

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA ESTABLECER LA RELACIÓN
ENTRE PLANIFICACIÓN DE OPERACIONES AUXILIARES Y PLAN DE
CIERRE DE UNA MINA AURÍFERA**

**Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Oscar Eduardo Mistage Caldera
para optar al Título de Ingeniero de Minas**

Caracas, noviembre del 2019.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA ESTABLECER LA RELACIÓN ENTRE PLANIFICACIÓN DE OPERACIONES AUXILIARES Y PLAN DE CIERRE DE UNA MINA AURÍFERA

Tutora Académica: Prof. Aurora Piña

**Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Oscar Eduardo Mistage Caldera
para optar al Título de Ingeniero de Minas**

Caracas, noviembre del 2019.

Caracas, noviembre de 2019

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Oscar Eduardo Mistage Caldera, titulado:

**“PROPUESTA METODOLÓGICA PARA ESTABLECER LA RELACIÓN
ENTRE PLANIFICACIÓN DE OPERACIONES AUXILIARES Y PLAN DE
CIERRE DE UNA MINA AURÍFERA”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero de Minas, sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran **APROBADO.**

Profa. Alba Castillo
Jurado Principal

Profa. Yeslin Azuaje
Jurado Principal

Profa. Aurora Piña
Tutora Académica

DEDICATORIA

A mi Familia.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios y a mi familia por brindarme todo lo que tengo y servirme como un gran apoyo para poder realizar mis estudios.

Sin duda alguna a la Universidad Central de Venezuela por darme la oportunidad de ingresar en tan prestigiosa casa de estudio y formar académicamente gran parte de mis conocimientos.

Un agradecimiento especial a mi tutora académica Aurora Piña, por prestarme todo su apoyo y servirme como guía durante este período del trabajo especial de grado; y a todos los que colaboraron de una u otra forma muchísimas gracias.

Mistage C, Oscar E

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA ESTABLECER LA RELACIÓN
ENTRE PLANIFICACIÓN DE OPERACIONES AUXILIARES Y PLAN DE
CIERRE DE UNA MINA AURÍFERA**

Tutora Académica: Prof. Aurora Piña

**Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología. Minas y
Geofísica. Año 2019. 79 pág.**

**Palabras clave: Mina de Oro-Planificación, Mina de Oro-Cierre, Formación El
Callao-Bolívar (Estado).**

RESUMEN

La siguiente investigación se basa en una propuesta metodológica como ejercicio para establecer la relación entre la planificación de operaciones auxiliares y el plan de cierre de mina en un aprovechamiento aurífero, ubicado en la Formación El Callao estado Bolívar. Para ello, se identificaron esas variables que actúan en las operaciones auxiliares y en el cierre de mina, con un valor de importancia para cada una de ellas, mediante la aplicación de un proceso de jerarquización analítica, la cual consiste en estructurar el problema de resolución de tal manera que facilite al planificador la tomar las mejores decisiones. Se estudiaron los términos de afinidad entre ambos grupos de variables. Para las operaciones auxiliares: la desforestación y desmonte, control de agua, limpieza de frente, berma, bancos y cunetas, mantenimiento de vías, control de polvo, entre otros; mientras que para el cierre de mina: restauración de sistemas ecológicos de flora y fauna, control de calidad de agua, estabilidad de taludes del *pit* final, control de calidad del aire y otros, que sirvieron de apoyo para identificar las estrategias para un mejor aprovechamiento del mineral de tal manera que su extracción sea óptimo, rentable y amigable con el ambiente. Como conclusión más resaltante se tiene que para cumplir con una planificación a largo plazo, no solo es necesario el quehacer de las operaciones unitarias de producción, sino también las operaciones auxiliares mineras, ya que ayudan a cumplir el logro de las metas establecidas y el éxito de las actividades de aprovechamiento adecuado del mineral; como recomendación: evaluar a profundidad los sistemas de drenajes de la unidad productora minera debido a que es una variable importante para conservar la calidad del agua.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.2.1 <i>Objetivo General</i>	3
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	3
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
2.2 BASES TEÓRICAS.....	7
2.2.1 <i>Ubicación Geográfica</i>	7
2.2.1.a Acceso al área.....	9
2.2.1.b Características Naturales.....	9
2.2.1.c Clima.....	10
2.2.1.d Suelo.....	11
2.2.1.e Hidrografía.....	12
2.2.2 <i>Geología Regional</i>	13
2.2.3 <i>Geología Local</i>	13
2.2.4 <i>Operaciones Unitarias Mineras</i>	15
2.2.5 <i>Operaciones Auxiliares Mineras</i>	15
2.2.6 <i>Planificación minera</i>	16
2.2.7 <i>Tipos y Horizontes de Planificación Minera</i>	16
2.2.8 <i>Planificación de Operaciones Auxiliares</i>	17
2.2.9 <i>Maquinarias o Equipos de Operaciones Auxiliares</i>	18
2.2.9.a Tractores.....	18
2.2.9.b Motoniveladoras.....	20
2.2.9.c Camión Cisterna o Aguatero.....	21
2.2.10 <i>Principales Impactos de la Minería</i>	21
2.2.11 <i>Remediación Ambiental</i>	23
2.2.12 <i>Plan de Cierre de Mina</i>	24
2.2.13 <i>Proceso de Jerarquía Analítica (PJA)</i>	26
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....	29

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	29
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	29
3.3 SUJETO DE ESTUDIO	30
3.4 TAREAS EN FUNCIÓN DE LOS OBJETIVOS.....	30
3.5 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	31
3.6 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS.....	32
3.7 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....	32
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	35
4.1 ACTIVIDADES DE OPERACIONES AUXILIARES EN LA UPM	35
4.1.1 <i>Interpretación sobre la valoración del porcentaje de cada actividad Tabla 8.....</i>	<i>38</i>
a) Desforestación y desmonte, (25,24 %).....	38
b) Control del Agua, (17,23 %).....	39
c) Limpieza de frentes bermas y cunetas, (14,20 %)	40
d) Mantenimiento de vías, (11,97 %)	40
e) Control de Polvo, (9,65 %).....	41
f) Estabilidad de taludes, (7,10 %)	42
g) Revegetación, (6,60 %).....	43
h) Mantenimiento de escombrera, (3,62 %)	44
i) Registro de erosión sedimentación, (2,52 %).....	44
j) Evaluación de subsidencia, (1,86 %).....	44
4.2 ACTIVIDADES DEL CIERRE DE MINA (CM)	45
4.2.1 <i>Interpretación del porcentaje de cada actividad de CM Tabla 13.....</i>	<i>48</i>
a) Restauración de sistemas ecológicos de flora y fauna (29,67 %)	48
b) Control de calidad del agua (22,31 %).....	50
c) Estabilidad de taludes del <i>pit</i> final (18,30 %).....	51
d) Control de calidad del aire (14,44 %)	51
e) Obras para el proceso de erosión-sedimentación (7,54 %).....	51
f) Reconstrucción paisajística (4,97 %)	52
g) Cambio del uso del espacio-territorio (2,77 %).....	52
4.2.2 <i>Matriz FODA para el cierre de mina</i>	<i>53</i>
4.3 CLASIFICACIÓN DE LAS VARIABLES DE IMPACTO AMBIENTAL.....	54
4.4 TÉRMINOS DE AFINIDAD ENTRE LAS OA Y LAS ACTIVIDADES DE CM.....	55
4.5 INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD DE LA UNIDAD PRODUCTORA MINERA	65
4.6 PROPUESTA METODOLÓGICA.....	65
CONCLUSIONES.....	72
RECOMENDACIONES.....	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	7
FIGURA 2. CONCESIONES MINERAS DE LA ZONA.....	8
FIGURA 3. LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO DE LA POBLACIÓN DE EL CALLAO Y DE LA UNIDAD PRODUCTORA MINERA.....	9
FIGURA 4. UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICA	10
FIGURA 5. CUENCA DEL RÍO YURUARÍ.....	12
FIGURA 6. PROVINCIAS GEOLÓGICAS DEL ESCUDO DE GUAYANA.	13
FIGURA 7. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DE LA UNIDAD PRODUCTORA MINERA. ..	14
FIGURA 8. FASES DEL CICLO MINERO.....	15
FIGURA 9. PARTES DEL TRACTOR. CATALOGO CAT D9T	18
FIGURA 10. PARTES DE LA MOTONIVELADORA. CATÁLOGO CAT 12M	20
FIGURA 11. CAMIÓN CISTERNA.	21
FIGURA 12. FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN.....	34
FIGURA 13. DESFORESTACIÓN O DESMONTE CON TRACTOR DE ORUGAS	38
FIGURA 14. CANALIZACIÓN DE LAS AGUAS	40
FIGURA 15. LIMPIEZA DE FRENTE DE TRABAJO CON TRACTOR DE ORUGAS.....	40
FIGURA 16. MANTENIMIENTO DE VÍAS CON LA MOTONIVELADORA	41
FIGURA 18. REVEGETACIÓN	43
FIGURA 19. LOCALIZACIÓN DE VARIABLES IDENTIFICADAS EN EL ESPACIO-RIESGO	54
FIGURA 20. ACTIVIDADES DE IMPORTANCIA EN AMBAS VENTANAS DE TIEMPOS .	70
FIGURA 21. FLUJOGRAMA SOBRE LA PROPUESTA METODOLÓGICA	71

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. COORDENADAS UTM DE LA UNIDAD PRODUCTORA MINERA	8
TABLA 2. MEDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	22
TABLA 3. INTENSIDAD RELATIVA	26
TABLA 4. VALORES IA VERSUS “N”	28
TABLA 5. ACTIVIDADES DE OPERACIONES AUXILIARES PRIORITARIAS	35
TABLA 6. MATRIZ OA CON INTENSIDAD RELATIVA	36
TABLA 7. MATRIZ NORMALIZADA A PARTIR DE MATRIZ OA	36
TABLA 8. ACTIVIDADES DE OA CON SU PORCENTAJE DE PRIORIDAD	37
TABLA 9. PARÁMETROS DE DISEÑO DE LOS TALUDES	43
TABLA 10. ACTIVIDADES DE CIERRE DE MINAS	45
TABLA 11. MATRIZ CM CON INTENSIDAD RELATIVA	46
TABLA 12. MATRIZ CM NORMALIZADA	46
TABLA 13. ACTIVIDADES DE CM CON SU PORCENTAJE DE PRIORIDAD	46
TABLA 14. ESPECIES VEGETALES DE LA UNIDAD PRODUCTORA MINERA.....	49
TABLA 15. FAUNA SILVESTRE POTENCIALMENTE PRESENTE EN EL ÁREA	49
TABLA 16. MATRIZ FODA APLICADA EN EL CIERRE DE MINA.....	53
TABLA 17. CLASIFICACIÓN DEL NIVEL DE AFINIDAD.....	55
TABLA 18. TÉRMINOS DE AFINIDAD ENTRE VARIABLES MÁS PERCEPTIBLES	56
TABLA 19. EJEMPLO DE INDICADORES PARA LA GESTIÓN SUSTENTABLE DE LA UPM	65

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. JERARQUÍA PARA GESTIONAR LAS MEDIDAS DEL IMPACTO AMBIENTAL	24
GRÁFICO 2. PORCENTAJE DE IMPORTANCIA DE OA.....	37
GRÁFICO 3. PORCENTAJE DE IMPORTANCIA DE CM.....	47
GRÁFICO 4. ENLACES DE DESFORESTACIÓN O DESMONTE	57
GRÁFICO 5. ENLACES CON EL CONTROL DEL AGUA	58
GRÁFICO 6. ENLACES CON LA LIMPIEZA DE FRENTE, CUNETAS Y ZANJAS	59
GRÁFICO 7. ENLACES DEL MANTENIMIENTO DE VÍAS	59
GRÁFICO 8. ENLACES DEL CONTROL DE POLVO	60
GRÁFICO 9. ENLACES DE ESTABILIDAD DE TALUDES DE LOS FRENTE DE TRABAJOS	61
GRÁFICO 10. ENLACES DE LA REVEGETACIÓN	62
GRÁFICO 11. ENLACES DEL MANTENIMIENTO DE ESCOMBRERAS	63
GRÁFICO 12. ENLACES DE REGISTRO DE EROSIÓN-SEDIMENTACIÓN	64
GRÁFICO 13. ENLACES DE EVALUACIÓN DE SUBSIDENCIA	64

INTRODUCCIÓN

Este estudio procura proponer estrategias para el diseño de una propuesta metodológica, que establezca una relación entre la planificación de operaciones auxiliares y el plan de cierre de mina en un aprovechamiento aurífero a cielo abierto; con una serie de acciones planificadas que ayuden a tomar decisiones y conseguir buenos resultados. Esto conlleva a la elaboración de proyectos para el mejor aprovechamiento del mineral, disminuir los costos de producción, mayores ganancias y menor impacto ambiental, de tal manera no se genere sustanciales cambios ecológicos en la zona de trabajo.

Se ha planteado en algún tiempo que el plan de cierre de mina debe ser un elemento importante para la toma de decisiones de los factores ambientales, sin embargo, estas acciones son normalmente elegidas para el final del agotamiento del recurso mineral. La planificación minera se ha de constituir en el elemento fundamental para la toma de decisiones y el logro de los resultados estratégicos en las empresas mineras, permitirá definir la cantidad de reserva a extraer, determinar la secuencia de explotación, establecer programas de producción y la infraestructura requerida. Sin embargo, ayuda a que la extracción del mineral sea la más óptima posible y es por ello que la mejor forma para que el plan de cierre se ejecute durante todo el proyecto, es haciendo una relación con aquellas actividades que sirvan de soporte para la realización de las operaciones básicas y así no afectar las etapas de producción.

Esta investigación se llevó a cabo utilizando una base de datos de una unidad productora minera y es estructurada de la siguiente manera: capítulo I, correspondiente a las generalidades de la investigación, donde se describe el planteamiento de problema, los objetivos de la investigación y por último la justificación. Seguidamente el capítulo II, donde se encuentran plasmados los antecedentes y las bases teóricas que sustentan la investigación. En el capítulo III, se

muestra el marco metodológico indicando la metodología utilizada para cumplir con los objetivos planteados, este capítulo está conformado por el tipo y diseño de la investigación, sujeto de estudio, instrumentos para la recolección de datos y las técnicas de análisis de datos. Por último, el capítulo IV donde se expuso los resultados y análisis de la relación obtenida entre las actividades de soporte y plan de cierre de mina.

CAPÍTULO I. GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

La planificación minera permite identificar las limitantes técnicas y logísticas generadas por diferentes variables a lo largo de la vida de un proyecto minero. El problema surge porque las líneas de investigación desarrolladas en la actualidad del Departamento de Minas no vinculan la planificación de operaciones auxiliares y el plan de cierre de mina. En consecuencia, se hace indispensable generar una propuesta metodológica, que permita aportar conocimientos y herramientas necesarios para la búsqueda de equilibrios en el aprovechamiento minero aurífero a cielo abierto, enfocado en la unidad productora minera (UPM) de la Formación el Callao del estado Bolívar.

Como consiguiente se busca resolver parte de la disyuntiva sobre el óptimo aprovechamiento mineral y su afectación ambiental, a causa de que en apariencia, no existe una relación evidente para que dicho cierre (de mina) incida en todas las operaciones auxiliares (corto plazo) y contribuya a la remediación ambiental efectiva. Esto teniendo en cuenta que la unidad productiva se emplaza en un ambiente frágil afectado por contaminación mercurial y con alta sedimentación de los efluentes, como resultado de la explotación del mineral con tecnologías obsoletas.

1.2 Objetivos de la Investigación

1.2.1 Objetivo General

Proponer una metodología para el establecimiento de la relación entre planificación de operaciones auxiliares y plan de cierre de mina en un aprovechamiento aurífero a cielo abierto.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Jerarquizar las variables técnico-ambientales de las operaciones auxiliares mediante ponderación-importancia en el corto plazo.

2. Estipular por medio de la tipificación las variables del plan de cierre de mina-largo plazo que guarden relación con las operaciones auxiliares.
3. Establecer los términos de afinidad entre ambos grupos de variables de corto plazo y largo plazo.
4. Elaborar la propuesta metodológica sobre la relación entre la planificación de operaciones auxiliares y el plan de cierre de mina.

1.3 Justificación

Esta investigación se justifica porque en la actualidad no existe antecedentes donde se aborde una metodología que relacione de alguna forma la planificación de operaciones auxiliares y el plan de cierre en una mina aurífera, de tal manera que se pueda aprovechar el material de interés y se alcance regenerar el área afectada de forma simultánea para que el impacto se sustraiga lo mayor posible y así cambiar la visión discriminante hacia la economía minera donde se logre un enfoque positivo, la cual permita evidenciar que si es posible desarrollar minería aurífera con impactos ambientales controlados.

Es pertinente porque ayudará en situaciones futuras a la gestión de minas auríferas, mediante una serie de pasos necesarios con el objetivo de incorporar las operaciones auxiliares que contribuyan progresivamente al plan de cierre de mina, donde se permita un adecuado control de estrategia eficiente y asertiva de la extracción del mineral de manera responsable. y que de esta forma sea una actividad transversal durante todo el proyecto.

Al llevar a cabo esta investigación se beneficiará en general a la minería aurífera, así como, a todo el sector minero dentro del territorio nacional, coadyuvando a desarrollar una mejor planificación de extracción, donde finalmente se asumirá la planificación con mayor grado de certidumbre y con estrategias adecuadas para la mitigación de los impactos ambientales.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación

- Zerpa, Z. (2018), “Propuesta heurística de planificación operativa a corto y mediano plazo para una mina de oro en El Callao, estado Bolívar”, Trabajo Especial de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas. El presente trabajo lleva a cabo una metodología que se basa inicialmente en el desglose de la planificación a largo plazo de una mina de oro de la Concesión Minera Choco 10 ubicada en El Callao, estado Bolívar, para definir las bases correlativas a las capacidades de producción y procesamiento que dan cabida a las proyecciones de mediano y corto plazo.
- Contreras, J. (2018). “Aplicación de la Herramienta de Análisis de Ciclo de Vida Enfocado en las Operaciones Mineras en Canteras de Arcilla”, Trabajo Especial de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas. La presente investigación se basa en aplicar una herramienta de gestión ambiental en una cantera de arcilla, para determinar cuantitativamente los pasivos ambientales generados durante la ejecución de las operaciones mineras. De esta forma se ven involucradas variables de operaciones auxiliares que se tomara en consideración para este estudio.
- Seija, J. (2018). “Integración de Criterios de Cierre De Mina a la Planificación a Largo Plazo: Canteras del Distrito Capital, Mamera, Municipio Libertador”. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Minas, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. El propósito de esta investigación es presentar un proyecto de integración de criterios de cierre de mina a la planificación minera a largo plazo y que servirá de apoyo para elegir variables del programa de recuperación y remediación ambiental que contempla las medidas preventivas, correctivas, o mitigantes que hacen frente a dichos impactos.

- Gavidia, W. (2017). “Propuesta de Plan de Cierre del Frente 2 de la Cantera Carayaca, Distrito Capital”, Trabajo Especial de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas. El objetivo de este trabajo especial de grado es diseñar una propuesta de plan de cierre la cual se encarga de la explotación y procesamiento de minerales no metálicos para la comercialización de agregados para la construcción.
- Statzewitch, J. (2017). “Propuesta de Planificación a Largo Plazo para la Mina Choco 10, En El Bloque Guasipati – El Callao Municipio El Callao Estado Bolívar Periodo 2017-2021”, Trabajo Especial de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas. La finalidad de esta investigación es realizar una propuesta de metodología para el diseño de secuencias de explotación en planificaciones a largo plazo, en la Mina Choco 10, ubicada en el municipio El Callao, estado Bolívar. Se tomarán variables de la planificación a largo plazo de la Mina Choco 10 como ayuda para esta investigación.
- Melo, Y. (2016). “Propuesta Metodológica para la Planificación de Soporte de Mina, en Canteras del Distrito Capital”, Trabajo Especial de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas. En este estudio se trata de proponer una metodología de planificación que se realizó evaluando las condiciones de las operaciones de soporte de minería e identificando los parámetros que inciden de manera directa en déficit de producción.
- Cazal, S. (2013). “Propuesta de Cierre de Cantera las Marías, Estado Miranda, como Aporte al Ministerio del Poder Popular de Petróleo y Minería en las Políticas Mineras, Trabajo Especial de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas. El objetivo principal de esta investigación fue realizar una propuesta de cierre, donde se determinó los impactos ambientales y los riesgos asociados que son generados en dicha

cantera con un plan de medidas para la mitigación y corrección de los impactos ambientales, que servirá de ayuda para determinar las variables del plan de cierre de mina de la mina Choco 10.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Ubicación Geográfica

Este proyecto se desarrollará en la zona de El Callao, que se encuentra ubicado en el estado Bolívar, municipio El Callao, Venezuela, aproximadamente a 285 km al Sur-Este de ciudad Bolívar, a 195 km de Puerto Ordaz, a 17 km de Guasipati y a 40 km de Tumeremo.

La zona de exploración y operaciones se encuentra situada en el kilómetro 15 de la carretera nacional El Callao-El Manteco, mejor conocida como Sector El Choco (Figura 1).

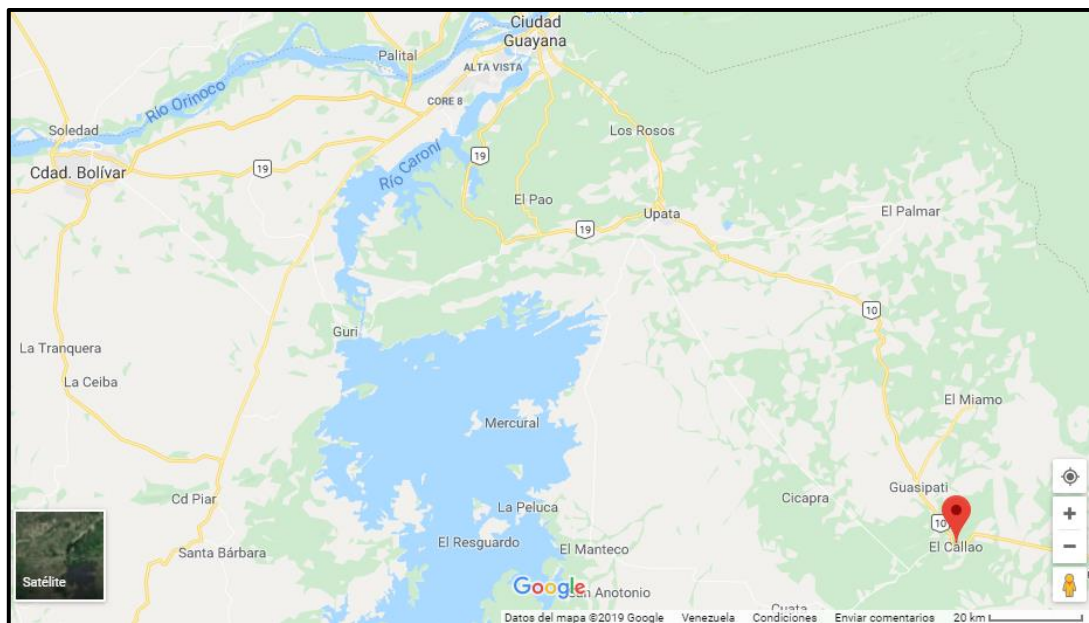


Figura 1. Ubicación Geográfica de la zona de estudio.

Fuente: Google Maps 2019

La unidad productora minera se encuentra emplazada al Oeste de la población de El Callao en dirección a la población de El Manteco, con un Azimut de 245° aproximadamente, y Coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM), referida en la tabla 1, constituyendo un área de 4.249.349 Ha.

Tabla 1. Coordenadas UTM de la unidad productora minera

Norte	Este
N1: 617.004	E1: 807.210
N2: 617.004	E2: 809.519
N3: 615.310	E3: 809.521
N4: 615.310	E4: 807.405

En la Figura 2 se puede ver el seccionamiento de la concesión dada al bloque Guaspiti-El Callao.

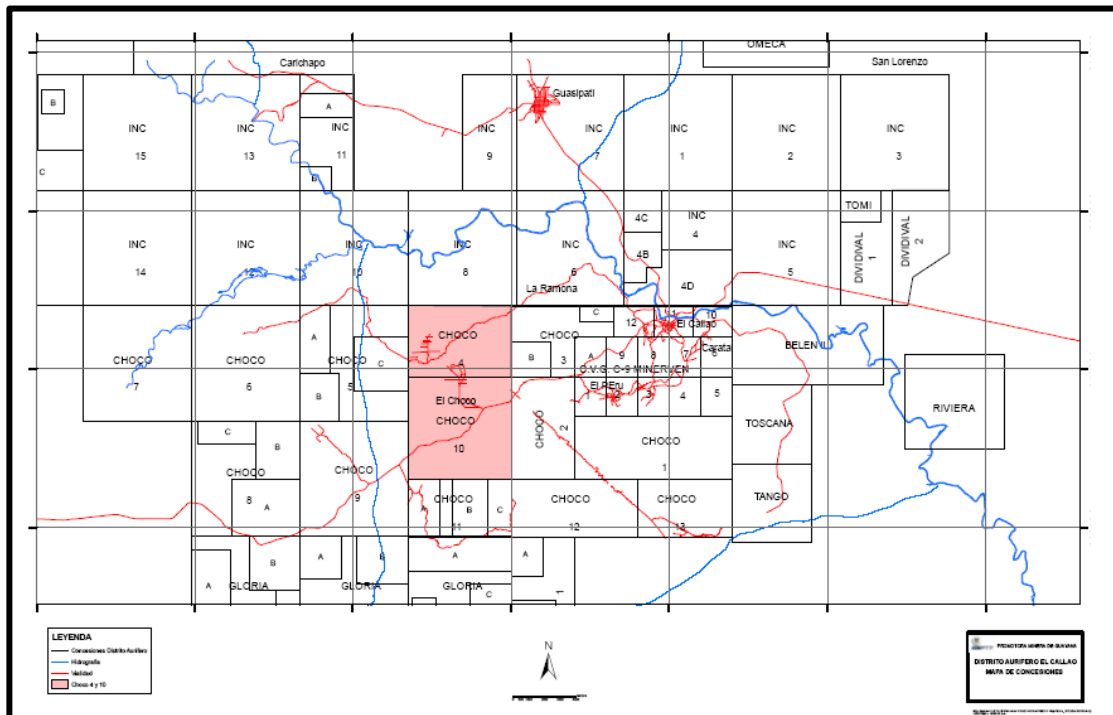


Figura 2. Concesiones mineras de la zona.

Fuente: (C.V.G. Minerven, Unidad geológica, 2002).

2.2.1.a Acceso al área

Desde la población de El Callao hasta el campamento de exploración de Bloque Guasipati-El Callao y luego hasta la unidad productora minera, donde se encuentra la planta procesadora, el acceso es vía terrestre por una carretera con una distancia aproximada de 30 km; el camino es asfaltado, mientras que en la entrada a la concesión el camino es no asfaltado. Es importante agregar que existe otra vía de comunicación con la concesión, la cual es a través de la vía La Ramona, siendo los primeros 10 Km asfaltados y los restantes 10 km aproximadamente está sin pavimentar. En la Figura 3 se aprecian las diferentes vías de acceso de la población El Callao.

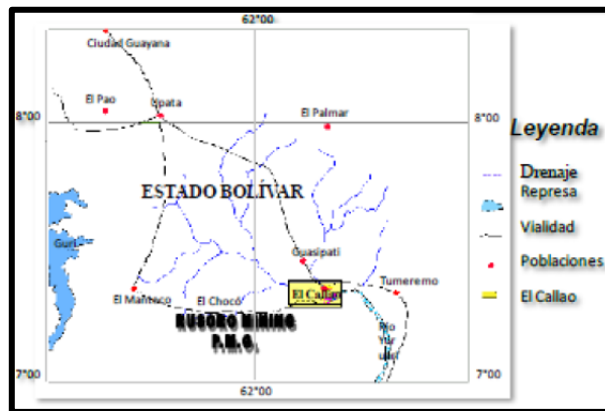


Figura 3. Localización y vías de acceso de la población de El Callao y de la unidad productora minera

Fuente: (C.V.G. Minerven, Unidad Geológica, 2002).

2.2.1.b Características Naturales

En la unidad productora minera se puede distinguir un claro dominio espacial del paisaje lomerío, aproximadamente 99 % (7.174 Ha) de la superficie total, lo que determina una cierta monotonía topográfica, con altos valores de pendiente; mientras que el restante 1 % (40 Ha), corresponde al paisaje valluno donde predominan los valores de pendiente bajos y las geomorfias planas y semiplanas. Además, estas dos unidades intercalan los planos inclinados que forman parte integral del valle (Artigas, 2011).

El paisaje de lomas no posee una homogeneidad absoluta, en razón de la distribución de las pendientes del terreno. En efecto, se puede diferenciar un tipo de loma con pendientes de media a baja, sobre divisorias de aguas localizada hacia los extremos noreste y noroeste del área, donde la altitud relativa es de 250msnm. Hacia el centro norte, se presenta un relieve más escarpado y de configuración masiva, con pendientes altas, mayores al 45%; igualmente sucede en ambas vertientes del Cerro El Purgual, en el extremo sur.

2.2.1.c Clima

Según datos proporcionados por el INAMEH de la región Guayana, utilizando datos suministrados por la estación meteorológica Puente Blanco pertenecientes al Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas (Figura 4), ubicado según coordenadas geográficas: Latitud 7° 22' 07" y Longitud Oeste 61° 49' 41" con una altitud de 180 msnm; entre los años 1974-1985 C.V.G.TECMIN (1989), se conoce que las condiciones climáticas medias del área de estudio rondan las siguientes cifras:

- Precipitación Media Anual: 1.050mm
- Evaporación Total Media Anual: 1.743mm
- Temperatura Media Anual: 35,7°C
- Temperatura Media Mínima Anual: 21°C
- Temperatura Media Máxima Anual: 31,4°C

El clima es tropical de sabana arbolada (Clasificación Koeppen), con un período de lluvias comprendido entre los meses de abril a octubre.



Figura 4. Ubicación de las estaciones climatológica

Fuente: (Artigas, 2011)

2.2.1.d Suelo

Las características del suelo de un área constituyen la respuesta del material parental o de formación a elementos tales como clima, cobertura vegetal, posición geomorfológica y acción antrópica. En este sentido, los suelos de Guayana influenciados por un clima lluvioso tropical han generado un perfil de meteorización profundo donde han ocurrido procesos de lavado de bases, translocación y transformación de arcillas, generación de concreciones ferruginosas, dando lugar, a la presencia de suelos muy evolucionados, clasificándolos según la Taxonomía de suelos como ultisoles. Asimismo, en algunos sectores, asociadas principalmente a cursos de agua, valles, laderas y/o topes donde ha habido deposiciones recientes de materiales y/o afloran fragmentos de roca, se presenta un incipiente desarrollo pedogenético pudiéndose clasificar estos suelos como entisoles.

A escala regional, aunque las características de los suelos dependen de su posición geomorfológica, en términos generales existe un predominio de ultisoles sobre entisoles, prevaleciendo aquellos que presentan un alto contenido de materia orgánica (*humults*) (Buol y otros, 2004), pero que en realidad su fertilidad natural es muy baja debido a que la capacidad de intercambio catiónico y la saturación de bases son muy bajas.

La textura en estos suelos va de franco a francoarcillosa en superficie y francoarcillosa a arcillosa con la profundidad; el pH es moderadamente ácido, y los colores son marrón rojizo a rojizos y rojos.

En cuanto a los entisoles, ubicados en los valles, son moderadamente drenados, cuyo material lo conforman sedimentos coluvio-aluviales asociados a un fondo rocoso en el cauce del río. Estos suelos son, por lo general, arenosos en todo el perfil, profundos, con bajos contenidos de materia orgánica, y bajas capacidad de intercambio catiónico y de saturación de bases; el pH es extremadamente ácido.

2.2.1.e Hidrografía

Es importante resaltar que la red hidrográfica en el área de la unidad productora minera, presenta un patrón dendrítico, siendo la mayoría de los cuerpos de agua superficiales son de carácter intermitente, razón por la cual no se cuenta con datos hidrológicos. La estación hidrométrica más cercana se encuentra ubicada en el río Yuruari en El Callao, y los registros disponibles (1977 – 1982).

El área de las concesiones, abarca la sección alta de las cuencas de las quebradas El Choco, Capia, La Iguana, Carne Cruda y Capia 2, las cuales son alimentadas por numerosos drenes tributarios. Las quebradas El Choco y Capia, forman una sola unidad hidrográfica a escala regional, que aporta su caudal a la cuenca del río Yuruari; las otras tres (La Iguana, Carne Cruda y Capia 2), son cursos independientes y que también confluyen, pero de manera directa, en el mismo río.

De acuerdo a lo anterior, las subcuencas que se ubican en el área de la unidad productora minera pertenecen a la cuenca del río Yuruari en su parte alta, siendo ésta una de las hoyas hidrográficas de mayor representación del río Yuruán, por el aporte de su carga; el río Yuruán es afluente importante del río Cuyuní. En la Figura 5 se muestra la ubicación geográfica del área del Proyecto, respecto a la cuenca del río Yuruari.

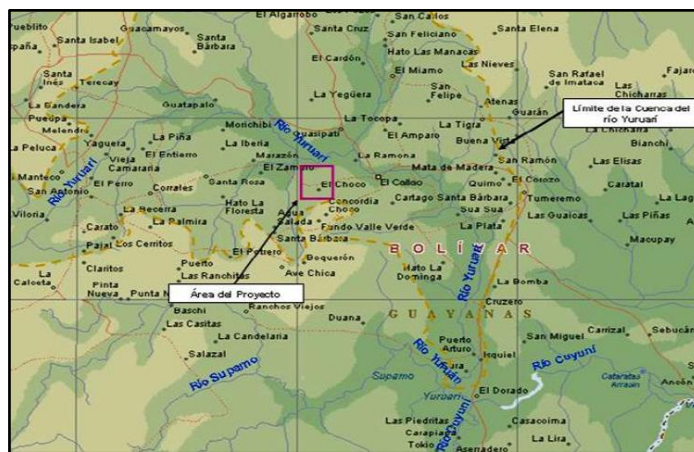


Figura 5. Cuenca del río Yuruari

Fuente: (Artigas, 2011).

2.2.2 Geología Regional

El escudo de Guayana se encuentra al sur del río Orinoco, ocupa aproximadamente 50 % de la superficie de Venezuela y se divide en cuatro Provincias Geológicas: Imataca, Pastora, Roraima y Cuchivero (Figura 6), éstas forman parte del Cratón Amazónico el cual se extiende por las Guayanas, Colombia, el Norte de Brasil y Bolivia. (C.V.G. MINERVEN, 2002).

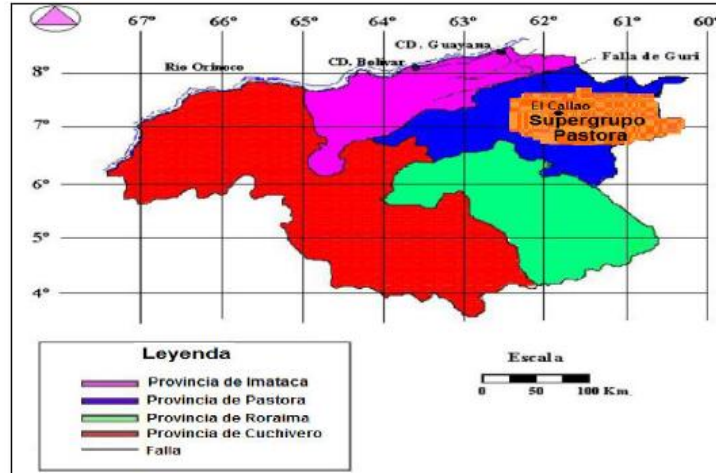


Figura 6. Provincias Geológicas del Escudo de Guayana.

Tomado de Zerpa (2018).

2.2.3 Geología Local

El proyecto de la unidad productora minera está conformado principalmente por los depósitos Rosika y Coacia, los cuales están ubicados geológicamente en una secuencia estratigráfica supracrustal, de edad Proterozoica inferior a media, constituida predominantemente por las Formaciones El Callao y Cicapra.

Los tipos de rocas representativos de los depósitos son: vulcanitas máficas tholeíticas metamorfoseadas en facies dese Prehnita – Pumpellita hasta raramente Esquistos Verde (flujos masivos y basaltos almohadillados), vulcanitas y vulcanoclásticas calco-alcalinas de composición intermedia hasta félsica (tobas y aglomerados andesíticos y dacíticos), sedimentos químicos (chert) y epiclástico

(grauvacas, limonitas y filitas). Estas rocas han sido intrusionadas por diques máficos (diabasa y gabro) y secundariamente félsicos (pórpidos cuarzo-feldespáticos).

El área de Rosika se encuentra ubicado al norte de la unidad productora minera y el área de Coacia se ubica al sur de Rosika, Están litológicamente definidas de base a tope por una unidad de flujos basaltos teíficos constituidos principalmente por unidades de flujos almohadillados (MB), con brecha, auto-brechas derivadas por rocas basálticas e intercalaciones de rocas volcanoclásticas máficas y basaltos fracturados *in situ*.

Hacia el tope en contacto tectónico se encuentran volcanoclásticas tholeíicas generalmente conformadas por conglomerados y brechas caóticas como flujos sin-sedimentario o epiclástico, consecuentes al apilamiento de unidades de flujo basalto, presencia local de arenisca arcósicas de composición basáltica, las cuales pueden representar facies dístales de deposición similar. El contacto superior (con el SN) es gradacional y los dos tipos de roca ocurren intercalados en la secuencia calco-alcalina Volcanoclásticas calcoalcalino de grano fino a medio de composición andesítico-dacítica. Por último, un cuerpo intrusivo de gabro (GB) que cubre la secuencia de Rosika-Coacia, generalmente, de grano grueso en el centro de la unidad intrusiva a grano fino hacia el extremo (Figura 7).

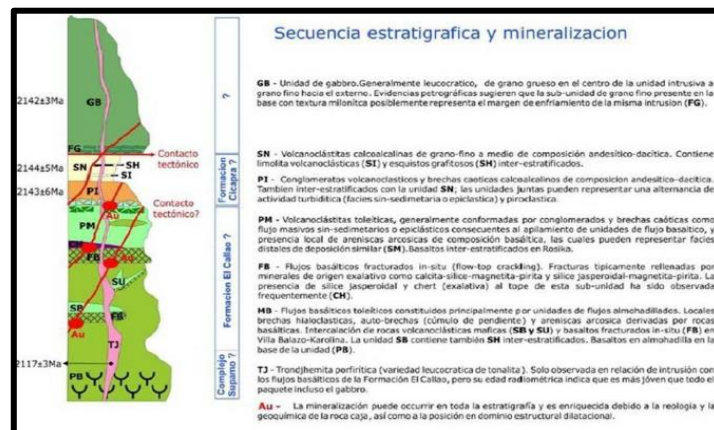


Figura 7. Columna Estratigráfica de la unidad productora minera.

Fuente: (Artigas, 2018).

2.2.4 Operaciones Unitarias Mineras

Las operaciones unitarias (Figura 8) desarrolladas dentro de la unidad productora minera están separadas de manera básica en arranque, carga y acarreo. Existen diferentes formas para ejecutar el arranque del material, dependiendo del área a trabajar, por lo tanto, algunas características en la geología permiten el arranque directo en zonas donde el mineral se encuentra oxidado, en el restante de los casos se emplea un arranque indirecto por perforación y voladura. (Statzewitch, 2017).



Figura 8. Fases del Ciclo Minero.

Fuente: Elaboración Propia.

2.2.5 Operaciones Auxiliares Mineras

Son aquellas actividades que dan soporte para la realización de las operaciones básicas, pero generalmente no son parte directa de ellas, aunque son esenciales para permitir la explotación minera de un modo eficiente y seguro.

El objetivo de este proceso es mantener la faena en condiciones operativas, garantizando que las operaciones unitarias se realicen con el mejor rendimiento y el mínimo riesgo. (Melo, 2016).

Las principales actividades de las operaciones auxiliares son:

- Preparación de frente para carga.
- Construcción, habilitación y mantención de vías y accesos.
- Canalización de agua de mina.
- Mantención de botaderos.
- Limpieza en sectores específicos, bancos, frentes, bermas y cunetas.
- Manejo de materiales no mineros.
- Apoyo directo a operaciones de carga y transporte.

2.2.6 Planificación minera

Las empresas mineras están obligadas a presentar a la administración gubernamental un plan de labores de la explotación a realizar, previo a la obtención de la concesión final de explotación, y posteriormente deben presentar un plan de labores anuales, que permite ejercer control por parte de los directivos de la compañía y por parte del Estado, que es el propietario de las riquezas en el subsuelo. Estos artículos constituyen documentos bancables, necesarios para conseguir préstamos, justificar inversiones, y que en el caso de empresas que cotizan en la bolsa, inciden de manera directa en el valor de las acciones. En consecuencia, surge la disciplina de planificación minera, que se define como el proceso de la Ingeniería de Minas que transforma el recurso mineral en el mejor negocio productivo, alineado con los objetivos estratégicos de la corporación, sean estos maximizar el valor presente neto, el volumen total de reserva, maximizar el tiempo de explotación, minimizar el riesgo de la inversión, etc., e integrando las restricciones impuestas por el recurso mineral, el mercado y el entorno. (Zerpa, 2018).

2.2.7 Tipos y Horizontes de Planificación Minera

El proceso de planificación minera se realiza en etapas de acuerdo con el tipo de decisiones que deben tomarse y del nivel de detalle que involucra. En términos de tiempo, es común referirse a planes mineros de largo, mediano o corto plazo. En los planes de largo plazo (5 o más años), la gran mayoría de las variables de decisión se encuentran abiertas, lo que permite estudiar diferentes estrategias de desarrollo que podría tomar la operación. En los planes de corto plazo (hasta 1 año), la mayoría de las variables se encuentran definidas, y por lo tanto se tiene menos grados de libertad.

Respecto del tipo de definiciones que se adoptan, los planes mineros se pueden caracterizar como estratégicos o tácticos. La planificación minera estratégica está relacionada con las decisiones para determinar el mayor valor de la operación en el largo plazo, analizando escenarios y planes mineros en función de variables estratégicas como los recursos identificados, el método de explotación, el proceso

metalúrgico, la capacidad productiva y la secuencia minera. Alcanzar este mayor valor es materia de la planificación minera táctica, determinando las distintas actividades que deben realizarse en el mediano y corto plazo.

Cuando un proyecto se encuentra desarrollando o finalizando la exploración minera, momento en el cual las variables principales no están necesariamente definidas, la planificación es básicamente estratégica. Si el proyecto está en una etapa más avanzada, por ejemplo, próximo a la etapa de operación, varios elementos estratégicos podrían estar fijos y pasar a constituir elementos de planificación táctica. Sin embargo, si en dicho momento se visualizan cambios significativos en temas de recursos y reservas, tecnológicos o de mercado, entre otros, podría generarse una nueva planificación estratégica analizando otras opciones de desarrollo como nuevos proyectos, aumentos de capacidad o modificaciones en la vida útil. En el otro extremo, cuando un proyecto está en la etapa de cierre, todos los elementos estratégicos están fijos, por lo que la planificación es básicamente táctica.

La planificación de mediano y corto plazo se ocupa de establecer y actualizar el plan minero que define para cada periodo lo que se extraerá, en qué momento y de qué modo para maximizar el valor esperado del negocio, sujeto a las restricciones y consideraciones definidas durante la generación del plan minero estratégico. (Boletín Minero 1302, 2016).

2.2.8 Planificación de Operaciones Auxiliares

Se constituyen en la respuesta a la necesidad de integración de las variables ambientales en la producción de materias primas minerales. Se debe considerar variables propias de la localización de los yacimientos: Clima, pluviosidad, insolación, morfología, relieve, geología, velocidad y dirección del viento, topografía, vegetación (flora y fauna) y además variables operacionales: metas a largo plazo, alimentación de planta y control de costos operativos. (Piña, 2018).

2.2.9 Maquinarias o Equipos de Operaciones Auxiliares

Los equipos destinados para las operaciones de soporte son desarrollados a continuación:

2.2.9.a Tractores

Desde hace más de medio siglo, el tractor en sus dos variedades, de orugas y de neumáticos, constituyen un auxiliar potentísimo para el movimiento de tierras. De estos dos tipos de tractores, los de orugas son de gran versatilidad, los más conocidos y empleados como unidades de producción en operaciones de arranque y empuje, que son efectuados por el escarificador (Ripper) y por la topadora (Blade) respectivamente, los cuales van montados y accionados por el tractor. Los tractores de ruedas se diferencian en su totalidad en su diseño con respecto a los anteriores, además del distinto tren de rodaje, los de orugas tienen un chasis rígido frente al articulado de los de ruedas. La diferencia operativa principal es la fuerza que pueden ejercer para la excavación y empuje, su disponibilidad para maniobrar en firmes en malas condiciones y la movilidad para desplazarse entre tajos. Está constituido por cinco partes fundamentales: la cabina, la topadora (Blade), el tractor (Dozer), el escarificador (Ripper) y el tren de rodaje. (Figura 9).

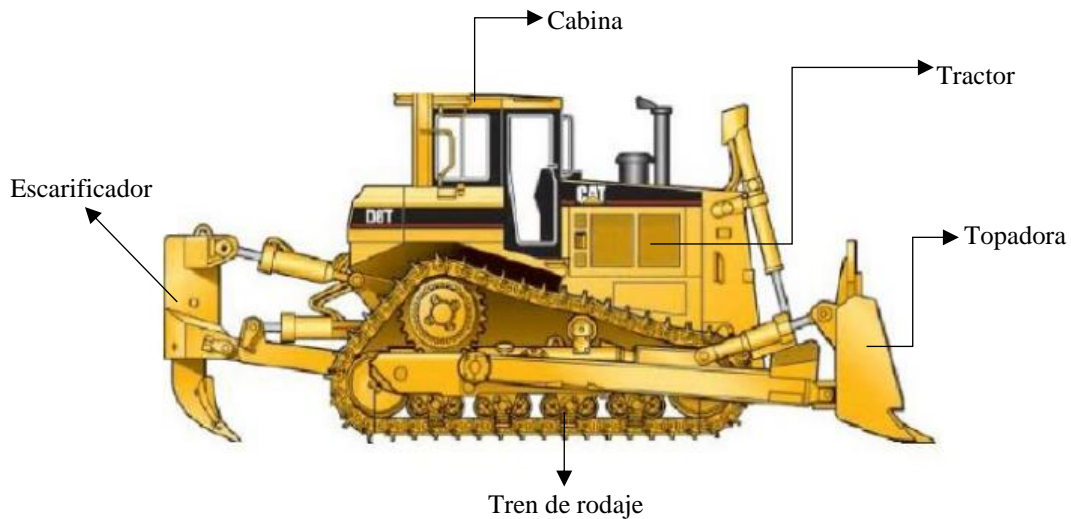


Figura 9. Partes del Tractor. Catalogo Cat D9T

Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo a ITGE (1996) el tractor de orugas tiene una gama de aplicaciones en minería muy amplia, donde se destacan las siguientes:

- Puede fragmentar y abundar la roca utilizando el ripper.
- Es segura y simple.
- El equipo humano necesario es mínimo.
- No genera vibraciones y ondas aéreas como las voladuras.
- Es un método de arranque más barato que la perforación y voladura.
- La profundidad de ripeado está limitada por la potencia del tractor y dureza del terreno, y casi nunca es superior 1,5 m.
- La segunda operación que suelen realizar es la de empujar materiales sueltos o poco consolidados.
- Limpieza de terrenos. En la deforestación y preparación de áreas que van a ser objetos de explotación o sobre las que se van a construir instalaciones.
- Nivelación de bancos y limpieza de áreas de trabajo. En la operación de palas, perforadoras, etc., se requieren plataformas sensiblemente horizontales y sin obstáculos para que los camiones puedan aproximarse sin riesgo de corte en las llantas o sin pérdida de tiempo.
- Extendido de escombreras. El empleo de tractores en el extendido aumenta la producción de la flota de camiones, hace la operación más segura y proporciona unos taludes más estables.
- Restauración. Son equipos básicos para efectuar las operaciones de remodelado de los terrenos y descompactado de los materiales superficiales antes de llevar a cabo las labores de revegetación.
- Alimentación de cargadores. La producción de los cargadores puede mejorarse cuando los tractores suministran o depositan la rezaga en una posición idónea para efectuar la carga del mismo.

2.2.9.b Motoniveladoras

La motoniveladora es una máquina muy funcional cuando nos referimos al apoyo en obras mineras y civiles, su función principal es nivelar, moldear o dar pendiente a los materiales de tierra que se encuentran en determinado lugar. Realiza trabajos de nivelación de terrenos, es capaz de perfilar taludes en terraplenes y desmontes y en cunetas de caminos, con el grado de inclinación que se necesite, esto debido a que la cuchilla central puede ser inclinada a la derecha o izquierda, dependiendo de la necesidad. Por lo tanto, sirve de apoyo en las labores de mantenimiento de las vías de acarreo, trabajos de nivelación de vías en obras mineras y civiles, entre otras actividades.

Este tipo de máquinas son autopropulsadas y tienen una cuchilla central que se encarga de ir cortando o raspando el suelo para lograr alcanzar la nivelación, mientras realizan esta función también van acumulando el material y depositándolo en un lugar diferente. La cuchilla u hoja que posee la máquina se puede colocar en una posición más elevada para que la máquina pueda trasladarse de un lugar a otro, y luego se vuelve a colocar en la posición que estaba para poder continuar con el trabajo. Las partes principales de una motoniveladora son las siguientes: hoja (cuchilla), barra de tiro (barra de tracción), neumáticos, sistema de transmisión, motor, cabina de mando y el mecanismo de movimiento de la hoja. (Figura 10).

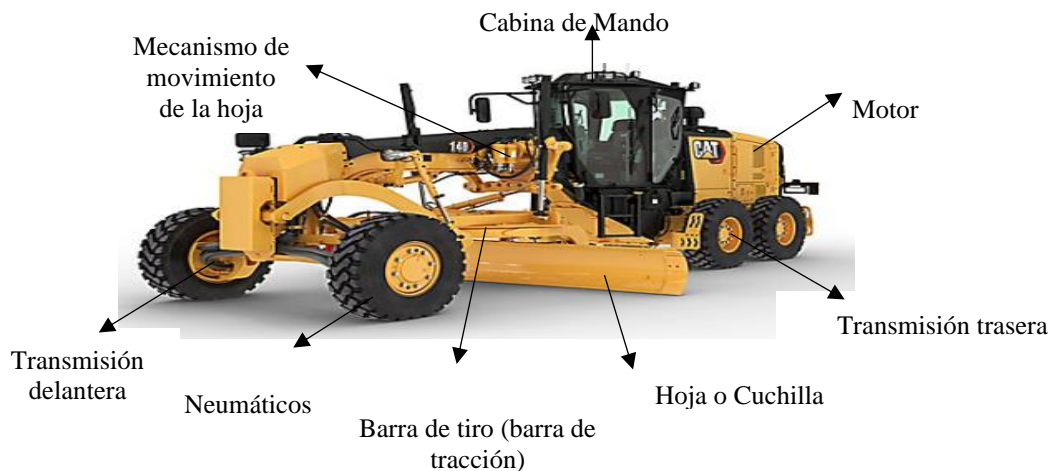


Figura 10. Partes de la motoniveladora. Catálogo Cat 12M

Fuente: Elaboración Propia

2.2.9.c Camión Cisterna o Aguatero

Utilizados en el mantenimiento de vías y en el control de polvo para minería a cielo abierto. (Figura 11).



Figura 11. Camión Cisterna.

Fuente: <http://dunia-miniaturku.blogspot.com/2012/11/150-scale-model-caterpillar-785d-with.html>

Consultado el: 12 de julio de 2019.

2.2.10 Principales Impactos de la Minería

Todos los métodos de extracción minera producen algún grado de alteración de la superficie, los estratos subyacentes y a los acuíferos (Cazal, 2013). Los impactos (Tabla 2) de la exploración y el desarrollo, usualmente, son de corta duración e incluyen:

- Alteración superficial causada por las vías de acceso, hoyos y fosas de prueba, y preparación del sitio.
- Polvo atmosférico proveniente del tráfico, perforación, excavación, y remoción de la capa vegetal del sitio.
- Ruido y emisiones de la operación de los equipos de motor diesel.
- Alteración del suelo y la vegetación, ríos, drenajes, humedales, recursos culturales o históricos, y acuíferos de agua freática.
- Conflictos con los otros usos del espacio y de la tierra.

Las operaciones mineras implican la alteración total del área del proyecto y, generalmente, producen grandes fosas, así como enormes pilas de material removido. Las medidas preventivas asociadas a estas alteraciones se encuentran clasificadas según el componente que afectan.

- Componente hídrico.
- Componente atmosférico.
- Componente litosférico (sistema suelo/roca).
- Componente biótico (flora y fauna).
- Componente social y cultural.

Tabla 2. Medio de impacto ambiental

Medio de impacto directo		Impacto
Físico	Atmosférico	1 Incremento del ruido ambiental
		2 Alteración de la calidad del aire por emisión de partículas y gases de combustión
	Hídrico	3 Contaminación del cauce receptor
	Edáfico	4 Incremento de susceptibilidad a la erosión
		5 Contaminación por sustancias químicas peligrosas
		6 Aumento de la ocurrencia de derrumbes y deslizamientos
		Geomorfológico
	8 Formación de escombreras	
	9 Cambios en la configuración del drenaje superficial	
	10 Cambios en la calidad y fragilidad visual del paisaje	
Biótico	Vegetal	11 Deforestación
	Animal	12 Alteración del hábitat
Socioculturales	Sociedad	13 Afectación de la salud pública 14 Aumento de riesgo de accidentes viales
	Infraestructura	15 Deterioro de la vialidad

Fuente: Elaboración Propia

2.2.11 Remediación Ambiental

Es un conjunto de procedimientos de mejora y prevención de las causas que provocan impactos en el ambiente. O bien, Rivera (2008) lo define como un conjunto de medidas encaminadas a reducir, remediar o cambiar las condiciones del impacto ambiental, la remediación de áreas sometidas a extracción minera puede entenderse desde varios puntos de vista según se dirija:

- Ordenación en condiciones similares a las existentes antes de la explotación.
- Recuperación natural de la zona con un tratamiento adecuado de las causas de impacto.
- Transformación del área para nuevos usos

Las medidas correctoras o de remediación según Gómez (1999) están encaminadas a:

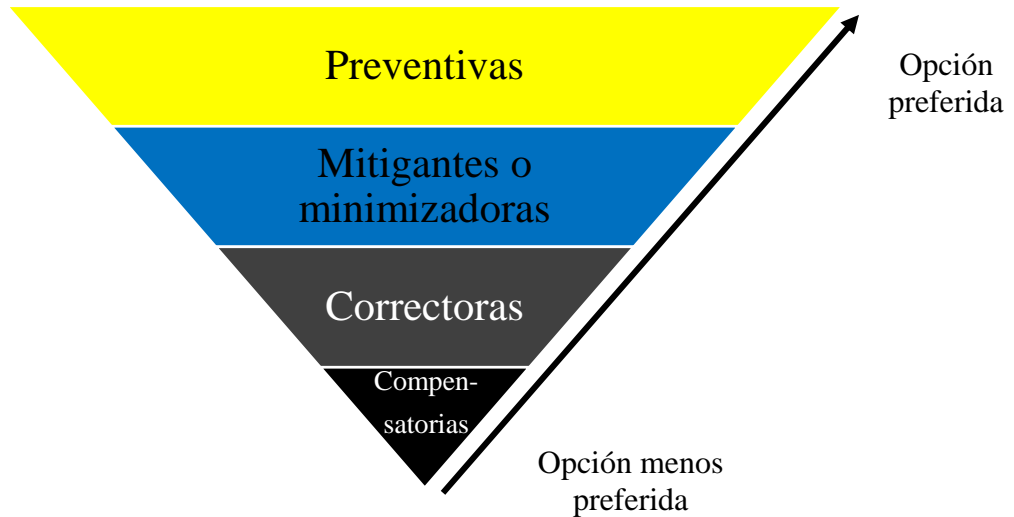
- Evitar, disminuir, modificar, curar o compensar el efecto de una acción antrópica en el ambiente (aminorar los impactos intolerables, y minimizar todos en general).
- Aprovechar mejor las oportunidades que brinda el medio para el mejor éxito de la acción programa.

Estos tipos de medidas pueden darse tanto en la fase de construcción, explotación y cierre. Pueden ser:

- Preventivas: Acciones encaminadas a evitar los impactos y efectos negativos que pueda generar un proyecto, obra o actividad sobre el ambiente.
- Minimizadoras o mitigantes: Dirigida a alteraciones en la fase operativa de la acción.
- Correctoras: Se generan para evitar impactos tras el desarrollo de la acción antrópica.
- Compensatorias: Impactos inevitables que serán compensados en otras zonas (restituyendo lo destruido en otro lugar, siempre y cuando esto sea posible).

Es preciso mencionar que las medidas citadas están condicionadas por el costo de las mismas, viabilidad técnica, eficacia, facilidad de implantación, mantenimiento y control (Gráfico 1).

Gráfico 1. Jerarquía para gestionar las medidas del impacto ambiental



2.2.12 Plan de Cierre de Mina

El Ministerio de Energía y Minas de Perú (2006), expone: El plan de cierre de mina es un instrumento de gestión ambiental que comprende todas las acciones técnicas y legales requeridas, donde se establecen pautas a ser efectuadas por el titular de la actividad minera, como tomar en consideración las condiciones del área antes de la explotación (Línea Base Ambiental), durante el desarrollo de la actividad, la finalización de las actividades y el uso posterior del terreno. A fin de restituir las áreas utilizadas, se busca que la misma alcance características compatibles con un ambiente saludable, seguro y adecuado para el desarrollo de la vida. La rehabilitación se lleva a cabo mediante la ejecución del plan, el cual se establece de acuerdo con las características particulares de la mina.

A pesar de ello, es posible sugerir algunos otros objetivos de la planificación del cierre y la gestión ambiental integrada de todo el Ciclo de Vida de una Mina:

- Generación reducida de residuos.
- Uso eficiente de energía.
- Uso eficiente de sustancias químicas y la minimización de cualquier daño proveniente de su suministro, uso y disposición.
- Reducción del drenaje de aguas ácidas o de la contaminación del agua, desde el inicio.
- Remediación progresiva y revegetación.
- Aseguramiento del uso viable del terreno post-minería.
- Aseguramiento de que no existan impactos que deterioren la salud de la comunidad local.
- Aseguramiento de que las comunidades locales no se empobrecerán como resultado de la minería o al final de la vida de la mina.
- El cierre de actividades minero-metalúrgicas plantea con especial fuerza el tema de la equidad interdisciplinaria. Ello, porque en muchos casos, los efectos negativos pueden manifestarse sólo décadas o incluso siglos después del cierre de las operaciones.

El Ministerio de Minería de Chile define el Plan de Cierre como una herramienta que permite identificar y cuantificar los impactos ambientales negativos generados en la etapa de cierre de una faena minera, así como, definir medidas de acción presentes y futuras para prevenirlos, minimizarlos y/o mitigarlos y desarrollar un cronograma de ejecución de las medidas proyectadas, de forma de dar cumplimiento al marco jurídico ambiental para la etapa de cierre del sitio.

El objetivo principal del Plan de Cierre de Minas es la prevención, minimización, y/o control de los riesgos y efectos negativos que se generen o continúen presentándose con posterioridad al cese de las operaciones de una faena o instalación minera, sobre la salud y seguridad de las personas y/o sobre el medio ambiente.

2.2.13 Proceso de Jerarquía Analítica (PJA)

Este proceso ha sido desarrollado por Saaty (1980, 1986, 1994). El PJA estructura el problema de decisión en niveles que corresponden a la comprensión de la situación: objetivos, criterio, sub-criterio y alternativas. Al dividir el problema en niveles, el tomador de decisiones puede enfocarse en conjuntos de decisiones más pequeños. El uso de PJA para la toma de decisiones implica cuatro pasos. Se supondrá que los requisitos del estimador se evaluarán utilizando el criterio de valor.

Paso 1. Configurar los requisitos de ‘n’ en las filas y columnas de una matriz ‘n x n’.

Paso 2. Realizar comparaciones por pares de todos los requisitos de acuerdo con el criterio. La escala utilizada para este propósito se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Intensidad relativa

Intensidad relativa	Definición	Explicación
1	De igual valor	Dos requisitos son de igual valor
3	Un poco más de valor	La experiencia favorece ligeramente un requisito sobre otro
5	Valor fuerte o esencial	La experiencia favorece fuertemente un requisito sobre otro
7	Valor muy fuerte	Un requisito es fuertemente favorecido y su dominio se demuestra en la práctica.
9	Valor extremo	La evidencia a favor de uno sobre otro es del orden de afirmación más alto posible
Cualquier valor (1-9)	Valores intermedios entre dos criterios adyacentes	Cuando se necesita compromiso

Recíprocos si el requisito “i” tiene asignado uno de los números anteriores cuando se compara con el requisito “j”, entonces “j” tiene el valor recíproco cuando se compara con “i”.

Paso 3. Utilizar el promedio sobre columnas normalizadas para estimar los valores propios de la matriz (que representan la distribución del criterio). Saaty (1994) propone un método simple para esto, conocido como promediar sobre columnas normalizadas. Primero, se calcula la suma de las columnas "n" en la matriz de comparaciones. Luego, divide cada elemento en la matriz por la suma de la columna de la que es miembro el elemento, y calcular las sumas de cada fila.

Luego, normalizar la suma de las filas (divide cada suma de filas con el número de requisitos). El resultado de este cálculo se conoce como el vector normalizado de comparación de criterios. El vector puede ser llamado como la matriz prioridad.

Paso 4. Asigne cada requisito a su valor relativo basado en los valores propios estimados (porcentajes).

Si podemos determinar con precisión el valor relativo de todos los requisitos, los valores propios pueden ser perfectamente consistentes. Por ejemplo, si determinamos que Req1 es mucho más valioso que Req2, Req2, algo más valioso que Req3, y Req3 es ligeramente más valioso que Req1, se ha producido una inconsistencia y la precisión del resultado disminuye. La redundancia de las comparaciones por pares hace que el PJA sea mucho menos sensible a los errores de juicio; también le permite medir errores de juicio calculando el índice de consistencia (IC) de la matriz de comparación y luego se calcula la relación de consistencia (RC).

El IC es el primer indicador de la precisión del resultado de las comparaciones por pares. Lo calcula como $IC = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$. λ_{max} se denota el valor propio principal máximo de la matriz de comparación. Cuanto más cercano sea el valor de λ_{max} a "n" (el número de requisitos), menores serán los errores de juicio y, por lo tanto, más consistente será el resultado. Para estimar λ_{max} , primero multiplique la matriz de comparación por el vector de prioridad y luego divide el primer elemento

del vector resultante por el primer elemento en el vector de prioridad, el segundo elemento del vector resultante por el segundo elemento en el vector de prioridad, y así sucesivamente.

Para calcular λ_{max} el promedio sobre los elementos en el vector resultante y ahora el IC se puede calcular como: $IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1}$

Para descubrir si el índice de consistencia resultante es aceptable, se debe calcular la relación de consistencia.

Los índices de consistencia de las matrices recíprocas generadas aleatoriamente de la escala 1 a 9 se denominan índices aleatorios (IA). La relación de "IC" a "IA" para la matriz del mismo orden se denomina relación de consistencia (RC), que define la precisión de las comparaciones por pares. El IA para las matrices de orden "n" se da a continuación. La primera fila muestra el orden de la matriz (n), y la segunda el correspondiente valor de "IA". (Tabla 4).

Tabla 4. Valores IA versus "n"

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8
IA	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41
<i>n</i>	9	10	11	12	13	14	15	
IA	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59	

De acuerdo al orden de la matriz se ubica en la tabla el IA y así poder calcular el RC de la siguiente forma: $RC = \frac{IC}{IA}$

Como regla general, un RC de 0,10 o menos se considera aceptable. Esto significa que el resultado mayor de 0,10 es menos que ideal. En la práctica, sin embargo, las relaciones de consistencia superiores a 0,10 ocurren con frecuencia.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

La metodología incluye el tipo de investigación, las técnicas y los procedimientos que serían utilizados para llevar a cabo la indagación. Como se procederá el estudio para responder al problema planteado y los criterios empleados para establecer los diferentes tipos de investigación que fueron: el nivel de investigación y el diseño de investigación.

3.1 Tipo de investigación

El nivel de investigación está dado por el grado de profundidad con que se abordó el tema. La exploración efectuada se enmarca como explicativa y correlacional, ya que será necesario la identificación, estudio y correlación de las diferentes variables existentes en la Planificación de Operaciones Auxiliares (POA) y Cierre de Mina (CM) para su momento dado que se determinará en el desarrollo de la investigación que se encarga de buscar el motivo de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto.

3.2 Diseño de la investigación

El diseño se refiere al plan o estrategia concebidos para obtener la información que desea y responder al problema planteado. La investigación es “no experimental-transeccional-exploratoria correlacional”, por cuanto no hay manipulación intencional de variables de POA y CM. Hernández y otros (1991) explican que “su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado, es como tomar una fotografía de algo que sucede”, efectuándose sin manipular las variables. Debido a que se trata de una investigación dónde no se cambian intencionalmente los parámetros independientes y la capacidad limitada para la toma de datos a lo largo del periodo a estudiar.

Los diseños transeccionales realizan observaciones en un momento único en el tiempo, cuando recolectan datos y describen vinculaciones y asociaciones entre

categorías, conceptos, variables, sucesos, contexto o comunidades que son relacionables, ocurrieron o se dieron sin la intervención directa del investigador; se conoce como investigación expo-facto (los hechos y variables ya ocurrieron) y observa variables y relaciones entre éstas en su contexto natural.

3.3 Sujeto de Estudio

El sujeto de estudio se encuentra en una unidad productiva minera de oro ubicada en la Formación El Callao, estado Bolívar.

3.4 Tareas en función de los objetivos

A continuación, se señala el conjunto de tareas que se efectúan para alcanzar de forma convincente los objetivos específicos estipulados:

1. Jerarquizar las variables técnico-ambientales de las operaciones auxiliares mediante ponderación-importancia en el corto plazo.
 - Revisar la planificación a corto plazo de la unidad productiva minera.
 - Elaborar una tabla con las operaciones auxiliares.
 - Precisar los equipos de operaciones auxiliares.
 - Definir cuáles son las variables técnico-ambientales.
 - Construir una matriz de importancia.
 - Calcular la ponderación de acuerdo a los criterios técnico-ambientales.

2. Estipular por medio de la tipificación las variables del plan de cierre de mina-largo plazo que guarden relación con las operaciones auxiliares.
 - Revisar la planificación a largo plazo de la unidad productiva seleccionada.
 - Establecer medidas de remediación ambiental necesarias para cumplir con lo establecido en el plan de cierre de mina.

- Especificar cuáles son las variables por medio físico, biológico y sociocultural.
 - Elaborar una matriz de importancia.
 - Calcular la ponderación de dichas variables.
3. Establecer los términos de afinidad entre ambos grupos de variables de corto plazo y largo plazo.
- Estructurar las operaciones auxiliares prioritarias para efectuar un cierre de mina paulatino.
 - Identificar mediante tabla de qué naturaleza (técnico-ambiental) es cada una de las variables.
 - Clasificar las variables dependiendo del medio.
 - Realizar gráficos para observar las similitudes.
4. Elaborar la propuesta metodológica sobre la relación entre la planificación de operaciones auxiliares y el plan de cierre de mina.
- Identificar cuáles son los pasos para establecer la relación.
 - Incluir flujograma que sirva para interpretar esta metodología.
 - Definir la guía final.

3.5 Instrumentos de Recolección de Datos

La investigación se sustentó de la base de datos disponible de la UPM, ubicada en la Formación El Callao, con información cualitativa y cuantitativa, en la cual se emplean tablas, matrices, gráficos, diagramas que servirán para la interpretación de algunas variables como mantenimiento de vías, pendiente de vías, altura de bancos, drenajes y otros. Además, el uso de un *software* con herramienta *Office* (procesador de texto, hoja de cálculo, editor de publicación) que ayuda a delimitar las variables necesarias para relacionarlas entre sí, a medida que se vaya

avanzando el aprovechamiento minero, de igual forma se usa las hojas de cálculo para reorganizar la información de interés.

3.6 Análisis e interpretación de los datos

Estos datos se someten a: clasificación, registro, tabulación y análisis constante, con el fin de generar una guía que facilite la metodología de esta investigación. Para ello se identifican las variables ambientales y técnicas tanto controlables como las no controlables que se puedan relacionar con la planificación de soporte de mina (planificación a corto plazo) y el plan de cierre de mina (planificación a largo plazo).

3.7 Procedimiento metodológico

Una vez definidas las variables tanto de operaciones auxiliares como de cierre de mina, se procede a construir una matriz de importancia con su ponderación (Bascetin, 2006), para luego establecer términos de afinidad entre cada una de éstas. De acuerdo a la disponibilidad de los equipos se comienza a asignar las actividades en función de las prioridades planteadas por la Gerencia de Producción. Las mismas se dividen en: desforestaciones y desmonte; limpieza de frente, bermas, bancos y cunetas; construcción, habilitación y mantenimiento de vías y accesos; control de agua, mediante canalización; control de polvo; evaluación de subsidencias, control de erosión-pérdida de suelo; estabilidad de taludes, mantenimiento de escombreras y apoyo directo a operaciones de carga y transporte.

Todas estas operaciones auxiliares se describen por su grado de prioridad, condición y zona donde se encuentra, las cuales se organizan desde el inicio de la actividad y se le hace seguimiento hasta su finalización. En este orden se ejecutan cambios esenciales en las propuestas en función de las necesidades surgidas, una vez culminada una actividad se incorporan nuevas a la planificación de la siguiente

semana, todo en correspondencia con los propósitos de planificación largo plazo (cierre de mina-cambio de uso).

Para la jerarquización de las variables se aplicó a este estudio el Proceso de Jerarquización Analítica (PJA) principalmente debido a su capacidad inherente de manejar criterios cualitativos y cuantitativos utilizados en los problemas de selección de métodos de recuperación ambiental para una mina a cielo abierto. Entre sus ventajas, se encuentra que puede ser fácilmente entendido, aplicado a todas las decisiones mineras por gerentes operativos y ayudar a mejorar el proceso de toma de decisiones. La estructura jerárquica utilizada en la formulación del PJA puede permitir que todos los miembros del equipo de evaluación visualicen el problema sistemáticamente en términos de criterios y sub-criterios relevantes. El equipo también proporciona información para revisar la estructura jerárquica, si es oportuno, con criterios adicionales.

Para la ejecución de la investigación y el cumplimiento de los objetivos planteados, se sigue las etapas expuestas en la Figura 12.

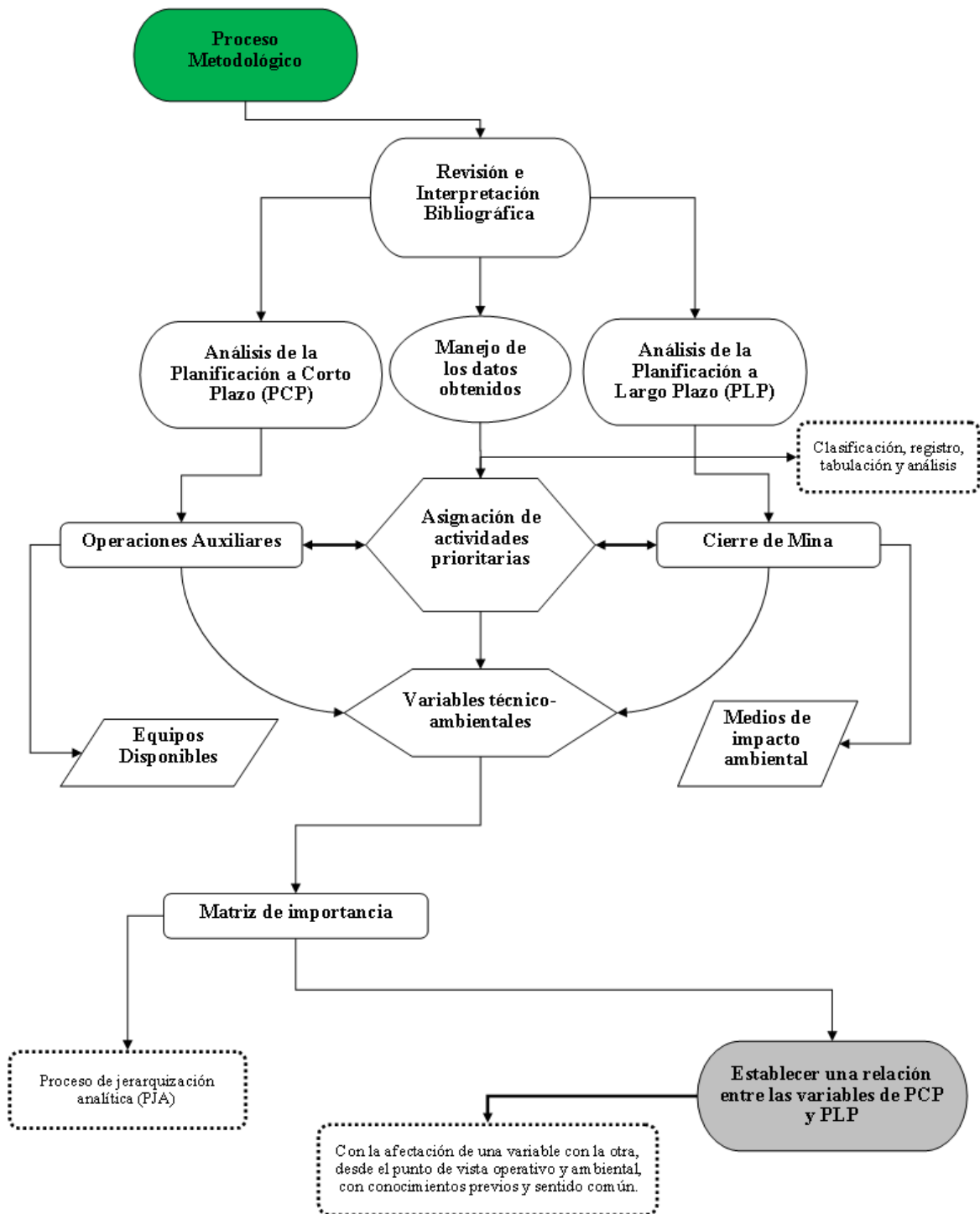


Figura 12. Flujograma del proceso de investigación.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El rol más importante es la recopilación y utilización de la información operacional de modo de retroalimentar a la planificación a corto, mediano y largo plazo. En este proceso la PCP es aquella donde se analizan los recursos utilizados en la operación de la mina, presupuestos, su seguimiento y análisis para todas las áreas referidas. Los equipos auxiliares fundamentales en esta UPM son los siguientes: el tractor de orugas, motoniveladora y el camión cisterna.

4.1 Actividades de Operaciones Auxiliares en la UPM

De acuerdo a lo interpretado en la planificación a corto plazo se señala cada una de las operaciones auxiliares aplicadas en la UPM (Tabla 5).

Tabla 5. Actividades de operaciones auxiliares prioritarias

Nomenclatura	Actividades Operaciones Auxiliares	Infraestructura, Equipos y/o Maquinarias
DD	Deforestación y desmonte	Tractor de orugas
LF	Limpieza de frente, bermas, bancos y cunetas	Tractor de orugas, retroexcavadora
MV	Mantenimiento de vías	Motoniveladora, cisterna-camión aguatero
CP	Control de polvo	Camión de agua o cisterna
CA	Control de agua	Cunetas, lagunas de sedimentación
RV	Revegetación (control de erosión-pérdida de suelo)	Siembras de especies de la zona
RES	Registro de erosión-sedimentación	Volumen de sedimentos en laguna de sedimentación
ES	Evaluación de subsidencia	Técnicas interferometría de Radar (dinSAR), baliza, niveles
ET	Estabilidad de taludes	Motoniveladora, tractor de orugas
ME	Mantenimiento de escombreras	Motoniveladora, tractor de orugas

Estas actividades fueron sometidas a un PJA, donde se han comparado cada una de éstas dándole su valor correspondiente, de acuerdo con la interpretación del autor (Tabla 6).

Tabla 6. Matriz OA con intensidad relativa

ACTIVIDAD	DD	LF	MV	CP	CA	RV	RES	ES	ET	ME
DD	1	4	3	3	2	5	5	7	4	7
LF	0,25	1	2	3	0,50	5	6	5	2	5
MV	0,33	0,50	1	2	0,50	2	7	5	4	5
CP	0,33	0,33	0,50	1	0,33	3	5	6	3	4
CA	0,50	2	2	3	1	4	7	5	3	5
RV	0,20	0,20	0,50	0,33	0,25	1	3	5	2	5
RES	0,20	0,17	0,14	0,20	0,14	0,33	1	3	0,20	0,25
ES	0,14	0,2	0,20	0,17	0,20	0,20	0,33	1	0,14	0,25
ET	0,25	0,5	0,25	0,33	0,33	0,50	5	7	1	5
ME	0,14	0,2	0,20	0,25	0,20	0,20	4	4	0,20	1
SUM	3,35	9,10	9,79	13,28	5,46	21,23	43,33	48,00	19,54	37,50

Luego de construir la matriz de intensidad relativa, se procede a calcular la matriz normalizada (Tabla 7).

Tabla 7. Matriz Normalizada a partir de Matriz OA

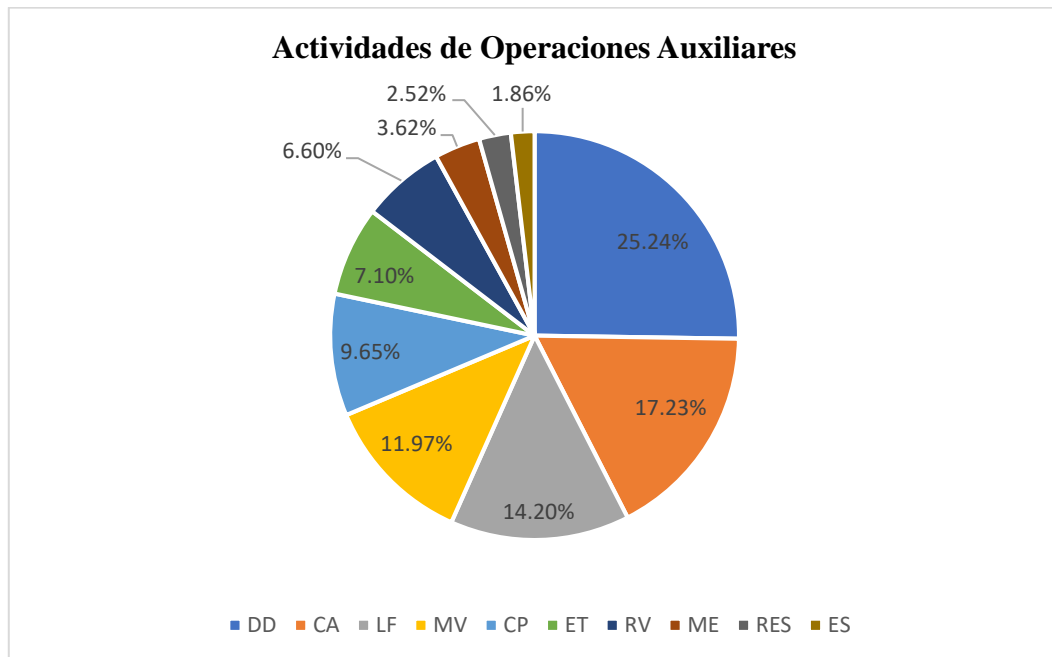
ACTIVIDAD	DD	LF	MV	CP	CA	RV	RES	ES	ET	ME	SUM
DD	0,30	0,44	0,31	0,23	0,37	0,24	0,12	0,15	0,20	0,19	2,52
LF	0,07	0,11	0,20	0,23	0,09	0,24	0,14	0,10	0,10	0,13	1,42
MV	0,10	0,05	0,10	0,15	0,09	0,09	0,16	0,10	0,20	0,13	1,20
CP	0,10	0,04	0,05	0,08	0,06	0,14	0,12	0,13	0,15	0,11	0,97
CA	0,15	0,22	0,20	0,23	0,18	0,19	0,16	0,10	0,15	0,13	1,72
RV	0,06	0,02	0,05	0,03	0,05	0,05	0,07	0,10	0,10	0,13	0,66
RES	0,06	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,06	0,01	0,01	0,25
ES	0,04	0,02	0,02	0,01	0,04	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,19
ET	0,07	0,05	0,03	0,03	0,06	0,02	0,12	0,15	0,05	0,13	0,71
ME	0,04	0,02	0,02	0,02	0,04	0,01	0,09	0,08	0,01	0,03	0,36

Y por último con la sumatoria de las filas de la matriz normalizadas y la cantidad de actividades se elabora una relación que da resultado a la matriz prioridad (Tabla 8 y Gráfico 2). El establecimiento del método gráfico en la toma de decisiones se deja a criterio del usuario.

Tabla 8. Actividades de OA con su porcentaje de prioridad

ACTIVIDADES	%PRIORIDAD
DD	25,24 %
CA	17,23 %
LF	14,20 %
MV	11,97 %
CP	9,65 %
ET	7,10 %
RV	6,60 %
ME	3,62 %
RES	2,52 %
ES	1,86 %

Gráfico 2. Porcentaje de Importancia de OA



Una vez obtenida la matriz prioridad se calcula el índice de consistencia que produjo como resultado:

$$IC = \frac{\lambda \max - n}{n - 1} \quad IC = \frac{11,38 - 10}{10 - 1} = 0,15$$

Para revelar si el índice de consistencia resultante ($IC= 0,15$) es “aceptable”, se valoró la relación de consistencia:

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad RC = \frac{0,15}{1,49} = 0,10$$

La relación de consistencia se considera “aceptable” porque está en el rango estipulado (0-0,10), suponiendo que uno de los valores límite es cero (0).

4.1.1 Interpretación sobre la valoración del porcentaje de cada actividad

Tabla 8

a) Desforestación y desmonte, (25,24 %)

Para comenzar con las operaciones mineras se debe ir removiendo la capa vegetal y suelo de la zona que recubre al yacimiento (Figura 13), con la ayuda del tractor de orugas y retroexcavadora; será transportada hacia una zona especialmente destinada para la disposición de ésta. Es una actividad con mayor ponderación en la planificación a corto plazo, por lo tanto, es necesario tener una línea base de las características físico-químicas y biológicas del suelo antes de iniciar procesos de desmonte y almacenamiento de la capa vegetal. Esta línea base servirá como punto de control para el manejo y restauración del suelo.



Figura 13. Desforestación o desmonte con tractor de orugas

Fuente: Elaboración propia

b) Control del Agua, (17,23 %)

Uno de los puntos de partida que contempla a las operaciones mineras es el conocimiento del manejo de las aguas. Sin embargo, el agua constituye el agente natural de mayor incidencia en la mina y que tiene distintas procedencias como lo es: las aguas pluviales (abril-octubre) que afectan directamente en la excavación, las aguas de escorrentía superficiales no desviadas que entran en el periodo de extracción y las aguas subterráneas que se filtran en forma de manantial al profundizar la fosa (nivel freático). El control del agua es una actividad que se puede resolver, en parte, mediante un sistema de drenaje con la construcción de canales (cunetas, zanjas) (Figura 14), diques, lagunas de sedimentación, sumideros, bombes de aguas, entre otros, que requieren la conformación de equipos de trabajo en operaciones auxiliares y coordinación entre departamentos, unidos en una planificación de largo, mediano y corto plazo. Por lo tanto, deben gozar de un seguimiento y supervisión periódico, cuyos lapsos de tiempo deben someterse a revisión en base a la demanda de los mismos, considerando la pluviosidad de la zona.

El objetivo del sistema de drenaje es mejorar la estabilidad del talud para así reducir la infiltración y evitar la erosión. El sistema de recolección de aguas debe captar las aguas de escorrentía, tanto del talud, como de la cuenca de drenaje arriba del talud y llevar el agua a un sitio adecuado, lejos de las estructuras susceptibles al deslizamiento.

El agua de escorrentía debe, en lo posible, ser desviada antes de que penetre el área potencial de deslizamiento, esto puede lograrse con la construcción de zanjas interceptoras en la parte alta del talud, denominadas zanjas de coronación. En problemas de taludes no se recomienda la utilización de conducciones de agua por tuberías debido a la alta susceptibilidad a agrietarse o a taponarse, generando problemas de infiltración masiva concentrada.

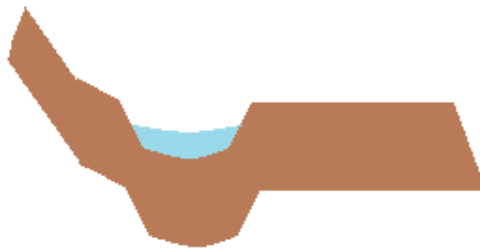


Figura 14. Canalización de las aguas

Fuente: Elaboración propia

c) Limpieza de frentes bermas y cunetas, (14,20 %)

Es una actividad que consiste en remover todo aquel material que interrumpa la labor y así mantenerla en condiciones operativas y seguras, garantizando que las operaciones unitarias se efectúen con el mejor rendimiento y el mínimo riesgo posible. Se debe producir la limpieza del frente de explotación (Figura 15), acondicionando en una pila el material arrancado que no haya sido cargado, con el fin de mantener despejado los frentes de trabajo. También permite mantener las zanjas, cunetas, aliviaderos trabajando eficientemente y cediendo que el agua fluya libremente. Es una faena que debe realizarse antes del inicio de la estación lluviosa y periódicamente durante dicha época (abril-octubre).



Figura 15. Limpieza de frente de trabajo con tractor de orugas

Fuente: Elaboración propia

d) Mantenimiento de vías, (11,97 %)

El mantenimiento de vías está referido al conjunto de acciones dirigidas a mantener la transitabilidad, el diseño estándar y a la eliminación de cualquier material que interrumpa el paso (Figura 16), de manera tal que cumplan con la función para la

que fueron diseñadas. De las condiciones de las vías los equipos dependen de la velocidad, el consumo de combustible, la vida útil de los neumáticos, la seguridad y la cantidad de toneladas que se transportan. Por lo tanto, es necesario para que el deterioro de los equipos sea lo menor posible, en el sistema de frenado, neumáticos, suspensión, entre otros, mediante la adecuación de las pendientes tanto longitudinales como transversales de las vías, relleno de hundimientos, riego, eliminación de elementos no deseados, con el fin de consérvalas en buen estado. Además de lo anteriormente mencionado se advierte de igual manera un adecuado manejo de aguas, limpiando periódicamente las cunetas y la laguna de sedimentación. Si no existe un mantenimiento y diseño adecuado de vías, se pudieran ocasionar en los equipos problemas estructurales.



Figura 16. Mantenimiento de vías con la motoniveladora

Fuente: Elaboración propia

e) Control de Polvo, (9,65 %)

El polvo es un elemento presente en todo proyecto minero a cielo abierto y sus operaciones. Controlar este aspecto, permite alcanzar una mejor higiene de los trabajadores, operadores y las comunidades que están en el entorno a la faena, así como prevenir enfermedades respiratorias, pulmonares y oculares en general. La principalmente actividad generadora de polvo es el procesamiento, especialmente durante la descarga del material para la conformación de pilas de distintas

granulometrías. Otra fuente es el paso de maquinaria a través de las vías de acarreo, sin embargo, su intensidad no es comparable al procesamiento mineral, la perforación y voladuras, entre otras.

Debido a la importancia de este ámbito, hay diversas soluciones que buscan responder de mejor forma al problema, como lo es la humectación de las vías de acarreo cada cierto tiempo con equipos cisternas (Figura 17) y aspersores, equipos con tecnología adaptable a las características del suelo y agua, control de velocidades para el tránsito vehicular (señalización, instrucciones y reductores de velocidad), instalación de barrera rompe vientos a las pilas de almacenamiento, entre otras soluciones.

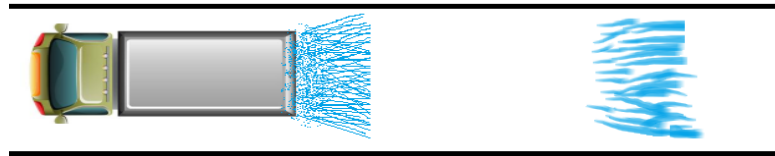


Figura 17. Humectar vías con camión aguatero

Fuente: Elaboración propia

f) Estabilidad de taludes, (7,10 %)

Los análisis de estabilidad de taludes “permiten diseñar los taludes, mediante el cálculo de su factor de seguridad y definir el tipo de medidas correctoras o estabilizadoras que deben ser aplicadas en caso de roturas reales o potenciales. Es necesario el conocimiento geológico y geomecánico de los materiales que conforman el talud, los posibles modelos o mecanismos de rotura que pueden tener lugar y de los factores que influyen, condicionan y desencadenan las inestabilidades” (González, 2002).

Al inicio de cada semana laboral, se inspeccionarán los niveles del frente a trabajar en busca de evidencia de posibles movimientos de masas, nuevas fracturas, desplazamiento aparente en los taludes, entre otras. Se debe cumplir con el

mantenimiento del sistema de drenaje en los taludes, remover aquellos materiales que presenten un riesgo inminente de deslizamiento o caída debido a discontinuidades o fracturas por las voladuras, utilizando preferiblemente tractores o retroexcavadora, dependiendo siempre de la disponibilidad física de las maquinarias y de la geometría del sitio. (ver Tabla 9).

Tabla 9. Parámetros de diseño de los taludes

Parámetros	Unidad y Valor
Altura del banco de trabajo por encima de nivel 200	10 metros
Altura del banco de trabajo por debajo del nivel 200	20 metros
Ángulo de talud	55 grados
Ángulo final	65 grados
Densidad de la saprolita	1,87 gramos/centímetros cúbicos
Densidad de la roca transición	2,60 gramos/centímetros cúbicos
Densidad de la roca fresca	2,88 gramos/centímetros cúbicos

Fuente: Artigas (2011)

g) Revegetación, (6,60 %)

Seleccionar los lugares necesarios para evitar el impacto del agua directo al suelo, para la retención de agua en épocas de sequía, disminuye la filtración, frentes de trabajos que van siendo culminados para el restablecimiento de la cobertura vegetal con herbáceas, árboles o arbustos pertenecientes de la zona del proyecto (Figura 18), indicando a su vez los requerimientos de escarificación, de abono, de riego, en fin, de protección de las especies vegetales para el uso futuro seleccionado.



Figura 18. Revegetación

Fuente: Elaboración propia

h) Mantenimiento de escombrera, (3,62 %)

Los estériles generados en la actividad minera y en las excavaciones para infraestructura deben disponerse en sitios especiales (escombreras), protegidos de la dispersión y el arrastre, además de una ubicación definida desde el comienzo de las operaciones. Por lo tanto, es una actividad que tiene que estar supervisada constantemente por las alteraciones que pueden producirse sobre el medio natural por los cambios en el régimen de escorrentía superficial, la pérdida de suelo, las alteraciones geomorfológicas, la eliminación de hábitats animales, la aceleración y aumento de procesos erosivos y la integración de las estructuras al entorno, una vez se hayan restaurado los terrenos.

Cumplir con un mantenimiento cada cierto tiempo de acuerdo a las condiciones hidrográficas de la zona (inundaciones, nivel freático, nivel de escorrentía superficial y nivel de drenajes superficiales). Se debe exponer el menor volumen posible a la dirección predominante del viento y que cause el menor impacto visual (barreras). Sin embargo, en la cresta y pie de del talud construir canales de recolección y conducción de las aguas de escorrentías.

i) Registro de erosión sedimentación, (2,52 %)

Es importante conocer los procesos que hacen vulnerables y susceptibles la pérdida de los suelos (erosión-sedimentación). Por lo tanto, una acción para llevar un registro de control es calcular el volumen en la laguna de sedimentos cada tiempo determinado.

j) Evaluación de subsidencia, (1,86 %)

Para evaluar la subsidencia se identifica las filtraciones de agua hacia la mina y todas las posibles fallas geológicas existentes en el yacimiento, así como la resistencia de las rocas y el depósito mineral de interés, que ocasiona las posibles inundaciones y saturaciones del terreno, generando desestabilización e inducción a procesos erosivos.

La topografía modificada es un factor incidente en el proceso de subsidencia, en consecuencia se establece un especial seguimiento en áreas de extracción cercanas a las colinas, con pendientes bastantes inclinadas y son evaluadas, con niveles, balizas, técnicas interferometría de radar (dinSAR), “técnica geodesta basada en la combinación de dos imágenes SAR (sistemas de radar de apertura sintética) de la misma escena, adquiridas desde tiempos diferentes, generando el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) y la coherencia relativa”, (Sillerico, 2010).

4.2 Actividades del Cierre de Mina (CM)

Ya definida la importancia de las actividades de OA, se indican a continuación aquellas variables de CM que fueron interpretadas en la planificación a largo plazo (Tabla 10).

Tabla 10. Actividades de Cierre de Minas

Nomenclatura	Actividades de Cierre de Minas	Equipos o Maquinarias
ET	Estabilidad de taludes del <i>pit</i> final	Motoniveladora, tractor de orugas
OES	Obras para el proceso de erosión-sedimentación	Tractor, retroexcavadora
CCAG	Control de calidad del agua	Laguna de sedimentación.
CCAI	Control de calidad del aire	Camión cisterna, aspersores de agua, rosa de viento o tela retenedora.
RSFF	Restauración de sistemas ecológicos de flora y fauna	Reforestación, recuperación de la capa vegetal, personal de la mina y comunidad-grupos ambientalistas
CUT	Cambio de uso del espacio-territorio	Participación de la comunidad
RP	Reconstrucción paisajística	Pantallas visuales

Estas actividades manifestadas anteriormente fueron sometidas a un PJA, se compararon cada una de las actividades y dándole su valor correspondiente, de acuerdo con la interpretación del autor (Tabla 11).

Tabla 11. Matriz CM con intensidad relativa

ACTIVIDAD	ET	OES	CCAG	CCAI	RSFF	CUT	RP
ET	1	6	0,33	3	0,50	5	3
OES	0,17	1	0,50	0,25	0,14	3	4
CCAG	3	2	1	2	0,50	7	5
CCAI	0,33	4	0,50	1	0,33	7	5
RSFF	2	7	2	3	1	6	4
CUT	0,20	0,33	0,14	0,14	0,17	1	0,33
RP	0,33	0,25	0,20	0,20	0,25	3	1
SUM	7,03	20,58	4,68	9,59	2,89	32,00	22,33

Seguidamente se procede a calcular la matriz normalizada (Tabla 12).

Tabla 12. Matriz CM Normalizada

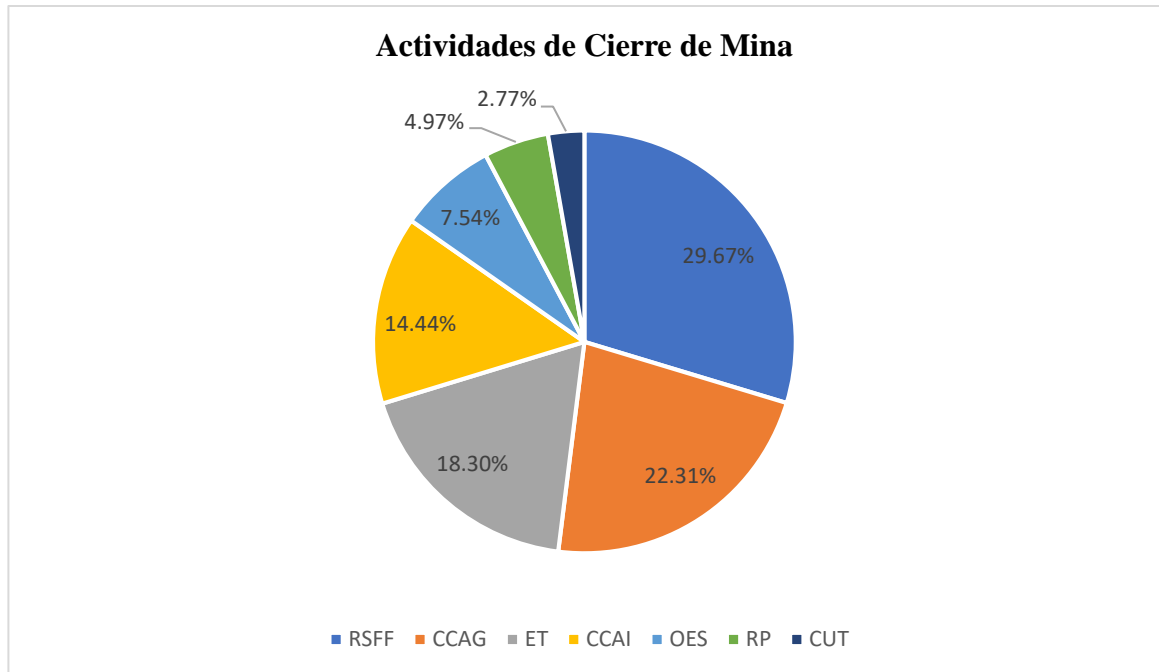
ACTIVIDAD	ET	OES	CCAG	CCAI	RSFF	CUT	RP	SUM
ET	0,14	0,29	0,07	0,31	0,17	0,16	0,13	1,28
OES	0,02	0,05	0,11	0,03	0,05	0,09	0,18	0,53
CCAG	0,43	0,10	0,21	0,21	0,17	0,22	0,22	1,56
CCAI	0,05	0,19	0,11	0,10	0,12	0,22	0,22	1,01
RSFF	0,28	0,34	0,43	0,31	0,35	0,19	0,18	2,08
CUT	0,03	0,02	0,03	0,01	0,06	0,03	0,01	0,19
RP	0,05	0,01	0,04	0,02	0,09	0,09	0,04	0,35

Y de esta forma con la sumatoria de las filas de la matriz normalizadas y la cantidad de actividades se establece una relación que daría como resultado la matriz prioridad de CM (Tabla 13 y Gráfico 3). El establecimiento del método gráfico en la toma de decisiones se deja a criterio del usuario.

Tabla 13. Actividades de CM con su porcentaje de prioridad

ACTIVIDADES	%PRIORIDAD
RSFF	29,67
CCAG	22,31
ET	18,30
CCAI	14,44
OES	7,54
RP	4,97
CUT	2,77

Gráfico 3. Porcentaje de Importancia de CM



Con la matriz prioridad se procedió a calcular el índice de consistencia que dio como resultado:

$$IC = \frac{\lambda \max - n}{n - 1} \quad IC = \frac{7,88 - 7}{7 - 1} = 0,14$$

Para descubrir si el índice de consistencia resultante (IC= 0,14) es aceptable, se calculó la relación de consistencia.

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad RC = \frac{0,14}{1,32} = 0,10$$

La relación de consistencia se considera aceptable porque está en el rango estipulado (0-0,10).

4.2.1 Interpretación del porcentaje de cada actividad de CM Tabla 13

Se presenta una breve descripción de las actividades de CM de acuerdo a sus porcentajes de prioridad:

a) Restauración de sistemas ecológicos de flora y fauna (29,67 %)

La revegetación es una forma de restauración, intenta restablecer las comunidades vegetales llevándolas a un estado lo más próximo posible al que existía previo al impacto. Para efectuar la recuperación de la cubierta vegetal, no necesariamente debe pensarse en especies vegetales arbóreas, sino tratar de imitar los patrones espaciales y temporales que exhibe la vegetación de la unidad productora minera a restaurar. Esto no sólo se orienta hacia el tipo de especies autóctonas de la unidad productiva minera, la cual tiene su rápida adaptación a los medios en cuales van a ser expuestas, como lo son el Cartan, el Araguaney, el Caru, la Ceiba, el Samán y la Lucadema, entre otros (las especies nombradas se pueden observar en la Tabla 14, tienen la peculiaridad de nutrir la capa orgánica con elementos nitrados que enriquecen y dan las propiedades del suelo). Esta actividad debe ejecutarse bajo la asesoría de expertos en restauración, ya que existen muchos tipos de zonas de vida, con formaciones vegetales y comunidades de fauna y flora diferentes, por lo tanto, no se trata de establecer bosques, sino de potencializar su función ecológica.

El proceso de recuperación de la cubierta vegetal lleva tiempo y presupuesto. No sólo se trata de seleccionar especies y plantarlas con las densidades y combinaciones sugeridas, sino un mantenimiento de las mismas como el riego, abono y replanteo, si es necesario, durante el tiempo que requiera para su autosostenimiento.

Se establecen algunos centros de formaciones vegetales, con monitoreo del crecimiento y la eliminación de los factores dañinos, para que pueda ser gradualmente colonizada por comunidades faunísticas (avifauna, insectos, reptiles y anfibios, ver a modo de ejemplo Tabla 15).

Tabla 14. Especies vegetales de la Unidad Productora Minera

Especies vegetales arbóreas de la zona
Cartan
Araguaney
Caru
Ceiba
Samán
Lucadema

Fuente: Artigas, 2011

Tabla 15. Fauna silvestre potencialmente presente en el área

Herpetofauna (Anfibios y Reptiles)	
Nombre Científico	Nombre Común
<i>Bufo marinus</i>	Sapo
<i>Thecadactylus rapicaudus</i>	Tuqueque
<i>Iguana iguana</i>	Iguana verde
<i>Tupinambis teguixin</i>	Mato pollero
<i>Polychrus sp</i>	Camaleón
<i>Ameiva ameiva</i>	Mato
<i>Cnemidophorus lemniscatus</i>	Mato Lagartija
<i>Crotalus durissus</i>	Cascabel
<i>Geochelone denticulata</i>	Morrocoy Montañero
<i>Podocnemis unifilis</i>	Terecaya del Orinoco
<i>Cnemidophorus sp</i>	Guaricongo
<i>Hyla sp</i>	Rana
Avifauna (Aves)	
<i>Thraupis plamarum</i>	Azulejo de Palmeras
<i>Thraupis episcopus</i>	Azulejo de jardín
<i>Myiozetetes cayanensis</i>	Pecho amarillo
<i>Cacicus cela</i>	Arrendajo Común
<i>Psarocolius dudumanus</i>	Conoto negro
<i>Pitangus sulphuratus</i>	Cristofué
<i>Chlorretes cayennensis</i>	Colibrí Verdecito
<i>Columbina cayennensis</i>	Paloma colorado
<i>Columbina talpacoti</i>	Tortolita rojiza
<i>Leptotila rufaxila</i>	Paloma pipa
<i>Leptotila verreauxi</i>	Paloma turca
<i>Zenaidura auriculata</i>	Paloma sabanera
<i>Crotophaga ani</i>	Garrapatero común
<i>Elanoides forficatus</i>	Gavilán Tijereta
<i>Coragyps atratus</i>	Zamuro común
<i>Ortalis motmot</i>	Guacharaca guayanesa
<i>Melanerpes rubricapillus</i>	Carpintero habado

<i>Venilornis 50assini</i>	Carpintero Zebra
<i>Amazona amazónica</i>	Loro guaro
<i>Colinus cristatus</i>	Perdiz encrestada
<i>Tyrannus melancholicus</i>	Atrapamoscas
<i>Polyborus plancus</i>	Caricare encrestado
<i>Psittacidae</i>	Guacamaya
Mastofauna (Mamíferos)	
<i>Odocoileus virginianus</i>	Venado
<i>Cerdocyon thous</i>	Zorro común
<i>Agouti paca,</i>	Lapa
<i>Choloepus didactylus</i>	Pereza de dos dedos
<i>Didelphis marsupialis</i>	Rabipelado
<i>Bradypus tridactylus</i>	Pereza de tres dedos Guayanesa
<i>Dasyprocta sp.</i>	Picure
<i>Alouatta seniculus</i>	Mono araguato
<i>Silvilagus brasiliensis</i>	Conejo Montañero
<i>Odocoileus virginianus</i>	Venado
<i>Dasyopus novencinctus</i>	Cachicamo común

Fuente: Artigas,2011 y modificado por el autor

b) Control de calidad del agua (22,31 %)

Los procesos de control del agua que se implementen durante las operaciones mineras se deben continuar después del cierre hasta que las condiciones de la calidad del agua satisfagan todos los objetivos. Un proyecto que requiere del tratamiento del agua a largo plazo después del cierre no puede considerarse cerrado mientras sea necesario el tratamiento del agua. Las instalaciones para el manejo del agua en las actividades mineras con frecuencia incluyen: vertederos, estructuras de captación, zanjas, cunetas, alcantarillas, tuberías, mangueras de bombeos, plantas de tratamiento, lagunas de sedimentación y sistemas de desagüe.

El sistema de drenaje necesita de un mantenimiento periódico para que sea capaz de conducir correctamente las aguas, impedir el vertido de cualquier tipo de agente contaminante, tales como: lubricantes, desechos industriales y otros a la laguna de sedimentación. Instalar zanjas o canales escalonados donde el caudal del agua es de alta velocidad y así ser disipados, aparte que ayuda a disminuir el transporte de sedimentos y la formación de cárcavas. Por último, los taludes se diseñan con cierta inclinación, con la finalidad de orientar las aguas de escorrentías

hacia la base o pie del talud, a través de un canal o zanja que se comunique con la red principal del drenaje, proporcionando mayor estabilidad en los taludes.

c) Estabilidad de taludes del *pit* final (18,30 %)

Unos de los criterios más importantes a considerar es la estabilidad física a mediano y largo plazo de los taludes de la fosa de mina, de las escombreras, entre otros. Es necesario asegurar unos parámetros adecuados de estabilidad que eviten los derrumbes y deslizamiento en las áreas ya antes mencionadas, así como medidas como la revegetación, mallas metálicas, entre otras que protejan contra la erosión eólica e incluso los cauces naturales de obstrucciones por movimientos de masas.

Algunos taludes deben ser reperfilados, de acuerdo con la litología aflorante en la zona de la unidad productora minera, además se verificará la realización del diseño geométrico y así mismo se tomarán medidas para estabilizar los taludes, si fuese necesario. Se limitará el acceso a zonas con riesgo de derrumbes, mediante letreros de advertencia, restricciones de acceso y vigilancia.

d) Control de calidad del aire (14,44 %)

Para un buen control de calidad del aire es importante que se tenga un plan de medición y supervisión atmosférica con el uso de telas retenedoras, dentro y fuera de la explotación minera, para medir el particulado emitido y así comprobar que las actividades realizadas a corto plazo para el control de polvo estén siendo cumplidas en el tiempo necesario.

e) Obras para el proceso de erosión-sedimentación (7,54 %)

Lagunas de sedimentos, rediseñar el sistema de drenaje de acuerdo con el nuevo uso del territorio y atender la entrada de sedimentos a los cursos naturales, con estrategias que no requieran supervisiones periódicas. Plantar árboles que ayuden a controlar la erosión. Colocar en los pies de los taludes estructuras que sirvan como filtros granulares y supervisar las entradas de los sedimentos a los cauces naturales.

f) Reconstrucción paisajística (4,97 %)

Si las alteraciones finales del terreno no son previstas desde un comienzo, es posible que las actividades de recuperación sean casi imposibles de realizar, debido a sus altos costos. Por esta razón, las modificaciones del terreno son estudiadas en forma prospectiva, de acuerdo con la investigación preliminar de la explotación y los planes de minería a ser empleados.

La explotación minera ocasiona efectos sobre el escenario paisajístico, ya que es una actividad que genera, explotaciones, huecos, remoción de material y por lo tanto genera un impacto visual. Sin embargo, cuando se abandonan las instalaciones por cierre de una mina deben realizarse un conjunto de trabajos de acondicionamiento: demolición de las cimentaciones y obras civiles, retirada de acopios, cerramiento de huecos, entre otros. Como lo es, las dimensiones y diseño de las escombreras, de tal forma que las estructuras armonicen con el paisaje. Colocar pantallas visuales que pueden ser de material de estéril, de vegetación o mixtas, implementar el retrolleado en el menor tiempo posible, casi de forma simultánea, con el fin de emular el estado original del terreno y, por consiguiente, disminuir el impacto paisajístico. Observar aquellas áreas que requieran material vegetal, seleccionando el tipo de especies que se adapte a la zona, el método utilizado para la plantación de las mismas, elaboración de un plan de siembra y, por último, el cuidado requerido de esas especies vegetales.

g) Cambio del uso del espacio-territorio (2,77 %)

Los planes de ordenamiento de la UPM, para el cambio de uso, deben ser evaluados de acuerdo con las necesidades de la población. Sin embargo, podría ser aprovechado para el desarrollo de actividades físicas, recreativas y deportivas con corredor turístico, miradores y anfiteatros, como museo educativo minero y aula minera, depósitos de materiales industriales, entre otros. Para cumplir con esto también sería necesario acondicionar la zona con caminos, señalizaciones y

campamentos, los cuales deberán ser construidos con el material proveniente de la zona intervenida de forma preferente.

4.2.2 Matriz FODA para el cierre de mina

Es una herramienta de análisis que permite identificar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas en el cierre de mina para llegar a tener un diagnóstico preciso y exacto (Tabla 16).

Tabla 16. Matriz FODA aplicada en el cierre de mina

	Fortalezas	Oportunidades	Debilidades	Amenazas
RSFF	Protección de la población animal-vegetal.	Vivero existente en la unidad productora minera.	No contar con el personal adecuado y entrenado para la revegetación.	Tasas de erosión-sedimentación, pérdida de suelo.
CCAG	Diseño del sistema de drenajes.	Conservación de la calidad ambiental de cauces y ríos.	Vertido efluente de algún agente contaminante. Fragilidad de contaminar.	Filtraciones, cárcavas, transporte de sedimentos.
ET	Parámetros de diseños establecidos, identificación de fallas y discontinuidades.	Control de deslizamiento y derrumbes, perfilajes de taludes.	Potencia de la erosión-sedimentación por las geometrías de diseño.	Dificultan los sistemas de drenajes, restricción de acceso en áreas de deslizamiento.
CCAI	Control de particulado.	Mejoramiento de la calidad de los hábitats.	Actividad que genera gran cantidad de material fino (polvillo).	Enfermedades respiratorias, pulmonares, oculares en general, erosión eólica.
OES	Descarga de los sedimentos en las lagunas, diques, entre otros.	Mejoramiento de los procesos mediante el control de los sedimentos.	Supervisión y mantenimiento a las lagunas de sedimentación.	Desbordamiento de la laguna, afectación a la flora y fauna, vías de carga y acarreo, deterioro de los equipos.
RP	Disminución del impacto visual.	Uso de estéril, vegetación para construcción de pantallas visuales.	Tiempo y costo elevados de no ser considerados desde el comienzo de la actividad minera.	Mala imagen de la UPM, impacto visual.
CUT	Participación de la comunidad.	Nuevas actividades económicas.	Ponerse de acuerdo con la comunidad, para cumplir con sus necesidades, acondicionamiento de la zona.	Afectación a la comunidad, costo para el desarrollo del uso, cambio de uso.

4.3 Clasificación de las variables de impacto ambiental

Es una clasificación que permite tomar decisiones de cuáles son las variables que se puedan medir y aplicar medidas mitigantes, con la finalidad de que la extracción del mineral sea sustentable y controlada. (Figura 19). La minería, como la mayor parte de las actividades humanas es realizada con alteraciones en el medio natural, desde las más imperceptibles hasta las que representan claros impactos sobre el medio en que se desarrollan.

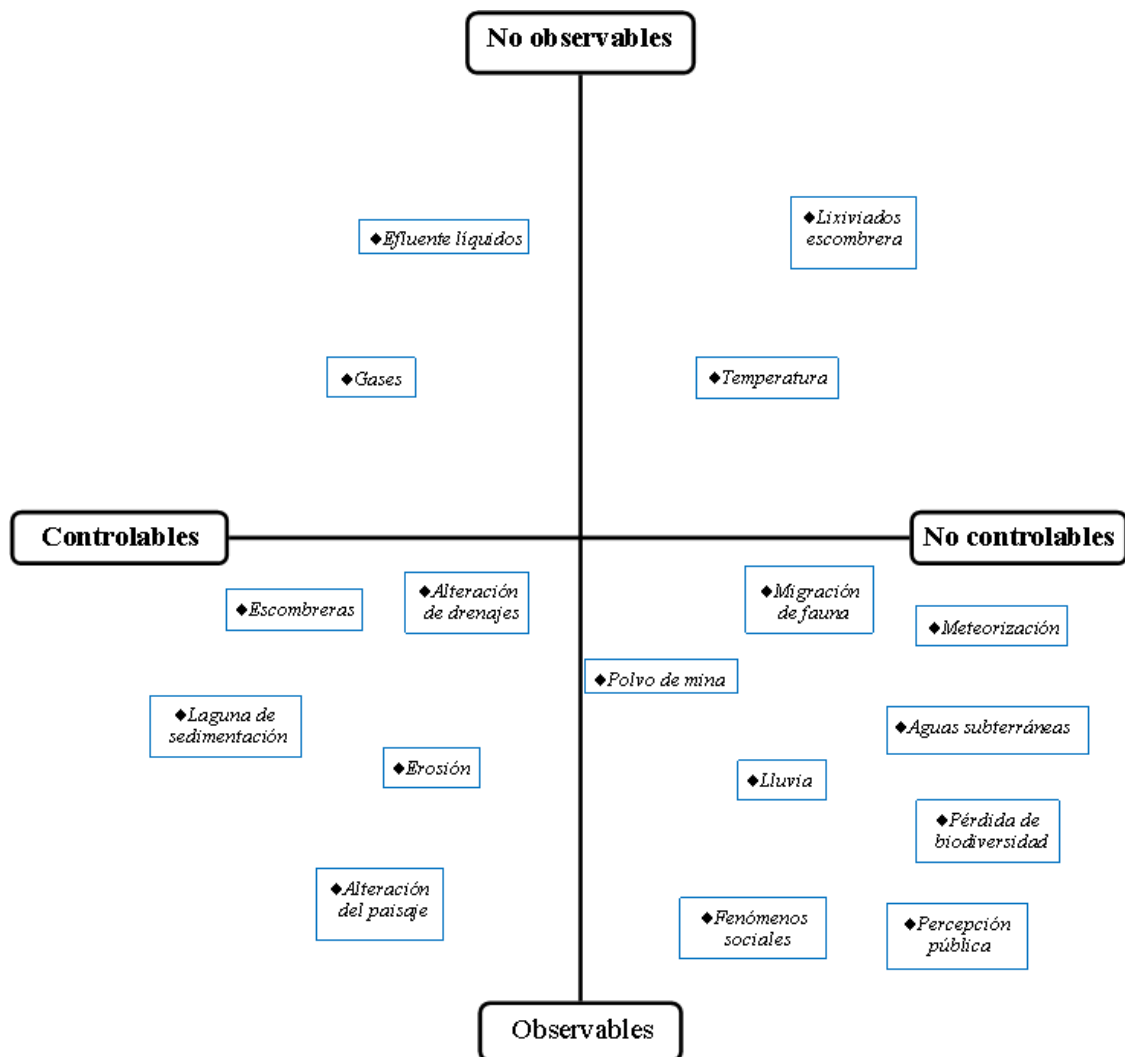


Figura 19. Localización de variables identificadas en el Espacio-Riesgo

Fuente: Modificado de Piña (2013)

Con la agrupación de la información y el reconocimiento de las variables en la UPM, es posible concentrar las acciones de gestión y sustentabilidad en aquellas que son medibles, controlables y observables. No se pretende de alguna manera desconocer o descartar las demás variables, por el contrario, es necesario complementar la información disponible, con aquella que se harán más evidentes a medida que se avanza en la extracción del mineral, pues éstas garantizan la planificación de manera efectiva y progresiva al desarrollo minero y el cierre de mina. De las variables expuestas en la figura 19, la que mayor interés tiene para esta investigación son las alteraciones de los drenajes, considerando que es una zona de precipitaciones durante todo el año, pues éstos ocasionan repercusiones sobre la salud humana, a corto y largo plazo, así como consecuencias en el medio físico, agua y/o suelos. Por ende, se busca al menos reducir el impacto que pueda perjudicar esta variable a la flora y fauna y también al paisaje.

Sin embargo, existen otras variables que también deben ser consideradas para el control y seguimiento durante todo el desarrollo de la extracción mineral, de manera que esté orientado a cuestiones relativas a las implicaciones de la huella ecológica humana.

4.4 Términos de Afinidad entre las OA y las actividades de CM

Para establecer los términos de afinidad entre ambos grupos de variables es importante dejar claro y clasificado su nivel de intensidad que se muestran a continuación en las Tablas 17 y 18:

Tabla 17. Clasificación del Nivel de Afinidad

Nivel de Afinidad	Color
Alto	Amarillo
Medio	Azul
Bajo	Negro

Tabla 18. Términos de Afinidad entre variables más perceptibles

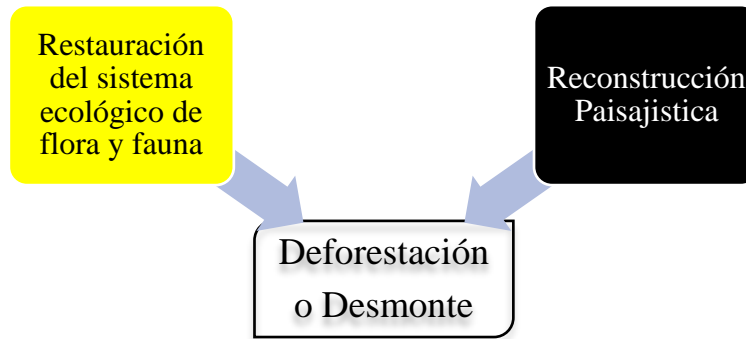
Actividades Corto Plazo	Actividades Largo Plazo	Nivel de Afinidad	Descripción	Equipo, medio y medida
Revegetación	Restauración Sistema Ecológico flora-fauna		Es una forma de restablecer las comunidades vegetales y animales llevándolas a un estado lo más próximo posible al que existía previo al impacto.	Tractor de orugas: almacenamiento y distribución de la capa vegetal. En un medio biótico de medida compensatoria.
Control de Agua	Control de Calidad del Agua		Un proyecto que requiere del tratamiento del agua antes, durante y después del agotamiento del mineral.	Tractor de oruga y motoniveladora: limpieza de sistema de drenaje. Medida correctiva de medio físico-hídrico.
Estabilidad de Taludes de los frentes de explotación	Estabilidad de Taludes del pit final		Es necesario asegurar parámetros adecuados de estabilidad que prevengan los derrumbes y deslizamiento.	Tractor de oruga y retroexcavadoras: diseño geométrico y reperfilados. Medida correctiva de medio físico-edáfico.
Control de Polvo	Control de Calidad del Aire		Humedecer las vías de acarreo y donde se esté realizando movimiento de tierra para evitar el desprendimiento de partículas solidas	Camión cisterna: riego de agua en el tiempo asignado. Medida minimizadora de impactos al medio físico-atmosférico

Sin embargo, existen otras actividades a corto plazo que tienen afinidad con las de largo plazo, pero no se distinguen con meras palabras, sino como acciones técnicos-ambientales desarrolladas a continuación:

- 1. La desforestación o desmonte:** la exploración es una actividad de importancia en las primeras fases de la vida de una mina, de modo que facilita el conocimiento geológico requerido para seguir con el desarrollo de las demás fases. Para cumplir con esto es necesario la apertura de picas y caminos con la ayuda de tractores de orugas para que faciliten los traslados de maquinarias y accesorios de perforaciones de sondeos. El desmonte es una acción que impacta medio biótico-animal-vegetal. Por lo tanto, el suelo como sustento de la existencia de las plantas

y de los animales debe separarse y guardarse durante el tiempo que dure la extracción, para luego ser reinstalados en los lugares donde cese las actividades mineras. Si este no se puede reinstalar en un ciclo corto de duración, conviene acumularse en pilas de pocas alturas para evitar su consistencia o solidez, así como revegetarse para evitar la pérdida de sus propiedades. Con la reinstalación de la capa vegetal se busca la construcción de pantallas en la UPM para minimizar la apreciación visual negativa (Gráfico 4).

Gráfico 4. Enlaces de desforestación o desmonte

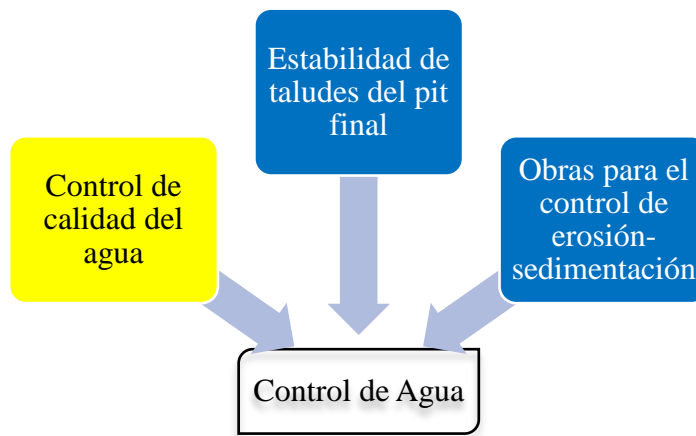


- 2. Control del agua:** Es una herramienta de importancia que se expresa como medida correctiva y preventiva para los impactos de medio físico-hídrico, desde el comienzo hasta el final de las operaciones mineras. El agua es un factor que interrumpe las operaciones mineras, por lo tanto, debe ser controlada para impedir la afectación de la productividad y esto se hace en parte, mediante un sistema de drenaje con la construcción de canales (cunetas, zanjas), diques, lagunas de sedimentación, sumideros, bombeos de aguas, entre otros. Con la construcción y mantenimiento de este sistema de drenajes en la base y pie del talud, usando la hoja o cuchilla de la motoniveladora, por su gran versatilidad y movimiento, el tractor de orugas y las retroexcavadoras, garantizan una mejor estabilidad en los taludes reduciendo la infiltración y evitando la erosión. Este sistema está diseñado para desviar su corriente o curso de manera suave y gradual, sin generar

acumulaciones de agua que podrían convertirla en un área de depositación de sedimentos y proliferación de agentes patógenos (Gráfico 5).

Se plantea que la UPM diseñe un plan de muestreo anual en las quebradas y ríos afectados por la actividad minera, para la calidad de las aguas el cual se utiliza de forma sistemática. Esto permitirá generar un registro histórico de datos de calidad de agua y así conocer si se encuentra bajo la norma ambiental de calidad.

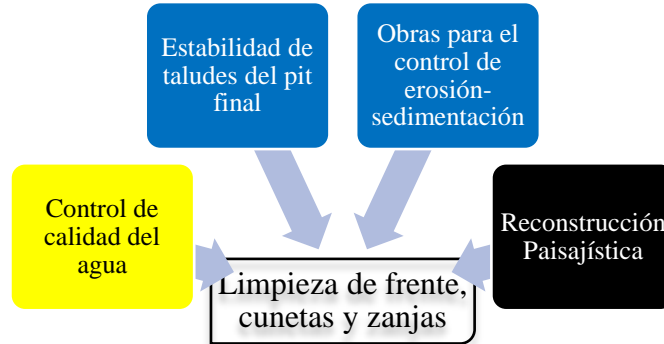
Gráfico 5. Enlaces con el Control del Agua



- 3. Limpieza de frente, cunetas y zanjas:** Es una actividad de tipo correctiva para el control de los impactos ambientales de medio físico-cambio en la topografía. El espacio donde se realizan las perforaciones debe ser despejado del material rocoso grueso y fragmentos de cualquier otra índole, apilándolo en un lugar específico para evitar que puedan dañar los neumáticos de los camiones de explosivos y contribuir luego a las proyecciones. También es necesario que se mantenga libre, con un equipo de apoyo como lo es el tractor de orugas o la motoniveladora, la superficie del frente de carga del material en la medida de lo posible de fragmentos gruesos y/o filosos que pueden afectar orugas y neumáticos de los equipos de carga y acarreo. Es significativa la actividad de limpieza de cunetas y zanjas porque permite la remoción de aquel material que obstaculice el paso del agua previniendo la filtración hacia los taludes de los frentes de explotación. La

erosión-sedimentación serán más controladas generando un bajo volumen, que ayuda a que el impacto visual, hacia los frentes de trabajo, cunetas y zanjas sea lo más reducido posible (Gráfico 6)

Gráfico 6. Enlaces con la limpieza de frente, cunetas y zanjas



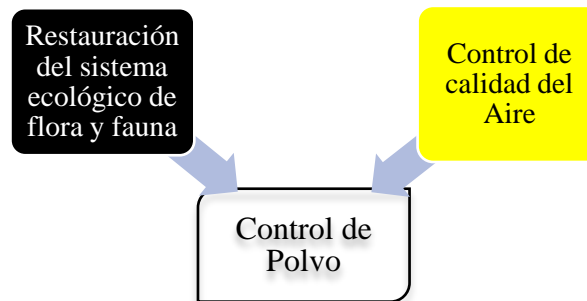
- 4. Mantenimiento de vías:** Para mitigar el efecto producido por las emisiones de polvo y partículas generadas por el tránsito de vehículos y maquinaria debido a la pérdida progresiva de la capa de rodadura, se recomienda, el humedecimiento constante de dichas vías en los tiempos de sequía (enero-marzo) para garantizar un control de calidad del aire a largo plazo. Adicionalmente está restringido el riego de aceite quemado para atenuar este efecto por las normativas ambientales vigentes. Esta actividad es de tipo correctiva y de control de impacto ambiental de medio físico-atmosférico (Gráfico 7).

Gráfico 7. Enlaces del mantenimiento de vías



5. **Control de polvo:** es una medida que permite alcanzar una mejor calidad de vida de los trabajadores, operadores y las comunidades que están en el entorno a la faena, así como prevenir enfermedades donde se ven afectadas las mucosas y sistema respiratorio. Durante las operaciones mineras se pueden generar grandes cantidades de polvillo, por esta razón se establecen acciones que logren controlar el particulado como lo es la humectación de las vías de carga y acarreo, mantenimiento preventivo de los equipos, instalación de aspersores donde se apile el mineral y estéril, entre otros. Además, se aclara que es una actividad de mitigación para los impactos ambientales de medio físico-atmosféricos, donde la siembra de árboles como: araguaney, samán, entre otros, ayuda a contener la erosión eólica y evita la precipitación de polvo ya sea en seco o mojado (Gráfico 8).

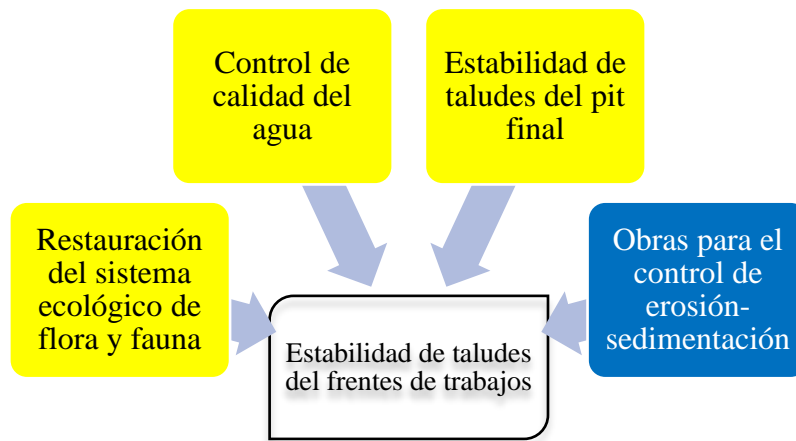
Gráfico 8. Enlaces del control de polvo



6. **Estabilidad de taludes en el frente de trabajo:** para garantizar la estabilidad es necesario el conocimiento geológico y geo-mecánico de los materiales que conforman el talud. Es necesario también, reconocer aquellos materiales que presentan riesgo inminente de deslizamiento, así como la presencia de discontinuidades o fracturas en la roca y potenciadas debido a las voladuras. Estas partículas pueden ser removidas y ser arrastradas por agua, por lo que el monitoreo permite evitar que ese volumen entre en las lagunas de sedimentación, colmate las mismas y garantice el funcionamiento del sistema de drenaje con mantenimiento, tanto en la cresta como al pie de los taludes.

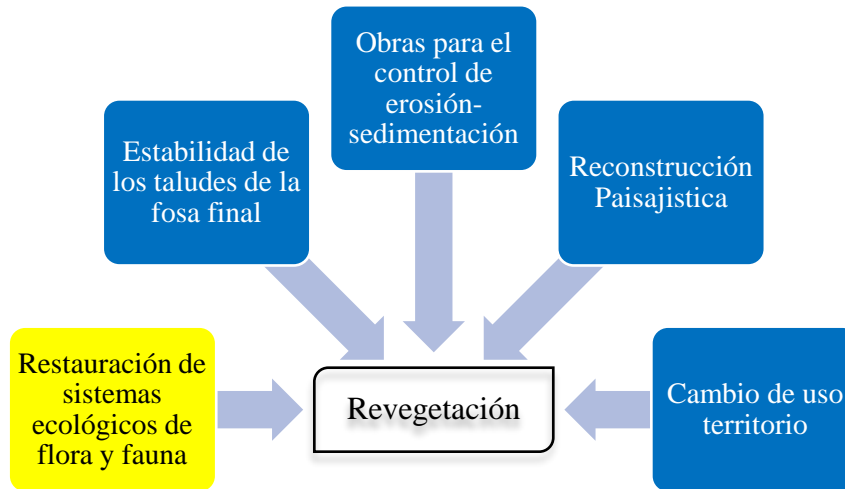
Elaborar estudios geo-mecánicos en los taludes del *pit* final, para evaluar la estabilidad de materiales que han quedado expuestos, en el mediano y largo plazo, con la finalidad de corregir las geometrías del *pit* final de la UPM. La labor de estabilidad de taludes es una variable técnica controlable, aplicadas medidas correctivas sobre aquellos impactos de medio físico edáfico como el incremento y ocurrencia de derrumbes o deslizamientos (Gráfico 9).

Gráfico 9. Enlaces de estabilidad de taludes de los frentes de trabajos



- 7. Revegetación:** es una medida de tipo compensatoria a los impactos ambientales de medio biótico-animal-vegetal. Revegetar los frentes de explotación que estén siendo culminados por su agotamiento del mineral o por otras razones, ayuda a evitar el impacto directo del agua sobre el suelo y de esta manera compensar la erosión-sedimentación. Es recomendable proteger el suelo con pantallas visuales aquellas áreas que requieran material vegetal, seleccionando el tipo de especies que se adapte a la zona y sirva para la creación de vivero y cultivo a la población de El Callao-Choco (Gráfico 10).

Gráfico 10. Enlaces de la revegetación

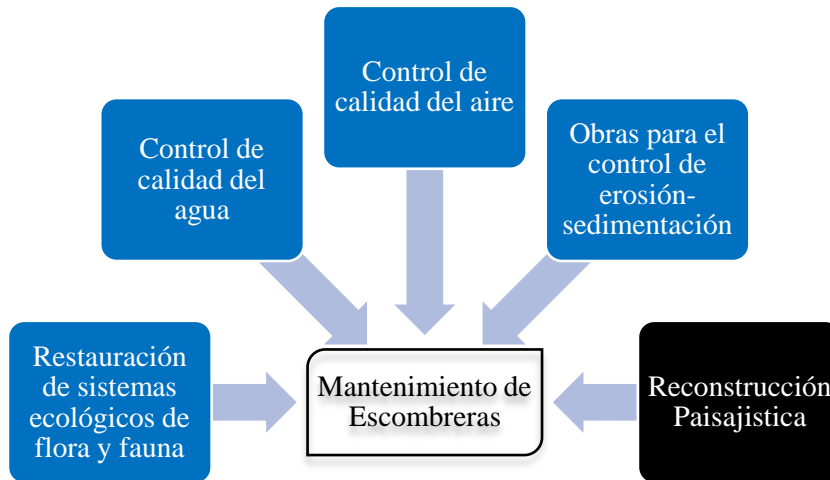


8. Mantenimiento de escombreras: es una actividad que debe ser supervisada constantemente por las alteraciones que pueden producirse sobre el medio natural, entre los que se encuentran: el desplazamiento de hábitats vegetal-animal; descomposición y alteración de los materiales que la componen, arrastre del material, aumento de los procesos erosivos y arrastre de sedimentos; e impacto visual.

Como se ha manifestado antes en el pie de taludes de escombreras se recomienda construir obras de recolección y conducción de las aguas de escorrentías; con el material estéril colocar pantallas visuales (formas de pilas) para imitar el estado original del terreno y disminuir el impacto visual. El tractor de orugas y la motoniveladora son de gran apoyo en estas actividades, para emparejar la superficie de las escombreras y crear las condiciones de paso para camiones y restituir el índice de carga o avance en el área de bote. Es necesario el apoyo del área de topografía para asegurar el nivel y las pendientes internas en las escombreras que ayuden a garantizar el adecuado drenaje y desagüe. Esta es una acción de medida preventiva-correctiva y generada por impacto ambiental de medio físico-morfológico (Gráfico 11).

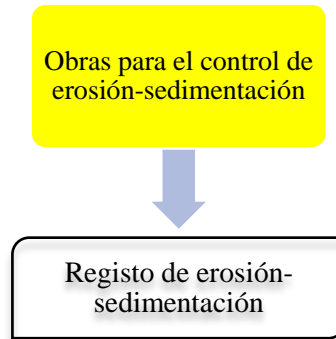
El diseño de las escombreras, está constituida con una altura entre niveles de 20 metros y un ancho entre terrazas que varía de manera que esta se aproxime a un terraplén, con un ángulo general de 25 grados.

Gráfico 11. Enlaces del mantenimiento de escombreras



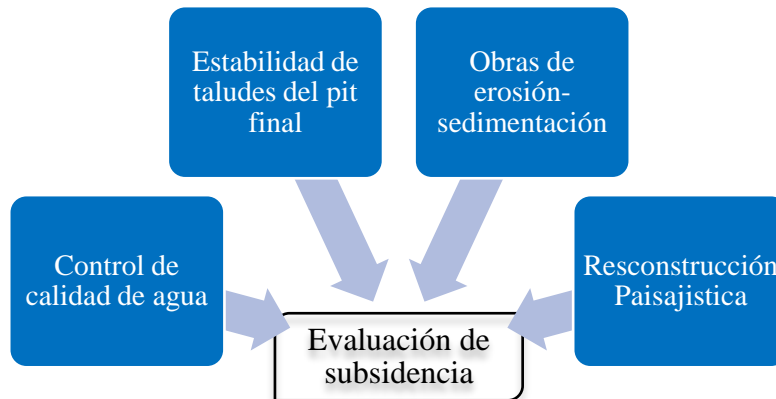
- 9. Registro de erosión-sedimentación:** permite llevar un control adecuado del volumen acumulado en las lagunas de sedimentación. Con estos datos se puede predecir la tasa de acumulación de sedimentos, de modo tal se pueda cumplir mantenimiento a este espacio y contar con su operatividad constante. Con el apoyo de un sistema de bombeo se acomete el manejo de aguas de mina, las cuales tienen alto contenido de sólidos y la asistencia de la retroexcavadora se realiza el mantenimiento de la laguna de sedimentación, el cual consiste en el retiro del material que se sedimenta y acumula para devolver el normal funcionamiento a ésta. Estas son actividades mitigantes de impacto de tipo físico-edáfico con susceptibilidad a las tasas erosivas (Gráfico 12).

Gráfico 12. Enlaces de registro de erosión-sedimentación



10. Evaluación de subsidencia: es importante tener claro las filtraciones de agua hacia la mina y todas las posibles fallas geológicas existentes en el yacimiento, permita controlar una posible subsidencia y que ocasione fallas en el sistema de los drenajes, acción para que se origine la sedimentación, inestabilidad en los taludes, entre otros aspectos, como el impacto visual. Por lo tanto, se recomienda la implementación del retro-llenado en aquellas áreas donde se extrajo el mineral permitiendo disminuir la magnitud del desplazamiento vertical y el impacto de la erosión (Gráfico 13).

Gráfico 13. Enlaces de evaluación de subsidencia



4.5 Indicadores de sustentabilidad de la unidad productora minera

Son herramientas seleccionadas y cuantificadas que permiten ver una tendencia que de otra forma no es fácilmente detectable, desde el ámbito social, económico hasta ambiental. A continuación, se presentan algunos ejemplos de indicadores para la gestión que pueden ser necesarios para que la UPM en donde se identifican problemas que deban ser priorizados y que sirvan para la toma de mejores decisiones (Tabla 19).

Tabla 19. Ejemplo de Indicadores para la gestión sustentable de la UPM

Tipo de Indicadores	Característica que se mide:
Indicadores de calidad ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Calidad del agua (cauces, ríos). • Calidad del aire (particulado). • Tasa de erosión. • Volumen de sedimentos en las lagunas. • Volumen de estériles en las escombreras. • Afectación sistema ecológico flora-fauna. • Áreas afectadas por derrumbes y deslizamientos. • Cantidad de hectáreas desforestadas (tasa anual). • Cambio de uso económico del espacio.
Indicadores sociales-económicos	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de enfermedades ocasionada por las actividades mineras. (frecuencia, incidencia y gravedad). • Cantidad de personas de la comunidad trabajando en la UPM. • Incorporación de la comunidad en la construcción y mantenimiento del vivero. • Disponibilidad de maquinarias y equipos. • Inversión para el cambio de uso-espacio.
Indicadores para la planificación	<ul style="list-style-type: none"> • Reservas mineras-modelos geológicos. • Elementos de geología estructural: fallas, pliegues, discontinuidades. • Parámetros geotécnicos de los taludes. • Disponibilidad física y mecánica de maquinarias y equipos. • Disponibilidad de personal preparado para la operación de equipo pesado.

4.6 Propuesta metodológica

El diseño de esta propuesta metodológica consistió en establecer relaciones entre las operaciones auxiliares y el plan de cierre de una mina aurífera, basada en un conjunto de datos que fueron obtenidos por otros investigadores sobre la unidad

productora minera ubicado en la formación geológica El Callao, estado Bolívar. Una base de datos disponible con información cualitativa y cuantitativa, que con la ayuda de un software con herramientas *Office* se delimitaron las variables necesarias para establecer la relación entre sí, a medida que se fue y se irá avanzando en la explotación minera.

Son datos que fueron sometidos a clasificación, registro, tabulación y análisis que genera un indicador que facilitó la metodología de esta investigación. Para tal fin se identificaron las variables técnicos-ambientales tanto controlables y no controlables que se relacionan con la planificación de soporte y el plan de cierre de mina para la unidad productora minera.

Estableciendo términos de afinidad entre elementos que se observan, de acuerdo a la afectación de una variable con la otra, desde el punto operativo y ambiental, con conocimientos previos y sentido común. Pasos que se siguieron para cumplir con la relación de las actividades de planificación a corto plazo con las actividades de cierre de mina. Identificando en una matriz el porcentaje de importancia de cada una de las actividades en ambas ventanas de tiempos (Figura 20) aplicando el proceso de jerarquización analítica. De este modo garantizar que la explotación minería a cielo abierta sea la más óptima, segura, racional, sostenible, sobre todo alineado con las operaciones auxiliares y la planificación a largo y mediano plazo.

Las medidas y actividades de cierre de la unidad productora minera están orientadas a asegurar la vida, salud, seguridad de las personas y medioambiente, con el apoyo constante de las operaciones auxiliares en las áreas de extracción y producción del mineral.

Para establecer una planificación estratégica se requiere evaluar aquellos elementos claves que desarrollen buenas prácticas en minería, así como aquellos que

aseguren resultados confiables dentro de las limitaciones existentes. Entre estos criterios se encuentra la información proveniente de la investigación geológica, ubicación geográfica (topografía y localización), que permiten recolectar información clave para facilitar la planificación de eventos a futuro.

En el caso de la unidad productora minera, ubicada en El Callao, el método de explotación es de terrazas a cielo abierto, cuya geología está caracterizada por familias de vetas auríferas ubicadas geográficamente en el trópico, por lo cual generan diversas implicaciones, distintas a otras explotaciones (incluso en aquellas consideradas similares) que deben ser tomadas en cuenta, si lo que se busca es conseguir una adecuada extracción del mineral. De esta manera, se mencionan y explican aquellas variables que pueden incidir en la toma de decisiones, así como las estrategias que se consideran recomendables para implementar el uso de las actividades auxiliares.

- **Cierre de la mina:** la UPM tiene varios frentes productivos (explotación y extracción del mineral) y distintas actividades dentro de toda el área geográfica que le compete. Cuando una de estas deja de operar se procede a su cierre, considerando esta acción como un cierre progresivo. Esto garantiza la protección de la salud humana y el ambiente mediante el mantenimiento de la estabilidad física (parámetros adecuados de estabilidad de los taludes) y químicas, beneficia al uso de la tierra para cultivos, recreación, entre otros. Esto significa que es un proceso continuo a la largo del ciclo de la mina e incluso se prolonga hasta la etapa de post cierre.

Los objetivos fundamentales del cierre de esta UPM se basan en la rehabilitación para cumplir con los requisitos necesarios previos al cierre y finalización del arrendamiento. Esto con lleva a una extracción segura del mineral, optima, rentable y en lo posible amigable con el ambiente; se mejorará la precisión de los cálculos de costo de cierre, los posibles problemas serán identificados en el

momento adecuado, habrá más medios de encontrar financiación para el cierre, las responsabilidades se reducirán progresivamente, se reconocerán y planificarán desde el mediano plazo para lograr beneficios duraderos.

- **Escorrentía de las aguas:** en la unidad productora minera es importante destacar, que se emplaza en un clima tropical de sabana arbolada (Clasificación Koeppen), con periodos de lluvias comprendido entre los meses de abril a octubre, con precipitaciones medias anuales de 1.050 mm, muy frecuentes en el trópico. Por el alto nivel de precipitaciones en los meses señalados, se generan acumulaciones de aguas superficiales que sobresaturan los suelos, que trae como consecuencia el deterioro de vialidad, la inestabilidad de taludes y posible disminución de espacios operativos. Al sufrir alteraciones los frentes de extracción por acumulaciones de las aguas, surgen problemas para el arranque del material, bien sea por arranque directo o indirecto, lo cual es pertinente el uso de bombeo, trasvase, que de alguna forma apoye a la planificación a corto plazo a redistribuir el tiempo de trabajo. Para mitigar lo antes expuesto fue planteado un control de agua con continuo seguimiento y supervisión a esos sistemas de drenajes con motoniveladoras a las cunetas, bermas, sumidero, entre otros que requieren la conformación de equipos de trabajo en operaciones auxiliares y coordinación entre departamentos, unidos en una planificación de largo, mediano y corto plazo.
- **Actividades diarias para el control de la faena minera:** la UPM debe contar con tractores de orugas, para llevar a cabo un adecuado control y mantenimiento de las fosas, escombreras, entre otros. Uno de estos servirá como apoyo al cargador frontal, empujando desde las cotas superiores hacia las cotas inferiores del frente de trabajo, para que así tenga un fácil y seguro acceso al material volado; actividad a realizar durante el día. Una vez culminado dicha actividad, el tractor debe proseguir con las actividades de limpieza del frente del trabajo de la retroexcavadora, sin embargo, debe existir otro tractor que esté enfocado en el mantenimiento y construcción de escombreras. Como también la incorporación de

una motoniveladora que sirva para la limpieza y mantenimiento de las vías, cunetas, zanjas, en conjunto con el sustento del camión cisterna en las épocas de sequía de la zona (enero-marzo) que reduzca la emisión de polvo generada por el paso de los camiones; actividad a efectuar durante el día antes de comenzar las operaciones de carga y acarreo del material extraído, bien sea de forma directa e indirecta, en aquellos tramos, cunetas que se observen afectados. Para cumplir lo antes mencionado se debe delimitar y cuantificar las áreas afectadas. (Figura 21).

- **Actividades semanal, mensual y anual para el seguimiento y control de las operaciones mineras:** genera reportes del desempeño de los equipos auxiliares y de la productividad de los frentes trabajados, registro del volumen de erosión-sedimentación en ambas ventanas de tiempo, así como también gráficos de control y avance del plan a largo plazo. Servirá para comparar los resultados obtenidos con los resultados planificados, para observar si se va cumpliendo con lo establecido. Este análisis comparativo ayuda a ilustrar cambios necesarios para la planificación de los meses posteriores si es necesario, para ir afinándose los programas de la situación actual de la mina. Se ubica aquellos frentes donde cese de las operaciones mineras, para que se proceda a revegetar con aquellas especies que deben estar dispuestas en un espacio o vivero apoyados con un personal formado en el área, de modo tal de contribuir al: control de agua de mina, control de la erosión-sedimentación de esos sitios que han sido desocupados. De igual forma estabilizar aquellos taludes de los frentes inoperativos, perfilando y modificando su ángulo de inclinación a 65° con el uso de la motoniveladora para controlar a que no se produzca un derrumbe o deslizamiento (Figura 21).

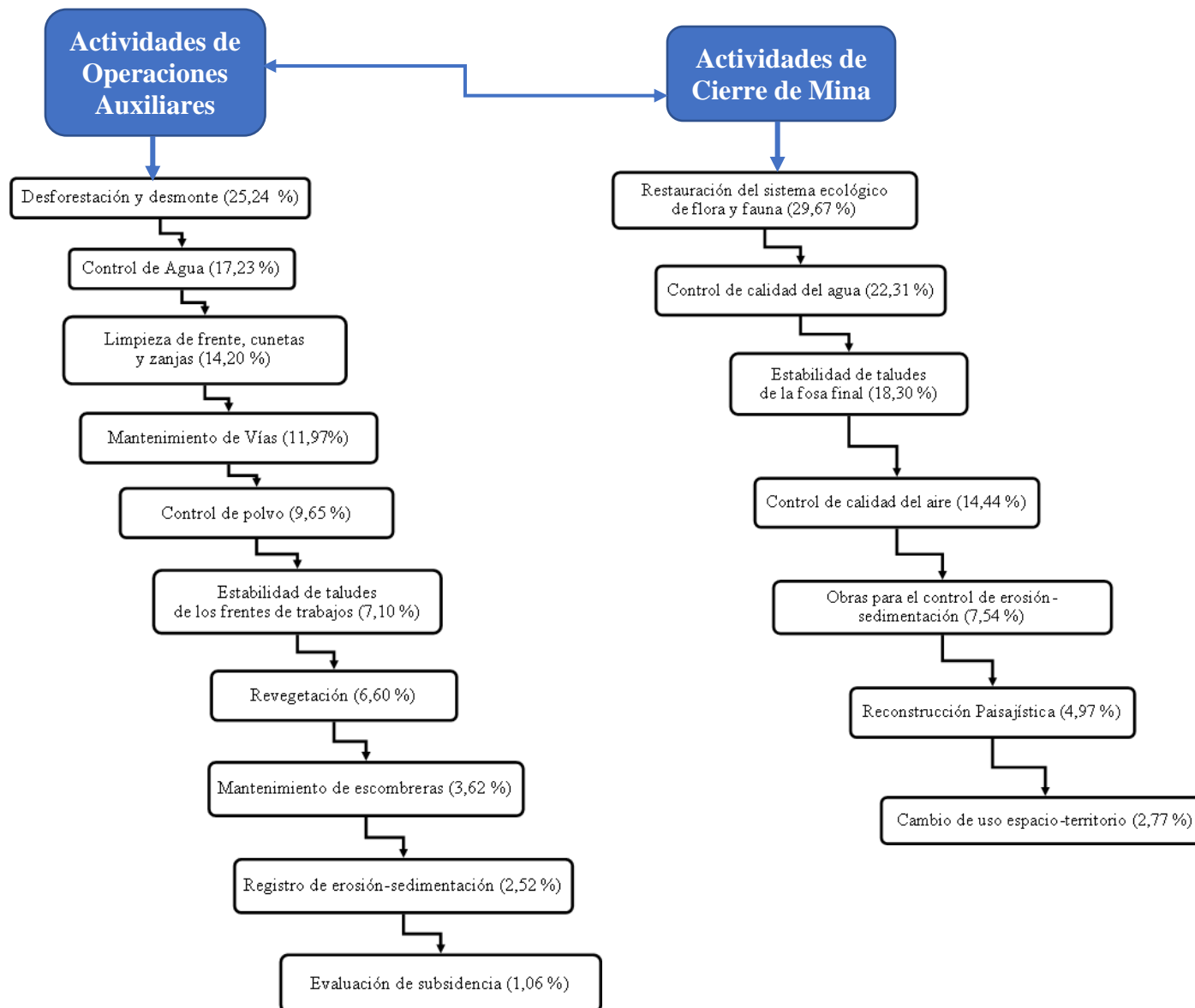


Figura 20. Actividades de importancia en ambas ventanas de tiempos

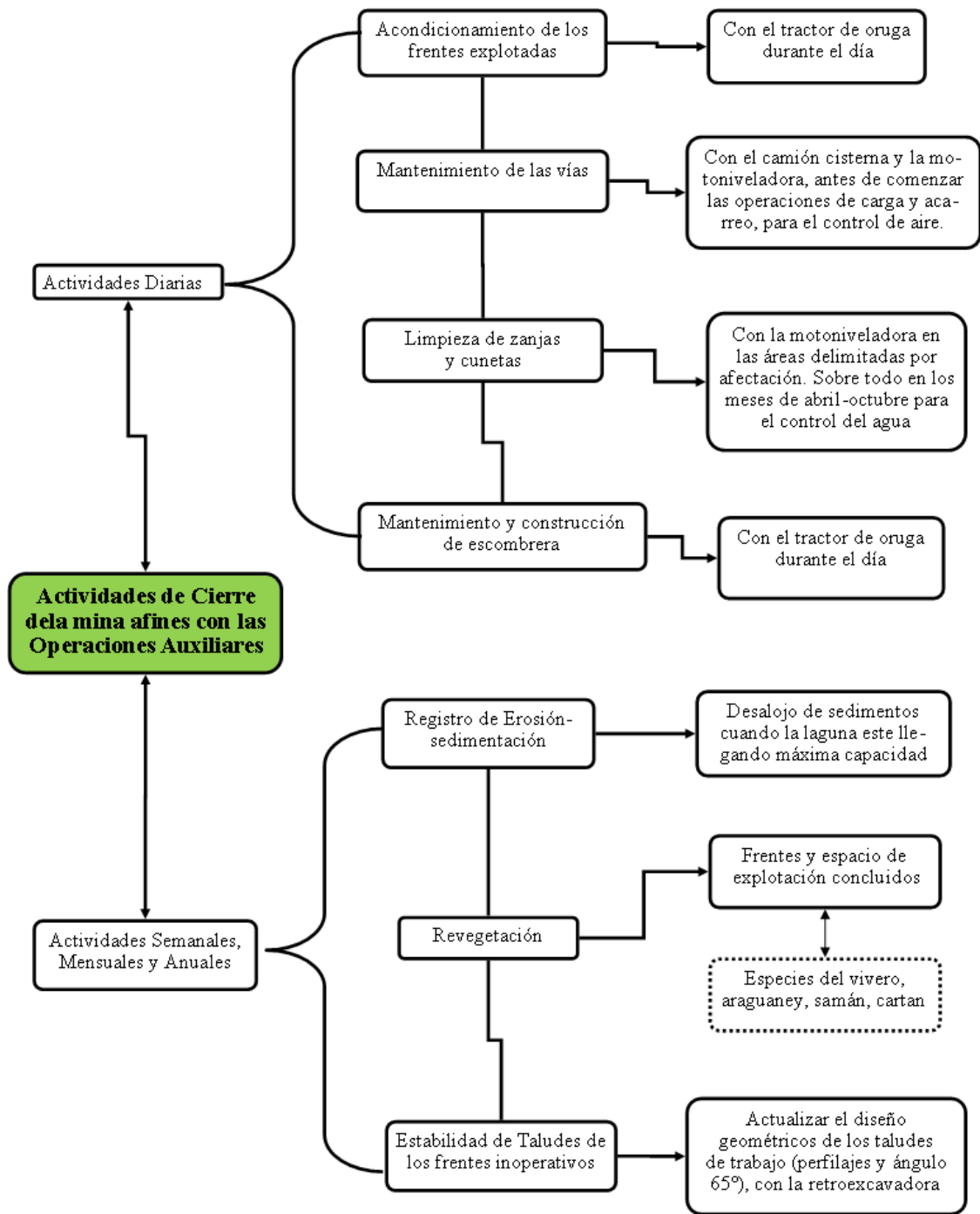


Figura 21. Flujoograma sobre la propuesta metodológica

CONCLUSIONES

En la presente investigación se concluye señalando un conjunto de variables importantes en el desarrollo de la actividad minera.

- Esta investigación dio lugar a promover algunas estrategias que condujeran al propósito trazado y así identificar aquellas variables que al relacionarse conlleven a ser eficiente la labor minera a cielo abierto de esta UPM.
- Se consideró la importancia de la planificación estratégica en la actividad minera. Ésta y su relación con las decisiones tomadas para la ejecución de las operaciones auxiliares.
- Se establecieron jerarquizaciones en cuanto a las variables técnico-ambientales de las operaciones auxiliares y las de cierre de mina, dado su nivel de importancia que dio como resultado el desmonte en OA y la recuperación del sistema ecológico flora-fauna en CM.
- Se concreta que la buena ejecución del plan de cierre y sus variables que conllevan a un mejor desempeño de la actividad y sobre todo de lo provechoso si se cumple adecuadamente.
- Para cumplir con una planificación a largo plazo, no solo es necesario el quehacer de las operaciones unitarias de producción, sino también las operaciones auxiliares mineras, ya que ayudan a cumplir el logro de las metas establecidas y el éxito de las actividades de aprovechamiento adecuado del mineral.

- La revisión sistemática de los sistemas de drenaje de la unidad productora minera, ayudan a controlar la entrada de los sedimentos a los cauces naturales y mantener la calidad de las aguas.
- Dejar de aplicar las operaciones auxiliares, conmueven de manera negativa las metas de producción, además de que inciden de manera directa en el área social, ambiental y de seguridad, para contribuir a los procesos de planificación a largo plazo.
- Se demuestra que el cierre de minas no solamente es una herramienta ambiental, sino que aplicada de manera oportuna e integrada con la planificación minera a corto y mediano plazo puede mejorar las condiciones finales de la explotación, evitando incurrir en costos posteriores.
- La finalidad de estas relaciones entre las operaciones auxiliares y el cierre de mina es garantizar que las explotaciones de las minas a cielo abierto de un aprovechamiento aurífero sean tecnificadas, óptimas y seguras, con aplicaciones de medidas preventivas, mitigantes o correctivas para la mejora de las condiciones de impactos por medio físico, biótico y sociocultural.
- Los registros, gráficos, reportes del avance de la explotación, son medidos diarios, semanales, mensuales y anualmente, ya que son de gran importancia para comparar los resultados obtenidos con los estipulados en la planificación de largo plazo.
- El uso de los instrumentos tanto teóricos como prácticos se hacen impredecibles en la actividad minera, con la esencia de obtener una extracción productiva con control ambiental.

RECOMENDACIONES

Se recomienda poner en práctica las estrategias planteadas en el desarrollo de las minas, para mejorar y reducir el impacto que puede ser ocasionado al ambiente.

Se hace necesario proponer que se aumente el estudio de las faunas microscópicas de la unidad productora minera, el sector Choco.

Se aconseja monitorear el vivero existente en la UPM que ayudará a la revegetación, actividad con mayor ponderación para que se ponga en marcha esta propuesta metodológica.

Se sugiere no dejar de aplicar las operaciones auxiliares porque sirven de apoyo para reducir los costos de producción, aumentar la seguridad y el control ambiental de la mina.

Se exhorta realizar análisis comparativos de los impactos ambientales en la UPM con las líneas bases durante la vida de la mina, para comprobar el grado de intensidad del mismo. Por lo tanto, se deben adquirir herramientas tecnológicas que permitan llevar un control de los mismos, como un pluviómetro, un anemómetro y un sonómetro, que ayuden a determinar las dimensiones de los drenajes, la dirección del particulado atmosférico y el ruido respectivamente.

Se recomienda evaluar a profundidad los sistemas de drenajes de la unidad productora minera ya que es una variable importante para conservar la calidad del agua.

Se sugiere evaluar y desarrollar los indicadores de gestión en la unidad productora minera, con el fin de tomar las decisiones adecuadas.

Es pertinente monitorear que los registros, supervisiones, gráficos, se estén aplicando en el tiempo establecido para garantizar los análisis comparativos pertinentes.

Se exhorta continuar con los estudios en los temas de caracterización e identificación de las variables que aportan riesgo e incertidumbre a la actividad minera, de forma que las decisiones y gestiones que se emprendan a futuro en la UPM sean más acertadas posible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Artigas, M. (2011). “Diseño de patrones de perforación y voladura, para normalizar la fragmentación del material resultante de la mina Chocó 10 empresa PMG S.A. El Callao, Estado Bolívar”. Trabajo Especial de grado, Departamento de Minas, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Bascetin, A. (2006). “A decision support system using analytical hierarchy process (AHP) for the optimal environmental reclamation of an open-pit mine”. *Environmental Geology*, pag 10. (Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/225368376_A_Decision_Support_System_Using_Analytical_Hierarchy_Process_AHP_for_the_Optimal_Environmental_Reclamation_of_An_Open-Pit_Mine. Consultado el: 18 de julio de 2019).
- Boada, A. (2008). “Diseño de la vía de producción a los frentes de explotación del sector Mina 1, así como la rampa de conexión entre los sectores Mina 1 y Mina 2 de la empresa Cantera Nacional, C.A.”. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Minas, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Bustillo, M. & López, C. (1997). “Manual de Evaluación y Diseño de Explotaciones Mineras”. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Blanco, Y. (2007). “Propuesta de Plan de Cierre Progresivo de Mina en el Cuadrilátero Ferrífero San Isidro de C.V.G Ferrominera Orinoco C.A. Ciudad Piar Estado Bolívar”. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Minas, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Boletín Minero 1302. (2016). Planificación Minera, Fundación Tecnológica. (Disponible en: <http://www.fundaciontecnologica.cl/sonami/wp->

content/uploads/2017/07/Art%C3%ADculo-FT-Bolet%C3%ADn-Minero-1302_2016_08.pdf. Consultado el: 28 de mayo de 2019).

Buol, S. W.; Hole, F. D. y McCracken, R. J. (2004) Génesis y clasificación de suelos. Editorial Trillas. 2da. Edición.

Caterpillar. Catálogo de las especificaciones del Tractor D9t. (Disponible en: http://www.kellytractor.com/esp/imagenes/pdf/equipos_pesados/tractores_oruga/d9t.pdf. Consultado el: 15 de septiembre de 2019).

Caterpillar. Catálogo de las especificaciones de la Motoniveladora 12M. (Disponible en: https://www.cat.com/es_MX/products/new/equipment/motor-graders/motor-graders/18378188.html. Consultado el: 15 de septiembre de 2019).

Cazal, S. (2013). “Propuesta de Cierre de Cantera las Marías, Estado Miranda, como Aporte al Ministerio del Poder Popular de Petróleo y Minería en las Políticas Mineras”. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Minas, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.

Conesa Fernández, V. (1997). Guía metodológica para la evaluación de impacto ambiental. Madrid, España: Mundi-Prensa.

C.V.G. MINERVEN. (2002) Provincias geológicas de Guayana. Informe interno.

C.V.G. MINERVEN. Unidad Geológica.

Dunia Miniaturku. (2012). Equipos de Minería, Camión de agua. (Disponible en: <http://dunia-miniaturku.blogspot.com/2012/11/150-scale-model-caterpillar-785d-with.html>. Consultado el: 15 de septiembre de 2019).

Gómez, D. (1999). Evaluación de Impacto Ambiental. Editorial Agrícola Española Pag 350. (Disponible en: <https://es.scribd.com/document/334724777/evaluacion-ambiental-gomes-orea-pdf>. Consultado el: 30 de mayo de 2019).

González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). Ingeniería Geológica. Prentice Hall.

- Hernández S, R., Fernández, C. y Batista L, P. Metodología de la Investigación (5ta Ed). 1991. México. Mc.Graw Hill.
- Hernández, J. (2018). “Evaluación de la factibilidad técnica en la aplicación del software RecMin como herramienta de planificación a largo plazo en una zona del Distrito Minero el Callao”. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Minas, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Herrera, J. (2006). “Métodos de minería a cielo abierto”. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, España.
- Instituto Tecnológico Geominero de España (1992). “Manual de arranque, carga y transporte en minería a cielo abierto”. España.
- Melo, Y. (2016). “Propuesta Metodológica para la Planificación de Soporte de Mina, en Canteras del Distrito Capital”. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Minas, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Ministerio de Minería de Chile. (2002). “Guía Metodológica para el Cierre de Faenas Mineras”. Chile. (Disponible en: <https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2017/11/Guia-Metodologica-Cierre-Faenas-Mineras-CM.pdf>. Consultado el: 13 de junio de 2019).
- Ministerio de Energía y Minas de Perú. (2002) “Guía para elaboración y revisión de planes de cierre de minas”. Perú.
- Piña, A. (2018). Presentación de la dimensión ambiental en aprovechamiento minero. Universidad Central de Venezuela, Ponencia foro Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería. (Disponible en: <https://www.researchgate.net/project/Challenges-of-the-XXI-Century-Mining-Engineering-Retos-y-desafios-de-la-Ingenieria-de-Minas-Siglo-XXI>. Consultado el: 10 de junio de 2019).
- Piña, A. (2013). “Identificación de variables para toma de decisiones en fosfatos

sedimentarios, mediante correlación de condiciones genéticas y técnicas de beneficio mineral”. Trabajo de Ascenso, Departamento de Minas, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.

Rivera, T. (2008). “Valoración del impacto ambiental generado por la explotación minera en los depósitos de arenas volcánica al suroeste de cerro Motastepe, Managua, Nicaragua”. (Disponible en: <https://dspace.unia.es/handle/10334/76>. Consultado el: 04 de junio de 2019).

Seija, J. (2018). “Integración de Criterios de Cierre De Mina a la Planificación a Largo Plazo: Canteras del Distrito Capital, Mamera, Municipio Libertador”. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Minas, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.

Sillerico, E; Marchamalo, M; Rejas, J; Martínez, R (2010). La técnica DinSAR: bases y aplicación a la medición de subsidencias del terreno en la construcción. (Disponible en: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/download/1036/1158>. Consultado el: 09 de agosto de 2019).

Statzewitch, J. (2017), “Propuesta de planificación a largo plazo para la mina choco 10, en el bloque Guasipati – El Callao, Municipio El Callao, Estado Bolívar, periodo 2017-202”, Trabajo Especial de Grado, Departamento de Minas, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.