



**LINEAMIENTOS PARA EL MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS DE  
EXPLOSIVOS EN PROYECTOS DE EXPLOTACIÓN DE MINAS DE ORO  
SUBTERRÁNEA, ANTIOQUIA - COLOMBIA.**

Autor:  
Juan Camilo Perdomo Martinez

Universidad El Bosque  
Facultad de Ingeniería  
Programa Ingeniería Ambiental  
Bogotá, fecha de terminación del trabajo

**Lineamientos para el manejo integral de residuos de explosivos en proyectos de explotación de minas de oro subterránea, Antioquia - Colombia.**

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero Ambiental**

Autor:  
Juan Camilo Perdomo Martínez

Director:  
Diana Rocio Hernández

Línea de Investigación:  
Gestión Ambiental

Universidad El Bosque  
Facultad de Ingeniería  
Programa Ingeniería Ambiental  
Bogotá, Colombia  
2018

## Acta de sustentación

## **Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional**

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

*Este trabajo de grado, va dedicado a cada una de las personas que hicieron parte de este proceso, en especial a mis padres y mi familia. A la profesora Diana Rocio Hernández quien me guió paso a paso para formular este proyecto.*

## Contenido

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Resumen .....   | 8  |
| 2     | Abstract .....  | 9  |
| 3     | Introducción .....  | 10 |
| 4     | Planteamiento Del Problema.....   | 11 |
| 5     | Objetivos General Y Específicos .....                                       | 12 |
| 5.1   | General: .....  | 12 |
| 5.2   | Específicos:.....   | 12 |
| 6     | Justificación.....  | 13 |
| 7     | Marco De Referencia .....   | 15 |
| 7.1   | Marco Normativo .....   | 15 |
| 7.1.1 | Normatividad Para El Transporte Y Etiquetado De Sustancias Peligrosas. .... | 15 |
| 7.1.2 | Almacenamiento: .....   | 19 |
| 7.1.3 | Legislación Colombiana.....   | 21 |
| 7.2   | Marco Institucional.....  | 23 |
| 7.2.1 | Producción Y Adquisición De Explosivos En Colombia.....                     | 23 |
| 7.3   | Marco Conceptual.....   | 25 |
| 7.4   | Marco Teórico .....   | 27 |
| 7.4.1 | Afectaciones Ecosistémicas .....  | 27 |
| 7.4.2 | Metodologías De Eliminación De Residuos De Explosivos:.....                 | 29 |
| 8     | Metodología .....   | 31 |
| 9     | Plan De Trabajo En Un Cronograma .....                                      | 33 |
| 10    | Aspectos Éticos .....   | 34 |
| 11    | Resultados .....  | 35 |
| 11.1  | Descripción De Situación Actual De La Minería En Antioquia.....             | 35 |
| 11.2  | Matriz Para La Evaluación Ambiental.....                                    | 38 |
| 11.3  | Lineamientos Para El Manejo De Residuos De Explosivos .....                 | 43 |
| 12    | Análisis Y Discusión De Resultados.....                                     | 49 |
| 12.1  | Situación Actual De La Minería En Antioquia.....                            | 49 |
| 12.2  | Evaluación Ambiental.....   | 49 |
| 12.3  | Lineamientos Para El Manejo De Residuos De Explosivos .....                 | 50 |
| 13    | Conclusiones .....  | 54 |
| 14    | Recomendaciones.....  | 55 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 15   | Referencias Bibliográficas. ....               | 58 |
| 16   | Anexos.....                                    | 61 |
| 16.1 | Anexo A. Matriz De Identificación .....        | 61 |
| 16.2 | Anexo B. Matriz De Evaluación De Impactos..... | 65 |

## **2 Listado de Tablas**

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Tabla 1.  | Legislación Colombiana.....                                       | 21 |
| Tabla 2.  | Características Físicas. ....                                     | 27 |
| Tabla 3.  | Características Químicas. ....                                    | 28 |
| Tabla 4.  | Resumen De Situación Actual De Minera Aurífera En Antioquia ..... | 37 |
| Tabla 5.  | Variabes Para La Evaluación Ambiental. ....                       | 38 |
| Tabla 6.  | Intervalos De Clasificación Para La Matriz. ....                  | 40 |
| Tabla 7.  | Ejemplo De Identificación De Recursos Impactados.....             | 40 |
| Tabla 8.  | Ejemplo Calificación Cuantitativa De Recursos Impactados. ....    | 41 |
| Tabla 9.  | Resumen Resultados Matriz.....                                    | 41 |
| Tabla 10. | Categorías De Productores De Residuos Peligrosos .....            | 44 |
| Tabla 11. | Impactos Severos .....  | 49 |
| Tabla 12. | Formato De Registro Mensual .....                                 | 51 |
| Tabla 13. | Formato De Media Móvil.....                                       | 52 |
| Tabla 14. | Formato De Entrada Y Salida De Residuos. ....                     | 52 |
| Tabla 15. | Formato Residuos Entregados.....                                  | 53 |
| Tabla 16. | Sedimentadores. ....  | 57 |
| Tabla 17. | Cascadas De Aireación. ....                                       | 57 |

## **3 Listado de Figuras**

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Figura 1.  | Tipos De Reacción Explosivas. ....                              | 13 |
| Figura 2.  | Grupos De Compatibilidad Para Explosivos. ....                  | 16 |
| Figura 3.  | Procedimiento De Clasificación. ....                            | 17 |
| Figura 4.  | Compatibilidad Para El Transporte De Sustancias Peligrosas..... | 17 |
| Figura 5.  | Grupos De Compatibilidad Para Estibar.....                      | 18 |
| Figura 6.  | Rotulado De Sustancias Explosivas.....                          | 19 |
| Figura 7.  | Metodología De Desarrollo. ....                                 | 31 |
| Figura 8.  | Mapa Distrito Minero Aurífero 1.....                            | 35 |
| Figura 9.  | Distrito Minero Aurífero 2.....                                 | 36 |
| Figura 10. | Interceptación De Aguas Por Canales. ....                       | 55 |
| Figura 11. | Sellamiento De Yacimientos. ....                                | 56 |
| Figura 12. | Tanques De Neutralización.....                                  | 56 |

## 1 RESUMEN

Este trabajo se formula con el fin de facilitar el cumplimiento de los requerimientos legales establecidos por las diferentes autoridades ambientales, que por la situación ambiental y constante crecimiento económico, han vigorizado las exigencias para el desarrollo de diferentes proyectos en el territorio nacional. En Antioquia a lo largo del tiempo ha existido una gran presión por la minería, tanto legal como ilegal. Al Oriente del territorio departamental se encuentra concentrada la mayoría de extracciones auríferas, que se hallan bajo la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional pertinente que la divide en diferentes distritos para su manejo.

Dentro de la minería extractiva de oro, existen dos metodologías para obtener el metal, dependiendo de la distribución en la que se encuentran los mantos geológicos bajo tierra; puede ser mediante minería a cielo abierto o subterránea, esta última dependiendo del tipo de roca es necesario el uso de explosivos para la extracción por medio del fracturamiento de la roca y posterior obtención del material para su beneficio.

Debido a que los explosivos están catalogados como sustancia peligrosa, existen diferentes normatividades que rigen su transporte, almacenamiento y uso; Además de lo anterior el Decreto 4741 del 30 de Diciembre del 2005 define de la siguiente manera “...*Así mismo, se considera residuo o desecho peligroso los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos.*” Pues por entrar en contacto con explosivos pueden adquirir características que causen daño al medio ambiente o a la salud pública.

Con el fin de mitigar los impactos generados por los residuos de explosivos, la ANLA exige el desarrollo de un plan de manejo de residuos de explosivos durante las etapas de operación de la mina que lo exigen, en especial su operación. Se realiza una matriz de impactos donde se reconoce que la principal alteración ocurre en la calidad y disponibilidad del recurso agua y suelo.

Los lineamientos generados en el siguiente documento establecen las mínimas exigencias establecidas por Normas Técnicas Colombianas y Legislación Colombiana Vigente al primer semestre del año 2018, enfocándose en el transporte, almacenamiento, disposición final y capacitación.

En consecuencia al resultado de la matriz de impactos, donde se identifica que uno de los recursos más vulnerados es el agua, se realiza la observación de la necesidad de generar una planta de tratamiento para las aguas provenientes de la mina, para disminuir los impactos generados al suelo y aguas subterráneas.

*Palabras clave: Minería de Oro, Residuos Peligrosos, Explosivos, Voladura*

## 2 ABSTRACT

This work with the purpose of facilitating compliance with the legal requirements established by the different environmental causes, by the environmental situation and constant economic growth, has invigorated the requirements for the development of different projects in the national territory. In Antioquia throughout time there has been great pressure for mining, both legal and illegal. To the east of the departmental territory is concentrated the majority of the auriferous extractions, that are under the jurisdiction of the pertinent autonomous regional corporation that the division into different districts for its management.

Within gold extractive mining, there are two methods to obtain the metal, the distribution in which the geological mantles are found underground; can be by open or underground mining, the latter depending on the type of rock is necessary to use explosives for extraction by fracturing the rock and then obtaining the material for their benefit.

Because explosives are classified as a dangerous substance, there are different regulations that have their transportation, storage and use; In addition to the foregoing, Decree 4741 of December 30, 2005 defines as follows "... Likewise, containers, packaging and packaging that have been in contact with them are considered hazardous waste or waste." For contact with explosives can acquire characteristics that cause harm to the environment or public health.

In order to mitigate the impacts generated by explosive waste, the ANLA requires the development of an explosive waste management plan during the stages of the operation of the mine that require it, especially its operation. Where a matrix of impacts is produced where it is recognized that the main alteration occurs in the quality and availability of water and soil resources.

The guidelines generated in the following document were adjusted to the minimum requirements established for Colombian Technical Standards and Colombian Legislation Effective in the first semester of 2018, focusing on transportation, storage, final disposal and training.

Consequently, the results of the impact matrix, where the most vulnerable resources in the water are identified, is the observation of the need to generate a treatment plant for the waters coming from the mine, to reduce the impacts generated to the soil and groundwater.

*Keywords: Gold Mining, Hazardous Waste, Explosives, Blasting*

### 3 INTRODUCCIÓN

La minería es una actividad económica que se presenta en todos los continentes, se realiza con el fin de extraer minerales metálicos o no metálicos que se acumulan en yacimientos subterráneos. Mediante la explotación minera se pueden extraer diferentes tipos de minerales, como el oro, la plata, níquel, carbón, entre otros. Existen dos tipos de metodologías extractivas, a cielo abierto o subterráneo; la aplicación de cualquiera de estas depende principalmente de las condiciones geológicas, sismicidad y distribución del yacimiento de interés.

En Colombia la extracción minera ha sido un sector importante dentro del desarrollo del país, y en los últimos años la exploración para la extracción de oro mediante minas subterráneas ha ido en aumento, por esta razón la Agencia Nacional de Licencias Ambientales ha ido fortaleciendo los diferentes requerimientos para el otorgamiento de las licencias para generar planes de manejo integrales que garanticen la preservación del medio ambiente. Para el caso específico de la producción de Oro en el Departamento de Antioquia se concentra en diferentes distritos mineros, determinados según la jurisdicción de Corporación Autónoma Regional que se encuentre a cargo de esta zona. Los distritos mineros de Frontino se encuentran bajo la jurisdicción de Corpourabá; Distrito minero Puerto Nare en jurisdicción de Corantioquia, al igual que Distrito minero Nordeste y Bajo Cauca. (CORANTIOQUIA, 2016).

Uno de los aspectos a fortalecer es el manejo de residuos de explosivos producidos por este tipo de minería, ya que para la extracción de oro a gran escala se necesita una cantidad de  $0,57 \text{ Kg/m}^3$  o  $0.21 \text{ Kg/ton}$  (oro o desecho) de explosivos. (Strata Gold Corporation, 2014). Si se tiene en cuenta que cada uno de los explosivos usados se encuentra contenido en un embalaje especial, también es un residuo peligroso el cual hay que tener en cuenta dentro de los planes de manejo.

Este trabajo de grado tiene como propósito proponer los lineamientos necesarios para la generación de los planes de manejo de residuos de explosivos utilizados en la minería subterránea, entendiendo como residuos de explosivos todos los empaques, embalajes y explosivos vencidos o disfuncionales. Estos lineamientos estarán basados en la normatividad colombiana vigente y la identificación de los impactos ambientales que se pueden llegar a generar, en suelo, agua y atmósfera, si no se le da un manejo adecuado.

#### 4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La minería es el conjunto de actividades para el descubrimiento y extracción de minerales que se encuentran debajo de la superficie, para esto existen dos tipos de métodos de explotación, a cielo abierto y subterráneas, este último por medio de túneles y perforaciones se accede hasta donde se encuentra el mineral para su extracción. (Strata Gold Corporation, 2014).

La minería subterránea se divide en extracción de roca blanda, en donde se usa una metodología que no necesita el uso de explosivos, se realiza por medio de la perforación de dos túneles paralelos, siendo el frente para la extracción del mineral por medio de herramientas manuales. Por otro lado, está la extracción de roca dura, que requiere el uso de explosivos, realizando voladuras con una metodología de acceso a los yacimientos, similar a la de roca blanda. (Medina, 2013)

Como consecuencia del uso de explosivos en este proceso, existen embalajes, contenedores, material de limpieza, cableado o explosivos vencidos/dañados que presentan características especiales debido al contacto con sustancias peligrosas. Las cuales deben tener un correcto manejo en operaciones de generación, almacenamiento, manipulación y disposición final, pues en caso de entrar en contacto con el medio, alteran la calidad de agua y suelo desencadenando diversas problemáticas sociales y medioambientales.

Dentro del departamento de Antioquia, se encuentran grandes minas auríferas, por ejemplo, Gran Colombia Corp produjo un total de 173.821 onzas de oro, en el municipio de Segovia, se produjeron un total de 45588 onzas de oro, más 50248 onzas producidas por la mina de providencia ubicada en el mismo municipio, por ultimo Marmato, otro municipio, con un total de 25162 onzas. Esto da un total de 294819 onzas de oro producidas en el 2017. (Mundo Minero, 2018). Es decir, el total de 8.357 toneladas de oro, si en promedio se contienen 4.62 gramos de oro en 1 tonelada de material de veta, se procesaron 1809.06 Toneladas de material.

En base a lo anterior y teniendo encuenta la relación de 0.21Kg de explosivos por Kg de material, se usó en promedio de 379904.5 Toneladas de explosivos en el año 2017, únicamente en las minas mencionadas anteriormente.

Es por esta razón que la ANLA para el otorgamiento de la licencia ambiental de explotación minera subterránea exige un plan de manejo de explosivos y voladuras, dentro del cual se establece el siguiente lineamiento *“Establecer las medidas de mitigación que se tendrán en cuenta para el manejo de explosivos, durante las operaciones de transporte, almacenamiento, manipulación y disposición de residuos; en las diferentes fases y actividades del proyecto que involucren su utilización”*. Esto con el fin de asegurar la protección de recursos naturales y poder continuar con la operación.

## **5 OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS**

### **5.1 GENERAL:**

- Plantear los lineamientos ambientales para el manejo integral de los residuos de explosivos generados en la explotación de oro subterránea.

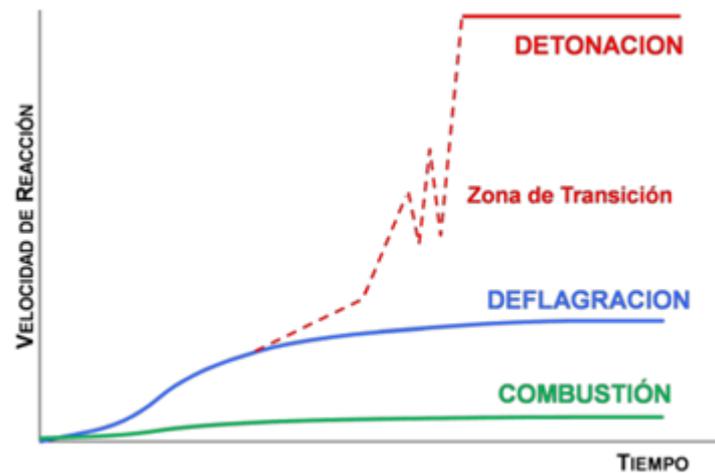
### **5.2 ESPECÍFICOS:**

- Describir la situación de la minería aurífera en el departamento de Antioquia.
- Identificar y evaluar los impactos por minería de oro subterránea en las etapas de transporte, almacenamiento, manipulación, uso y disposición final de residuos de explosivos.
- Generar lineamientos de manejo de residuos de explosivos en minería subterránea de oro para mitigar los impactos ambientales identificados.

## 6 JUSTIFICACIÓN

Dentro de la minería de oro se puede dar uso de diferentes explosivos, pueden ser una mezcla de sustancias líquidas, sólidas o gaseosas, que por medio de reacciones de óxido – reducción son capaces de generar altas presiones y temperaturas, en lapsos muy cortos de tiempo. (Bernaola, Castilla, & Herrera, 2013). Dependiendo de las características fisicoquímicas y tiempos de reacción se pueden clasificar en tres categorías. (EXSA S.A., 2013):

- Combustión: Reacción de oxidación en la que se desprende gran cantidad de energía en forma de calor, se puede observar en forma de una llama y su velocidad de reacción es lenta (1 m/s).
- Deflagración: Reacción exotérmica que genera una llama de baja velocidad, sin explosión. La cinética de esta reacción es mayor a la de la combustión desarrollada a una velocidad promedio de 1000 m/s.
- Detonación: Reacción que posee una velocidad entre 1500 a 900 m/s, caracterizada por generar una combustión supersónica generando altos gradientes de presión y temperatura.



**Figura 1. Tipos de reacción explosivas.**

Fuente: (Bernaola, Castilla, & Herrera, 2013)

Uno de los explosivos más utilizados para la fracturación de roca subterránea es, el ANFO pesado, consisten en la mezcla de ANFO común y emulsiones líquidas esto con el propósito de generar una mezcla resistente al agua. Estas mezclas deben contener un porcentaje mayor al 50% de emulsión ya que por debajo de este no son resistentes al agua aunque incrementa notablemente su potencia, por encima de este porcentaje será más resistente al agua progresivamente. La ratio que se usa comúnmente en las minas de oro es de 70:30. (Strata Gold Corporation, 2014).

Estudios realizados en Estados Unidos en lugares como El Departamento de Defensa de USA y El Departamento del Ejército de USA, mostraron concentraciones de contaminación por explosivos en suelo y cuerpos de agua tanto superficiales como subterráneos. Dando evidencia que los principales contaminantes son compuestos nitrogenados, como TNT (Trinitrotolueno), RDX (hexa-ciclotrimetilentrinitramina), HMX (octaciclotetrametilentretanitramina) y DNT (Dinitrotolueno). Los cuales pueden ser

degradados muy lentamente por procesos naturales, y a pesar de tener cierta tolerancia a algunas concentraciones de estos compuestos, se reporta bioacumulación en plantas de TNT y RDX en mayor proporción. (Pennington & Brannon, 2002).

De esta manera se logra observar la gran afectación que se puede dar a recursos de los cuales dependemos directamente como lo son el agua, suelo y alimentos, lo cual incide directamente la calidad de vida y aumenta el riesgo de afectar a la salud pública de la población que se encuentra dentro del área de influencia directa e indirecta. Según el Gobierno de España produce inflamación de las vías aéreas, afecciones de órganos, como hígado o bazo, o de sistemas, como el sistema circulatorio o el inmunitario, las cuales influyen a la aparición de infecciones pulmonares e insuficiencias respiratorias.

Por consiguiente, surge la necesidad de plantear los lineamientos necesarios para la formulación de los planes de manejo para este tipo de residuos; estos lineamientos facilitarán el cumplimiento integral y efectivo de este requerimiento, principalmente para le empresas que realicen explotaciones mineras subterráneas en el territorio Colombiano.

## 7 MARCO DE REFERENCIA

### 7.1 MARCO NORMATIVO

#### 7.1.1 Normatividad técnica para el transporte y etiquetado de sustancias peligrosas.

Dentro del territorio nacional, el transporte terrestre de sustancias peligrosas se encuentra reglamentado bajo la NTC 3966, que contiene seis (6) divisiones de las sustancias que se encuentran propensas a explotar, descritas a continuación:

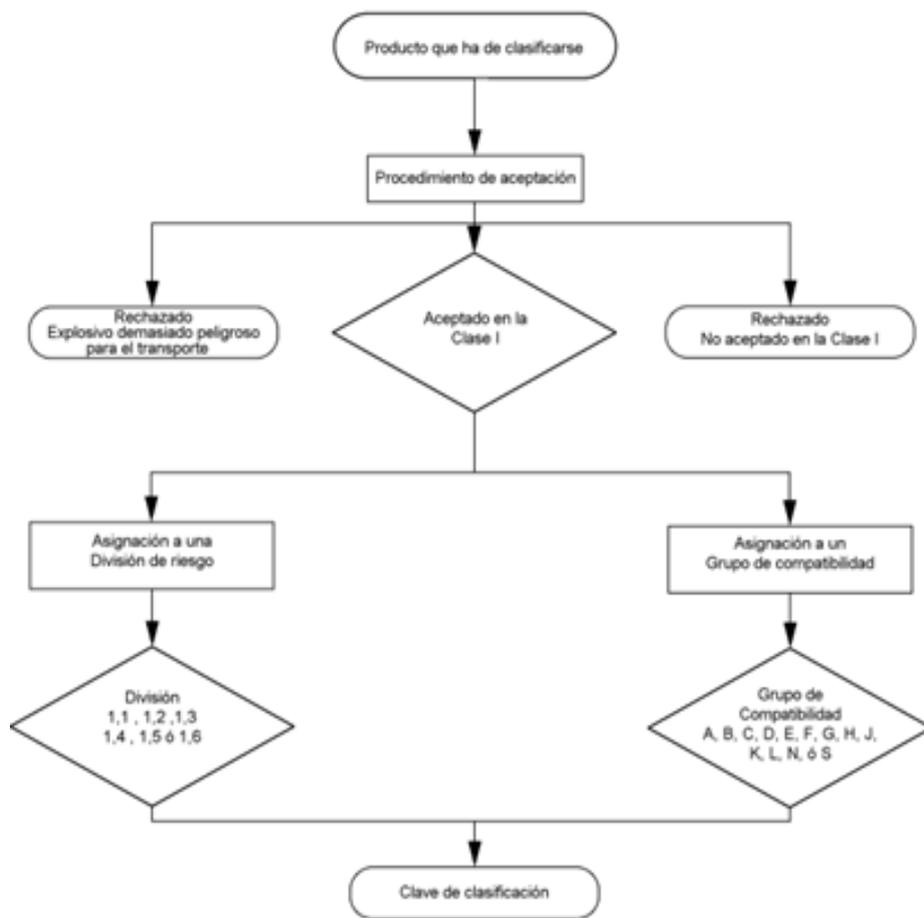
- División 1.1: Riesgo de explosión en masa, es decir, involucran casi toda la carga al explotar e impactan el entorno con la onda generada.
- División 1.2: Riesgo de proyección, es decir, emite partículas hacia todas las direcciones cuando explota.
- División 1.3: Riesgo de incendio, que puede estar acompañado de proyección de partículas y/o de una pequeña onda expansiva. El efecto puede ser sucesivo (explosiones repetidas).
- División 1.4: Bajo riesgo. La explosión por lo general no se extiende más allá del recipiente o bulto.
- División 1.5: Riesgo de explosión en masa, pero son altamente insensibles. Es decir, que en condiciones normales de transporte tienen muy baja probabilidad de detonar.
- División 1.6: Objetos insensibles que contienen sustancias detonantes sin riesgo de explosión en masa, y con muy baja probabilidad de propagación.

Además de pertenecer a alguna de las divisiones nombradas anteriormente, un explosivo pertenecen a alguno de los 13 grupos de compatibilidad mostrados en la siguiente tabla.

| Descripción de la sustancia u objeto  | Grupo de compatibilidad | Código de clasificación      |
|---|-------------------------|------------------------------|
| Sustancia explosiva primaria  | A                       | 1.1A                         |
| Objeto que contenga una sustancia explosiva primaria y que tenga menos de dos dispositivos de seguridad eficaces. Ciertos objetos tales como los detonadores para voladuras, los conjuntos de detonadores para voladura y los cebos del tipo de cápsula quedan incluidos, aun cuando no contienen explosivos primarios  | B                       | 1.1B<br>1.2B<br>1.4B         |
| Sustancia explosiva propulsora u otra sustancia explosiva deflagrante, u objeto que contenga dicha sustancia explosiva  | C                       | 1.1C<br>1.2C<br>1.3C<br>1.4C |
| Sustancia explosiva secundaria detonante, o pólvora negra, u objeto que contenga una sustancia explosiva secundaria detonante, en cualquier caso sin medio de cebado propio ni carga propulsora, u objeto que contenga una sustancia explosiva primaria y tenga al menos dos dispositivos de seguridad eficaces   | D                       | 1.1D<br>1.2D<br>1.4D<br>1.5D |
| Objeto que contenga una sustancia explosiva secundaria detonante, sin medio de cebado propio, con carga propulsora (excepto las cargas que contengan un líquido o un gel inflamables o líquidos hipergólicos)   | E                       | 1.1E<br>1.2E<br>1.4E         |
| Objeto que contenga una sustancia explosiva secundaria detonante, con medio de cebado propio, con carga propulsora (excepto las cargas que contengan un líquido o un gel inflamables o líquidos hipergólicos) o sin carga propulsora  | F                       | 1.1F<br>1.2F<br>1.3F<br>1.4F |
| Sustancia pirotécnica, u objeto que contenga una sustancia pirotécnica, u objeto que contenga una sustancia explosiva y además una sustancia iluminante, incendiaria, lacrimógena o fumígena (excepto los objetos activados por el agua o los objetos que contengan fósforo blanco, fosfuros, una sustancia pirofórica, un líquido o un gel inflamables, o líquidos hipergólicos)   | G                       | 1.1G<br>1.2G<br>1.3G<br>1.4G |
| Objeto que contenga una sustancia explosiva y además fósforo blanco   | H                       | 1.2H<br>1.3H                 |
| Objeto que contenga una sustancia explosiva y además un líquido o un gel inflamables  | J                       | 1.1J<br>1.2J<br>1.3J         |
| Objeto que contenga una sustancia explosiva y además un agente químico tóxico   | K                       | 1.2K<br>1.3K                 |
| Sustancia explosiva, u objeto que contenga una sustancia explosiva y que presente un riesgo particular (por ejemplo, en razón de su hidroactividad o de la presencia de líquidos hipergólicos, fosfuros o sustancias pirofóricas) y que exija el aislamiento de cada tipo (véase 7.1.3.1.5)   | L                       | 1.1L<br>1.2L<br>1.3L         |
| Objetos que contengan únicamente sustancias detonantes extremadamente insensibles   | N                       | 1.6N                         |
| Sustancia u objeto embalados/envasados o concebidos de manera que todo efecto peligroso resultante de un funcionamiento accidental quede circunscrito al interior del bulto, a menos que éste haya sido deteriorado por el fuego, en cuyo caso todo efecto de onda expansiva o de proyección quedará lo bastante limitado como para no entorpecer apreciablemente ni impedir las operaciones de lucha contra incendios ni la adopción de otras medidas de emergencia en las inmediaciones del bulto | S                       | 1.4S                         |

**Figura 2. Grupos de compatibilidad para explosivos.**  
(ICONTEC, 1996)

Para poder clasificar, la sustancia o residuo peligroso que se requiere transportar, dentro de la NTC 1692, se establece paso a paso la metodología que se debe llevar a cabo, empezando por la identificación de su división y clase de compatibilidad.



**Figura 3. Procedimiento de clasificación.**  
(ICONTEC, 1996)

Una vez clasificada la sustancia, se procede a identificar los requisitos generales para su transporte cumpliendo lo siguiente.

| Clase  | 1.1<br>1.2<br>1.5 | 1.3 | 1.4 | 2.1 | 2.2 | 2.3 | 3 | 4.1 | 4.2 | 4.3 | 5.1 | 5.2 | 6.1 | 6.2 | 7 | 8 | 9 |
|--|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|---|---|
| Explosivos 1.1, 1.2, 1.5                                     | *                 | *   | *   | 4   | 2   | 2   | 4 | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 2   | 4   | 2 | 4 | X |
| Explosivos 1.3   | *                 | *   | *   | 4   | 2   | 2   | 4 | 3   | 3   | 4   | 4   | 4   | 2   | 4   | 2 | 2 | X |
| Explosivos 1.4   | *                 | *   | *   | 2   | 1   | 1   | 2 | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | X   | 4   | 2 | 2 | X |
| Gases inflamables 2.1  | 4                 | 4   | 2   | X   | X   | X   | 2 | 1   | 2   | X   | 2   | 2   | X   | 4   | 2 | 1 | X |
| Gases no tóxicos, no inflamables 2.2                         | 2                 | 2   | 1   | X   | X   | X   | 1 | X   | 1   | X   | X   | 1   | X   | 2   | 1 | X | X |
| Gases venenosos 2.3  | 2                 | 2   | 1   | X   | X   | X   | 2 | X   | 2   | X   | X   | 2   | X   | 2   | 1 | X | X |
| Líquidos inflamables 3                                       | 4                 | 4   | 2   | 2   | 1   | 2   | X | X   | 2   | 1   | 2   | 2   | X   | 3   | 2 | X | X |
| Sólidos inflamables 4.1                                      | 4                 | 3   | 2   | 1   | X   | X   | X | X   | 1   | X   | 1   | 2   | X   | 3   | 2 | 1 | X |
| Sustancias que pueden experimentar combustión espontánea 4.2 | 4                 | 3   | 2   | 2   | 1   | 2   | 2 | 1   | X   | 1   | 2   | 2   | 1   | 3   | 2 | 1 | X |
| Sustancias peligrosas en contacto con el agua 4.3            | 4                 | 4   | 2   | X   | X   | X   | 1 | X   | 1   | X   | 2   | 2   | X   | 2   | 2 | 1 | X |
| Sustancias comburentes 5.1                                   | 4                 | 4   | 2   | 2   | X   | X   | 2 | 1   | 2   | 2   | X   | 2   | 1   | 3   | 1 | 2 | X |
| Peróxidos orgánicos 5.2                                      | 4                 | 4   | 2   | 2   | 1   | 2   | 2 | 2   | 2   | 2   | 2   | X   | 1   | 3   | 2 | 2 | X |
| Sustancias venenosas 6.1                                     | 2                 | 2   | X   | X   | X   | X   | X | X   | 1   | X   | 1   | 1   | X   | 1   | X | X | X |
| Sustancias infecciosas 6.2                                   | 4                 | 4   | 4   | 4   | 2   | 2   | 3 | 3   | 3   | 2   | 3   | 3   | 1   | X   | 3 | 3 | X |
| Materiales radioactivos 7                                    | 2                 | 2   | 2   | 2   | 1   | 1   | 2 | 2   | 2   | 2   | 1   | 2   | X   | 3   | X | 2 | X |
| Sustancias corrosivas 8                                      | 4                 | 2   | 2   | 1   | X   | X   | 1 | 1   | 1   | 2   | 2   | 2   | X   | 3   | 2 | X | X |
| Sustancias y artículos peligrosos varios 9                   | X                 | X   | X   | X   | X   | X   | X | X   | X   | X   | X   | X   | X   | X   | X | X | X |

**Figura 4. Compatibilidad para el transporte de sustancias peligrosas.**  
(ICONTEC, 1996)

Donde los símbolos corresponden a:

- (1). A distancia de
- (2). Separado de
- (3). Separado por todo un compartimiento o toda una bodega de
- (4). Separado longitudinalmente por todo un compartimiento intermedio o toda una bodega intermedia de
- (x). La segregación que pueda ser necesaria se indica en la ficha correspondiente
- (\*) En lo que respecta a la segregación entre mercancías clase 1. Se especifica en la siguiente tabla.

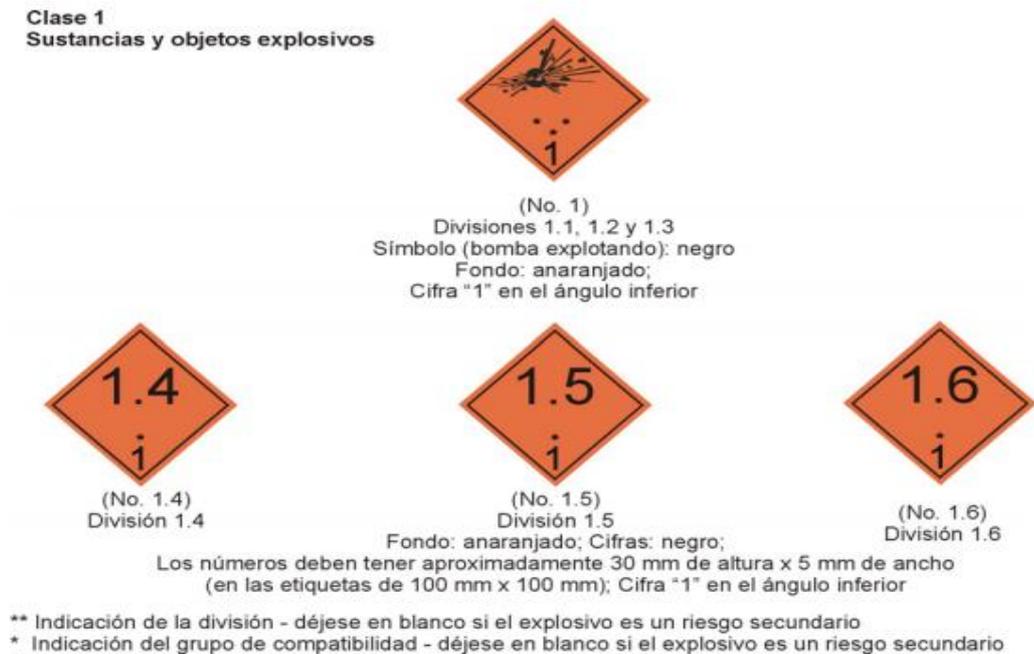
| Grupo de compatibilidad | A | B | C              | D              | E              | F | G              | H | J | K | L              | S |
|-------------------------|---|---|----------------|----------------|----------------|---|----------------|---|---|---|----------------|---|
| A                       | X |   |                |                |                |   |                |   |   |   |                |   |
| B                       |   | X |                |                |                |   |                |   |   |   |                | X |
| C                       |   |   | X              | X              | X              |   | X <sup>1</sup> |   |   |   |                | X |
| D                       |   |   | X              | X              | X              |   | X <sup>1</sup> |   |   |   |                | X |
| E                       |   |   | X              | X              | X              |   | X <sup>1</sup> |   |   |   |                | X |
| F                       |   |   |                |                |                | X |                |   |   |   |                | X |
| G                       |   |   | X <sup>1</sup> | X <sup>1</sup> | X <sup>1</sup> |   | X              |   |   |   |                | X |
| H                       |   |   |                |                |                |   |                | X |   |   |                | X |
| J                       |   |   |                |                |                |   |                |   | X |   |                | X |
| K                       |   |   |                |                |                |   |                |   |   | X |                | X |
| L                       |   |   |                |                |                |   |                |   |   |   | X <sup>2</sup> |   |
| S                       |   | X | X              | X              | X              | X | X              | X | X | X | X              | X |

**Figura 5. Grupos de compatibilidad para estibar.**  
(ICONTEC, 1996)

Por otro lado, existen ciertas responsabilidades en toda la cadena de transporte (Expedidor, Transportador, Destinatario):

- Expedidor:
  - Acuerdos previos entre expedidor, transportador y destinatario
  - Preparación de los documentos de transporte
  - Ruta
  - Obligaciones del expedidor con respecto a comunicar oportunamente al destinatario toda la información relativa al transporte.
- Transportador: Debe conocer perfectamente todas las normas aplicables al embalaje, envase, etiquetado (NTC 1692), transporte y documentación. Esto con el fin de reconocer errores que y así informar oportunamente.
- Destinatario: Tener en orden las diferentes licencias y permisos necesario para el transporte y recepción de mercancía, además de tener un espacio equipado y dotado con personal competente.

Para tener mayor claridad y facilidad a la hora de manejar, almacenar y transportar los residuos de explosivos, se debe fijar que cumplan con los requisitos del etiquetado, por ejemplo:



**Figura 6. Rotulado de Sustancias Explosivas.**  
(ICONTEC, 1996)

### 7.1.2 Almacenamiento:

Los explosivos deben tener un lugar especializado para su almacenamiento (polvorines), teniendo en cuenta que deben ser independientemente dependiendo de su material. Estos polvorines deben ser a prueba de balas, incendios y explosiones, tener buena ventilación e iluminación, cumplir con las mínimas distancias establecidas por INDUMIL, alejadas de edificaciones, vías férreas o carreteras. Sus puertas deben ser de hierro recubiertas internamente con chapa de madera, provistas de cerraduras de seguridad y pararrayos.

Se especifican 5 tipos de lugares de almacenamiento divididos de la siguiente manera:

- Polvorín Tipo 1. Debe ser una estructura permanente, como una edificación o iglú, con ventilación y resistencia a proyectiles, fuego, robo, condiciones climáticas e intemperie.
- Polvorín Tipo 2. Debe ser una estructura portátil o móvil, así como una caja o polvorín (magazín de plataforma móvil), tráiler o semi tráiler, con ventilación, resistente a fuego, robo, condiciones climáticas e intemperie. Pueden ser resistentes a proyectiles.
- Polvorín Tipo 3. Debe ser una caja diaria o estructura portátil, usada para el almacenamiento temporal de materiales explosivos.
- Polvorín Tipo 4. Debe ser una estructura permanente, portátil o móvil tal como edificación, iglú, caja, semirremolque, u otro contenedor móvil resistente a fuego, robo, condiciones climáticas e intemperie.
- Polvorín Tipo 5. Debe ser una estructura permanente, portátil o móvil, tal como un edificio, iglú, caja, recipiente, tanque, semirremolque, remolque a granel, tanque

remolque, camión a granel, camión cisterna, u otro contenedor móvil resistente al robo. No requieren ventilación.

Los planos de estos polvorines deben ser enviados para su revisión y aprobación a la industria militar, en donde el almacenamiento ocupará únicamente el 60% del espacio, el restante será destinado para tránsito y movimiento de material. Además de estos deben estar a mínimo 100 metros de la bocamina, teniendo en cuenta cantidades máximas y distintos parámetros de seguridad dispuestas por la industria militar. Se deben cumplir los siguientes parámetros de manejo de explosivos en el lugar de uso y almacenamiento:

- Está prohibido almacenar elementos metálicos: cables metálicos, rieles, herramientas, chatarras, etc.
- Está prohibido almacenar material diferente a explosivos. El polvorín debe tener un radio de 25 metros en donde no se puede almacenar material inflamable.
- Debe contener una correcta señalización tanto interior como exterior.
- Los sistemas eléctricos y de iluminación del polvorín deben estar fuera de este, o debidamente protegidas a prueba de explosiones.
- Tener los extintores dentro y fuera de la instalación según el tipo de sustancias contenida, con instrucciones claras de operación, en especial de no combatir el fuego cuando haya alcanzado el explosivo.
- Almacenar explosivos de acuerdo a su antigüedad, de tal manera que los más antiguos sean usados de primero.
- Llevar un control permanente del consumo de explosivos y accesorios de voladura
- La altura de almacenamiento de explosivos debe fijarse de acuerdo con la ficha técnica de almacenamiento expedida por el fabricante, para su manejo cómodo y seguro. Los explosivos estarán ubicados sobre plataformas de madera que tendrán una altura entre diez y treinta centímetros (10 y 30 cm) sobre el nivel del piso y a una distancia de cincuenta centímetros (50 cm) de la pared, para protegerlos de la humedad, vibraciones, sacudidas y así garantizar su correcta ventilación.
- Almacenamiento de explosivos en el interior de las labores mineras subterráneas. Sólo se permite el almacenamiento de explosivos y accesorios de voladuras en el interior de las labores mineras subterráneas, en las cantidades requeridas para cada jornada de trabajo. Este almacenamiento debe hacerse por separado en compartimentos que ofrecen óptima seguridad. El material no utilizado debe reintegrarse al polvorin, al término de la jornada.
- No se debe transportar al mismo tiempo el personal y los explosivos o elementos usados en voladuras.
- Durante la movilización de explosivos se debe seguir las instrucciones en las fichas técnicas y ser transportado por personal capacitado. (MINMINAS, 2015)

### 7.1.3 Legislación Colombiana

**Tabla 1. Legislación Colombiana sobre manejo de residuos peligrosos.**

| LEGISLACIÓN                                 | ESPECIFICACIÓN   |
|---|--|
| Decreto 4741 del 30 de Diciembre e del 2005 | "Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral"   |
|   | Define<br>Residuo o Desecho Peligroso. Es aquel residuo o desecho que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas puede causar riesgo o daño para la salud humana y el ambiente. Así mismo, se considera residuo o desecho peligroso los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos.  |
|   | Gestión Integral. Conjunto articulado e interrelacionado de acciones de política, normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de evaluación, seguimiento y monitoreo. Desde la prevención de la generación hasta la disposición final de los residuos o desechos peligrosos, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región.   |
|   | Plan de Gestión de Devolución de Productos Post-consumo. Instrumento de gestión que contiene el conjunto de reglas, acciones, procedimientos y medios dispuestos para facilitar la devolución y acopio de productos post-consumo que al desecharse se convierten en residuos peligrosos, con el fin de que sean enviados a DECRETOS NÚMERO 4741 del 30 de Diciembre de 2005 Hoja No. 3 instalaciones en las que se sujetarán a procesos que permitirán su aprovechamiento y/o valorización, tratamiento y/o disposición final controlada.  |
|   | Artículo 14°. Obligaciones del fabricante o importador de un producto o sustancia química con característica peligrosa. De conformidad con lo establecido en la Ley, en el marco de la gestión integral de los residuos o desechos peligrosos, el fabricante o importador de un producto o sustancia química con propiedad o característica peligrosa debe: a) Garantizar el manejo seguro y responsable de los envases, empaques, embalajes y residuos del producto o sustancia química con propiedad peligrosa. b) Cumplir con las obligaciones establecidas para generadores contenidas en el artículo 9o del presente decreto, para los residuos o desechos peligrosos generados en las actividades de fabricación o importación. c) Declarar a los consumidores y a los receptores el contenido químico o biológico de los residuos o desechos peligrosos que su producto o sustancia pueda generar. d) Comunicar el riesgo de sus sustancias o productos con propiedad peligrosa a los diferentes usuarios o consumidores. |

| LEGISLACIÓN            |  | ESPECIFICACIÓN   |
|------------------------|--|--|
|                        | Artículo 15°   | Responsabilidad del fabricante o importador. El fabricante o importador de un producto o sustancia química con propiedad peligrosa, para los efectos del presente decreto se equipará a un generador, en cuanto a la responsabilidad por el manejo de los embalajes y residuos del producto o sustancia. La responsabilidad integral subsiste hasta que el residuo o desecho peligroso sea aprovechado como insumo o dispuesto con carácter definitivo.  |
|                        | Artículo 17°   | Obligaciones del receptor. Las instalaciones cuyo objeto sea prestar servicios de almacenamiento, aprovechamiento y/o valorización (incluida la recuperación, el reciclaje o la regeneración), tratamiento y/o disposición final de residuos o desechos peligrosos deberán: a) Tramitar y obtener las licencias, permisos y autorizaciones de carácter ambiental a que haya lugar. b) Dar cumplimiento a la normatividad de transporte, salud ocupacional y seguridad industrial a que haya lugar. c) Brindar un manejo seguro y ambientalmente adecuado de los residuos o desechos deprecionados para realizar una o varias de las etapas de manejo, de acuerdo con la normatividad vigente. d) Expedir al generador una certificación, indicando que ha concluido la actividad de manejo de residuos o desechos peligrosos para la cual ha sido contratado, de conformidad con lo acordado entre las partes. e) Contar con personal que tenga la formación y capacitación adecuada para el manejo de los residuos o desechos peligrosos. g) Contar con un plan de contingencia actualizado para atender cualquier accidente o eventualidad que se presente y contar con personal preparado para su implementación. En caso de tratarse de un derrame de estos residuos el plan de contingencia debe seguir los lineamientos del Decreto 321 de 1999 por el cual se adopta el Plan Nacional de Contingencia contra Derrames de Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas en aguas Marinas, Fluviales y Lacustres o aquel que lo modifique o sustituya y estar articulado con el plan local de emergencias del municipio, para atender otro tipo de contingencia. h) Tomar todas las medidas de carácter preventivo o de control previas al cese, cierre, clausura o desmantelamiento de su actividad con el fin de evitar cualquier episodio de contaminación que pueda representar un riesgo a la salud y al ambiente, relacionado con los residuos o desechos peligrosos. |
| Decreto 1609 del 31 de | "Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera". |  |

| LEGISLACIÓN    |               | ESPECIFICACIÓN   |
|----------------|---------------|--|
| Julio del 2002 | ARTÍCULO. 4°- | Manejo de la carga: 2. Pruebas de ensayo, marcado y requisitos de los embalajes y envases. A. Embalajes y envases para transporte de mercancías peligrosas Clase 1 corresponde a Explosivos, cuya Norma Técnica Colombiana es la NTC 4702-1. |
|                |               | Manejo de la carga: 3. Clase 1 corresponde a explosivos, la Norma Técnica Colombiana que la identifica y condiciona su transporte y uso es la NTC 3966 elaborada por el Organismo Nacional de Normalización                                  |

(Autor, 2018)

## 7.2 MARCO INSTITUCIONAL

### 7.2.1 Producción y adquisición de explosivos en Colombia

El manejo dentro del territorio Colombiano de explosivos para la minería colombiana, está a cargo de una mesa de trabajo conformada por, Ministerios de Minas y Energías, Ministerio de la Protección social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, INGEOMINAS, Departamento de Control y Comercio de Armas, Municiones y Explosivos (DCCA), Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Industria Militar (INDUMIL). Cada uno de los nombrados anteriormente encargado de aspectos legales o procedimientos fundamentales. (Ministerio de la Protección Social, 2010)

Por parte de INGEOMINAS, en la etapa de exploración es necesario cumplir con los siguientes requisitos:

- Póliza minero ambiental vigente durante toda la vida del proyecto (Artículo 280 de la Ley 685 de 2001)
- Canon Superficial en función de salarios por hectárea otorgada (Artículos 230 de la ley 685 de 2001 y 16 de la ley 1382 de 2010)
- Programa de trabajos y obras (Artículo 84 de la ley 685 de 2001)
- Uso de explosivos bajo consideraciones técnicas especiales y previa justificación y aprobación

En la etapa de construcción y montaje:

- Póliza Minero ambiental, vigente durante toda la vida del proyecto (Artículo 280 de la Ley 685 de 2001.
- Canon Superficial en función de salarios por hectárea otorgada (Artículos 230 de la ley 685 de 2001 y 16 de la ley 1382 de 2010)
- Licencia Ambiental (Artículo 205 de la Ley 685 de 2001)
- Cumplimiento del programa de Trabajos y Obras (PTO) Aprobado.
- Cumplimiento de normas de seguridad e higiene minera (Decretos 1335 de 1987 y 2222 de 1993)

- Cumplimiento de aspectos de seguridad social o salud ocupacional. Almacenamiento, uso y manejo de explosivos acordes con el PTO y PMA aprobados y normativa vigente. (Ministerio de la Protección Social, 2010)

Durante la etapa de explotación:

- Manejo técnico adecuado acorde al PTO aprobado (artículo 99 de la Ley 685 de 2001).
- Suministro de información a la autoridad minera –Formato Básico Minero– (FBM) (artículo 100 de la Ley 685 de 2001).
- Cumplimiento de lo establecido en la licencia ambiental (artículo 205 y ss. de la Ley 685 de 2001).
- Pago de regalías (artículo 227 de la Ley 685 de 2001, Leyes 141 de 1994 y 756 de 2002 y Constitución Política de Colombia de 1991).
- Póliza Mineroambiental vigente durante toda la vida del proyecto (artículo 280 de la Ley 685 de 2001).
- Cumplimiento de normas de seguridad e higiene minera (Decretos 1335 de 1987 y 2222 de 1993).
- Cumplimiento de aspectos de seguridad social y salud ocupacional.
- Almacenamiento, uso y manejo de explosivos acordes con el PTO y el PMA aprobados y normativa vigente.

Además de lo anterior es necesario tener el personal lo suficientemente capacitado, en Colombia. Las dos entidades encargadas de la formación, acreditación y certificación para labores relacionadas con el uso y manejo de explosivos son La Escuela de Ingenieros Militares encargada de la expedición de certificados de “empleo básico y elemental de explosivos comerciales en minería y obras civiles”, en donde las especificación de expedición de este certificado están en la Guía de adquisición de explosivos y accesorios de voladura. (Ministerio de la Protección Social, 2010)

El SENA por su parte es el encargado de formar y acreditar la idoneidad y competencias de las personas que ejecutan estas labores, bajo el programa de Actualización en Manipulación de Sustancias Explosivas, de igual manera se especifican en la guía nombrada en párrafos anteriores los requisitos para el ingreso a dicho programa y sus procesos de inscripción.

Para la adquisición de material explosivo y material para su uso es necesario presentar ante el Departamento de Control y Comercio de Armas Municiones y Explosivos (DCCA):

- Inscripción Usuario de Explosivos
- Solicitud de cupo de material explosivo: Año vigente, 1 de enero hasta el 31 de diciembre.
- Adición de Material Explosivo:
  - Solicitud dirigida al DCCA para la autorización de adición, en la que se especifiquen los motivos por los cuales requiere más 56 material explosivo y accesorios de voladura.

- Justificación técnica del material explosivo y accesorios de voladura solicitados y/o sustancias químicas controladas. El estudio debe contar con las especificaciones de perforación, características del material para extraer, volúmenes por explotar, realizar análisis por cada una de las labores con explosivo y todo aquello que sustente las cantidades de material explosivo. El estudio debe ser realizado, en original, avalado y firmado por un ingeniero que acredite conocimiento en diseño y ejecución de voladuras.
- Para aquellos casos donde la necesidad de material explosivo obedezca a un incremento en la producción minera, la autoridad minera avalá el incremento de la explotación y emite el certificado de uso de explosivo donde aclare los nuevos volúmenes de explotación.
- Cesión de Material Explosivo: Solicitud dirigida al DCCA para la autorización de cesión, en la que se especifiquen los motivos por los cuales se requiere la adición de material explosivo. El documento debe ser avalado por la empresa que entrega y por la que recibe.
- Autorización de Compra:
  - Solicitud dirigida al DCCA o JEM, según el caso, en la que se incluye la autorización de compra y se especifiquen: clase, cantidad de explosivos y accesorios que se necesitan.
  - Formulario de autorización para la venta de explosivos y accesorios
- Autorización para la movilización de material explosivo: Tendrá vigencia de 90 días para el traslado de material explosivo desde el sitio de origen hasta su destino final.

Finalmente, la industria Militar de Colombia (INDUMIL) es la principal encargada de la producción y comercialización de explosivos y accesorios necesarios para realizar una voladura, usados en sectores de minería, infraestructura, exploración y explotación de hidrocarburos. Una vez cumplidos los diferentes requisitos legales exigidos por las autoridades competentes, entidades públicas, personas jurídicas de derecho privado y personas naturales colombianas y extranjeras que tengan autorizaciones vigentes del DCCA y Comando de la unidad militar pueden acceder a la compra del material necesitado, siguiendo los siguientes pasos (Ministerio de la Protección Social, 2010):

- Solicitud de Cotización
- Emisión de orden de compra o pedido
- Pago de pedido
- Facturación y entrega del material

### **7.3 MARCO CONCEPTUAL**

Una de las metodologías extractivas de metales que se aplican en Colombia, es la minería subterránea, la cual es la actividad que se realiza por debajo del suelo; debido a la distribución del mineral y dependiendo de los mantos, tipo de roca y finalidad se identifican cuatro

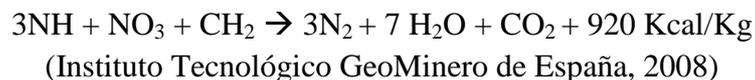
principales tipos de explosivos comerciales. Las dinamitas, ANFO (Ammonium Nitrate Fuel Oil), Hidrogeles Slurry y Emulsiones, cada uno para un uso en específico.

Dentro de la minería extractiva se usan explosivos que se pueden dividir en dos categorías, sensibles al fulminante N°8 y no sensibles al fulminante N°8. Para las minas de oro subterráneas, se utilizan los no sensibles al detonador debido a las bajas velocidades de detonación, lo que facilita la acumulación de gases realizando una mayor acción de fracturación de las rocas. Más específicamente se usa el agente ANFO el cual consta de una fase sólida y otra líquida, pues requiere un aditivo energético para comenzar la reacción, posee una gran limitante por su intolerancia a ambientes húmedos, dentro de las minas de oro se utiliza las concentraciones convencionales, 94% nitrato de amonio y 6% aceite combustible con esto se asegura una velocidad de expansión de 2500 a 3000 m/s. (Strata Gold Corporation, 2014)

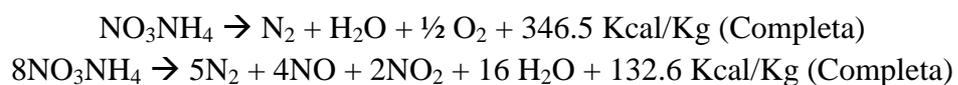
También se encuentran las emulsiones, que a diferencia de los ANFO constan de dos fases líquidas caracterizadas por su alta velocidad (4800 a 5200 m/s), potencia y resistencia al agua, usados comúnmente para taladros y roca dura, se usan a manera de cartuchos o granel. (EXSA S.A., 2013)

La composición química de los principales explosivos que se utilizan en la industria minera son los siguientes:

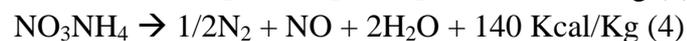
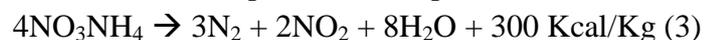
- ANFO ( $\text{NO}_3\text{NH}_4$ ): Está compuesto por una parte sólida (nitrato de amonio) y una parte líquida (Aceite combustible). La reacción de descomposición en un sistema equilibrado es la siguiente:



En otras bibliografías muestran las siguientes reacciones de descomposición tanto completa como incompleta.



Explosión incompleta:



(Peña & Silva, 2008)

- Emulsión: Compuesta por sales inorgánicas oxidantes disueltas en agua, normalmente se usa Nitrato de Amonio y la fase aceitosa por un combustible líquido inmiscible con el agua del tipo hidrocarbonado. (Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 2008). La parte acuosa es la encargada de brindar el oxígeno requerido para que suceda la reacción y la fase aceitosa es el medio en el que se desarrolla. Estas emulsiones varían su densidad dependiendo de la densidad de la roca, humedad y otros factores determinantes a la hora de realizar la explosión. (Akhavan, 2004)

Del resultado por uso de estas sustancias se obtienen diferentes residuos, uno de estos es el peligroso, entendiéndolo como se establece en el Decreto 4741 del 30 de diciembre del 2005. Es aquel residuo o desecho que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas puede causar riesgo o daño para la salud humana y el ambiente. Así mismo, se considera residuo o desecho peligroso los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos.

## 7.4 MARCO TEÓRICO

### 7.4.1 Afectaciones Ecosistémicas

Uno de los residuos que se pueden presentar en la minería subterránea por uso de explosivos, son los mismos explosivos que por condiciones de caducidad o calidad no pueden ser usados, y deben ser dispuestos de una manera correcta. En la desactivación por detonación se pueden identificar impactos en el suelo, por los componentes que permanecen en el ambiente viéndose afectadas diferentes características fisicoquímicas el suelo. Dependiendo de la cantidad de explosivos que se lleguen a detonar será menor o mayor el impacto, según Villate y Lozano, como lo muestran en los siguientes resultados.

**Tabla 2. Características Físicas.**

| <b>Cantidad de Explosivo</b> | <b>Densidad Real (gr/cc)</b> | <b>Densidad Aparente (gr/cc)</b> | <b>Porosidad %EP</b> |
|------------------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| <b>0 Kg</b>                  | 2.587                        | 0.958                            | 62.96                |
| <b>3 Kg</b>                  | 2.720                        | 1.185                            | 56.43                |
| <b>5 Kg</b>                  | 2.612                        | 1.142                            | 56.27                |
| <b>10 Kg</b>                 | 1.974                        | 0.981                            | 50.30                |

(Villate & Lozano, 2008)

Dentro de la densidad real, no se ve gran variación debido a que se analiza la fase sólida y la gran cantidad de minerales tienen una similitud en esta, aunque por la alteración de la materia orgánica presente después de la explosión, se da la variación del parámetro.

Por otro lado la densidad aparente del suelo se encuentra relacionada con otras características del suelo, así que a medida que se aumentó la cantidad de ANFO se ve una disminución en esto, lo cual afecta procesos de aireación, drenaje, movilización de nutriente, enraizamiento y porosidad.

Para determinar el contenido de los siguientes compuestos se realizó un examen por medio de la metodología de TCLP, para conocer la movilidad de los componentes orgánicos e inorgánicos presentes en residuos y si un residuo puede clasificarse como tóxico, mediante la extracción del lixiviado.

El análisis TCLP simula condiciones de infiltración de un líquido en el residuo, donde el líquido al infiltrarse, reacciona a menudo con los componentes peligrosos del residuo y puede

ocasionar riesgos de salud pública y ambiental debido a los contaminantes que absorbe. Esta característica del procedimiento, puede ser utilizada también como método de extracción de compuestos. Dan los siguientes resultados:

**Tabla 3. Características Químicas.**

| <b>Análisis</b> | <b>Blanco</b> | <b>3 Kg</b> | <b>5 Kg</b> | <b>10 Kg</b> | <b>Unidad</b> |
|-----------------|---------------|-------------|-------------|--------------|---------------|
| <b>Nitratos</b> | 0.300         | 0.217       | 0.167       | 0.100        | Mg/L NO3      |
| <b>Nitritos</b> | 0.020         | 0.021       | 0.022       | 0.031        | Mg/L NO2      |
| <b>Amonio</b>   | 0.010         | 0.015       | 0.010       | 0.090        | Mg/L NH4      |
| <b>Sulfuro</b>  | 21.00         | 10.50       | 14.667      | 26.00        | µg/L S2       |
| <b>Potasio</b>  | 3.00          | 3.00        | 3.33        | 2.917        | Mg/L K        |
| <b>Fosfatos</b> | 0.520         | 0.342       | 0.595       | 0.710        | Mg/L PO4      |

(Villate & Lozano, 2008)

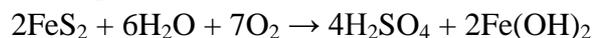
La tendencia de los nitratos disponibles en el suelo después de la explotación muestra una disminución debido a las reacciones ocurridas con el nitrato contenido en el ANFO y la alta energía se convierte en di nitrógeno (N<sub>2</sub>), Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O) y Óxido nítrico (NO), gases que se liberan a la atmósfera, y también puede convertirse en nitritos (NO<sub>2</sub>) que permanece en el suelo. Esto genera en un déficit de nitrógeno disponible para los organismos.

Por otro lado, la disponibilidad de nitritos aumenta paulatinamente con el incremento de la cantidad de explosivos, esta permanencia garantiza disponibilidad de nitrógeno en el suelo para que sea asimilada y convertida en nitratos, aunque no supe totalmente la deficiencia. Además de esto el amonio a pesar que no tiene un comportamiento constante, muestra un aumento con las dos mayores cantidades de explosivo, puede ser causado por una reacción incompleta, depositándose en el suelo.

El comportamiento del sulfuro varía debido a la energía liberada, se puede transformar en diferentes formas de gases SO<sub>x</sub>, además también se ve alterado por el aceite diésel empleado. Tanto en el horizonte A y B de la muestra de suelo se ve un comportamiento similar de los parámetros fisicoquímicos, alterando el equilibrio ambiental y comportamiento del suelo. (Villate & Lozano, 2008)

Por otro lado, en el artículo *“Afectación ambiental de la calidad del agua de la quebrada cascabel generada por la explotación minera artesanal del municipio de Marmato”*, especifica que la generación de drenajes ácidos que puedan llegar a tener contenido de metales pesados, se da debido a la cantidad de minerales contenidos en las rocas perturbadas con la explosión, que al contacto con el aire y agua generan soluciones acidez que por infiltración llegan a cuerpos de agua subterránea. Además, se da el aumento de la sedimentación por la alteración de la materia orgánica, afectando organismos acuáticos. (Gomez & Rojas, 2014)

En complemento del artículo citado anteriormente, Ogola, Mitulla y Omulo nos muestran algunos ejemplos de procesos que pueden llegar a presentar la oxidación de minerales sulfurados, principalmente piritita ( $\text{FeS}_2$ ), pero también pirrotita ( $\text{FeS}$ ), marcasita ( $\text{FeS}_2$ ), galena ( $\text{PbS}$ ), esfalerita ( $\text{ZnS}$ ), arsenopiritita ( $\text{FeAsS}$ ) y calcopiritita ( $\text{CuFeS}_2$ ). Por ejemplo la siguiente reacción muestra la producción de ácido sulfúrico.



La generación de estos ácidos provoca la liberación de metales Pb, As, Cd, Cu, Zn, Ni. Esto altera las condiciones normales de parámetros como el pH que están directamente relacionados con diferentes procesos en el medio. (Ogola, Mitulla, & Omulo, 2001)

Además de lo anterior estudios realizados en Estados Unidos en lugares como El Departamento de Defensa de USA y El Departamento del Ejército de USA, mostraron concentraciones de contaminación por explosivos en suelo y cuerpos de agua tanto superficiales como subterráneos, dando evidencia que los principales contaminantes son compuestos nitrogenados, como TNT (Trinitrotolueno), RDX (hexa-ciclotrimetilentrinitramina), HMX (octacicotetrametilentrinitramina), y DNT (Dinitrotolueno). Estos elementos pueden ser degradados muy lentamente por procesos naturales, y a pesar de tener cierta tolerancia a algunas concentraciones de estos compuestos, se reporta bioacumulación en plantas de TNT y RDX en mayor proporción. (Pennington & Brannon, 2002)

Por último en el escrito "*Los Residuos Mineros*" se especifica que los explosivos que son usados para la rotura de la roca, son transportados en diferentes recipientes, puede ser de plástico o de cartón, aunque también cualquier material que no reaccione con el contenido. Una vez se le dé el uso a los explosivos, los cuales normalmente realizan una reacción completa, en caso de que al momento del uso estén deteriorados o vencidos, tanto estos como los recipientes son un residuo peligroso para la empresa. Es necesario que sean dispuestos de una manera correcta y no como un recipiente o residuo cualquiera, para cumplir con los procedimientos de desactivación y disposición final adecuados, es necesario consultar con la norma y así establecer los correctos procedimientos. (Castells, 2012)

#### **7.4.2 Metodologías de eliminación de residuos de explosivos:**

Debido a los diferentes impactos sobre la salud pública y el medio ambiente, el interés por la disposición final de residuos de manejo de explosivos ha ido en aumento alrededor del mundo. La mayoría de estos residuos poseen altas cantidades de nitrógeno, principalmente TNT (Trinitrotolueno), RDX (hexa-ciclotrimetilentrinitramina), HMX (octacicotetrametilentrinitramina) y DNT (Dinitrotolueno), que son el resultado de la detonación de municiones que terminan sobre la superficie del suelo, y por efectos de escorrentía sobre cuerpos de agua subterráneos.

Métodos biológicos para la degradación de estos compuestos y remediación se han desarrollado bajo diferentes metodologías. El más común es la bioestimulación de

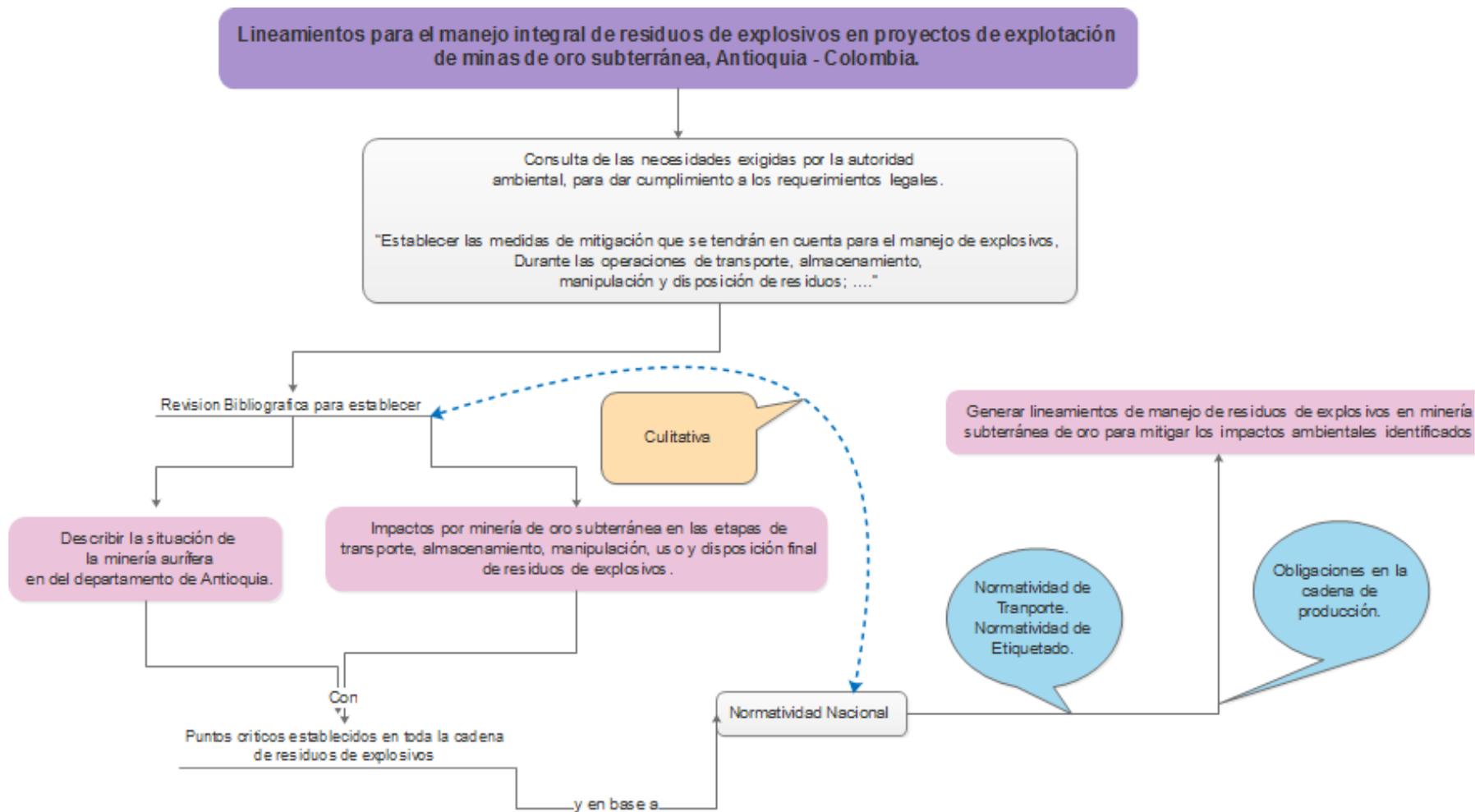
microorganismos usando una fuente de carbón, también la biodegradación de explosivos mediante la fitorremediación.

Por otro lado metodologías abióticas para la degradación han sido también examinadas, mediante la reducción por el uso de Hierro de valencia cero (ZVI, Zero valent iron), en donde por medio de la transferencia de electrones por parte del hierro, se presenta deshalogenación e hidrogenación permitiendo la degradación de compuestos energéticos. La efectividad de esta técnica se puede ver afectada por medios donde los pH sean elevados, medios con contenido de hierro y la presencia de nitrato de carbono  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Debido a lo anterior y teniendo en cuenta que el principal compuesto de los explosivos usados en minería subterránea con los ANFO, esta metodología no podría ser aplicada en este caso.

Recientes estudios han mostrado que la catálisis con paladio es eficiente para la degradación de compuestos nitro- y nitroso-, esto a temperatura y presión ambiente, debido a que la transferencia de electrones se da entre el hidrógeno absorbido y el halógeno, haciendo que los grupos funcionales nitro y nitroso de contaminante disuelto, producen compuestos reducidos. (Fuller, Schaefer, & Lowy, 2006)

En Colombia se están haciendo diferentes estudios basados en la biorremediación, enfocándose en remoción de TNT (Trinitrotolueno) y PETN (Pentaeritriol), por medio de la comprensión del metabolismo del explosivo y el de las bacterias seleccionadas para cada tipo. Para ambos casos de estudio se obtuvieron resultados positivos en donde las tasas de remoción oscilan entre el 35% y 50%, aclarando que todas las muestras que se analizaron fueron sintéticas, relacionando mezclas de contaminantes y agua dentro del laboratorio. (Bravo & Aldana, 2010) (Carvajal & Herrera, 2010)

## 8 METODOLOGÍA



**Figura 7. Metodología de desarrollo.**  
(Autor, 2018)

Mediante el análisis de los diferentes trabajos realizados por la empresa Servicios Ambientales y Geográficos (SAG S.A.), se identifica uno de los requerimientos establecidos por la autoridad ambiental el cual es el manejo de residuos de explosivos para las minas de oro subterráneas.

Mediante revisión bibliográfica de fuentes secundarias y entrevistas con diferentes directos de proyectos de la empresa nombrada en el párrafo anterior, se logra la identificación de la cantidad de proyectos que se encuentran en operación dentro del departamento de Antioquia, y así mismo se logra describir la situación de la minería.

Una vez descrita e identificada la principal metodología extractiva que se aplica, se procede a realizar una matriz de impactos en donde se evaluaron los impactos generados por las acciones desarrolladas durante la etapa de operación relacionadas con el uso de explosivos. Únicamente se analiza esta etapa de los proyectos ya que es donde se manejan grandes cantidades de explosivos.

Por ultimo en base a los resultados obtenidos de la matriz de impactos, y la revisión de la normatividad y legislación vigente se realizan los lineamientos pertinentes para la reducción y mitigación de los impactos generados por la producción de residuos de explosivos.

## 9 PLAN DE TRABAJO EN UN CRONOGRAMA

| <i>LINEAMIENTOS PARA EL MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS DE EXPLOSIVOS EN PROYECTOS DE EXPLOTACIÓN DE MINAS DE ORO SUBTERRÁNEA, ESTUDIO DE CASO MINA BURITICÁ, ANTIOQUIA - COLOMBIA.</i> |   |   |  |   |            |            |
|---|---|---|--|---|------------|------------|
| <i>CRONOGRAMA DE TRABAJO 2018</i>   |   |   |  |   |            |            |
| FASE  | OBJETIVO ESPECÍFICO   | ACTIVIDADES / ESTRATEGIAS   | PARTICIPANTES  | PRODUCTO  | FECHA      |            |
|   |   |   |  |   | Inicio     | Fin.       |
| PLANEACIÓN  | Describir el estado actual de los recursos naturales en la zona de estudio  | Identificar las necesidades del proyecto evaluado                                 | Juan Camilo Perdomo (Estudiante Universidad el Bosque)<br>Veronica Arana (Servicios Ambientales y Geográficos S.A) | Reconocimiento del principal requerimiento                      | 01/02/2018 | 09/02/2018 |
|   |   | Consulta bibliográfica sobre la zona de estudio                                   | Juan Camilo Perdomo (Estudiante Universidad el Bosque)   | Descripción sobre el estado actual de la zona                   | 22/02/2018 | 26/02/2018 |
| DIAGNÓSTICO   | Identificar y evaluar los impactos por minería de oro subterránea en las etapas de transporte, almacenamiento, manipulación, uso y disposición final de residuos de explosivos. | Consulta sobre la normatividad vigente aplicable                                  | Juan Camilo Perdomo (Estudiante Universidad el Bosque)   | Línea base para encaminar la formulación de los lineamientos    | 26/02/2018 | 28/02/2018 |
|   |   | Revisión bibliográfica nacional e internacional sobre el tema seleccionado        | Juan Camilo Perdomo (Estudiante Universidad el Bosque)   | Reconocimiento de impactos generados en la cadena de producción | 01/03/2018 | 04/03/2018 |
|   |   | Consulta sobre la cadena de producción nacional                                   | Juan Camilo Perdomo (Estudiante Universidad el Bosque)   | Identificación sobre responsables en la cadena de producción    | 04/03/2018 | 06/03/2018 |
| EJECUCIÓN   | Generar lineamientos de manejo de residuos de explosivos en minería subterránea de oro para mitigar los impactos ambientales identificados                                      | Plantear los resultados obtenidos basándose en la revisión bibliográfica          | Juan Camilo Perdomo (Estudiante Universidad el Bosque)   | Cumplimientos de los dos primeros objetivos específicos         | 21/03/2018 | 28/03/2018 |
|   |   | Plantear los lineamientos necesarios y sus respectivos estrategias de seguimiento | Juan Camilo Perdomo (Estudiante Universidad el Bosque)   | Cumplimiento del objetivos específico N°3                       | 29/03/2018 | 05/03/2018 |
|   |   | Establecer conclusiones y recomendaciones pertinentes                             | Juan Camilo Perdomo (Estudiante Universidad el Bosque)   | Terminado del documento   | 05/03/2018 | 07/03/2018 |

## 10 ASPECTOS ÉTICOS

A pesar de que la formulación de los lineamientos tendría un mejor planteamiento y desarrollo, si la línea base con la que se formularán fuera de una mina en específico. No se logró obtener esta información por parte de las empresas mineras, pues son demasiado reservados con esta información.

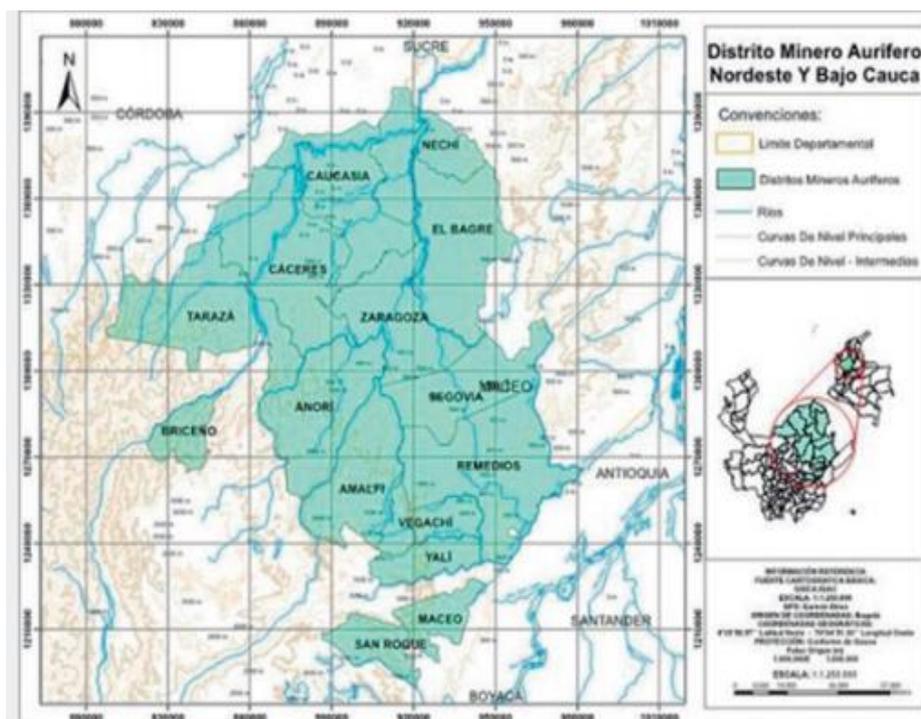
Por otro lado, existen cláusulas de confidencialidad de parte de la empresa Servicios Ambientales y Geográficos S.A. Que impiden la publicación de información de sus clientes.

Por todo lo anterior, este trabajo de grado plantea los lineamientos de manera general en la minería aurífera subterránea en el Departamento de Antioquia.

## 11 RESULTADOS

### 11.1 DESCRIPCIÓN DE SITUACIÓN ACTUAL DE LA MINERÍA EN ANTIOQUIA

El primero de los distritos es el Nordeste y Bajo Cauca, Conformado por 15 municipios, el cual cuenta con dos principales fuentes hídricas, Río Cauca y Río Porce. Los dos depósitos que se encuentran en este distrito se encuentran ubicados en los municipios de Segovia y Remedios, estos son explotados por parte de mineros pequeños y grandes empresas, principalmente mediante métodos subterráneos de extracción. (CORANTIOQUIA, 2016)



**Figura 8. Mapa Distrito Minero Aurífero 1.**  
(CORANTIOQUIA, 2016)

De acuerdo con de las condiciones económicas de los mineros utilizan desde taladores manuales hasta perforadoras neumáticas, cargue manual, tracción humana de las carretillas y malacates. La planta artesanal más común usada en este distrito es el Entable, donde por medio de motobombas de gasolina recuperan el material por medio de bateas y procesos de amalgamación.

El segundo distrito se encuentra bajo la jurisdicción de CORANTIOQUIA, el cual se divide en dos zonas, la primera de ellas se encuentra en el flanco oriental de la cordillera central y el segundo en el sector medio del valle del río Magdalena, al suroeste del departamento. Los conforman los municipios de Puerto Berrío, Puerto Nare, San Luis y Sansón, regido por los sistemas hidrográficos de los ríos Magdalena, Samaná, Cocorá, Nus, Nare, Porce y Buey. (CORANTIOQUIA, 2016)

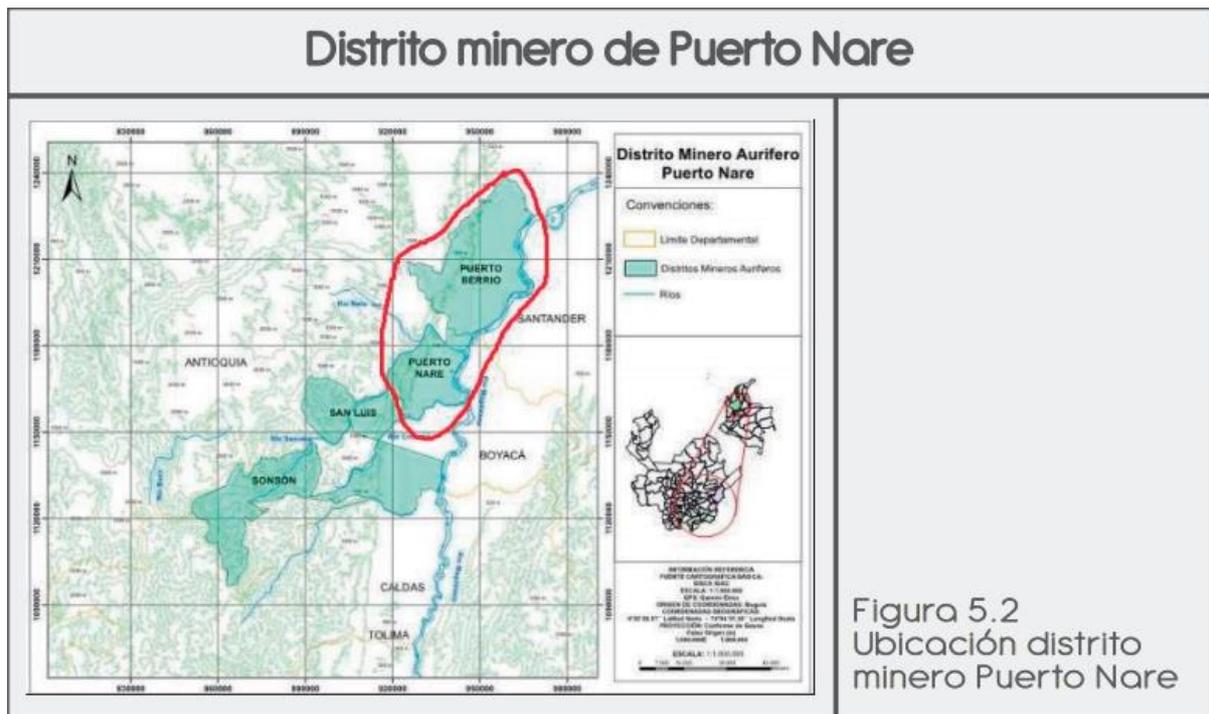


Figura 5.2  
Ubicación distrito  
minero Puerto Nare

**Figura 9. Distrito Minero Aurífero 2.**  
(CORANTIOQUIA, 2016)

Aquí se encuentran dos vetas de oro que extraen el material mediante métodos de explotación subterránea, aunque también se encuentran el método de terrazas que extraen el material mediante retroexcavadoras y volquetas.

Dentro de ambos distritos mineros, se identifica una gran diversidad de cuerpos de agua, fuente primaria para muchos de los municipios de la zona. De acuerdo a los reportes hechos por la Corporación Autónoma Regional de Antioquia, se realiza la siguiente tabla identificando, distrito minero, municipio, cuerpos de agua principales y los impactos generados en cada una de las etapas de la minería.

| Distrito              | Municipios    | Cuerpos de Agua | Descripción   | Recurso       | Impactos de Exploración y Explotación   | Impactos de Beneficio y Transformación   |
|-----------------------|---------------|-----------------|---|---------------|---|--|
| Nordeste y Bajo Cauca | Amalfi        | Rio Cauca       | Los depósitos ubicados en los municipios de Segovia y Remedios son explotados por pequeños empresarios por el método de guías. De acuerdo a las condiciones económicas de los mineros utilizan, desde taladros manuales hasta perforadoras neumáticas o eléctricas, cargue manual, tracción humana de las carretillas o coches y malacates, en los casos que sea una zona inclinada | Agua          | Sedimentación, cambios en la calidad fisicoquímica y biológica de los cuerpos de agua, originada por el aporte de sedimentos, material orgánico, zonas de depósito de material, aguas residuales u otros líquidos como combustibles.  | Aportes de sedimentos y sustancias sobre los cuerpos de agua Superficiales y subterráneos provenientes de: Sedimentadores, reactivos químicos y floculantes, residuos líquidos y lixiviados; bien sea por infiltración o por escorrentía desde las pilas de escombros.<br><br>Así mismo, se pueden presentar cambios fisicoquímicos y biológicos de los cuerpos de agua por descargas térmicas provenientes de la planta y por derrames de combustibles, grasas y aceites provenientes de maquinaria, equipo y actividades de mantenimiento realizadas en los talleres |
|                       | Anorí         |                 |   |               |   |  |
|                       | Briceño       |                 |   |               |   |  |
|                       | Cáceres       |                 |   |               |   |  |
|                       | Caucasia      |                 |   |               |   |  |
|                       | El Bagre      |                 |   |               |   |  |
|                       | Nechí         | Rio Porce       |   | Suelo         | Impactos derivados de la preparación y adecuación de terrenos para las actividades propias del proyecto exploratorio, que aumentan temporalmente la exposición del suelo a factores climáticos como la lluvia y el viento El suelo es susceptible de ser contaminado por la utilización de combustibles, lubricantes o sustancias requeridas en las labores de perforación. | Las propiedades del suelo son susceptibles de ser modificadas por residuos de reactivos y aditivos utilizados en los procesos de beneficio y transformación. Los elementos y las sustancias pueden lixivarse, movilizarse y dispersarse por eventos climáticos, actividad biológica y procesos químicos, posibilitando la generación de drenajes ácidos. Los metales provenientes de las escorias, los residuos orgánicos contenidos en lodos residuales y los derrames de combustibles, lubricantes y sustancias tóxicas, son otros agentes contaminantes del suelo.  |
|                       | Maceo         |                 |   |               |   |  |
|                       | Remedios      |                 |   |               |   |  |
|                       | San Roque     |                 |   |               |   |  |
|                       | Segovia       |                 |   |               |   |  |
|                       | Tarazá        |                 |   |               |   |  |
| Yalí                  |               |                 |   |               |   |  |
| Zaragoza              |               |                 |   |               |   |  |
| Puerto Nare           | Puerto Berrio | Rio Magdalena   | El distrito se caracteriza por ser una zona de explotación de caliza para la producción de cementos. Sin embargo, existen dos explotaciones mineras de oro de veta que extraen el material de interés por métodos subterráneos. La minería de aluvión es realizada por el método de terrazas con maquinaria como retroexcavadoras y volquetas                                       | Flora y Fauna | Con la pérdida de especies vegetales se disminuye la biomasa vegetal, se altera el paisaje, se modifica el hábitat para la fauna silvestre, se acelera o se induce procesos erosivos y se puede alterar la calidad y cantidad de aguas.   | La disposición inadecuada de lodos, residuos peligrosos y escorias, y la sedimentación del material particulado proveniente de los procesos de trituración, molienda y transporte del mineral, afectan la cobertura vegetal por cuanto disminuyen la capacidad de las plantas para realizar procesos fotosintéticos. La fauna silvestre es sensible a las alteraciones del medio natural asociadas por ruidos, vibraciones e incremento en los niveles de emisión de gases, entre otros  |
|                       |               | Rio Samaná      |   |               |   |  |
|                       | Puerto Nare   | Rio Cocorná     |   |               |   |  |
|                       |               | Rio Nus         |   |               |   |  |
|                       | San Luis      | Rio San Luis    |   |               |   |  |
|                       | Sonsón        | Rio Sonsón      |   |               |   |  |

**Tabla 4. Resumen de situación actual de Minera aurífera en Antioquia**

(CORANTIOQUIA, 2016)

(Autor, 2018)

## 11.2 MATRIZ PARA LA EVALUACIÓN AMBIENTAL

Con el fin de desarrollar el segundo objetivo se realizó una evaluación ambiental mediante la Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental del Autor Vicente Conesa Fernández, Edición 4°. Serán los parámetros y procedimientos establecidos allí que se van a seguir para la valoración cualitativa del impacto ambiental. Para este proyecto será evaluada únicamente la etapa de operación de la mina, debido a que en esta etapa es en la que más cantidad de explosivos serán usados, por lo tanto la de mayor cantidad de residuos producidos.

Para comenzar a desarrollar la matriz de identificación de impactos ambientales, se equiparó las diferentes acciones durante la etapa de operación de la mina, contra los factores del medio ambiente que se presume que serán impactados. Seguido a esto se lleva a cabo la valoración cualitativa, teniendo en cuenta los principales factores medio impactado y las variables mostradas a continuación.

**Tabla 5. Variables para la evaluación ambiental.**

|   |  |
|---|--|
| NATURALEZA<br><br>Impacto Beneficioso (+)<br>Impacto Perjudicial (-)                                      | INTENSIDAD (IN)<br><br>Baja o mínima (1)<br>Media (2)<br>Alta (4)<br>Muy Alta (8)<br>Total (12)            |
| EXTENSIÓN (EX)<br><br>Puntual (1)<br>Parcial (2)<br>Amplio o Extenso (4)<br>Total (8)<br>Crítico (+4)     | MOMENTO (MO)<br><br>Largo plazo (1)<br>Medio Plazo (2)<br>Corto plazo (3)<br>Inmediato (4)<br>Crítico (+4) |
| PERSISTENCIA (PE)<br><br>Fugaz (1)<br>Momentáneo (1)<br>Temporal (2)<br>Persistente (3)<br>Permanente (4) | REVERSIBILIDAD (RV)<br><br>Corto Plazo (1)<br>Medio Plazo (2)<br>Largo Plazo (3)<br>Irreversible (4)       |
| SINERGIA (SI)<br><br>Sin sinergismo (1)<br>Sinergismo moderado (2)<br>Muy sinérgico (4)                   | ACUMULACIÓN (AC)<br><br>Simple (1)<br>Acumulado (4)  |
| EFEECTO (EF)<br><br>Indirecto (1)<br>Directo (4)  | PERIODICIDAD (PR)<br><br>Irregular (1)<br>Periódico (2)<br>Continuo (4)                                    |
| RECUPERABILIDAD (MC)<br><br>Inmediata (1)   | IMPORTANCIA (I)  |

|                   |   |
|-------------------|---|
| Corto plazo (2)   | $I = (3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$ |
| Medio Plazo (3)   |   |
| Largo plazo (4)   |   |
| Mitigable (4)     |   |
| Irrecuperable (8) |   |

(Conesa, 2010)

La evaluación cualitativa se hará en base a 12 variables:

- El signo (+ o -) el cual nos mostrará si el impacto tiene un carácter beneficioso o perjudicial para el medio.
- Intensidad (In) se refiere a al grado de incidencia de la acción sobre el factor, tendrá una escala entre 1 (Afectación mínima) y 12 (Destrucción Total).
- Extensión (Ex) refleja la fracción del medio afectada por la acción, será evaluado con valores de 1 (siendo muy puntual) a 8 (Total).
- Momento (Mo) se refiere al plazo de manifestación del impacto una vez realizada la acción, si el periodo de tiempo va de 1 a 10 años será evaluado con 2, si tarda más de 10 años será evaluado con 1.
- Persistencia (Pe) es el tiempo que, supuestamente permanece el efecto desde su aparición, si el efecto permanece durante menos de un año, será momentáneo por lo que se le asigna un valor de 1; si dura entre 1 y 10 años, será transitorio asignándole un valor de 2; si dura entre 11 y 15 años será duradero con un valor de 3; por último si tiene una duración de más 15 años, se considerará un afecto permanente dándole un valor de 4.
- Reversibilidad (Rv), es la posibilidad de retomar las condiciones iniciales previas a la acción por medios naturales, si es a corto plazo se calificará con 1, si es a mediano plazo 2, a largo plazo 3, irreversible 4.
- Recuperabilidad (Mc), es la posibilidad de reconstrucción total o parcial, mediante la intervención humana, se le asigna un valor de 1 a 4, dependiendo si es corto, mediano o largo plazo, en caso de que llegue a ser irrecuperable se le asigna un valor de 8.
- Sinergia (Si), se refiere a la acción de dos o más causas en donde su efecto es superior que las individuales, cuando la acción no es sinérgica con otras acciones ocurridas en el factor se le asigna un valor de 1, si es moderado 2, si es altamente sinérgico 4.
- Acumulación (Ac), el incremento progresivo de la manifestación del efecto, cuando persiste de forma continuada sobre uno o más componente ambiental, se calificará de 1 (No hay efectos de acumulación), incrementando hasta el valor de 4 si tiene una ocurrencia acumulativa.
- Efecto (EF), se refiere a la forma de manifestación del efecto sobre el factor, puede ser indirecto (1) o directo (4).
- Periodicidad, es la regularidad de la manifestación del efecto, puede ser continuos (4), periódicos (2) e irregulares (1).

(Conesa, 2010)

Finalmente, establecidos los valores anteriores se puede hallar la importancia del impacto, por medio de un valor numérico. Inferiores a 25 serán irrelevantes, entre 25 y 50 serán moderados, entre 50 y 75 severos, y por último superiores a 75 presentaran un carácter crítico.

**Tabla 6. Intervalos de clasificación para la matriz.**

| Resultado | Calificación |
|-----------|--------------|
| <25       | Irrelevante  |
| 25 - 49   | Moderado     |
| 50 - 75   | Severo       |
| >75       | Critico      |

(Conesa, 2010)

A continuación, se presenta una tabla con el resumen de los impactos identificados con la pertinente calificación obtenida mediante la metodología de Conesa. Donde inicialmente se hace la identificación de los recursos impactados según cada actividad:

**Tabla 7. Ejemplo de identificación de recursos impactados.**

| ACCIONES                  | Almacenamiento de explosivos | Extracción mineral | Disposición de desmonte | Disposición y Acarreo de Mineral | Voladuras | Transporte de Explosivos | Transporte de Personal | Transporte de insumos | Generación de residuos sólidos (domésticos, industriales, especiales) | Captación de aguas para uso doméstico e industrial | Disposición Final de Residuos Peligrosos |
|---------------------------|------------------------------|--------------------|-------------------------|----------------------------------|-----------|--------------------------|------------------------|-----------------------|---|--|--|
|                           | Erosión                      | x                  | x                       | x                                | x         | x                        | x                      | x                     | x   | x  |  |
| Modificación Paisajística |                              | x                  | x                       |                                  | x         |                          |                        |                       |   | x  | x  |

(Autor, 2018)

Una vez realizado esto con los diferentes recursos ambientales y sociales, en los que se observa una mayor afectación se procede a completar la calificación cuantitativa de la siguiente manera:

**Tabla 8. Ejemplo calificación cuantitativa de recursos impactados.**

| IMPACTOS      |                           | SIGNO | INTENSIDAD (IN) | EXTENSIÓN (EX) | MOMENTO (MO) | PERSISTENCIA (PE) | REVERSIBILIDAD (RV) | SINERGIA (SI) | ACUMULACIÓN (AC) | EFEECTO (EF) | PERIODICIDAD (PR) | RECUPERABILIDAD (MC) | IMPORTANCIA (I) | Calificación |
|---------------|---------------------------|-------|-----------------|----------------|--------------|-------------------|---------------------|---------------|------------------|--------------|-------------------|----------------------|-----------------|--------------|
| Geomorfología | Erosión                   | (-)   | 8               | 4              | 3            | 4                 | 3                   | 4             | 4                | 4            | 4                 | 4                    | 62              | Severo       |
|               | Modificación Paisajística | (-)   | 4               | 2              | 3            | 3                 | 3                   | 4             | 4                | 1            | 2                 | 4                    | 40              | Moderado     |

(Autor, 2018)

Para apreciar las matrices completas, ver Anexos 1 y 2. Matriz de Evaluación de Impactos.

**Tabla 9. Resumen Resultados Matriz**

| IMPACTOS                   |   | Calificación |
|----------------------------|---|--------------|
| Geomorfología              | Erosión   | Severo       |
|                            | Modificación Paisajística   | Moderado     |
|                            | Procesos de Remoción en Masa  | Moderado     |
|                            | Estabilidad Geotécnica.   | Moderado     |
| Suelo                      | Cambio en las condiciones físico químicas del suelo   | Severo       |
|                            | Cambio de uso   | Moderado     |
| Hidrogeología              | Contaminación de Aguas Subterráneas   | Severo       |
|                            | Modificación del nivel freático   | Severo       |
| Aire                       | Deterioro de la calidad del aire  | Moderado     |
|                            | Aumento en decibeles de ruido   | Irrelevante  |
| Recurso hídrico            | Alteración de la calidad del agua   | Severo       |
|                            | Disminución del recurso hídrico   | Severo       |
|                            | Disminución en la capacidad de transporte   | Moderado     |
|                            | Alteración del cauce  | Severo       |
| Ecosistemas dulceacuícolas | Afectación de la calidad del hábitat dulceacuícola  | Moderado     |
|                            | Cambio en la composición y estructura de las comunidades hidrobiológicas                        | Moderado     |
| Flora                      | Pérdida de la cobertura vegetal   | Moderado     |
|                            | Pérdida de biodiversidad  | Moderado     |
|                            | Cambio en la estructura y composición florística  | Moderado     |
| Fauna                      | Cambio en la riqueza y abundancia (diversidad) en las comunidades de fauna silvestre            | Moderado     |
|                            | Fragmentación del hábitat   | Moderado     |
|                            | Afectación de especies focales (IUCN, CITES, migratorias, endémicas, restringidas a un hábitat) | Moderado     |
| Demografía / Población     | Cambio sobre el componente demográfico  | Irrelevante  |
| Procesos Económicos        | Cambio en la dinámica de empleo   | Irrelevante  |
|                            | Cambio en los ingresos de la población  | Irrelevante  |

| <b>IMPACTOS</b>         |   | <b>Calificación</b> |
|-------------------------|---|---------------------|
|                         | Cambio en las actividades económicas                              | Irrelevante         |
|                         | Cambio económico por modificación uso del suelo                   | Irrelevante         |
| Procesos Sociopolíticos | Generación de expectativas sociales                               | Irrelevante         |
|                         | Cambio en la capacidad de gestión y participación de la comunidad | Irrelevante         |
|                         | Afectación a la salud pública                                     | Moderado            |
| Dimensión Cultural      | Pérdida, daño y/o afectación al patrimonio arqueológico           | Irrelevante         |

(Autor, 2018)

Los principales aspectos ambientales que se encuentran bajo la calificación de severos en el ámbito de geomorfología y suelo, son la erosión y la afectación a la calidad de este mismo. Esto desencadena una afectación severa, como se muestra en la matriz a las aguas subterráneas, debido a procesos de infiltración que llegan a alterar la calidad y disponibilidad de este recurso. Una vez se encuentran afectadas las aguas subterráneas, debido a los ciclos naturales, más afectaciones directas, que sumadas llegan a alterar y disminuir la calidad del agua superficial, además de la afectación que puede llegar a tener en la disponibilidad.

Los diferentes impactos reconocidos y evaluados, que arrojaron una calificación de moderado, se debe a que la mayoría de estos, son efectos secundarios que se desencadenan debido a la afectación de los recursos agua y aire principalmente, por otro lado los que se encuentran bajo la calificación de irrelevante, se debe a que durante la etapa de operación, en el uso de explosivos no se encuentran bajo mayor afectación, esto no significa que dentro del desarrollo completo del proyecto no se deban tener en cuenta al momento de formular estudios de impacto ambiental.

## 11.3 LINEAMIENTOS PARA EL MANEJO DE RESIDUOS DE EXPLOSIVOS

*Lineamientos para la generación de planes de manejo de residuos de explosivos en minas auríferas subterráneas*

*Requerimiento de Empresa:*

*Nombre de Mina:*

*Ciudad/ Departamento:*

*Fecha:*

*Año: 2018.*

*Contenido:*

- 1.....*Introducción.*
- 2..... *Transporte y Manipulación.*
- 3.....*Almacenamiento.*
- 4..... *Capacitación.*
- 5..... *Disposición Final.*

**1) INTRODUCCIÓN**

Se busca mejorar la oportunidad de los interesados en llevar a cabo una actividad extractiva de carácter subterráneo donde se utilicen explosivos, además de que reconozcan las oportunidades vinculadas al adecuado manejo de este tipo de residuos, con el fin de prevenir procesos de tipo sancionatorio y/o eventos en las instalaciones mineras. Los lineamientos ayudarán como apoyo para el cumplimiento de los requisitos básicos para dar cumplimiento a la normatividad ambiental colombiana.

Para comenzar a realizar una correcta gestión de los residuos de explosivos producidos, es necesario determinar qué tipo de productor es, dependiendo de la cantidad de residuos peligrosos que se produzcan en la totalidad de la actividad de la mina (No solo residuos de explosivos), se realiza el cálculo de la media móvil y así se establece la categoría a la que pertenece según la normatividad

**Tabla 10. Categorías de productores de residuos peligrosos**

| <b>Categoría</b>  | <b>Generación de residuos o desechos peligrosos</b> |
|-------------------|---|
| Gran Generador    | $\geq 1000$ Kg/mes                                  |
| Mediano Generador | $\geq 100$ Kg/mes                                   |
| Pequeño Generador | $\geq 10$ Kg/mes                                    |

(Ministerio de ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005)

**2) TRANSPORTE Y MANIPULACIÓN:**

Para tener una adecuada gestión en el manejo y transporte de residuos de explosivos, (Residuos Peligrosos), es necesario definir de una manera clara y práctica, las responsabilidades de cada uno de los actores en la cadena, esto con el fin de minimizar impactos ambientales y prevención de accidentes.

Al generador de residuos debe llevar un registro de:

- a) Requisitos del vehículo del contratista recolector de residuos (Artículo 5 del Decreto 1609 del 2002)
  - i) Rótulos de identificación
  - ii) Placa de identificación de mercancía transportada, según Organización de las Naciones Unidas.

iii) Equipos básicos de atención a emergencias.

b) Manejo de Carga:

- i) Instrucciones de operación segura y correcta de los diferentes equipos incluyendo los de protección personal.
- ii) Hojas de seguridad.
- iii) Instrucciones y procedimientos sobre higiene, seguridad y emergencias.
- iv) Verificar rotulado y embalaje que esté en correcto estado.

c) Documentación:

- i) Manifiesto de carga (Peso transportado, información de residuos transportados, datos de remitente y destinatario)
- ii) Tarjetas de Emergencia
- iii) Plan de transporte (Hora de salida, ruta seleccionada, teléfonos de contacto en caso de emergencia)

Una vez entregados y cargados correctamente los residuos generados, se le exige al prestador de servicios, la expedición de un documento certificando la entrega y descargue de responsabilidad, estos se deben guardar mínimo 5 años. (Decreto 4741 de 2005, Capítulo III – Artículo 10).

### *3) ALMACENAMIENTO:*

Es necesario un lugar destinado únicamente al almacenamiento de residuos peligrosos que se generan en la mina, en donde se presenten condiciones correctas de separación según el residuo; de esta manera reducir al máximo la probabilidad de realizar un impacto externo (Al medio ambiente), y además un orden y etiquetado dentro del lugar de almacenamiento para no generar impactos internos (a la salud pública de trabajadores).

De acuerdo a lo estipulado en el Decreto 4741 de 2005, Capítulo III – Artículo 10/ Parágrafo 1 “El almacenamiento de residuos o desechos peligrosos en instalaciones del generador no podrá superar un tiempo de doce (12) meses. En casos debidamente sustentados y justificados, el generador podrá solicitar ante la autoridad ambiental, una extensión de dicho período. Durante el tiempo que el generador esté almacenando residuos o desechos peligrosos dentro sus instalaciones, éste debe garantizar que se tomen todas las medidas tendientes a prevenir cualquier afectación a la salud humana y al ambiente, teniendo en cuenta su responsabilidad por todos los efectos ocasionados a la salud y al ambiente, de conformidad con la Ley 430 de 1998.”

Se debe adecuar una bodega o espacio en donde el almacenamiento ocupará únicamente el 60% del espacio, el restante será destinado para tránsito y movimiento de material. Además de estos deben estar a mínimo 100 metros de la bocamina, teniendo en cuenta cantidades máximas y distintos parámetros de seguridad dispuestas por la industria militar.

Se deben cumplir los siguientes parámetros de almacenamiento de residuos de explosivos (MINMINAS, 2015):

- a) Está prohibido almacenar elementos metálicos: cables metálicos, rieles, herramientas, chatarras, etc.
- b) Debe contener una correcta señalización tanto interior como exterior.
- c) Los sistemas eléctricos y de iluminación deben estar fuera de este, o debidamente protegidas a prueba de explosiones.
- d) Tener los extintores dentro y fuera de la instalación según el tipo de sustancias contenidas, con instrucciones claras de operación, en especial de no combatir el fuego cuando haya alcanzado el explosivo.
- e) Almacenar residuos de acuerdo a su antigüedad
- f) Deben estar situados a una distancia suficientemente alejada de todo edificio o zona habitada, carreteras y vías férreas, teniendo en cuenta la cantidad de explosivos y detonantes que se van a almacenar. El acceso debe estar restringido a personal autorizado.
- g) Deben estar contruidos sólidamente y a pruebas de balas y fuego. El techo debe ser liviano.
- h) Se debe propender por ventilación e iluminación natural. Si se requiere iluminar artificialmente el área alrededor y dentro de la infraestructura, deberá hacerse por medio de proyectores a distancia, con linternas o equipo de alumbrado eléctrico de tipo antichispas.
- i) Deberá estar protegido con un sistema de pararrayos que cubra su área total, sin que ninguna de la partes del sistema tenga contacto con la estructura.

(Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo Territorial, 2012)

Se debe definir el lugar de almacenamiento de los residuos como restos, aditivos, cordón detonante, recipientes, etc. Para esto se debe:

- a) Registrar las cantidades de residuos de entrada y salida del lugar de almacenamiento.
- b) Contar con los certificados pertinentes del espacio destinado para el almacenamiento
- c) Contar con personal capacitado para el manejo de estos residuos

Si por el contrario el almacenamiento se llevara a cabo directamente por la empresa extractora, será necesaria la construcción de un espacio adecuado, con los parámetros establecidos por la norma anteriormente citada.

Una vez esté definido y adecuado el lugar de almacenamiento, el encargado de la operación de almacenamiento llevará control y monitoreo periódicamente (Mensual), para evitar la generación de impactos ambientales adversos, por medio de:

- a) Definición de condiciones de Operación:
  - i) Instrucciones de manejo de sustancias, higiene, seguridad, medio ambiente.
  - ii) Procedimientos en caso de emergencia (Derramamiento, filtraciones, etc)

iii) Hojas de Seguridad para residuos almacenados.

b) Etiquetado:

Basándose en el Sistema Internacional de la Organización de las Naciones Unidas, NTC 1692 – Anexo II. Donde todos los productos, embalajes y demás residuos peligrosos, tengan una etiqueta donde se pueda identificar fácilmente su clasificación, peligros asociados y precauciones.

c) Recepción y Despacho:

- i) Al momento de recibir un residuo peligroso, tener las hojas de seguridad para así prever las acciones y precauciones para su manipulación.
- ii) Al momento de almacenar, seguir lo estipulado en la normatividad según la clase de residuo peligroso.
- iii) Si es necesario un cambio de embalaje, ver el Anexo II, sección II.3. de (Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo Territorial, 2012), para cumplir con los estándares requeridos dependiendo de la sustancia.

d) Planificación de Almacenamiento, es necesario llevar un control sobre pesos y volúmenes que entran a la bodega en donde se incluya una documentación de:

- i) Registros de recepción (sustancia, clase de sustancia, fecha de recepción, recomendaciones especiales).
- ii) Registro de despacho (sustancia, clase de sustancia, fecha de despacho).
- iii) Registro de inspección de deterioro o caducidad de las sustancias

#### 4) CAPACITACIÓN:

El tener un personal con las capacidades y conocimientos necesarios para la recepción, manipulación y entrega de este tipo de material, será la manera de asegurar que se dé un proceso integral y controlado.

Llevar un registro cada vez que se realice las diferentes capacitaciones, sobre los temas nombrados anteriormente, ya sea por ingreso de personal nuevo o cada vez que sea pertinente (Anual). El programa de capacitación incluye como mínimo los siguientes temas:

- a) Clasificación de las sustancias químicas peligrosas.
- b) Reconocimiento de los símbolos utilizados en la identificación de las sustancias químicas peligrosas.
- c) Forma de obtener y usar la información que aparece en las etiquetas y Hojas de Seguridad.
- d) Información sobre los peligros que implica la exposición a estas sustancias. Manejo y uso del equipo de protección.
- e) Medidas en caso de una emergencia.

Procedimientos operativos normalizados y prácticas seguras sobre:

- a) Embalaje. Rotulado y etiquetado
- b) Recepción
- c) Despacho
- d) Almacenamiento
- e) Manipulación
- f) Disposición adecuada de residuos
- g) Descontaminación y limpieza.

Y lo demás establecido en la Ley 55 de julio 2 de 1993 sobre capacitación, entrenamiento y seguridad en la utilización de las sustancias peligrosas en el trabajo.

#### *5) DISPOSICIÓN FINAL:*

Para concluir con la cadena de manejo de residuos peligrosos es de vital importancia, tener una constancia y certificado de entrega a un tercero certificado por la autoridad pertinente, observando que este residuo peligroso generado fue manipulado y dispuesto de la manera correcta, evitando la generación de impactos al medio y a la salud pública.

De acuerdo a lo estipulado en el Decreto 4741 en el Capítulo IV, en donde se especifica la gestión y manejo de empaques, embalajes, envases y residuos de sustancias peligrosas, únicamente los residuos de código Y4, Y3 y Y31, los fabricantes están obligados a generar un Plan de Gestión de Devolución de Productos Posconsumo.

El párrafo 2º especifica “El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial establecerá posteriormente mediante acto administrativo otros productos de consumo que al desecharse se convierten en residuos peligrosos, que deben ser sometidos a planes de gestión de devolución de productos posconsumo para ser presentados ante el Ministerio”. Por esto se recomienda consultar a INDUMIL la existencia de algún plan de manejo posconsumo y seguir las recomendaciones.

En caso de que INDUMIL no tenga formulado este plan, es necesario la contratación de una empresa certificada por el estado para la disposición final de estos residuos peligrosos. Solicitar certificados cada vez que se haga la recolección de estos residuos, archivar por hasta 5 años.

## 12 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 12.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA MINERÍA EN ANTIOQUIA

El reconocer la situación de la minería en el departamento nos permite dimensionar la importancia de esta actividad económica, se puede observar que se encuentra organizada por distritos, ubicados al nordeste y sureste de Antioquia, limitando con dos principales cuerpos de agua muy importantes para el país, el Rio Cauca y el Rio Porce, además de los diferentes ríos secundarios y terciarios que comprenden la cuenca hídrica.

La principal metodología de extracción de este metal, se presenta mediante excavaciones subterráneas más que todo en el Distrito Noreste y Bajo Cauca; dentro del Distrito Puerto Nare se presentan también minería por terrazas (Cielo Abierto).

Además de lo anterior, el reconocimiento de los impactos que se reportan producidos por la minería, es importantes para realizar una comparación con los obtenidos mediante el desarrollo de la evaluación ambiental y así saber la confiabilidad de la metodología aplicada.

Por la riqueza hidrológica que se presenta en esta zona, es uno de los recursos que más se encuentra bajo amenaza, ya que recibe presión en cuerpos de agua superficiales, debido a captaciones y desviaciones, y por otro lado cuerpos de agua subterráneos se ven presionados por procesos erosivos y de infiltración.

Por último el recurso suelo, en esta actividad se ve presionado por procesos erosivos, debido a la exposición del suelo al momento de la preparación del terreno al ser explotado y además la calidad fisicoquímica se logra ver afectada por las diferentes sustancias químicas utilizadas como combustibles, explosivos, residuos reactivos, entre otros.

### 12.2 EVALUACIÓN AMBIENTAL

Una vez realizada la metodología, los principales recursos que presentan un grado de impacto severo son los mostrados a continuación.

**Tabla 11. Impactos Severos**

| <b>Impactos</b>                                     | <b>Clasificación</b> |
|---|----------------------|
| Erosión   | Severo               |
| Cambio en las condiciones físico químicas del suelo | Severo               |
| Contaminación de Aguas Subterráneas                 | Severo               |
| Modificación del nivel freático                     | Severo               |

| <b>Impactos</b>                   | <b>Clasificación</b> |
|-----------------------------------|----------------------|
| Alteración de la calidad del agua | Severo               |
| Disminución del recurso hídrico   | Severo               |
| Alteración del cauce              | Severo               |

(Autor, 2018)

El recurso suelo, presenta una alteración al momento de realizar la explosión debido a que se afectan en gran medida las características físicas de este, aumentando la compactación, densidad y como consecuencia de esto la erosión es mayor. Así mismo, las características químicas se ven afectadas por la disposición de residuos peligrosos, pues por efecto del contacto directo y procesos de infiltración se alteran la calidad de este y presenta bioacumulación de compuestos nitrogenados que hacen parte de los explosivos.

Como consecuencia de las infiltraciones y mal manejo de residuos peligrosos también se llegan a ver afectados los cuerpos de agua subterráneos y superficiales, principalmente por procesos de alteración en la calidad del recurso. Esta afectación se puede dar por vertimiento directo en el ecosistema o por un mal manejo en la cadena de almacenamiento, transporte y disposición final de estos residuos.

Los resultados que presentan un grado de impacto moderado o menor, se encuentran directamente relacionados con la afectación de los recursos nombrados anteriormente, agua y suelo. En el aspecto biótico se ven afectados los ecosistemas acuáticos, la flora y la fauna; socialmente la salud pública se ve impactada debido a las diferentes actividades que dependes de disponibilidad y calidad.

### **12.3 LINEAMIENTOS PARA EL MANEJO DE RESIDUOS DE EXPLOSIVOS**

Desarrollar los lineamientos de control, preventivos y correctivos dentro de toda la cadena de producción, transporte, almacenamiento y disposición final de residuos de explosivos en minas subterráneas auríferas garantizará la mitigación de los impactos generados por estos mismos. Además de esto mediante las capacitaciones al personal involucrado será de vital importancia para asegurar que estos lineamientos no generen o desencadenen posibles impactos a la salud y el medio ambiente.

Además de generar los lineamientos integrales para la gestión de estos residuos, para que tengan validez, es necesario que cumplan con ciertos requisitos establecidos principalmente en el Decreto 4741 del 2015. Es necesario tener como mínimo los siguientes controles, mediante los formatos propuestos.

- Formato de Registro Mensual

**Tabla 12. Formato de Registro Mensual**

| REGISTRO MENSUAL DE GENERACIÓN DE RESIDUOS DE EXPLOSIVOS |                    |                                  |                          |           |            |                                 |          |           |                      |            |                |         |                          |        |         |      |            |               |      |
|--|--------------------|----------------------------------|--------------------------|-----------|------------|---------------------------------|----------|-----------|----------------------|------------|----------------|---------|--------------------------|--------|---------|------|------------|---------------|------|
| Mes de Registro:   |                    |                                  | Tipo Generador (Marcar): |           |            | Grande                          | Mediano  | Pequeño   | Nombre de Generador: |            |                | Ciudad: |                          |        |         |      |            |               |      |
| Departamento/ Sede:                                      |                    |                                  |                          | Teléfono: |            |                                 |          |           |                      | Dirección: |                |         |                          |        |         |      |            |               |      |
| FECHA DE GENERACIÓN                                      | Origen del Residuo | RESIDUO PRODUCIDO                |                          |           |            |                                 |          |           |                      |            |                |         | Presentación del Residuo |        |         |      |            | Cantidad (Kg) |      |
|  |                    | Nombre de Residuos de explosivos | Estado Físico            |           |            | Características de Peligrosidad |          |           |                      |            |                |         |                          |        |         |      |            |               |      |
|  |                    |                                  | Sólido                   | Líquido   | Semisólido | Corrosivo                       | Reactivo | Explosivo | Inflamable           | Infeccioso | Radioactividad | Tóxico  | Envases                  | Tambor | Garrafa | Caja | Contenedor |               | Saco |
|  |                    |                                  |                          |           |            |                                 |          |           |                      |            |                |         |                          |        |         |      |            |               |      |
|  |                    |                                  |                          |           |            |                                 |          |           |                      |            |                |         |                          |        |         |      |            |               |      |
|  |                    |                                  |                          |           |            |                                 |          |           |                      |            |                |         |                          |        |         |      |            |               |      |
|  |                    |                                  |                          |           |            |                                 |          |           |                      |            |                |         |                          |        |         |      |            |               |      |
|  |                    |                                  |                          |           |            |                                 |          |           |                      |            |                |         |                          |        |         |      |            |               |      |
|  |                    |                                  |                          |           |            |                                 |          |           |                      |            |                |         |                          |        |         |      |            |               |      |
|  |                    |                                  |                          |           |            |                                 |          |           |                      |            |                |         |                          |        |         |      |            |               |      |
|  |                    |                                  |                          |           |            |                                 |          |           |                      |            |                |         |                          |        |         |      |            |               |      |
|  |                    |                                  |                          |           |            |                                 |          |           |                      |            |                |         |                          |        |         |      |            |               |      |
|  |                    |                                  |                          |           |            |                                 |          |           |                      |            |                |         |                          |        |         |      |            |               |      |
|  |                    |                                  |                          |           |            |                                 |          |           |                      |            |                |         |                          |        |         |      |            |               |      |
|  |                    |                                  |                          |           |            |                                 |          |           |                      |            |                |         |                          |        |         |      |            |               |      |
|  |                    |                                  |                          |           |            |                                 |          |           |                      |            |                |         |                          |        |         |      |            |               |      |

(Autor, 2018)

- Formato para cuantificación de Residuos de Explosivos

**Tabla 13. Formato de Media Móvil.**

| Cuantificación de generación |                         |                       |
|------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Año                          | Total Residuos (Kg/mes) | Media Móvil (Kg/mes)  |
| Mes 1                        | A                       | -                     |
| Mes 2                        | B                       | -                     |
| Mes 3                        | C                       | -                     |
| Mes 4                        | D                       | -                     |
| Mes 5                        | E                       | -                     |
| Mes 6                        | F                       | $\sum(A+B+C+D+E+F)/6$ |
| Mes 7                        | G                       | $\sum(B+C+D+E+F+G)/6$ |
| Mes 8                        | H                       | $\sum(C+D+E+F+G+H)/6$ |
| Mes 9                        | I                       | $\sum(D+E+F+G+H+I)/6$ |
| Mes 10                       | J                       | $\sum(E+F+G+H+I+J)/6$ |
| Mes 11                       | K                       | $\sum(F+G+H+I+J+K)/6$ |
| Mes 12                       | L                       | $\sum(G+H+I+J+K+L)/6$ |
| Total                        |                         |                       |
| Promedio de generación:      |                         |                       |
| Clasificación                | PEQUEÑO                 | MEDIANO               |
|                              |                         | GRANDE                |

(Ministerio de ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005)

- Registro de entrada y salida

**Tabla 14. Formato de entrada y salida de residuos.**

|   |   |               |
|---|---|---------------|
| Logo de la institución, industria o empresa   | REGISTRO DE ENTRADA Y SALIDA DE RESIDUOS DEL ALMACENAMIENTO INTERNO |               |
| FECHA: _____  | ENTRADA: _____  | SALIDA: _____ |
| HORA DE ENTRADA: _____  | RESPONSABLE: _____  |               |
| HORA DE SALIDA: _____   |   |               |
| <b>INFORMACIÓN DEL RESIDUO</b>  |   |               |
| NOMBRE DEL RESIDUO: _____<br>_____ Kg.  | CANTIDAD: _____   |               |
| LUGAR DE GENERACIÓN: _____  |   |               |
| ESTADO (Sólido, Líquido, Semisólido, Otro): _____   |   |               |
| CARACTERÍSTICA DE PELIGROSIDAD (Tóxico, Corrosivo, Reactivo, Inflamable, Explosivo, Infeccioso, Radioactivo): _____ |   |               |
| CLASE DE EMPAQUE Y/O ENVASE: _____  |   |               |

CUMPLE CON ROTULADO: \_\_\_\_\_

HOJA DE SEGURIDAD: SI\_\_ NO\_\_

TIEMPO DE ALMACENAMIENTO ESTIMADO: \_\_\_\_\_

**SALIDA**

JUSTIFICACIÓN PARA SALIDA: \_\_\_\_\_

ALMACENAMIENTO EXTERNO \_\_\_\_\_, APROVECHAMIENTO \_\_\_\_\_,  
 TRATAMIENTO \_\_\_\_\_, DISPOSICIÓN FINAL \_\_\_\_\_,  
 EXPORTACIÓN \_\_\_\_\_, OTRO \_\_\_\_\_

EMPRESA ENCARGADA: \_\_\_\_\_

TIPO DE TRANSPORTE: \_\_\_\_\_

OBSERVACIONES DEL VEHÍCULO DE TRANSPORTE:

(Autor, 2018)

- Formato de registro de residuos gestionados externamente

**Tabla 15. Formato residuos entregados**

| CONTROL DE RESIDUOS ENTREGADOS |                        |       |                         |                 |                                 |             |                                    |  |
|--------------------------------|------------------------|-------|-------------------------|-----------------|---------------------------------|-------------|------------------------------------|--|
| Nombre del Residuo             | Cantidad entregada. Kg | Fecha | Procedimientos externos |                 |                                 |             | Nombre de la instalación encargada |  |
|                                |                        |       | Almacenamiento          | Aprovechamiento | Tratamiento o disposición final | Exportación |                                    |  |
|                                |                        |       |                         |                 |                                 |             |                                    |  |
|                                |                        |       |                         |                 |                                 |             |                                    |  |
|                                |                        |       |                         |                 |                                 |             |                                    |  |

(Autor, 2018)

Con los formatos mostrados anteriormente se le logra dar cumplimiento a los requisitos mínimos establecidos por la norma.

### 13 CONCLUSIONES

En el departamento de Antioquia se concentra la actividad minera aurífera al Este del territorio, en donde se divide principalmente en dos (2) distritos (Puerto Nare y Nordeste y Bajo Cauca), bajo la jurisdicción de Corantioquia. A lo largo del tiempo la minería subterránea, que demanda el uso de explosivos ha ido aumentando, tanto así que son muy pocas las minas que utilizan metodología a cielo abierto, esto trae como consecuencia una mayor presión sobre el medio, impactando diferentes recursos.

En consecuencia de esto, las autoridades pertinentes (Corantioquia y ANLA), han realizado un seguimiento exhaustivo a las diferentes explotaciones nacionales, por lo que es importante establecer los lineamientos necesarios y la aplicación de estos, con el fin de mejorar las condiciones ambientales, cumplir con requerimientos legales y evitar sanciones por parte del Estado,

Dentro de los impactos que reporta la Corporación Autónoma Regional de Antioquia, se logra identificar que los principales recursos afectados, durante todas las fases que presenta una mina subterránea, son el suelo y el agua. Principalmente se presentan alteraciones en su calidad debido a vertimientos de sustancias químicas usadas y disminución de la disponibilidad del recurso, en el caso del suelo por procesos erosivos y el agua por alteración del cauce y captaciones del mismo recurso.

Mediante la metodología de evaluación de Conesa (Conesa, 2010), se identificó que los recursos que obtuvieron la clasificación de impacto Severo pertenecen a la Geomorfología (Erosión), Suelo (Contaminación en las condiciones fisicoquímicas del suelo), Hidrogeología (Contaminación de aguas subterráneas, Modificación del nivel freático), Recurso Hídrico (Alteración de la calidad del agua, Disminución del recurso hídrico, Alteración del cauce). Estos impactos son consecuencia de los químicos que componen los explosivos usados que al entrar en contacto con el recurso suelo o agua permanecen en el medio hasta llegar a alterar ciclos y condiciones naturales.

Con base en los resultados de la matriz de evaluación de impactos, se evidencia que la alteración del cauce, afectación a nivel freático y contaminación de aguas subterráneas, se encuentran altamente afectados; posiblemente se debe a la infiltración de aguas provenientes de actividades realizadas subterráneamente. Se recomienda establecer un sistema de tratamiento para las aguas provenientes de la mina; dentro de este proyecto se encuentra una propuesta del sistema de tratamiento pero se necesitan estudios más profundos y caracterizaciones de la calidad del agua residual para garantizar su correcto funcionamiento.

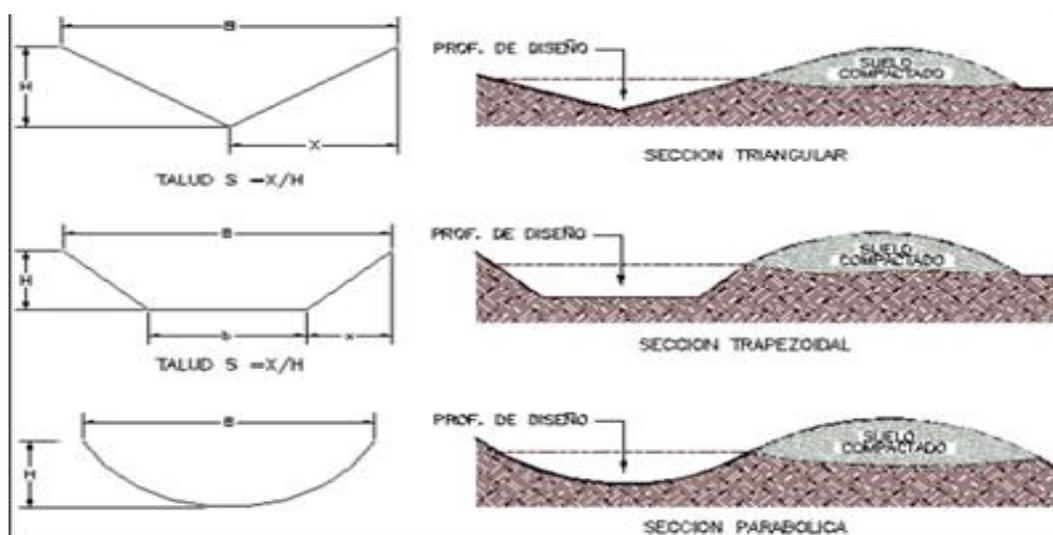
Los lineamientos generados se enfocan en la identificación de los responsables en cada uno de los procesos, transporte, manipulación, almacenamiento y disposición final, en donde se llevará un registro riguroso sobre cantidades generadas y entregadas; además por medio de listas de chequeo de parámetros se verificarán los diferentes requerimientos de las NTC con el fin de prevenir cualquier eventualidad. El personal encargado de la manipulación de estos residuos deberá tener periódicamente cursos de capacitación sobre temas necesarios para así asegurar una correcta gestión.

## 14 RECOMENDACIONES

Uno de los recursos más afectados y que desencadenan gran cantidad de problemáticas ambientales, son las aguas residuales subterráneas. Por esta razón se recomienda el planteamiento y puesta en marcha de sistemas de tratamiento de aguas residuales subterráneas, resultantes de las diferentes operaciones realizadas.

Como método de prevención, mitigación y corrección, se propone darles un manejo integral a las aguas residuales provenientes de la minería subterránea por medio de:

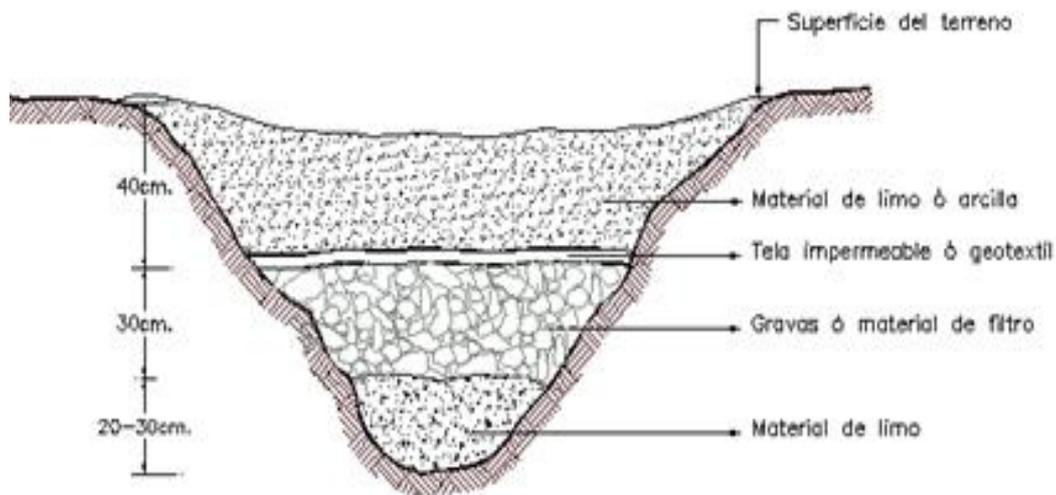
- Caracterización fisicoquímica del yacimiento, con esto conocer material orgánico e inorgánico y prever la formación de aguas ácidas.
- Reconocimiento de canales y mecanismos de transporte para agua y material particulado (Bocaminas, boca vientos, grietas, aguas lluvias, escorrentía, corrientes superficiales y subterráneas)
- Establecimiento de drenajes mineros por bombeo.
- Lugar de almacenamiento de escombros y estériles debe tener un sistema de recolección de aguas de escorrentía, donde el agua que esté en contacto sea interceptada y conducida al sistema de tratamiento por medio de canales impermeabilizados.



**Figura 10. Interceptación de aguas por canales.**

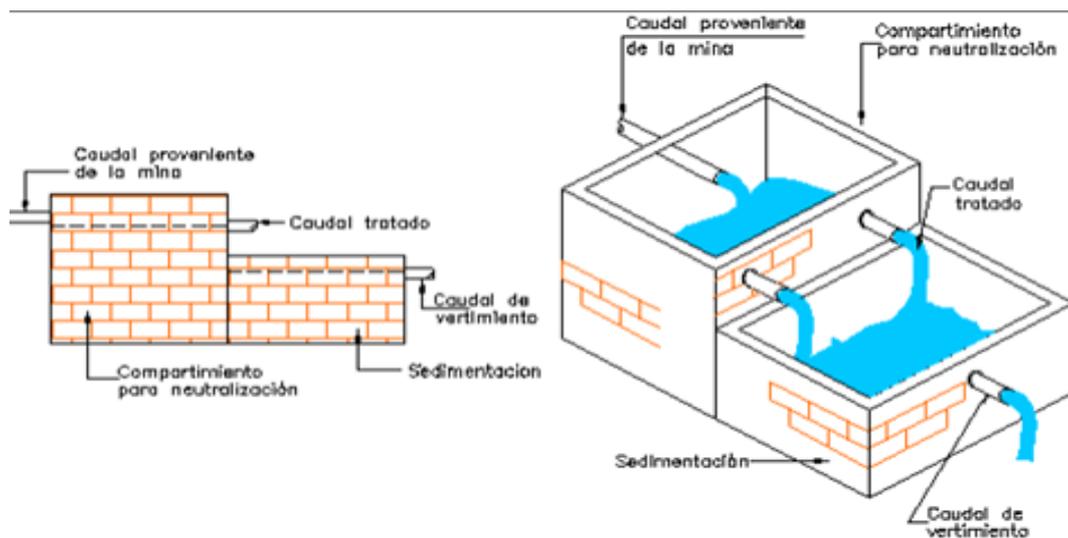
(Ministerio de Minas y Energía, 2002)

- Los yacimientos geológicos que tengan contenido de materiales reactivos que promuevan o favorezcan la formación de agua ácida, deben ser cubiertos de capas o sellos de baja permeabilidad naturales o artificiales. (Arcillas, Limo, Polietileno o Neopreno)



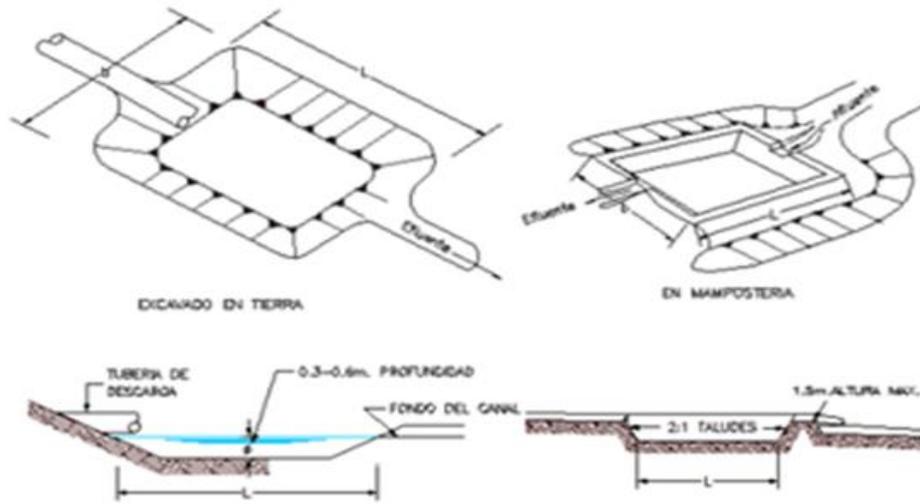
**Figura 11. Sellamiento de yacimientos.**  
(Ministerio de Minas y Energía, 2002)

- f. Para el tratamiento de drenajes ácidos, se aplica una técnica de neutralización por medio de homogenización, mezcla, aireación, sedimentación y disposición final del lodo desecho.



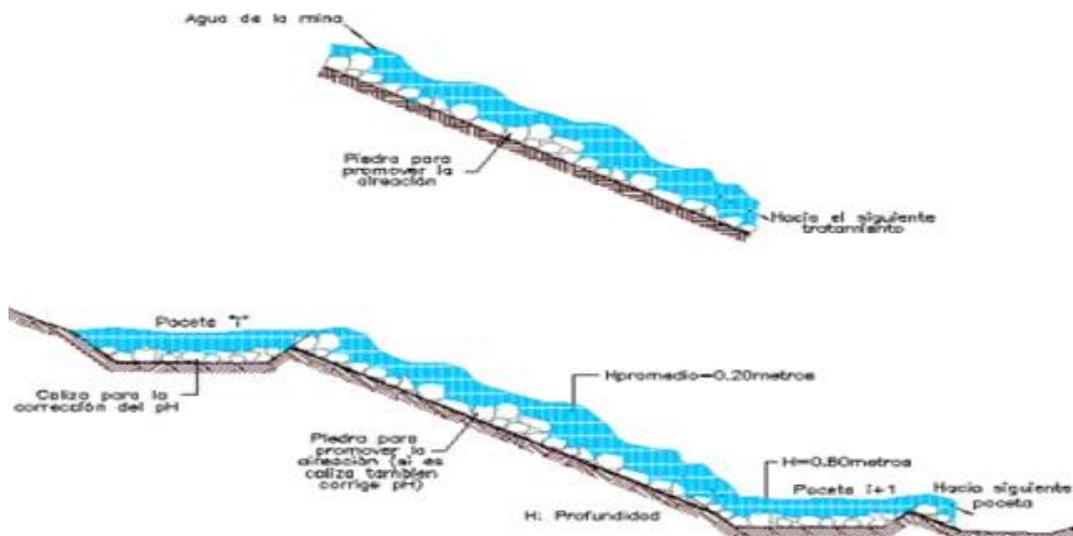
**Figura 12 Tanques de Neutralización.**  
(Ministerio de Minas y Energía, 2002)

- g. Los sólidos en suspensión del drenaje minero, se tratarán por medio de sedimentadores de gravedad en donde por medio de pozos, tanques o laguna de baja velocidad de flujo se garantice la sedimentación.



**Tabla 16.Sedimentadores.**  
(Ministerio de Minas y Energía, 2002)

- h. Los sólidos disueltos y estabilización del pH, se realiza por medio de una aireación hidráulica, donde el agua corre a través de pendientes que contienen roca caliza.



**Tabla 17.Cascadas de aireación.**  
(Ministerio de Minas y Energía, 2002)

Este sistema de tratamiento necesita un estudio topográfico, de cobertura vegetal y mejor ubicación dentro de la propiedad minera cercano al depósito para que sea lo más eficientemente posible. Requiere una revisión mensual para controlar el estado de las instalaciones, y semestralmente realizar remoción de sedimentos. (Ministerio de Minas y Energía, 2002)

## 15 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Akhavan, j. (2004). *The chemistry of explosives*. Manchester: rs-c.
- Angel, g., & alvelar, d. (2013, noviembre). *Análisis del impacto ecosistémicos en la zona de influencia de la microcuenca de la quebrada cascabel por afectación al recurso hídrico generado en el proceso de explotación aurífera en marmato, caldas, colombia*. Retrieved febrero 2018, from <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/handle/6789/1272>
- Bernaola, j., castilla, j., & herrera, j. (2013). *Perforación y voladura de rocas en minería*. Retrieved 02 2018, from [http://oa.upm.es/21848/1/20131007\\_perforacion\\_y\\_voladura.pdf](http://oa.upm.es/21848/1/20131007_perforacion_y_voladura.pdf)
- Bravo, c., & aldana, d. (2010). *Remoción de trinitrotolueno (tnt) en agua residual sintética mediante bacterias aisladas de ambientes con presencia de explosivos*. Retrieved febrero 2018, from <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/13977/t41.10%20b739r.pdf?sequence=1>
- Cardona, a., cuadros, m., & conciudadania. (marzo de 2014). *Minería y patrimonio ambiental en buriticá*. Obtenido de [http://www.corantioquia.gov.co/sitios/extranetcorantioquia/ciadoc/suelo/gc\\_cv\\_1008\\_2013.pdf](http://www.corantioquia.gov.co/sitios/extranetcorantioquia/ciadoc/suelo/gc_cv_1008_2013.pdf)
- Carvajal, s., & herrera, y. (2010). *Remoción del tetranitrato de pentaeritritol (petn) en agua residual sintética mediante bacterias nativas aisladas de ambientes con presencia de explosivos*. Retrieved febrero 2018, from <http://repository.lasalle.edu.co/handle/10185/15019>
- Castells, x. E. (2012, enero 01). *Los residuos mineros*. Retrieved febrero 2018, from <http://ebookcentral.proquest.com.ezproxy.unbosque.edu.co/lib/bibliobosquesp/reader.action?docid=3228731&query=>
- Conesa, v. (2010). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. Recuperado el 2018, de [file:///c:/users/juan.perdomo/downloads/conesa.%20\(2010\).%20gu%C3%ada%20metodol%C3%B3gica%20para%20la%20evaluaci%C3%B3n%20del%20impacto%20ambiental.pdf](file:///c:/users/juan.perdomo/downloads/conesa.%20(2010).%20gu%C3%ada%20metodol%C3%B3gica%20para%20la%20evaluaci%C3%B3n%20del%20impacto%20ambiental.pdf)
- Corantioquia. (2016). *Manual de producción y consumo sostenible del recurso hídrico. Minería de oro*. Recuperado el 2018, de [http://www.corantioquia.gov.co/sitios/extranetcorantioquia/siteassets/pdf/gesti%C3%B3n%20ambiental/producci%C3%B3n%20y%20consumo%20sostenible/manuales\\_girh/mineria\\_oro.pdf](http://www.corantioquia.gov.co/sitios/extranetcorantioquia/siteassets/pdf/gesti%C3%B3n%20ambiental/producci%C3%B3n%20y%20consumo%20sostenible/manuales_girh/mineria_oro.pdf)
- Exsa s.a. (2013). *Manual práctico de voladura*. Retrieved 02 2018, from <https://exsa.net/wp-content/publicacion/manual-de-voladura.pdf>
- Fernández, c. D., & vázquez, y. (2006). *Origen de nitratos y nitritos y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas*. Retrieved febrero 2018, from <https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/122>

- Fuller, m., schaefer, c., & lowy, j. (2006, septiembre 22). *Degradation of explosives-related compounds using nickel catalysts*. Retrieved febrero 2018, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653506013221>
- Gobierno de españa. (s.f.). *Óxidos de nitrógeno*. Recuperado el febrero de 2018, de <http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/oxidos-nitrogeno.aspx>
- Gómez, s., & rojas, s. (2014). *Afectación ambiental de la calidad del agua de la quebrada cascabel generada por la explotación minera artesanal del municipio de marmato*. Retrieved febrero 2018, from <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1614/tesis%20de%20grado%20sandra%20gomez%20y%20rojas%20junio%2023.pdf?sequence=1>
- Icontec. (1996, noviembre 23). *Transporte de mercancías peligrosas clase 1. Explosivos. Transporte terrestre por carretera*. Retrieved febrero 2018, from <http://web.mintransporte.gov.co/consultas/mercapeli/reglamento/anexos/ntc3966.pdf>
- Instituto tecnológico geominero de españa. (2008). *Manuel de perforación y voladura de rocas*. Retrieved febrero 2018, from <https://es.scribd.com/document/209393479/manual-de-perforacion-y-voladura-de-rocas-lopez-jimeno>
- Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2005, diciembre 30). *Decreto 4741 de diciembre de 2005*. Retrieved febrero 2018, from <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 la protección social. (2010). *Guía adquisición de explosivos y accesorios de voladura*. Retrieved febrero 2018, from [file:///c:/users/juan.perdomo/downloads/guiaexplosivos%20\(2\).pdf](file:///c:/users/juan.perdomo/downloads/guiaexplosivos%20(2).pdf)
- Ministerio de minas y energía. (2002, septiembre). *Guía minero ambiental de explotación*. Retrieved febrero 2018, from [manejo de impactos ambientales: https://www.minminas.gov.co/documents/10180/416798/explotacion+3.pdf](https://www.minminas.gov.co/documents/10180/416798/explotacion+3.pdf)
- Minminas. (2015, septiembre 21). *Reglamento de seguridad en las labores mineras subterráneas*. Retrieved febrero 2018, from [decreto 1886: https://www.minminas.gov.co/documents/10180/698204/documento\\_reglamentoseguridadadmineriasubterranea.pdf/774e58ab-d35d-4d92-8e7e-fd63ec127216](https://www.minminas.gov.co/documents/10180/698204/documento_reglamentoseguridadadmineriasubterranea.pdf/774e58ab-d35d-4d92-8e7e-fd63ec127216)
- Mundo minero. (01 de 22 de 2018). *Mundo minero*. Obtenido de <http://mundominero.com.co/produccion-de-oro-de-gran-colombia-supera-el-estimado-de-2017/>
- Municipio de buriticá. (2016). Plan de desarrollo municipal 2016 -2019. Obtenido de <http://buritica-antioquia.gov.co/apc-aa-files/32666236386238643035356232393738/plan-de-desarrollo..pdf>

- Ogola, j., mitulla, w., & omulo, m. (2001, julio 18). *Impact of gold mining on the environment and human health*. Retrieved febrero 2018
- Peña, y., & silva, r. (2008). *Determinación del impacto ambiental al recurso agua ocasionado por la desactivación de los explosivos pólvora y anfo con el método de disolución química y valoración del ruido producido por la destrucción de los explosivos incautados por la policía*. Retrieved febrero 2018, from <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14822/t41.08%20p37d.pdf?sequence=1&isallowed=y>
- Strata gold corporation. (2014, agosto). *Explosives management plan*. Retrieved febrero 2018, from <http://www.emr.gov.yk.ca/mining/pdf/mml-eg-explosives-management-plan-v2017-01.pdf>
- Victoria gold corp. (2015, mayo). *Technical report – feasibility study eagle gold project, yukon*. Retrieved febrero 2018, from <https://www.vitgoldcorp.com/>
- Villate, c., & lozano, j. (2008). *Evaluación de la afectación ambiental de suelos a partir de las variaciones fisicoquímicas generadas por explosiones de anfo y pólvora en suelos arcillosos de los municipios de cogusa y nemocon*. Retrieved febrero 2018, from <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14078/t41.08%20v713e.pdf?sequence=1>