar la intensidad de la exposición, lo que implica un muestreo ambiental, cuyo resultado permita comparar los niveles obtenidos con los estándares de referencia, además de efectuar algunos cálculos de dosis de acuerdo a los modelos de transporte y factores de exposición definidos, considerando tiempos y rutas de exposición. La Figura 42. **Elementos generales de la evaluación de riesgo** muestra los elementos generales para esta sección.

### **Figura 42. Elementos generales de la evaluación de riesgo**



Fuente: Aquaviva, 2016.

Figura 43. Diseño general inicial de un modelo conceptual



Fuente: Aquaviva, 2016.

#### **Paso 4: evalúe los efectos**

Este paso implica la recopilación de información toxicológica y eco toxicológica del o los contaminantes identificados como prioritarios.

La evaluación de los efectos se puede realizar de tres maneras:

- Realizando una búsqueda y revisión de la información disponible del contaminante, para conocer su perfil toxicológico y eco toxicológico.
- Consultando criterios o valores de referencia establecidos por la normatividad nacional.
- Utilizando criterios desarrollados por otros países, la cual es de utilidad cuando no se cuenta con criterios de referencia nacionales. Para este caso es importante tener en cuenta el margen de seguridad empleado.

En general, los criterios incluyen dos componentes: uno, es el valor toxicológico sobre el que se establece el criterio, que es perfectamente aplicable salvo que se haya adaptado a las condiciones locales; el otro, es el margen de seguridad, establecido para cubrir la incertidumbre residual y las relaciones entre los riesgos aceptados y los beneficios obtenidos. Este margen puede tener un importante componente socioeconómico, que no es necesariamente extrapolable. Por ello, cuando se utiliza esta opción se recomienda obtener información sobre el valor eco toxicológico de partida y el margen de seguridad aplicado por la institución que desarrolló el criterio, valorando de forma específica si este margen se adecúa al contexto socioeconómico y legislativo a considerar en la evaluación; y si no es así, seleccionar un nuevo margen de seguridad de acuerdo con unas condiciones concretas.

#### **Paso 5: caracterice los riesgos**

Combinando la información de la exposición y los efectos se puede tener una aproximación a la probabilidad de que se produzcan efectos adversos. La caracterización puede ser de tipo cualitativo, la cual se usa especialmente cuando se presentan niveles de exposición bajos y se descarta la posibilidad de que se generen efectos, o cuando los niveles de exposición son altos y es claro que se producirá un efecto, por lo que se puede establecer un riesgo evidente.

Para los escenarios intermedios, se pueden utilizar diferentes metodologías cuantitativas enfocadas en el cálculo de los riesgos individuales por cada ruta y contaminante.

En general, se pueden identificar tres tipos de desenlace en la caracterización de riesgos:

- Exposición inaceptable, para la cual se requiere plantear medidas de intervención y mitigación enfocadas en implementar estrategias de control de riesgos a la salud, y enfocadas esencialmente en los contaminantes con mayor grado de exposición y toxicidad.
- Exposición incierta, para la que se requiere la recolección de más información y efectuar una nueva caracterización, con el fin de identificar las condiciones de exposición sobre las que no se pueden hacer juicios confiables.



- Exposición aceptable, frente a la cual se considera que no existe un riesgo significativo.

**Paso 6: genere conclusiones**

Concluya con respecto al riesgo por medio de la información obtenida.

**Paso 7: elabore el informe**

## ANEXO 2 INSTRUMENTO GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE EVALUACIÓN DE RIESGO EN SALUD Y AMBIENTE

El presente anexo ofrece una orientación en el orden secuencial de las actividades requeridas para desarrollar una evaluación de riesgos para la salud humana y el ambiente, derivada de condiciones asociadas a áreas con sospecha de generar afectaciones ambientales.

### Paso 1: elaboración de un análisis de riesgos

Como primera medida, identifique el conjunto de riesgos que se pretende evaluar y establezca si el riesgo se origina principalmente por amenaza o vulnerabilidad.

La definición del problema implica obtener la mayor cantidad de información disponible del área en la que se encuentra la zona con sospecha. En la Tabla 37 se sugieren posibles fuentes de recepción de información.

**Tabla 37.**

Información de referencia para el desarrollo de un análisis de riesgos

ORDEN	ACCIÓN	REQUERIMIENTOS	CRITERIOS PARA LA APLICACIÓN
1	Realice una evaluación de riesgos preliminar	Realizar diagnósticos mediante una investigación preliminar en el sitio con sospecha, que permita identificar los riesgos potenciales o existentes. Requiere información preliminar primaria y secundaria. Se necesita efectuar una visita técnica al área.	El usuario deberá contar con la experticia suficiente para la recopilación y el análisis de información secundaria del sitio. El usuario debe contar con los conocimientos sobre institucionalidad para indagar y acceder a la información relacionada. Los usuarios requieren capacitación en identificación de riesgos y peligros.
2	Realice una evaluación de riesgos preliminar	Se debe establecer si los riesgos son por amenaza o vulnerabilidad. Se debe desarrollar el análisis de riesgo de acuerdo con los identificados. Si los riesgos son por amenaza, se deben evaluar los movimientos en masa o las inundaciones. Si los riesgos son por vulnerabilidad, se debe identificar si los riesgos son por vulnerabilidad física, ambiental o social.	Para implementar efectivamente este paso, se requiere de la evaluación preliminar en el sitio y de experticia de los profesionales que estén realizando el análisis de riesgos, ya que en este paso es importante establecer las fuentes y receptores afectados por el riesgo.
3	Análisis del riesgo	La evaluación de riesgo requiere de tres pasos de análisis: <ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluación de la amenaza.</li> <li>Análisis de Vulnerabilidad para cada escenario.</li> </ul>	Para desarrollar este instrumento, es necesario contar con la experticia del profesional e implementar si se va a desarrollar el análisis de riesgo con programas SIG, con modelamientos u otras herramientas de acuerdo con el caso específico del sitio. Si es minería se recomienda utilizar las Guías metodológicas para el análisis de riesgo en áreas afectadas por actividades mineras en estado de abandono (AMAEA) Ministerio de Minas y UIS. Versión 1 – 2016.

4	Evaluación del riesgo	Realizar el análisis de riesgos y establecer la prioridad y el nivel del riesgo.	Para desarrollar este instrumento es necesario contar con la experticia del profesional y establecer el rango del riesgo, de acuerdo con los datos establecidos en el programa de modelación o SIG que se estableció en el análisis de riesgos.
5	Medidas de intervención (Ver 6.2.2)	Aplicar el presente instrumento técnico de medidas de intervención.	En esta etapa se identifican las medidas requeridas para reducir los daños potenciales ante la probable ocurrencia de un evento amenazante.

**Fuente:** Aquaviva, 2016.

### **Paso 2: Genere conclusiones**

Con la información obtenida, establezca conclusiones con respecto al riesgo.

### **Paso 3: elabore el informe**

## ANEXO 3 DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS DE INTERVENCIÓN QUÍMICAS

### Biorremediación mejorada

Es un proceso en el cual los microorganismos autóctonos o inoculados (como los hongos, bacterias y otros microbios) degradan (metabolizan) los contaminantes orgánicos que se encuentran en el suelo y/o agua subterránea, convirtiéndolos en inocuos productos finales. Los nutrientes, oxígeno, u otras modificaciones se pueden usar para mejorar la biorremediación y desorción de contaminantes a partir de materiales del subsuelo (U.S. Army Environmental Center, 2002). Esta técnica de remediación solo es aplicable a contaminantes que se biodegradan, a diferencia de los metales pesados, los contaminantes químicos no degradables (como algunos pesticidas) o los ácidos. Cuando la biodegradabilidad no está clara, se necesitan pruebas que determinen las tasas de degradación.

**Aerobio:** En la presencia de suficiente oxígeno (condiciones aeróbicas) y otros nutrientes, los microorganismos pueden convertir los contaminantes orgánicos en dióxido de carbono y (U.S. Army Environmental Center, 2002).

**Anaerobio:** En ausencia de oxígeno (condiciones anaeróbicas) los contaminantes orgánicos serán metabolizados a metano, cantidades limitadas de dióxido de carbono e hidrógeno. En condiciones de reducción de sulfato, el sulfato se convierte en sulfuro o azufre elemental, y en condiciones de reducción de nitrato, se produce gas dinitrógeno (U.S. Army Environmental Center, 2002).

### Fitorremediación

La fitorremediación es un proceso que utiliza las plantas para eliminar, transferir, estabilizar y destruir contaminantes en suelos y sedimentos. Los contaminantes pueden ser orgánicos e inorgánicos. Los mecanismos de la fitorremediación incluyen la biodegradación de la rizosfera, fito-extracción (también llamada fito-acumulación), fitodegradación y fito-estabilización mejorada (U.S. Army Environmental Center -USAEC-, 2002).

La biodegradación mejorada de la rizosfera: Se lleva a cabo en el suelo que rodea las raíces de las plantas. Las sustancias naturales liberadas por las raíces de las plantas suministran nutrientes a los microorganismos, lo que mejora sus actividades biológicas. Las raíces de las plantas aflojan la tierra y luego mueren, dejando caminos para el transporte de agua y la aireación. Este proceso tiende a extraer agua a la zona superficial y secar las zonas saturadas inferiores (U.S. Army Environmental Center -USAEC-, 2002).

Hay varias formas de utilizar las plantas para la fitorremediación. Algunos de estos mecanismos incluyen la biodegradación mejorada en la rizosfera, el control hidráulico, la fito-degradación, fito-acumulación y la fito-estabilización. Esto puede atraer mayores cantidades de contaminantes disueltos de medios contaminados y reducir la cantidad de agua que puede pasar a través del suelo o de un acuífero, reduciendo así la cantidad de contaminante que se vierte en el suelo o en el acuífero (U.S. Army Environmental Center -USAEC-, 2002).

- **Fito-degradación:** La fito-degradación es la metabolización de los contaminantes dentro de los tejidos vegetales. Las plantas producen enzimas, tales como deshalogenasa y oxigenasa, que ayudan a catalizar la degradación. Actualmente, se están realizando investigaciones para determinar si tanto los compuestos alifáticos aromáticos como los clorados son susceptibles de fito-degradación (U.S. Army Environmental Center -USAEC-, 2002).

En algunos casos la fitorremediación puede utilizarse para bioacumular metales pesados, pero esto no destruye los contaminantes, sino que los concentra en la materia vegetal. Si se utiliza para los metales pesados, debe incluirse un plan para cosechar y eliminar adecuadamente la vegetación con metales acumulados. No se querrá que los árboles utilizados para la fitorremediación de metales se utilicen como leña.

- **Fito-acumulación:** La fito-acumulación es la absorción de contaminantes por las raíces de las plantas y la translocación/acumulación (fitoextractor) de contaminantes en los brotes y las hojas de las plantas (U.S. Army Environmental Center -USAEC-, 2002).
- **Fito-estabilización:** La fito-estabilización es el fenómeno de la producción de compuestos químicos por la planta para inmovilizar los contaminantes en la interfaz de raíces y tierra (U.S. Army Environmental Center -USAEC-, 2002).

### Enmiendas superficiales

Los suelos contaminados a menudo pueden ser manejados de manera efectiva y directa a través de la aplicación de enmiendas del suelo. El uso de enmiendas del suelo puede ser un proceso in situ rentable para remediar, revitalizar y reutilizar. Las enmiendas del suelo pueden utilizarse para abordar dos categorías principales de problemas en sitios contaminados, la primera biodisponibilidad de contaminantes y fitodisponibilidad; y mala salud del suelo y función ecosistémica.

Los suelos candidatos para esta opción son sitios de minería de roca dura; sitios de minería de carbón; sitios de fundición y refinación; construcción y sitios de contaminación mixta; y otros sitios, por ejemplo, aquellos con cantidades en exceso de sales solubles o materiales piréticos. Las enmiendas son materiales adicionados a los suelos para mejorar la calidad del suelo y establecer el crecimiento de las plantas. Las enmiendas comúnmente utilizadas son:

- Biosólidos municipales, tales como residuos de tratamiento de agua,
- Abonos,
- Cal de remolacha azucarera,
- Ceniza de madera,
- Arenas de fundición, escoria de acero o materiales de dragado,
- Desperdicios de astilleros,
- Residuos residenciales,
- Subproductos de producción de etanol,

- Productos neutralizantes de cal,
- Biosólidos compostados,
- Subproductos agrícolas compostados,
- Fertilizantes agrícolas tradicionales.

Las enmiendas del suelo pueden reducir la biodisponibilidad de un amplio rango de contaminantes y mejorar la revegetalización, por lo tanto, es una protección ante el movimiento de los contaminantes fuera del sitio por viento y agua. Este proceso puede utilizarse en situaciones que van desde acciones de remoción de contaminantes en un tiempo crítico hasta proyectos de revegetalización ecológica a largo plazo. Debido al uso de materiales residuales (como subproductos industriales) se tiene la posibilidad de generarse ahorros significativos en comparación con alternativas tradicionales. Además, la revegetalización puede proporcionar considerables beneficios a la comunidad, incluyendo el hábitat de vida silvestre, diversidad de especies, control de alimentos, estética y recreación.

### Lavado de suelo

Es la extracción de contaminantes del suelo con agua u otras soluciones acuosas adecuadas mediante el uso del agua, o el agua que contiene un aditivo para aumentar la solubilidad de los contaminantes, la cual se aplica al suelo o se inyecta en el agua subterránea usando un proceso de inyección o infiltración. Los fluidos de extracción deben recuperarse del acuífero subyacente y, cuando es posible, se reciclan (U.S. Army Environmental Center -USAEC-, 2002).

Mejora Cosolvente: El lavado con cosolvente implica inyectar una mezcla disolvente (por ejemplo, agua más un disolvente orgánico miscible tal como alcohol) en una zona vadosa, una zona saturada o ambas para extraer contaminantes orgánicos. El lavado de cosolvente se puede aplicar a los suelos para disolver la fuente de contaminación o la pluma contaminante que emana de ella. Normalmente se inyecta la mezcla de co-disolvente por encima de la zona contaminada, y el disolvente con contaminantes se extrae gradualmente y se trata sobre el suelo (U.S. Army Environmental Center - USAEC-, 2002).

El agua subterránea y los fluidos de lavado recuperados con los contaminantes absorbidos pueden necesitar tratamiento para cumplir con los estándares de descarga apropiados antes de reciclarlos o liberarlos a las plantas locales de tratamiento de aguas residuales o a corrientes de agua. En la medida de lo posible, los fluidos recuperados deben ser reutilizados en el proceso de lavado. La separación de los tensoactivos del fluido del lavado recuperado, para su reutilización en el proceso, es un factor importante en el coste del lavado del suelo.

El tratamiento de los fluidos recuperados da como resultado lodos de proceso y sólidos residuales, tales como carbono y resina de intercambio iónico, los cuales deben tratarse apropiadamente antes de su eliminación. Las emisiones atmosféricas de contaminantes volátiles provenientes de fluidos de lavado recuperados deben ser recolectados y tratados, según corresponda, para cumplir con las normas reglamentarias aplicables. Los aditivos de descarga residual en el suelo pueden ser una preocupación y deben ser evaluados sobre una base específica del sitio. La duración del proceso de limpieza del suelo es generalmente de corto a mediano plazo (U.S. Army Environmental Center -USAEC-, 2002).

## Biocarbón

El Biocarbón es una técnica de biorremediación de desarrollo relativamente reciente y la cual se ha observado que es una técnica innovadora y con buenos resultados como medida de intervención, tanto para la remediación como para la restauración de, ya que genera interacción con los contaminantes como metales pesados asociados al proyecto.

El Biocarbón es un material sólido rico en carbón, de grano fino y poroso similar al carbón. Es producido por la descomposición térmica de biomasa en condiciones y temperaturas por debajo de 1.000 ° C y en ausencia limitada de oxígeno (Rodríguez A. , 2014).

El uso de biocarbón en la remediación de metales pesados, ha mostrado una alta eficacia. El efecto de la incorporación de biocarbón producido a partir de paja de arroz en la movilidad y la biodisponibilidad de Cobre (II) y Plomo (II) presentó una reducción del ácido extraíble del 19.7 % al 100 % para cobre y del 18.8 % al 77.0 % para plomo, aumentando la dosis de adición del biocarbón. Los mecanismos de eliminación de metales pesados con biocarbón modificado se atribuyen principalmente a las interacciones electrostáticas, precipitación y otras reacciones. (Rodríguez A. , 2014)

### Aplicaciones: (Escalante, y otros, 2016)

- Retención de carbono terrestre.
- Mejora de la fertilidad del suelo mediante la retención de agua y nutrientes.
- Promueve la actividad microbiana y la productividad de los cultivos.
- Remediación de suelos contaminados (Gentle Remediation).

### Beneficios primarios: (Pérez, y otros, 2021)

- Permite una rápida re-vegetación en depósitos con metales pesados.
- Reduce significativamente las operaciones de restauración de una mina en planes de cierre.
- Promueve el fortalecimiento de las raíces de las plantas en suelos contaminados.
- Evita la emisión de polvo fugitivo al ambiente.
- Evita la lixiviación a largo plazo de metales pesados como parte de una solución de ingeniería.

### Beneficios secundarios: (Pérez, y otros, 2021)

- Permite crear una barrera de protección a fuentes hídricas.
- Crea una restauración del hábitat y biodiversidad. depósitos.
- Reduce los impactos sociales y ambientales causados por la exploración minera.
- Puede generar créditos de carbono en trabajos en minas cerradas.
- Genera bajas emisiones de carbono.
- Promueve la forestación e implementación de mejoras en la gestión de bosques y sus alrededores.

### Ventajas frente a otras técnicas de remediación: (Chin, Soto y Elizondo, 2018)

- Es un proceso que se ocupa de los metales pesados y los hidrocarburos.

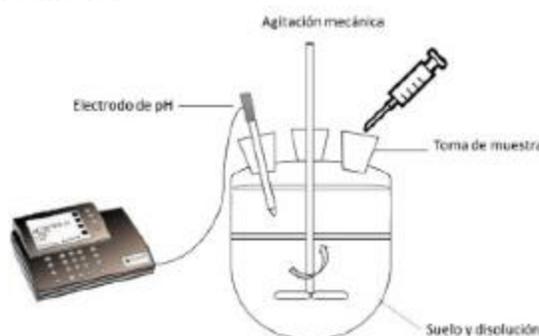
- Es un proceso que es de acción rápida.
- Es un proceso que requiere un espacio mínimo.
- Es un proceso que es fácil de poner en práctica.
- Es un proceso que puede ser implementado 'en el sitio'.
- Es una solución de baja energía.
- Es una solución que no requiere altos costos de infraestructura.

### Separación electrocinética

El proceso de remediación electrocinética elimina los metales y contaminantes orgánicos de baja permeabilidad del suelo, barro, lodo y dragado marino. Utiliza procesos electroquímicos o electrocinéticos para absorber, y luego elimina metales y materiales orgánicos. Esta tecnología in situ es principalmente una técnica de separación y remoción para extraer contaminantes de los suelos (U.S. Army Environmental Center, 2002).

El principio de la remediación electrocinética se basa en la aplicación de una corriente continua de baja intensidad a través del suelo entre los electrodos cerámicos que se dividen en un conjunto de cátodos y un conjunto de ánodos. Esto moviliza especies cargadas, haciendo que los iones y el agua se muevan hacia los electrodos. Los iones metálicos, los iones amonio y los compuestos orgánicos cargados positivamente se mueven hacia el cátodo. Los aniones como cloruro, cianuro, fluoruro, nitrato y compuestos orgánicos cargados negativamente se mueven hacia el ánodo. La corriente crea un frente ácido en el ánodo y un frente básico en el cátodo. Esta generación de condiciones ácidas in situ puede ayudar a movilizar los contaminantes metálicos absorbidos para su transporte al sistema de acumulación en el cátodo (U.S. Army Environmental Center, 2002).

**Figura 44. Remediación electrocinética**



**Fuente:** Villen, y otros, 2020. (Villen, y otros, 2020)

### Oxidación Química In Situ (ISCO)

La oxidación química in situ (ISCO) consiste en la inyección o mezcla directa de oxidantes químicos reactivos en el agua subterránea y el suelo con el objetivo principal de destruir rápida y completamente los contaminantes (REGENESIS, 2021).



La ISCO es una tecnología de tratamiento versátil que se aplica con mayor frecuencia en zonas de origen caracterizadas por presentar concentraciones de contaminantes elevadas en las aguas subterráneas, una importante contaminación absorbida y la posible presencia de contaminación residual en fase separada.

El éxito del tratamiento en las zonas con fuentes de contaminación requiere un conocimiento detallado de la naturaleza y distribución del contaminante, así como un enfoque de aplicación agresivo que maximice el contacto oxidante-contaminante y suministre una cantidad suficiente de oxidante para tratar los contaminantes disueltos, absorbidos y en fase separada. (REGENESIS, 2021)

## ANEXO 4 CARACTERÍSTICAS Y CONSIDERACIONES DE LAS MEDIDAS DE INTERVENCIÓN POR RIESGO FÍSICO

### Procesos de remoción en masa

Los procesos de remoción en masa corresponden al transporte de una masa importante de material litológico (rocas), restos vegetales y/o escombros por acción de la gravedad, por ejemplo, los movimientos de taludes. Los riesgos por estos procesos incluyen las pérdidas humanas y materiales, daño paisajístico, aporte de sedimentos a cuerpos hídricos y la caída de rocas. Las intervenciones de este tipo requieren generalmente de la aplicación de medidas como la modificación del perfil para mejorar la estabilidad, obras de contención para puntos específicos u obras de drenaje con el fin de disminuir presiones ocasionadas por el agua infiltrada (MME y UNAL, 2014).

Los procesos de remoción en masa para retirar residuos o suelo contaminado son más prácticos cuando se lleva a cabo en pequeñas cantidades y la contaminación es fácilmente identificable. Es necesario disponer de un lugar de eliminación de alta calidad y que cumpla con la parte legal, a fin de evitar mayores problemas. Esta técnica suele ser la más solicitada por las comunidades, pero se sopesa por el coste y la viabilidad.

- **Modificación de perfil**

Es una medida recomendable cuando está comprometido un volumen importante de material, se tiene un material erodable y por restricciones morfológicas no basta con aplicar únicamente una reducción de pendiente, siendo necesario por ejemplo crear bancos intermedios para mejorar las condiciones de erosión e involucrando actividades como excavación en roca y suelo, revegetalización y drenaje superficial y subterráneo (MME y UNAL, 2014). También suele hacerse un relleno con la modificación de los perfiles de las pilas de residuos.

- **Obras de drenaje**

Estas obras se emplean con el fin de minimizar la erosión superficial y subterránea y reducir la probabilidad de incrementos en las presiones de poro que puedan afectar la estabilidad de los taludes (MME y UNAL, 2014).

Una consideración clave es evitar que el agua de lluvia penetre el suelo contaminado, o permitirlo y evitar la escorrentía del área contaminada. Si se trata de lo primero, se necesita de un recubrimiento y canales resistentes a la erosión para la escorrentía. Si se trata de lo segundo, es necesario un recubrimiento permeable, como hierba y pasto, para evitar la escorrentía.

- **Drenajes subterráneos o subdrenajes**

Los drenajes subterráneos o subdrenajes se utilizan para controlar las aguas superficiales y subterráneas, disminuyendo las fuerzas que producen su movimiento como el incremento en presiones de poro, y son medidas poco costosas que resultan efectivas como complemento de otras medidas de estabilización.

- **Estructuras de contención**

Consiste en estructuras verticales rígidas que permiten adicionar fuerzas que soporten y resistan el movimiento de taludes o arrumes de materiales heterogéneos, pudiendo ser masivas, es decir el peso de la estructura es un factor importante, o consistir en estructuras ancladas en las cuales la fuerza se trasfiere por medio de un cable o varilla al suelo (Suárez J. , 2009).

- **Estructuras de protección contra caída de rocas**

Las rocas que se desprenden y caen desde taludes o arrumes de materiales son una amenaza latente en vías o comunidades cercanas. Comúnmente, estas rocas caen debido al cambio de fuerzas que actúan sobre un bloque o una masa rocosa, por ejemplo, por eventos climáticos (viento, cambios de temperatura, lluvias intensas), biológicos (descomposición de las rocas y crecimiento de raíces), sismos o vibraciones y voladuras por actividades de construcción (Suárez J. , 2009).

### **Retrolleado de excavaciones subterráneas o sellamiento de accesos**

Dentro de este tipo de intervención se encuentra el retrolleado de excavaciones, que se aplica cuando existe una alta probabilidad de que se presente un colapso de una excavación subterránea que genere subsidencia en la superficie y afecte estructuras o infraestructura, y los sellamientos de accesos cuyo objetivo es evitar el acceso de personas a las excavaciones (MME y UNAL, 2014). Los riesgos que buscan mitigar estas intervenciones son derrumbes, pérdidas humanas, daño paisajístico, hundimientos, inestabilidad del suelo, modificación de geoformas o la contaminación a acuíferos.

- **Relleno hidráulico, neumático y manual**

Esta medida consiste en preparar un material de relleno que es mezclado con agua y bombeado y/o colocado por gravedad dentro de la excavación; empleándose por ejemplo relave de planta concentradora, o arenas glaciares y otros materiales granulares (Huamán, 2007). En el caso del relleno neumático, el material triturado es inyectado hacia la excavación con la ayuda de aire a presión; también se puede añadir algún cementante para dar una mayor competencia mecánica al relleno (MME y UNAL, 2014). En cuanto al relleno manual, a pesar de haber sido antes el más utilizado, su uso ha mermado debido al elevado costo económico de la mano de obra y el fluctuante ritmo de avance (Fernández, 1995).

- **Sellos permanentes, estructurales y barreras**

Estas medidas consisten en el sellamiento de accesos. En los primeros se hace un sellamiento permanente con bloques y agregados; en los estructurales se emplean lozas prefabricadas y son especialmente útiles

como sellos definitivos en bocaminas subverticales pues solo pueden ser removidas con maquinaria pesada, mientras que las barreras por ser estructuras livianas no eliminan el riesgo de ingreso a las excavaciones.

## Procesos de erosión

Generalmente, el control de erosión aplica a los taludes que se han generado debido a actividades como la minería, en las etapas de explotación o disposición de estériles. Las medidas para su control buscan reducir los riesgos asociados a la sedimentación de cauces, pérdida de cobertura vegetal, inestabilidad del suelo, modificación de geoformas, daño paisajístico y modificación de ecosistemas. La erosión se puede clasificar en tres tipos (MME y UNAL, 2014):

- **Erosión laminar:** es la pérdida de una capa delgada y relativamente uniforme de suelo en un terreno inclinado, generalmente ocasionada por precipitaciones que superan la capacidad de infiltración. Se recomienda revegetalizar el área afectada y diseñar un sistema de drenaje superficial bajo criterios hidráulicos para el control de la escorrentía generada
- **Erosión concentrada:** se presenta cuando el agua superficial tiene una gran energía, lo cual intensifica la acción erosiva y genera canales o tubificación. Otro fenómeno que se puede presentar es el afloramiento de agua subsuperficial en los taludes, generando tubificación, en este caso es recomendable la implementación de trincheras drenantes con gaviones, las cuales controlan el flujo y brindan estabilidad al talud.
- **Erosión cárcavas:** Empieza con una erosión concentrada que va generando surcos y cárcavas. Es recomendable utilizar obras transversales de control de erosión, con la reconfiguración de taludes, sistema de drenaje superficial y revegetalización.

Existen diversos tipos de intervención para el control de erosión. El uso de vegetación en la restauración de taludes se utiliza con el objetivo de controlar la erosión y aumentar la seguridad en la zona, sin embargo, debido a la interacción de múltiples factores (e.g. biológicos, hidrológicos, mecánicos) su diseño debe considerar un manejo apropiado que favorezca el proceso natural de sucesión: por ejemplo, tener en cuenta que no es recomendable plantar una sola especie, sino una sucesión de variedades (Suárez J. , 2009). De otro lado, el concepto de estabilización biotecnológica de taludes es comúnmente aplicado y considera el uso conjunto de vegetación y elementos estructurales como sistema de protección contra fenómenos de erosión, por ejemplo:

- el empleo de vegetación convencional, es decir la siembra por semillas estolones o macetas
- el uso de plantas maderables como refuerzo mediante estacas vivas y colchones de maleza
- Estructuras con vegetación: gaviones, estructuras de llantas usadas, muros criba, geomallas, revestimientos sintéticos.

Para los trabajos de revegetación a menudo es necesario aportar tierras para cubrir los suelos contaminados y sostener las nuevas plantas. Además, es esencial supervisar el crecimiento de la vegetación periódicamente y tomar medidas cuando: la vegetación no está sana, necesita un trabajo

suplementario o necesita protección. El seguimiento se debe hacer durante varios años hasta que se garantice una revegetación sostenible.

El drenaje superficial por su parte tiene el objetivo de mejorar la estabilidad del talud reduciendo la infiltración y evitando la erosión, mientras que el perfilado de talud busca mejorar la estabilidad al reducir la pendiente de los taludes (Suárez J. , 2009). Otras medidas incluyen el uso de trincheras drenantes y obras transversales (canales, zanjas, diques, entre otros) que recolectan la escorrentía y la conducen de forma lateral alejándolo del talud o la zona que no debería infiltrarse con agua (Suárez, 2001).

### Disposición de materiales

Existen varios escenarios bajo los cuales la disposición de materiales conlleva riesgos físicos relacionados con la inestabilidad del suelo y sus efectos sobre la contaminación de suelo y de fuentes hídricas, por ejemplo (MME y UNAL, 2014):

- Zonas de conformación de rellenos: es probable que ocurran en grandes explotaciones a cielo abierto, donde se disponen los estériles en zonas previamente excavadas con el fin de recuperar la terraza aluvial donde se realiza la explotación. Generalmente, para el manejo de este tipo de rellenos es recomendable seguir las pautas de taludes inestables y erosión.
- Áreas donde se disponen acopios de material estéril: ocurre cuando se depositan dentro del área minera sin ningún control técnico, requiriendo medidas de intervención como recoger el material y emplearlo como relleno, o su adecuada disposición de manera técnica. El primero consiste en recolectar y emplear este material para el sellamiento de excavaciones mientras que el segundo corresponde a su recolección y disposición en zonas de botadero autorizadas (MME y UNAL, 2014).
- Acopios de material: resultantes de procesos de excavación sobre el lecho mayor del cauce que requieren medidas de intervención para la reconformación morfológica del cauce (como se discute más adelante).

### Inundaciones de cauces o lechos aluviales

Los depósitos aluviales se originan por el arrastre de sedimentos y minerales de alta densidad, que provienen de fuentes rocosas o depósitos preexistentes, los cuales se depositan en lechos o cauces de ríos (en el cauce activo, cauce mayor, llanuras aluviales, terrazas aluviales, diques aluviales, entre otros) (MME y UNAL, 2014). Los principales riesgos asociados a las inundaciones de cauces o lechos aluviales son la afectación de suelos productivos, pérdidas materiales y humanas, contaminación de fuentes hídricas superficiales y subterráneas, contaminación de suelo y la degradación de ecosistemas.

Es usual que en estas zonas se lleven a cabo actividades de minería, debido a la presencia de minerales aluviales explotables (oro, rodio, plata, platino y paladio) y arenas negras como la titania, casiterita, magnetita, entre otros), empleando métodos artesanales como el uso de bateas, métodos mecanizados como el uso de dragas y equipos de separación simultánea de minerales, y el uso de retroexcavadoras, palas mecánicas y equipo pesado instalado en el lecho mayor del río (MME y UNAL, 2014).

Las medidas de intervención se enfocan hacia la recuperación geomorfológica del lecho mayor para restaurar su condición normal, así como el relleno de piscinas con el mismo material aluvial acumulado en las excavaciones previas al nivel del terreno original. Para cauces sedimentados y lechos perdidos es recomendable dragar el lecho según su geometría. En el caso de que el lecho este perdido por una longitud considerable se debería revisar por medio de mapas históricos su recorrido (MME y UNAL, 2014).

- **Restauración geomorfológica**

En el caso de minería aluvial, las medidas de intervención desde un punto de vista geomorfológico están enfocadas a su restauración geomorfológica del lecho mayor y cauce activo estableciendo su condición normal (MME y UNAL, 2014). La restauración geomorfológica busca intervenir un cuerpo de agua para llevarlo directamente hasta la forma deseada, teniendo en cuenta que el lecho de la fuente hídrica sería reconstruido de acuerdo con un diseño que correspondería a su “condición natural”, o devolver al ecosistema degradado a una condición que lo aproxime a su “potencial natural remanente” (Elliott, 2010). Algunas medidas de restauración geomorfológica se describen en la **Error! Reference source not found.**

**Tabla 38.**

Medidas de restauración geomorfológica

Obras	Descripción
Control de la erosión acelerada	El sedimento es el principal contaminante de un cuerpo hídrico, y la erosión en sí misma aporta una gran cantidad de sedimentos, generando la disminución de la capacidad de retención de agua en una cuenca en general, lo cual puede conllevar a acelerar la escorrentía superficial y por lo tanto las inundaciones (Hey, 2001 citado por Elliott, 2010).
Manejo forestal	Garantizar una cubierta vegetal alrededor del ecosistema fluvial, dado que proveen múltiples servicios como la retención del agua, contienen el impacto de las gotas de lluvia y retienen los escurrimientos superficiales favoreciendo el desarrollo de suelos, aportando oxígeno y humedad a la atmosfera, etc.
Control de inundaciones	Como alternativa es posible inundar deliberadamente ciertas zonas aledañas con el objetivo de reducir picos aguas abajo, después de la crecida estas aguas se liberan gradualmente.
Remoción de obras de regulación y contención de canales	Consiste en el dragado periódico dentro del cauce de río para el manejo de sedimentos.
Refuerzos de la vegetación ribereña natural	Tienen el objetivo de aumentar su resistencia del cauce del río y protegerlo ante la fuerza del agua
Refuerzo de las márgenes utilizando técnicas de restauración “blandas” y “duras”	Las técnicas blandas utilizan materiales biodegradables que se integran posteriormente a los suelos, se dividen en dos categorías: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aquellas que introducen estacas en la ribera, ya sea de madera muerta o estacas vivas de rápido crecimiento, para desarrollar una trama protectora de ramas, o para resaltos perpendiculares a la pendiente.</li> </ol>

Obras	Descripción
	<p>2. Aquellas que revisten las orillas con mallas geotextiles, porosas pero resistentes. Los geotextiles protegen los suelos aportando resistencia mecánica, de igual forma permiten un adecuado drenaje.</p> <p>Las estrategias blandas son económicamente viables, sin embargo, requieren tiempo y mano de obra para su aplicación. Son apropiadas donde la potencia específica del río no es demasiado alta y las instalaciones puedan perdurar.</p> <p>Las estrategias duras se aplican en zonas de alta energía, donde las riberas puedan revestirse en hormigón o cubrirse con rocas. De igual forma, se pueden mezclar las opciones, incluyendo rocas, estacas vivas y vegetación.</p>
Defensas fluviales contra inundaciones	Es recomendable instalarlas lo más alejadas del canal para que sea una estrategia ambientalmente amigable. Otra estrategia es la instalación de bermas laterales mejorando la interacción entre las aguas superficiales y subterráneas, sin embargo, requiere mantenimiento debido a la sedimentación y vegetación

**Fuente:** Adaptado de Elliot (2010)

- **Relleno de piscinas**

En las actividades mineras se generan piscinas en el área de trabajo, por lo que una medida de intervención consiste en rellenar las piscinas con el mismo material aluvial acumulado de las excavaciones al nivel del terreno original remanente, de manera que se guarde la proporción original y se garantice la estabilidad de la zona para no generar un impacto mayor (MME y UNAL, 2014).

- **Dragado del lecho**

El dragado es la excavación subacuática del suelo y roca, y entre los principales objetivos de su aplicación están la navegación, por ejemplo, cuando se requiere para crear o ampliar puertos; la construcción de rellenos para extraer materiales de construcción como arena, grava, concha y arcilla; la regeneración de playas mediante la extracción de material de relleno para su protección y reposición. El dragado también se emplea en la recuperación ambiental a través de la eliminación o remediación de contaminantes subacuáticos y la prevención de inundaciones mediante la mejora o mantenimiento de descargas fluviales, la capacidad de caudal de los ríos, canales y/o aguas navegables (Asociación Internacional de Empresas de Dragado -IADC-, 2010).

Para los cauces sedimentados y los lechos perdidos por procesos de minería lo recomendable es dragar el lecho estableciendo la geometría y el mismo nivel de base del cauce antes y después de la afectación por sedimentación minera. Cuando el cauce se pierde por una longitud muy amplia su nueva es probable que se requiera establecer uno nuevo considerando un mapa de frecuencia de cauces histórico (MME y UNAL, 2014).

### **Drenaje ácido**

Los drenajes ácidos son uno de los principales impactos generados en la minería de metales, los cuales se forman a partir de la oxidación de sulfuros metálicos, especialmente los de hierro como la pirita ( $\text{FeS}_2$ ) en presencia de oxígeno atmosférico y agua (Chaparro, 2015). Es importante la adecuada caracterización del drenaje para el diseño de las medidas de intervención teniendo en cuenta parámetros como (MME y UNAL, 2014):

- Rangos de pH
- Contenido de metales disueltos en el agua
- Contenido de oxígeno disuelto en el agua
- Alcalinidad
- Acidez
- Caudal
- Topografía de lugar

El objetivo de las medidas de intervención para drenajes ácidos es reducir las concentraciones de metales, acidez, sulfatos, salinidad y elevar el pH, y se pueden clasificar en sistemas pasivos y sistemas activos: los pasivos buscan emular procesos químicos, físicos y biológicos que ocurren en sistemas naturales equivalentes, mientras que los activos buscan intensificar algunos de estos procesos, pero requieren mayor mantenimiento y supervisión, consumo energético, insumos, etc. (Chaparro, 2015). Entre estos se encuentran los Drenajes abiertos de piedra caliza, los Drenajes anóxicos sobre caliza, los humedales construidos o artificiales y los sistemas productores continuos de alcalinidad.

- **Drenajes abiertos de piedra caliza**

Los drenajes abiertos de piedra caliza consisten en la construcción de un sistema de canales abiertos que neutraliza los drenajes ácidos y favorece la precipitación de metales como óxidos metálicos. Se caracterizan por ser sistemas de bajo costo operativo, aunque si deben tener un mantenimiento frecuente para una mayor efectividad y vida útil (Skousen, 2002 citado por MME y UNAL, 2014).

- **Drenajes anóxicos sobre caliza**

En estos sistemas el drenaje ácido se hace pasar por un lecho de caliza en condiciones anóxicas y habitualmente se utilizan cuando el drenaje ácido es originario de bocaminas profundas con bajo pH y niveles limitados de hierro, y en cambio no es recomendable para drenajes con contenidos elevados de hierro o aluminio, dado que la precipitación puede producir hidróxidos que tapan los poros de la caliza perjudicando al sistema; son además sistemas económicos debido a que puede ser construida dentro de la mina o zonas con pendientes variables (Sánchez y Ferreira, 2001 citado por MME y UNAL, 2014).

- **Humedales construidos**

Son ecosistemas complejos que simulan varios de los procesos fisicoquímicos y biológicos que ocurren en humedales naturales y se caracterizan por tener un medio (suelo) saturado de agua y, en algunos casos, especies vegetales con la capacidad de mejorar la calidad del agua por medio de procesos mediados por

el medio, las plantas y microorganismos (MME y UNAL, 2014). Existen dos tipos de humedales, los aeróbicos y los anaeróbicos, en los primeros los tratamientos se basan principalmente en procesos de oxidación e hidrólisis, mientras que en los humedales anaeróbicos además de la oxidación e hidrólisis ocurren procesos de reducción microbiana y química que permiten la neutralización del ácido y la precipitación de metales como sulfuros, hidróxidos o carbonatos (Sánchez y Ferreira, 2001 citado por MME y UNAL, 2014).

- **Sistemas productores continuos de alcalinidad**

Estos sistemas combinan características de los humedales y los drenajes anóxicos de caliza, por ejemplo, pasando los efluentes por drenajes de flujo superficial que contienen caliza y un sustrato orgánico, haciendo que los metales precipiten como óxidos y complejos carbonatados (MME y UNAL, 2014).

- **Barreras reactivas permeables**

Es común en áreas montañosas y consiste en la instalación de un material permeable en dirección de la corriente del drenaje ácido, antes de que entre en contacto con el recurso hídrico (MME y UNAL, 2014).

## ANEXO 5 RESULTADOS DE LAS JORNADAS DE CAMPO Y LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO.

**Tabla 39.**

Resultados de medición de contaminantes en campo vs análisis de laboratorio

ID Muestra	Matriz	Campo (ppm)				Laboratorio (ppm)			
		Hg	Pb	Cd	As	Hg	Pb	Cd	As
<b>ZONA 01 (Acceso por Istmina)</b>									
Z01M001EA	Sedimentos	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z01M001SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z01M001AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z01M006SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z01M007SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z01M003EA	Sedimentos	ND	10	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z01M013SA	Suelo	ND	7	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z01M015SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z01M017SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z01M019SA	Suelo	ND	6	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z01M004EA	Sedimentos	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z01M023SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z01M004AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z01M001AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z01M001SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z01M004SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z01M006SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z01M002EB	Sedimentos	ND	6,9	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z01M008SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z01M010SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z01M015SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z01M019SB	Suelo	14	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z01M021SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z01M023SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z01M003AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
<b>ZONA 02 (Acceso por Istmina)</b>									
Z02M003SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z02M016SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z02M021SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z02M027SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z02M003EA	Sedimentos	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z02M029SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z02M031SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z02M033SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z02M003AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z02M034SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z02M002SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z02M001EA	Sedimentos	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z02M001AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z02M004SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z02M001EB	Sedimentos	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z02M005SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z02M006SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5



El ambiente  
es de todos

Minambiente



ID Muestra	Matriz	Campo (ppm)				Laboratorio (ppm)			
		Hg	Pb	Cd	As	Hg	Pb	Cd	As
Z02M009SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z02M015SB	Suelo	ND	ND	16	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z02M017SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z02M018SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z02M021SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z02M002AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z02M024SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z02M026SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z02M033SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
<b>ZONA 03 (Acceso por Unión Panamericana)</b>									
Z03M008SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M009SA	Suelo	ND	9	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M010SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M011SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M002AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z03M012SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M002EA	Sedimentos	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,50
Z03M013SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M014SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M015SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M016SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M017SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M003AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z03M018SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M019SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M020SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M021SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M022SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M023SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M003EA	Sedimentos	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,50
Z03M001SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M001AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z03M003SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M004SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M001EB	Sedimentos	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,50
Z03M005SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M006SB	Suelo	ND	7	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M007SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M002EB	Sedimentos	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,50
Z03M008SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M010SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M009SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M011SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M013SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M014SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M015SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M016SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M018SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M017SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5



El ambiente  
es de todos

Minambiente



ID Muestra	Matriz	Campo (ppm)				Laboratorio (ppm)			
		Hg	Pb	Cd	As	Hg	Pb	Cd	As
Z03M003EB	Sedimentos	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,50
Z03M019SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M020SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M021SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M022SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M023SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M001AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z03M002AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z03M003AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z03M002SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M012SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M001SA	Suelo	ND	ND	ND	12	<1	<50	<10	<0,5
Z03M002SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M003SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M004SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M005SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M006SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z03M001EA	Sedimentos	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,50
Z03M007SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
<b>ZONA 04 (Acceso por Cantón de San Pablo)</b>									
Z04M005SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M006SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M007SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M008SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M009SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M010SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M011SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M012SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M013SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M002EA	Sedimentos	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,50
Z04M014SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M003EA	Sedimentos	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,50
Z04M015SA	Suelo	ND	ND	ND	6,2	<1	<50	<10	<0,5
Z04M016SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M017SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M018SA	Suelo	ND	8	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M019SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M020SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M021SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M022SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M023SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M024SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M025SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M003AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z04M001SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M001EB	Sedimentos	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,50
Z04M002SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M001AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z04M003SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5



El ambiente  
es de todos

Minambiente



ID Muestra	Matriz	Campo (ppm)				Laboratorio (ppm)			
		Hg	Pb	Cd	As	Hg	Pb	Cd	As
Z04M004SB	Suelo	ND	7	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M005SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M006SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M002EB	Sedimentos	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,50
Z04M007SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M002AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z04M008SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M009SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M010SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M011SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M012SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M013SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M014SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M015SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M016SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M017SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M018SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M019SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M003AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z04M020SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M021SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M022SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M023SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M024SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M004AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z04M025SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M026SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M003EB	Sedimentos	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,50
Z04M001SA	Suelo	ND	9	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M001AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z04M002SA	Suelo	ND	ND	ND	8,8	<1	<50	<10	<0,5
Z04M003SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M001EA	Sedimentos	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,50
Z04M004SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z04M002AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
<b>ZONA 05 (Acceso por Istmina)</b>									
Z05M001SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z05M001AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z05M001EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z05M009SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z05M011SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z05M013SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z05M015SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z05M019SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z05M020SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z05M022SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z05M005EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z05M026SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z05M028SA	Suelo	ND	ND	ND	6,2	<1	<50	<10	<0,5



El ambiente  
es de todos

Minambiente



ID Muestra	Matriz	Campo (ppm)				Laboratorio (ppm)			
		Hg	Pb	Cd	As	Hg	Pb	Cd	As
Z05M031SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z05M002EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z05M001SB	Suelo	ND	8	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z05M001AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z05M001EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z05M003SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z05M006SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z05M008SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z05M010SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z05M016SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z05M004EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z05M025SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z05M005AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z05M026SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z05M029SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
<b>ZONA 06 (Acceso por Unión Panamericana)</b>									
Z06M001SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M001AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z06M002SA	Suelo	ND	7	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M001EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z06M003SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M004SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M002EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z06M002AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z06M005SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M006SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M003AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z06M007SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M008SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M009SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M010SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M011SA	Suelo	ND	ND	ND	6,4	<1	<50	<10	<0,5
Z06M003EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z06M012SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M013SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M014SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M015SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M016SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M017SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M018SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M004EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z06M019SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M020SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M004AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z06M021SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M022SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M023SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M005EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z06M024SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5



El ambiente  
es de todos

Minambiente



ID Muestra	Matriz	Campo (ppm)				Laboratorio (ppm)			
		Hg	Pb	Cd	As	Hg	Pb	Cd	As
Z06M025SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M026SA	Suelo	ND	ND	ND	7,4	<1	<50	<10	<0,5
Z06M005AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z06M001SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M002SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M003SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M004SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M001EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z06M001AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z06M005SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M006SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M007SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M008SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M002AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z06M002EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z06M009SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M010SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M011SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M012SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M013SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M014SB	Suelo	11	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M003EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z06M015SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M003AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z06M016SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M017SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M004EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z06M018SB	Suelo	ND	ND	ND	8	<1	<50	<10	<0,5
Z06M004AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z06M019SB	Suelo	ND	9	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M020SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M021SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M005AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z06M022SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M005EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z06M023SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M024SB	Suelo	ND	10	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M025SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z06M026SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
<b>ZONA 07 (Acceso por Cantón de San Pablo)</b>									
Z07M001SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M001AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z07M002SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M002AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z07M003SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M004SA	Suelo	ND	ND	ND	5,7	<1	<50	<10	<0,5
Z07M005SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M002EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z07M006SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5



El ambiente  
es de todos

Minambiente



ID Muestra	Matriz	Campo (ppm)				Laboratorio (ppm)			
		Hg	Pb	Cd	As	Hg	Pb	Cd	As
Z07M007SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M008SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M009SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M010SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M011SA	Suelo	ND	ND	ND	6,3	<1	<50	<10	<0,5
Z07M003AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z07M003EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z07M012SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M013SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M014SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M001AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z07M015SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M016SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M017SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M018SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M019SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M004EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z07M020SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M004AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z07M001SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M001EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z07M002SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M003SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M004SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M005SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M006SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M007SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M008SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M002EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z07M009SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M003EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z07M010SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M003AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z07M011SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M004EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z07M012SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M013SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M014SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M015SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M004AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z07M016SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M017SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M018SB	Suelo	ND	ND	ND	7	<1	<50	<10	<0,5
Z07M019SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M020SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z07M001EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z07M002AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
<b>ZONA 08 (Acceso por Cantón de San Pablo)</b>									
Z08M001SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5



El ambiente  
es de todos

Minambiente



ID Muestra	Matriz	Campo (ppm)				Laboratorio (ppm)			
		Hg	Pb	Cd	As	Hg	Pb	Cd	As
Z08M001AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z08M001EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z08M002SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M003SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M002AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z08M004SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M005SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M002EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z08M006SA	Suelo	ND	ND	ND	7	<1	<50	<10	<0,5
Z08M007SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M008SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M003AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z08M009SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M010SA	Suelo	ND	ND	ND	8	<1	<50	<10	<0,5
Z08M011SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M012SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M013SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M014SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M015SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M016SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M017SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M003EA	Sedimento	ND	ND	ND	5,7	<1	<30	<5	<0,5
Z08M018SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M019SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M004AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z08M020SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M021SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M022SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M023SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M024SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M025SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M026SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M027SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M028SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M029SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M030SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M031SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M032SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M033SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M034SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M035SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M036SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M001SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M002SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M003SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M001EB	Sedimento	ND	ND	ND	7,4	<1	<30	<5	<0,5
Z08M004SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M005SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M006SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5



El ambiente  
es de todos

Minambiente



ID Muestra	Matriz	Campo (ppm)				Laboratorio (ppm)			
		Hg	Pb	Cd	As	Hg	Pb	Cd	As
Z08M007SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M008SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M001AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z08M009SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M010SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M011SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M012SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M002EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z08M013SB	Suelo	ND	ND	ND	7,6	<1	<50	<10	<0,5
Z08M014SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M015SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M016SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M017SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M018SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M003EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z08M019SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M020SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M021SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M022SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M003AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z08M023SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M024SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M025SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M026SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M004EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z08M027SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M028SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M029SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M030SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M031SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M032SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M033SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M034SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M035SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M036SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M002AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z08M037SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M038SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M005AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z08M039SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M004EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z08M040SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M041SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M042SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M043SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M044SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M005EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z08M045SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M046SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5



El ambiente  
es de todos

Minambiente



ID Muestra	Matriz	Campo (ppm)				Laboratorio (ppm)			
		Hg	Pb	Cd	As	Hg	Pb	Cd	As
Z08M047SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M048SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M049SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M050SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M051SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M052SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M053SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M006EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z08M054SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M006AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z08M055SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M056SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M057SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M058SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M007EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z08M059SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M060SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M061SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M007AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z08M062SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M063SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M064SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M065SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M066SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M004AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z08M005EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z08M037SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M038SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M039SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M040SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M041SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M042SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M043SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M044SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M045SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M006EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z08M046SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M047SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M048SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M049SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M050SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M051SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M052SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M053SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M005AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z08M054SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M055SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M056SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M057SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5



El ambiente  
es de todos

Minambiente



ID Muestra	Matriz	Campo (ppm)				Laboratorio (ppm)			
		Hg	Pb	Cd	As	Hg	Pb	Cd	As
Z08M058SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M059SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M006AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z08M060SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M061SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M062SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M007EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z08M063SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M064SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M065SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z08M007AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z08M066SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
ZONA 09 (Acceso por Unión Panamericana)									
Z09M001EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z09M001SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M002EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z09M002SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M003EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z09M003SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M004SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M005SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M006SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M007SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M008SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M009SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M010SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M009SB	Suelo	ND	ND	ND	6,8	<1	<50	<10	<0,5
Z09M003AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z09M001SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M002SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M003SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M001EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z09M029SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M030SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M031SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M032SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M033SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M001AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z09M034SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M035SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M036SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M037SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M038SA	Suelo	ND	ND	ND	6	<1	<50	<10	<0,5
Z09M039SA	Suelo	ND	ND	ND	5,6	<1	<50	<10	<0,5
Z09M040SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M041SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M042SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M043SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M044SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5



El ambiente  
es de todos

Minambiente



ID Muestra	Matriz	Campo (ppm)				Laboratorio (ppm)			
		Hg	Pb	Cd	As	Hg	Pb	Cd	As
Z09M026SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M027SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M028SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M029SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M004AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z09M030SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M031SB	Suelo	ND	8	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M032SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M033SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M034SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M035SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M036SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M037SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M038SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M039SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M012SA	Suelo	ND	ND	ND	8	<1	<50	<10	<0,5
Z09M013SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M014SA	Suelo	ND	ND	ND	7	<1	<50	<10	<0,5
Z09M015SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M016SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M017SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M018SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M019SA	Suelo	ND	ND	ND	5,9	<1	<50	<10	<0,5
Z09M020SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M021SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M022SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M023SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M024SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M025SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M026SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M027SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M028SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M005AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z09M040SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M041SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M042SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M043SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M044SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M045SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M046SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M047SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M048SB	Suelo	ND	7	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M049SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M050SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M051SB	Suelo	ND	ND	ND	8,5	<1	<50	<10	<0,5
Z09M052SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M053SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M054SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M055SB	Suelo	ND	10	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5



El ambiente  
es de todos

Minambiente



ID Muestra	Matriz	Campo (ppm)				Laboratorio (ppm)			
		Hg	Pb	Cd	As	Hg	Pb	Cd	As
Z09M056SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M057SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M058SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M059SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M002EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z09M004SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M005SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M006SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M007SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M008SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z09M003EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z09M001AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z09M002AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z09M011SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
<b>ZONA 10 (Acceso por Cértegui)</b>									
Z10M001SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z10M001EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z10M002SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z10M003SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z10M002EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z10M004SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z10M005SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z10M006SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z10M001AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z10M007SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z10M008SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z10M009SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z10M003EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z10M010SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z10M011SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z10M001SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z10M001AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z10M002SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z10M003SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z10M004SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z10M005SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z10M001EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z10M012SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z10M002AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z10M004EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z10M003AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z10M013SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z10M006SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z10M002AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z10M002EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z10M007SB	Suelo	ND	ND	ND	8,4	<1	<50	<10	<0,5
Z10M003AB	Agua	ND	ND	ND	ND	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
<b>ZONA 11 (Acceso por Cantón de San Pablo)</b>									
Z11M032SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5



El ambiente  
es de todos

Minambiente



ID Muestra	Matriz	Campo (ppm)				Laboratorio (ppm)			
		Hg	Pb	Cd	As	Hg	Pb	Cd	As
Z11M033SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M034SA	Suelo	ND	ND	ND	6,4	<1	<50	<10	<0,5
Z11M035SA	Suelo	ND	ND	ND	8,2	<1	<50	<10	<0,5
Z11M036SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M004EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z11M037SA	Suelo	ND	7	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M038SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M039SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M040SA	Suelo	ND	ND	ND	7	<1	<50	<10	<0,5
Z11M041SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M042SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M043SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M044SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M005AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z11M021SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M022SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M003EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z11M003AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z11M023SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M024SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M025SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M026SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M027SB	Suelo	ND	8	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M004AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z11M028SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M029SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M030SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M031SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M032SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M001SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M002SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M003SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M001EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z11M004SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M005SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M006SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M007SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M008SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M009SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M010SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M011SA	Suelo	ND	ND	ND	8	<1	<50	<10	<0,5
Z11M012SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M002AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z11M013SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M014SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M015SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M016SA	Suelo	ND	ND	ND	7,3	<1	<50	<10	<0,5
Z11M017SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M018SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5



El ambiente  
es de todos

Minambiente



ID Muestra	Matriz	Campo (ppm)				Laboratorio (ppm)			
		Hg	Pb	Cd	As	Hg	Pb	Cd	As
Z11M019SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M002EA	Sedimento	ND	ND	ND	8	<1	<30	<5	<0,5
Z11M020SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M001AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z11M001SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M002SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M003SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M004SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M005SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M006SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M007SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M008SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M001EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z11M009SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M010SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M011SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M002AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z11M012SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M013SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M014SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M015SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M016SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M017SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M018SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M019SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M002EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z11M020SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M021SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M003EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z11M003AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z11M022SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M023SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M024SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M025SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M026SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M027SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M028SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M004AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z11M029SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M030SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M031SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M033SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M034SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M004EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z11M035SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M036SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M037SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M038SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M039SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5



El ambiente  
es de todos

Minambiente



ID Muestra	Matriz	Campo (ppm)				Laboratorio (ppm)			
		Hg	Pb	Cd	As	Hg	Pb	Cd	As
Z11M040SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M005AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z11M041SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M042SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M043SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z11M044SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
<b>ZONA 12 (Acceso por Río Quito)</b>									
Z12M007AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z12M051SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M052SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M008AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z12M053SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M054SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M007EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z12M055SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M056SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M057SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M058SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M059SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M060SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M061SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M062SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M009AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z12M008EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z12M063SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M010AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z12M064SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M065SA	Suelo	13	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M066SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M067SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M068SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M069SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M070SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M071SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M072SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M012AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z12M011AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z12M073SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M012EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z12M013AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z12M074SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M075SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M076SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M077SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M078SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M079SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M080SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M081SA	Suelo	16	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M082SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5



El ambiente  
es de todos

Minambiente



ID Muestra	Matriz	Campo (ppm)				Laboratorio (ppm)			
		Hg	Pb	Cd	As	Hg	Pb	Cd	As
Z12M083SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M084SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M014AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z12M085SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M086SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M087SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M088SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M089SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M090SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M091SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M092SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M015AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z12M093SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M094SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M095SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M096SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M098SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M097SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M099SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M100SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M101SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M102SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M103SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M104SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M105SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M051SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M010EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z12M052SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M053SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M054SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M055SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M056SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M058SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M059SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M012EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z12M057SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M060SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M013EB	Sedimento	ND	7	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z12M061SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M062SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M063SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M064SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M014EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z12M065SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M066SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M067SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M068SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M069SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M070SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5



El ambiente  
es de todos

Minambiente



ID Muestra	Matriz	Campo (ppm)				Laboratorio (ppm)			
		Hg	Pb	Cd	As	Hg	Pb	Cd	As
Z12M071SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M072SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M015EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z12M073SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M074SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M075SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M012AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z12M076SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M077SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M078SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M079SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M080SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M081SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M082SB	Suelo	ND	ND	ND	6,2	<1	<50	<10	<0,5
Z12M083SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M084SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M085SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M086SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M087SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M088SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M089SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M090SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M091SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M092SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M093SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M094SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M095SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M096SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M097SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M098SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M099SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M001SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M002SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M003SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M001EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z12M004SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M005SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M002AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z12M006SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M007SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M008SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M009SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M010SA	Suelo	ND	7	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M011SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M012SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M013SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M001AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z12M014SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M015SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5



El ambiente  
es de todos

Minambiente



ID Muestra	Matriz	Campo (ppm)				Laboratorio (ppm)			
		Hg	Pb	Cd	As	Hg	Pb	Cd	As
Z12M016SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M017SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M018SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M019SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M020SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M021SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M022SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M023SA	Suelo	ND	8	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M024SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M025SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M026SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M027SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M028SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M029SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M030SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M031SA	Suelo	ND	13	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M032SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M033SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M034SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M035SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M003AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z12M036SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M037SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M038SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M039SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M040SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M004EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z12M041SA	Suelo	ND	ND	ND	7	<1	<50	<10	<0,5
Z12M042SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M043SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M044SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M006EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z12M004AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z12M045SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M046SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M005AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z12M047SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M048SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M049SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M050SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M006AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z12M001SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M002SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M003SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M001AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z12M004SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M005SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M006SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M007SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5



El ambiente  
es de todos

Minambiente



ID Muestra	Matriz	Campo (ppm)				Laboratorio (ppm)			
		Hg	Pb	Cd	As	Hg	Pb	Cd	As
Z12M002EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z12M008SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M009SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M010SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M011SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M002AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z12M003AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z12M012SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M013SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M014SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M015SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M016SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M017SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M018SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M020SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M019SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M021SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M022SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M023SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M024SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M004AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z12M025SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M005EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z12M035SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M006AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z12M009EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z12M040SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M007AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z12M046SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M047SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z12M008AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z12M011EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z12M100SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
<b>ZONA 13 (Acceso por Cértegui)</b>									
Z13M001SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M001AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z13M001EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z13M002AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z13M002EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z13M002SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M003EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z13M003SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M004SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M005SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M006SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M007SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M008SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M009SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M010SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5



El ambiente  
es de todos

Minambiente



ID Muestra	Matriz	Campo (ppm)				Laboratorio (ppm)			
		Hg	Pb	Cd	As	Hg	Pb	Cd	As
Z13M011SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M012SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M013SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M014SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M015SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M016SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M017SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M018SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M019SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M020SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M021SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M022SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M023SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M024SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M004EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z13M003AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z13M025SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M026SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M027SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M028SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M029SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M001SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M002SB	Suelo	ND	8	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M003SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M004SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M005SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M006SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M007SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M008SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M009SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M010SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M011SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M012SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M013SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M014SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M015SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M016SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M017SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M018SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M019SB	Suelo	ND	ND	ND	6,7	<1	<50	<10	<0,5
Z13M020SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M021SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M022SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M023SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M024SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M025SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z13M001AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
<b>ZONA 14 (Acceso por Río Quito)</b>									
Z14M001SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5



El ambiente  
es de todos

Minambiente



ID Muestra	Matriz	Campo (ppm)				Laboratorio (ppm)			
		Hg	Pb	Cd	As	Hg	Pb	Cd	As
Z14M002SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M003SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M004SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M010SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M011SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M001EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z14M018SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M019SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M020SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M021SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M022SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M023SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M024SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M025SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M028SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M003EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z14M029SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M030SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M031SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M032SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M033SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M004AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z14M035SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M044SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M045SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M004EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z14M046SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M047SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M048SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M041SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M042SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M043SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M005AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	0,831	0,0039	<0,005
Z14M050SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M055SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M053SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M006AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z14M054SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M007AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z14M059SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M060SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M007EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z14M061SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M062SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M063SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M008EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z14M064SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M065SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M008AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005



El ambiente  
es de todos

Minambiente



ID Muestra	Matriz	Campo (ppm)				Laboratorio (ppm)			
		Hg	Pb	Cd	As	Hg	Pb	Cd	As
Z14M066SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M067SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M068SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M005SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M006SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M007SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M008SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M009SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M012SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M013SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M014SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M015SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M016SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M002AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z14M017SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M002EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z14M026SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M027SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M034SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M036SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M037SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M038SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M039SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M040SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M049SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M051SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M006EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z14M052SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M056SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M057SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M058SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M001AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z14M001SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M002SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M003SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M004SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M005SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M006SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M007SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M008SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M009SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M010SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M001EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z14M002AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z14M011SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M012SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M013SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M014SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M002EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5



El ambiente  
es de todos

Minambiente



ID Muestra	Matriz	Campo (ppm)				Laboratorio (ppm)			
		Hg	Pb	Cd	As	Hg	Pb	Cd	As
Z14M015SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M016SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M003EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z14M017SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M018SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M019SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M020SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M021SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M022SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M023SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M024SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M025SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M026SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M027SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M004EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z14M004AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z14M028SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M029SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M030SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M031SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M005EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z14M032SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M033SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M034SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M035SB	Suelo	ND	18	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M006EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z14M036SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M037SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M038SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M039SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M040SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M041SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M042SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M043SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M044SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M045SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M046SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M047SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M048SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M049SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M050SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M051SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M052SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M068SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z14M008AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z14M007EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z14M008EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z14M003AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z14M005AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005



El ambiente  
es de todos

Minambiente



ID Muestra	Matriz	Campo (ppm)				Laboratorio (ppm)			
		Hg	Pb	Cd	As	Hg	Pb	Cd	As
Z14M006AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z14M007AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
<b>ZONA 15 (Acceso por Río Quito)</b>									
Z15M014SB	Suelo	ND	ND	ND	10	<1	<50	<10	<0,5
Z15M016SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z15M004AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z15M006EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z15M005AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z15M019SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z15M021SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z15M007EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z15M022SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z15M008EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z15M030SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z15M001EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z15M001SA	Suelo	ND	8	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z15M001AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z15M002SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z15M004SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z15M002EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z15M006SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z15M003EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z15M008SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z15M010SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z15M004EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z15M015SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z15M017SA	Suelo	ND	9	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z15M005EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z15M018SA	Suelo	ND	ND	ND	6,3	<1	<50	<10	<0,5
Z15M005AA	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z15M006EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z15M021SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z15M007EA	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z15M026SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z15M028SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z15M029SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z15M030SA	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z15M004SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z15M006SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z15M003AB	Agua	-	-	-	-	<0,001	<0,05	<0,01	<0,005
Z15M010SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z15M001EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5
Z15M011SB	Suelo	ND	ND	ND	ND	<1	<50	<10	<0,5
Z15M002EB	Sedimento	ND	ND	ND	ND	<1	<30	<5	<0,5

**Elaboró:** Corporación Bioparque, 2022.

**Fuente:** INAMCON SAS, MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S, CIAN LTDA, 2022.

## ANEXO 6

**Tabla 40.**

Técnicas para la restauración de la estructura física de los bancos de los ríos

TÉCNICA	DESCRIPCIÓN	APLICACIÓN
Estacas vivas	Cortes leñosos vivos colocados al interior del suelo, las raíces que crecen forman un tapete viviente que estabiliza el suelo y envuelve las partículas por extracción de la humedad.	Efectiva en los sitios donde las condiciones no son complicadas, su tiempo de construcción es limitado y no es un método costoso. Es apropiado para reparar pequeñas caídas y deslizos de tierra frecuentemente húmedos.
Fajinas vivas	Cortes de ramas en dormancia unidos en manojo y colocados en zanjas superficiales sobre las pendientes, para reducir erosión y deslizamientos superficiales.	Pueden atrapar y mantener el suelo en los bancos, creando estructuras pequeñas con forma de represa y reduciendo la longitud de la pendiente en una serie de pendientes pequeñas.
Refuerzo de leños, fajo de raíces y cantos rodados	Atados de cantos rodados y leños con masas de raíces, ubicados en los bancos para proveer protección contra la erosión, trampas de sedimentos y mejorar la diversidad del hábitat.	Amplia resistencia con atados bien hechos. Adecuado para ríos donde existe deficiencia de hábitat para peces.
Rip-rap	Manto de piedras de tamaño apropiado extendidas desde la punta de una cuesta a una altura necesaria.	Es comúnmente usado para proveer protección al banco en los ríos en los que se necesita durabilidad de largo plazo.
Protección de la punta del banco (bank-toe) con piedra	Cresta de piedra excavada (decantera) o guijarros del río, colocados en la punta del banco como armadura para desviar el flujo del mismo, estabilizar la y promover la deposición de sedimentos.	Debe ser empleada en los ríos donde la vegetación no puede ser usada. Las piedras previenen la remoción de material caído al banco, se acumula allí permitiendo la revegetación y estabilización de este.
Refuerzo de árboles	Fila de árboles interconectados unidos a la punta del banco de un río o en las cabezas muertas para reducir la velocidad del flujo a lo largo de bancos erosionados, proveer trampas de sedimentos y sustratos, para el establecimiento de plantas y control de erosión.	Trabajan mejor en ríos con alturas de banco inferiores a 3,6 m y velocidades con banco lleno inferiores a 1,8 m por segundo. Capturan sedimento y mejoran las condiciones para la colonización por especies nativas, particularmente en ríos con altas cargas de material en el lecho.
Geomallas vegetales	Capas alternadas de cortes de ramas vivas y suelo compacto, ajustadas con geotextil natural o sintético y dispuestas alrededor de suelo levantado para reconstruir y revegetar bancos erosionados.	Establecimiento rápido de la vegetación riparia, si son apropiadamente diseñadas e instaladas. Pueden ser instaladas en una pendiente escarpada y muy alta, tienen muy alta tolerancia inicial a la velocidad del flujo.

**Fuente:** Vargas, Díaz, Reyes y Gómez, 2012.

## Proyecto “Financiamiento adicional para el apoyo a la preparación para REDD+ del Fondo Cooperativo de los Bosques (FCPF) en Colombia”

---



## Anexo 6

**Modelo 1 - instrumento guía de protocolos para la reproducción y manejo de las especies para la remediación rehabilitación y/o restauración de ecosistemas afectados en la cuenca del río Quito.**

Mayo, 2022

Tabla de contenido

<b><u>Información General</u></b> .....	189
<b>a) <u>Elección de las especies</u></b> .....	190
<b>b) <u>Producción de material vegetal nativo</u></b> .....	191
<b>c) <u>Recolección de frutos y siembra de semillas</u></b> .....	192
<b>d) <u>Identificación de áreas</u></b> .....	193
<b>e) <u>Siembra</u></b> .....	193
<b>f) <u>Replacación en fajas o carriles</u></b> .....	194
<b>g) <u>Marcación de individuos vegetales</u></b> .....	194
<b>h) <u>Monitoreo</u></b> .....	195
<b>I. <u>Diámetro (cm)</u></b> .....	195
<b>II. <u>Diámetro de copas (m)</u></b> .....	195
<b>III. <u>Altura (m)</u></b> .....	196
<b>i) <u>Recomendaciones finales</u></b> .....	196
<b>j) <u>Referencias</u></b> .....	197

## Información General

Nombre de la Organización	Corporación BioParque
Nombre de la consultoría	Diseñar un protocolo de remediación, rehabilitación y/o restauración de zonas degradadas por la actividad minera en los bosques de la cuenca de río Quito, a partir de la información obtenida tanto de la recopilación de muestras de metales pesados en la zona como de un diagnóstico ambiental, que contribuya al mejoramiento de los procesos biológicos de los ecosistemas y al desarrollo de las comunidades que los habitan o dependen de la provisión de bienes y servicios ambientales como modelo con énfasis en el cumplimiento de la orden 5 de la Sentencia T-622 de 2016
Número de contrato	Contrato No 199 de 2021
Fecha de presentación del informe	Mayo 2022
Período del Informe	Primero

Informe presentado a:	Fondo Acción / Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
-----------------------	---

## ANEXO 6

### MODELO 1 - INSTRUMENTO GUÍA DE PROTOCOLOS PARA LA REPRODUCCIÓN Y MANEJO DE LAS ESPECIES PARA LA REMEDIACIÓN REHABILITACIÓN Y/O RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS AFECTADOS EN LA CUENCA DEL RIO QUITO.

#### a) Elección de las especies

*Criterios:*

**Espacie Nativa**

**Potencial restaurador de zonas degradadas.**

**Especie aprovechable.**

***Vismia macrophylla* Kunth**, es una especie común en bosques secundarios, donde prolifera después de que se ha cortado la vegetación primaria, construyendo pronto una importante cobertura vegetal que acelera el proceso de restauración natural.

La madera es apreciada para leña, se dice que la savia amarillenta es buena para eliminar las picaduras de mosquitos. Por su follaje tan exuberante y la coloración de los tallos, es recomendable su uso como planta ornamental en parques.

Esta especie también ha sido reportada como colonizadora en zonas degradadas por la minería en bosques pluviales del Chocó (Valois y Martínez. 2017).

**Imagen 1. *Vismia macrophylla* Kunth**



**Fuente:** Valois y Martínez, 2017

**b) Producción de material vegetal nativo**

Para la producción de las plántulas será necesario el establecimiento de un vivero de producción comunitario, el cual garantizará los volúmenes de material vegetal (plántulas) necesarias para la restauración de los ecosistemas afectados; comprar las plántulas para la restauración resulta muy costoso y no garantiza la autenticidad de la especie que se desee sembrar.

El vivero contará con algunas características específicas como: la disponibilidad suficiente de agua, el tamaño y la forma se adecuarán según las necesidades, buen drenaje, capacidad de retener la humedad, la topografía deberá ser plana en caso de que se establezca en el suelo, de no ser así se construirán terrazas de 1mx10m de longitud, ubicadas en lugares cercanos al área lo cual disminuirá costos de transporte. Estas características garantizaran la producción de material vegetal necesario para la aplicación de cada uno de los tratamientos propuestos en este protocolo. teniendo en cuenta las condiciones climáticas y edafológicas de la región para el vivero se pueden construir varias estructuras de camas sobre el nivel del suelo las cuales favorecerán la supervivencia de las plántulas de altas precipitaciones, colocando estacas en las esquinas de la cama, sujetadas con una cuerda resistente, en donde se colocará el tendido de la cama, posteriormente se debe agregar el sustrato para producción vegetal, este debe estar compuesto por: arena, material orgánico certificado, etc., la cama debe tener forma trapezoidal.

La producción del material vegetal se llevará a cabo por germinación de semillas en el vivero, es el método menos complicado y de mayor difusión en el país. Klinger et al. (2012)

**Imagen 2. Vivero Comunitario**



**Fuente:** Vivero comunitario, 2021. Tomado de: <https://natura.org.co/fortalecimiento-de-viveros-comunitarios-como-aliados-de-la-restauracion-del-bosque-seco-tropical/fortalecimiento-de-viveros-comunitarios-como-aliados-de-la-restauracion-del-bosque-seco-tropical-fundacion-natura-1/>

**c) Recolección de frutos y siembra de semillas:**

La recolección del material vegetativo para posterior siembra y germinación se hará de forma manual para evitar mezclarlas con frutos de otros árboles nativos presentes en el lugar (trepar el árbol o sacudimiento manual), luego pasará por un proceso de despulpado (separar la pulpa de la semilla), lavado (la semilla se debe lavar con agua limpia, las veces que sea necesario (no menos de 3 a 4 veces), hasta eliminar todo el mucílago de la semilla), por último el secado que se puede realizar de dos formas (Oreado: se realiza exponiendo la semilla al sol, removiéndola ocasionalmente hasta eliminar el agua superficial de la semilla o secado a la sombra: éste se realiza a la sombra y en lugares bien ventilados. El secado puede durar varios días dependiendo del tamaño de las semillas. Luego de finalizar estos procesos las semillas estarán listas para ser trasladadas al vivero para su germinación.

**Imagen 3. Recolección de frutos**



**Fuente:** Ilustración recolección de frutos, 2022. Tomado de banco de imágenes: [https://es.123rf.com/imagenes-de-archivo/recolectando\\_fruta.html?sti=mmcxomsoxeyypnze66/](https://es.123rf.com/imagenes-de-archivo/recolectando_fruta.html?sti=mmcxomsoxeyypnze66/)

#### d) Identificación de áreas

Por medio de visitas y/o recorridos con los lugareños se realizará la caracterización biológica y la geolocalización de las áreas a intervenir, las zonas para la rehabilitación se escogerán teniendo en cuenta las condiciones ambientales, socioeconómica y donde la cobertura forestal presente mayores índices de afectación.

#### e) Siembra

Para la siembra se tendrá en cuenta una distancia de 10 x 10m, con hoyos a una profundidad de 40 cm aproximadamente. Estas medidas se recomiendan para árboles juveniles, se procederá a poner compost como abono de fondo es una recomendación clave para que el suelo retenga o conserve la humedad.

Al realizar el trasplante de la plántula, se retirará la bolsa para que las raíces tengan contacto directo con la tierra y se cortarán las que estén enrocadas, la plántula se colocará de forma recta en el centro del hoyo y a medida que se agregue la tierra se hará presión para romper las bolsas de aire que se puedan formar y se continuará echando tierra de hasta cubrir completamente el hoyo (García et al., 2018).

Se puede utilizar una vara de madera conocida como tutor para asegurar el correcto crecimiento de la planta. Te recomendamos atarlo con rafia (La rafia es un hilo o cordel de fibra natural, proveniente de una especie de palmas tropicales del género *Raphia*, de grueso estipe, grandes hojas pinnadas, enormes frutos elípticos y a la cual debe su nombre) para no dañar ni cortar el árbol durante su crecimiento. El riego debe ser realizado cada 3 días desde su plantación hasta que empiecen a brotar nuevas hojas, luego se podrá regar entre una o dos veces por semana.

El mejor horario para realizar el riego será temprano por la mañana o al anochecer para evitar que el sol evapore el agua.

El número de plantas por hectáreas se determinará con la siguiente fórmula:

$$N = At/D^2$$

N= número de plantas

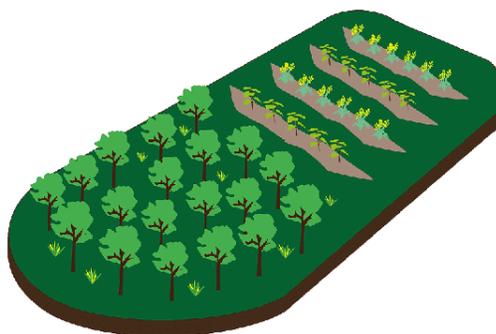
At= área total

D<sup>2</sup>= densidad de siembra

#### f) Repoblación en fajas o carriles.

Este método consiste en la apertura de fajas, carriles o caminos lineales de 2 a 3 metros de ancho a distancias de 10x10. Suelen realizarse acequias de abastecimiento en el exterior superior de las fajas y canales de desagüe en el extremo inferior. Este método es muy recomendado ya que permite respetar aquellas especies arbóreas que se encuentran en el medio natural.

#### Imagen 4. Ilustración del proceso de repoblación en fajas o carriles



**Fuente:** Forestación en fajas, 2022. Tomado de banco de imágenes: <https://www.pngwing.com/es/free-png-plfrt>

#### g) Marcación de individuos vegetales.

Después de sembradas las plantas se realizará la marcación dentro del bosque con cintas de colores fosforescentes para su fácil identificación; también se realizará la georreferenciación o toma de ubicación con GPS de cada individuo, con lo cual se podrá diseñar una base de datos en Excel para tener un registro claro y detallado de cada planta sembrada. Este proceso de marcaje y geolocalización será un insumo necesario para realizar un adecuado monitoreo de las plantas. García et al. (2018)

#### h) Monitoreo

A partir de la cartografía disponible de la zona se establecerán parcelas de monitoreo para conocer el estado de las plantas sembradas en cuanto a crecimiento, desarrollo y supervivencia.

Los criterios a tener en cuenta para hacer el monitoreo son los siguientes:

##### I. Diámetro (cm).

A cada individuo vegetal se le medirá la circunferencia del tallo, con la ayuda de un calibrador (individuos con diámetro  $< 1$  cm, se toma el diámetro mayor y menor, estos se promedian para obtener el diámetro definitivo) y cinta métrica (individuos con diámetro  $\geq 1$  cm), en este último caso se calcula el diámetro dividiendo la circunferencia por  $\pi$  (3.1416). Aguilar y Ramírez (2015).

#### **Imagen 6. Determinación del Diámetro.**

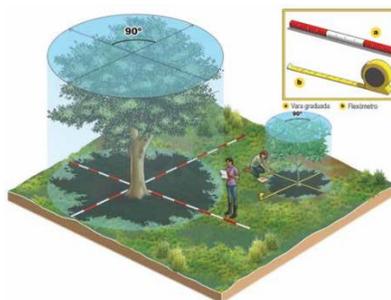


**Fuente:** Tomado de: Aguilar y Ramírez (2015).

##### II. Diámetro de copas (m).

La medición de las copas se realizará con un flexómetro, tomando los extremos de la copa mayor y los extremos ortogonales de esta copa, estos valores se promedian obteniendo el diámetro de copa definitivo. La precisión de medición es el centímetro, por lo tanto, los cálculos se aproximarán al centímetro. Aguilar y Ramírez (2015).

#### **Imagen 7. Ilustración para la determinación del diámetro de copas.**

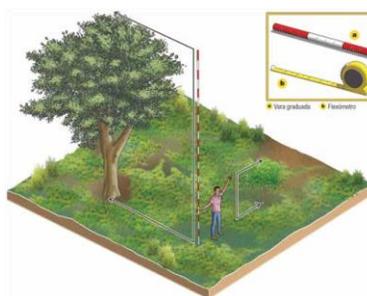


**Fuente:** Tomado de: Aguilar y Ramírez (2015).

### III. Altura (m).

Con un flexómetro se tomará la altura de cada individuo, desde la base hasta la terminación de la rama más apical, a los individuos con alturas superiores a 3 m se les estima la altura con la ayuda de una vara graduada a 1,5 m, o utilizando un hipsómetro. Aguilar y Ramírez (2015).

#### Imagen 8. Ilustración para la determinación de la altura.



**Fuente:** Tomado de: Aguilar y Ramírez (2015).

#### i) Recomendaciones finales

Realizar el proceso de siembra de manera correcta para garantizar un alto porcentaje de supervivencia de las plantas.

Utilizar un buen sistema de marcaje y georreferenciación de las plantas sembradas para no tener inconvenientes a la hora del monitoreo.

Tomar muestras para análisis toxicológicos en materia vegetal para determinar potencial acumulador de la especie.

j) Referencias.

Aguilar-Garavito M. y W. Ramírez (eds.) 2015. Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá D.C., Colombia. 250 pp.

García C. F., Cossio M. H., Ramos P. Y., Vélez Y. j., Rengifo M. J., Palacios LL. J., Aguilar L. Y. 2018. Repoblamiento con especies forestales nativas de importancia comercial, ecológica, ambiental y social en bosques húmedos tropicales (bh-t) del departamento del chocó. Corporación agroambiental del trópico (Cartrópico), Universidad Tecnológica del Chocó “Diego Luis Córdoba”.

Klinger B. W., Ramírez M. G., Bejarano J., Ayala M. H., Lozano A., Vargas P. L., Medina M. F., Rentería R. Y., Moya R. J., Mosquera P. J., Valoyes C. Z., Yair Cuesta R. E., Sofia B. N., Carabali F., Moreno H., Moreno R., Solis C., Arcila R. G. 2012. Protocolo de restauración ecológica de áreas degradadas por minería a cielo abierto de oro y platino en el chocó biogeográfico. Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible convenio 182.

Valois-Cuesta, H. y C. Martínez-Ruiz. 2017. Especies vegetales colonizadoras de áreas perturbadas por la minería en bosques pluviales del Chocó, Colombia. *Biota Colombiana* 18 (1): 88–104. DOI: 10.21068/c2017.v18n01a7

## **Proyecto “Financiamiento adicional para el apoyo a la preparación para REDD+ del Fondo Cooperativo de los Bosques (FCPF) en Colombia”**

---



## Anexo 7

**Modelo 2 - instrumento guía de protocolos para la reproducción y manejo de las especies para la remediación rehabilitación y/o restauración de ecosistemas afectados en la cuenca del río Quito.**

Mayo, 2022

Tabla de contenido

<b><u>Información General</u></b> .....	199
<b><u>a) Elección de las especies</u></b> .....	201
<b><u>b) Obtención de la semilla.</u></b> .....	201
<b><u>c) Almacenamiento.</u></b> .....	201

d) <u>Etapa de semillero</u> .....	201
e) <u>Identificación de áreas</u> .....	202
f) <u>Siembra</u> .....	202
g) <u>Repoblación en fajas o carriles</u> .....	203
h) <u>Marcación de individuos vegetales</u> .....	204
i) <u>Monitoreo</u> .....	204
I. <u>Diámetro (cm)</u> .....	204
II. <u>Diámetro de copas (m)</u> .....	205
III. <u>Altura (m)</u> .....	205
j) <u>Recomendaciones finales</u> .....	206
k) <u>Literatura citada</u> .....	206

## Información General

Nombre de la Organización	Corporación Bioparque
Nombre de la consultoría	Diseñar un protocolo de remediación, rehabilitación y/o restauración de zonas

	degradadas por la actividad minera en los bosques de la cuenca de río Quito, a partir de la información obtenida tanto de la recopilación de muestras de metales pesados en la zona como de un diagnóstico ambiental, que contribuya al mejoramiento de los procesos biológicos de los ecosistemas y al desarrollo de las comunidades que los habitan o dependen de la provisión de bienes y servicios ambientales como modelo con énfasis en el cumplimiento de la orden 5 de la Sentencia T-622 de 2016
Número de contrato	Contrato No 199 de 2021
Fecha de presentación del informe	Mayo 2022
Período del Informe	Primero
Informe presentado a:	Fondo Acción / Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

#### ANEXO 7

MODELO 2 INSTRUMENTO GUÍA DE PROTOCOLOS PARA LA REPRODUCCIÓN Y MANEJO DE LAS ESPECIES PARA LA REMEDIACIÓN REHABILITACIÓN Y/O RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS AFECTADOS EN LA CUENCA DEL RIO QUITO.

#### a) Elección de las especies

*Criterios:*

**Nativa**

**Potencial remediador**

**Especie aprovechable.**

***Capsicum annuum*** es un ají o pimiento, también conocido como chile tiene su origen en Latino América, es el insumo fundamental de la gastronomía andina. Es usado para combatir los dolores producidos por la artritis reumatoide y osteoartritis, también es usado para combatir la parasitosis intestinal, se puede aplicar las hojas con aceite sobre los abscesos abiertos, gracias al contenido de capsaicina es recomendado para personas que presentan riesgos de infartos. La capsaicina es un anticoagulante natural.

En el 2014 Pérez y otros y Marrugo-Negrete y otros en 2016, evaluaron la capacidad acumuladora de mercurio del ají (***Capsicum annuum***), donde las concentraciones medias de mercurio total en raíces fueron mayores en comparación con tallos y hojas, y las concentraciones de mercurio en frutos de ***C. annuum*** fueron bajas en relación a la ingesta tolerable semanal dispuesta por la OMS.

Se concluyó entonces que ***Capsicum annuum*** (ají) tiene potencial para la remediación, rehabilitación y/o restauración de ecosistemas afectados por minera.

#### b) Obtención de la semilla.

Se seleccionarán ejemplares bien formados, fuertes y libres de enfermedades. El proceso de obtención de las semillas del ají (***Capsicum annuum***) no tiene un alto nivel de complejidad, se abre el fruto, se raspan las semillas y se secan en un papel durante unos días. Las semillas no necesitan ser lavadas. Grandes cantidades de semillas pueden ser extraídas poniendo los frutos maduros con agua en una batidora a velocidad lenta. La carne y la pulpa se quedan en la superficie y pueden ser retiradas. Las semillas se quedan en el fondo.

#### c) Almacenamiento.

Las semillas son negras, crema o amarillas, aplanadas y casi redondas. Cuando se guardan en condiciones (frío, oscuro y seco) se mantendrán viables durante 5 años. Hay 150 semillas por gramo

#### d) Etapa de semillero.

Para hacer el semillero se recomienda el uso de bandejas de 53 a 128 alveolos, con 37 a 28 centímetros cúbicos de sustrato. Las bandejas de 53 alveolos permiten un mejor desarrollo radicular y del follaje y una mejor calidad de la planta; aun así, aumentan los costos por cada plántula, porque requieren mayores cantidades de sustrato por alveolo. El sustrato debe estar bien desinfectado para evitar el ataque de plagas

y algunas enfermedades en el semillero; debe tener buena humedad para que tengan la condición ideal de germinación de la semilla.

El sustrato se puede desinfectar utilizando el método de solarización, que consiste en colocar una capa de sustrato húmedo de 20 centímetros de altura, cubierta con plástico transparente y dejándola a la exposición directa de los rayos solares. La aplicación de fertilizantes en el semillero se realizará desde el momento en que germina la semilla, se realiza una mezcla líquida con elementos mayores y menores. En condiciones que tengan buena humedad, luminosidad, aireación y temperatura (25 °C), la semilla del ají (*Capsicum annuum*) germina en un período de tiempo de 8 a 10 días. Las plántulas podrán ser trasplantadas de 35 a 45 días después de la germinación, cuando alcanzan el tamaño ideal. Gómez y Payares (2020).

### Imagen 1. Ilustración para desarrollar la etapa de semillero



**Fuente:**  
Gómez y  
Payares,  
2020

#### e) Identificación de áreas.

Por medio de visitas y/o recorridos con los lugareños se realizará la caracterización biológica y la geolocalización de las áreas a intervenir, las zonas para la rehabilitación se escogerán teniendo en cuenta las condiciones ambientales, socioeconómica y donde la cobertura forestal presente mayores índices de afectación.

#### f) Siembra.

El trasplante para la siembra en el lugar definitivo se realizará cuando las plantas tengan entre 4 y 8 hojas o 15 a 20 cm de altura. Se recomienda efectuar un estricto combate de plagas y enfermedades durante esta etapa. La profundidad de siembra no debe superar los 2 cm.

Al realizar el trasplante de la plántula se retirarán las rices que estén enrocadas, la plántula se colocará de forma recta en el centro del hoyo y a medida que se agregue la tierra se hará presión para romper las bolsas de aire que se puedan formar y se continuará echando tierra de hasta cubrir completamente el hoyo.

La distancia de siembra que se utilizará será de 1 m entre planta y 1 m entre cama. Este sistema es utilizado en el cultivo de ají teniendo en cuenta que son plantas arbustivas por lo tanto requieren espacio para una mejor aireación y así evitar excesos de humedad, problemas fitosanitarios, competencia de luz y espacio (Bedoya, 2017).

A pesar de que la planta es de porte erguido, cuando llega a cierta altura, los tallos o ramas caen, por lo tanto, el tutorado del cultivo de ají se realizará disponiendo postes a lo largo del surco a una distancia de 4 a 6 metros y pasando una fibra de calibre 9000 alrededor de ellos para darle soporte a la planta. El primer hilo se pone aproximadamente a 30 centímetros del suelo y de ahí en adelante se colocan otras cinco hiladas dependiendo de la altura de la planta.

Se recomienda regar una vez por semana o cada 10 días, sin embargo, la frecuencia del riego dependerá de clima de la zona, del tipo del suelo en el terreno y del estado de la planta. El mejor horario para realizar el riego será temprano por la mañana o al anochecer para evitar que el sol evapore el agua.

El número de plantas por hectáreas se determinará con la siguiente fórmula:

$$N = At/D^2$$

N= número de plantas

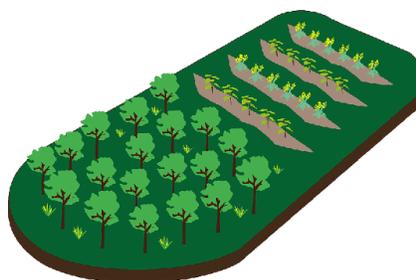
At= área total

D<sup>2</sup>= densidad de siembra

#### g) Repoblación en fajas o carriles.

Este método consiste en la apertura de fajas, carriles o caminos lineales de 2 a 3 metros de ancho a distancias de 10 x 10 (la distancia para la repoblación con ají (*Capsicum annum*) será de 1 x 1 por tratarse de una planta pequeña). Suelen realizarse acequias de abastecimiento en el exterior superior de las fajas y canales de desagüe en el extremo inferior. Este método es muy recomendado ya que permite respetar aquellas especies arbóreas que se encuentran en el medio natural.

**Imagen 2. Ilustración del proceso de repoblación en fajas o carriles**



**Fuente:** Forestación en fajas, 2022. Tomado de banco de imágenes: <https://www.pngwing.com/es/free-png-plfvt>

h) Marcación de individuos vegetales.

Después de sembradas las plantas se realizará la marcación dentro del bosque con cintas de colores fosforescentes para su fácil identificación; también se realizará la georreferenciación o toma de ubicación con GPS de cada individuo, con lo cual se podrá diseñar una base de datos en Excel para tener un registro claro y detallado de cada planta sembrada. Este proceso de marcaje y geolocalización será un insumo necesario para realizar un adecuado monitoreo de las plantas. García et al. (2018)

i) Monitoreo.

A partir de la cartografía disponible de la zona se establecerán parcelas de monitoreo para conocer el estado de las plantas sembradas en cuanto a crecimiento, desarrollo y supervivencia.

Los criterios a tener en cuenta para hacer el monitoreo son los siguientes:

I. Diámetro (cm)

A cada individuo vegetal se le medirá la circunferencia del tallo, con la ayuda de un calibrador (individuos con diámetro < 1 cm, se toma el diámetro mayor y menor, estos se promedian para obtener el diámetro definitivo). Aguilar y Ramírez (2015).

**Imagen 3. Determinación del diámetro.**



**Fuente:** Tomado de: Aguilar y Ramírez (2015).

## II. Diámetro de copas (m)

La medición de las copas se realizará con un metro, tomando los extremos de la copa mayor. La precisión de medición es el centímetro, por lo tanto, los cálculos se aproximarán al centímetro. Aguilar y Ramírez (2015).

**Imagen 4. Ilustración para la determinación del diámetro de copas.**



**Fuente:** Tomado de: Aguilar y Ramírez (2015).

## III. Altura (m).

La altura se medirá de manera directa con la ayuda de una cinta métrica. Este método se usa para individuos pequeños ( $\leq 3,0$  m de altura), desde la base hasta la terminación de la rama más apical. Aguilar y Ramírez (2015).

**Imagen 5. Ilustración para la determinación de la altura.**



**Fuente:** Tomado de: Aguilar y Ramírez (2015).

#### j) Recomendaciones finales

Realizar el proceso de siembra de manera correcta para garantizar un alto porcentaje de supervivencia de las plantas.

Utilizar un buen sistema de marcaje y georreferenciación de las plantas sembradas para no tener inconvenientes a la hora del monitoreo.

Tomar muestras para análisis toxicológicos en materia vegetal para determinar potencial acumulador de la especie.

#### k) Literatura citada

Aguilar-Garavito M. y W. Ramírez (eds.) 2015. Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá D.C., Colombia. 250 pp.

Bedoya Sierra, Á. d. (2017). Establecimiento de 5000 m<sup>2</sup> de ají dulce (*Capsicum annum* L.) variedad criolla para su comercialización en fresco, a través de un manejo integrado del sistema de producción. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/ingenieria\\_agronomica/9](https://ciencia.lasalle.edu.co/ingenieria_agronomica/9)

García C. F., Cossio M. H., Ramos P. Y., Vélez Y. j., Rengifo M. J., Palacios LL. J., Aguilar L. Y. 2018. Repoblamiento con especies forestales nativas de importancia comercial, ecológica, ambiental y social en bosques húmedos tropicales (bh-t) del departamento del chocó. Corporación agroambiental del trópico (Cartrópico), Universidad Tecnológica del Chocó "Diego Luis Córdoba".

Gómez G. B., y Payares G. J. 2020. Estudio agronómico del cultivo de ají pimentón (*Capsicum annuum* L.), en municipio de Valledupar, Cesar. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuaria y de Medio Ambiente (ECAPMA) Programa: Agronomía Valledupar – Colombia.

Huerta Comunitaria Cabeza de Ajo. 2006. Guía para la recolección de semillas de los vegetales más comunes.

Pérez V. H., Vidal D. J., y Marrugo N. J., 2014. Evaluación de la capacidad acumuladora de mercurio del ají (*Capsicum annuum*). Rev. salud pública. 16 (6): 897-909, 2014.

Marrugo-Negrete, J., Marrugo-Madrid, S., Pinedo-Hernández, J., Durango-Hernández, J., Díez, S. 2016. Screening of native plant species for phytoremediation potential at a Hg-contaminated mining site. Science of the Total Environment 542 (2016) 809–816.