

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA  
ENFOCADO EN LAS OPERACIONES MINERAS EN CANTERAS DE  
ARCILLA**

**Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela**

**Por el Br. José G., Contreras M.**

**Para optar al Título  
de Ingeniero de Minas**

**Caracas, junio 2018**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA  
ENFOCADO EN LAS OPERACIONES MINERAS EN CANTERAS DE  
ARCILLA**

**TUTORA ACADÉMICA: Profa. Aurora Piña**

**Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br. José G., Contreras M.  
Para optar al Título  
de Ingeniero de Minas**

**Caracas, junio 2018**

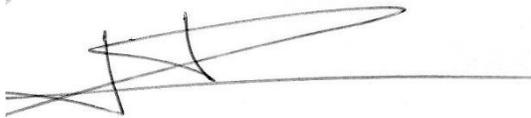
## CARTA DE APROBACIÓN

Caracas, junio 2018

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 José G. Contreras M, titulado:

### **“APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA ENFOCADO EN LAS OPERACIONES MINERAS EN CANTERAS DE ARCILLA”**

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



Prof. José Duque

Jurado



Prof. Sasha Cazal

Jurado



Prof. Aurora Piña

Tutor Académico

## DEDICATORIA

Dedicado a mis padres,  
que incansables, me inspiraron a ser su orgullo  
por su apoyo inconmensurable  
este logro también es suyo

A Alejandra, por estar tan pendiente de este  
acogiéndome como novio, como amigo, como huésped

A ella, que ha cuidado de mi desde  
aquel día en que nos conocimos en el segundo semestre

Dedicado a los amigos que me ha regalado la vida  
que comparten desde un consejo hasta un plato de comida.

A la UCV, mi hogar tercero; a mis abuelos y abuelas  
por supuesto, a mis compañeros, a los que ahora llamo “colegas”

¡Dedicado a Venezuela! No existe hogar semejante  
¡Por vivir en esta época! Que aunque dura e inquietante  
Sacó mi mejor versión. Me hizo más fuerte y brillante  
Porque toda esa presión, me convirtió en un diamante

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Central de Venezuela, por ser mi tercer hogar durante estos años. Este sitio alberga entre sus tierras algunas de las experiencias más importantes de mi vida.

A mi tutora Aurora Piña, por acompañarme y guiarme durante todo este proceso.

A mis profesores, por ser el nexo entre el conocimiento y yo.

A la Fábrica Nacional del Cemento y el personal de Cantera “La Cabrera”, por brindarme la información necesaria para llevar a cabo este estudio.

**José G., Contreras M.**

**APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA  
ENFOCADO EN LAS OPERACIONES MINERAS EN CANTERAS DE  
ARCILLA**

*Tutora Académica: Profa. Aurora Piña*

Tesis. Ciudad Universitaria, U.C.V. Facultad de Ingeniería.

Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 2018, 135 páginas.

Palabras Claves: análisis de ciclo de vida, impacto ambiental, arcilla, sustentabilidad, canteras de arcilla, eco-indicator 99.

**Resumen**

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV), es una herramienta de gestión ambiental que sirve para evaluar las entradas (recursos) y salidas (pasivos ambientales) generados durante el proceso de producción de un producto. La presente investigación se basa en aplicar dicha herramienta en una cantera de arcilla, para determinar cuantitativamente los pasivos ambientales generados durante la ejecución de las operaciones mineras. Se determinó que la totalidad de uso de recursos parte de los equipos mineros, destacando entre ellos el combustible, los distintos tipos de aceite, los consumibles (cauchos y filtros de aceite) y la ocupación del territorio por actividades mineras; lo que genera salidas como la generación de polvos, humo de diesel, residuos de aceites, uso de tierras y transformación de tierras. Se realizó una visita a la cantera que permitió recopilar los datos del inventario de ciclo de vida y aquellos datos que no pudieron hallarse fueron supuestos basándose en distintas fuentes. La metodología utilizada para la fase de Evaluación de Impactos fue el Eco-indicator 99. Los cálculos se realizaron considerando una unidad funcional de 1000 T de arcilla, lo que permitió determinar la cantidad de entradas y las salidas, traducidas en la mayoría de los casos como compuestos químicos, junto con los daños sobre la salud humana y los daños a los ecosistemas que se producen. Posteriormente, se desarrollaron tres modelos, en los cuales se considera la producción mensual de arcilla, la meta de producción y la

vida del yacimiento, permitiendo así obtener valores aproximados de las emisiones a partir de diferentes variables. Finalmente, y basado en la legislación pertinente para cada caso, se propusieron medidas paliativas para mitigar los impactos ambientales que conlleva la producción de arcilla.

## INDICE GENERAL

INTRODUCCION.....	1
Planteamiento del problema.....	2
Objetivos de la investigación.....	3
Justificación.....	3
Antecedentes de la investigación.....	4
<b>CAPITULO I: MARCO TEORICO</b> .....	<b>5</b>
1.1 Conceptos básicos.....	6
1.2 Operaciones mineras.....	7
1.2.1 Operaciones unitarias.....	7
1.2.2 Operaciones auxiliares.....	9
1.3 Arcilla.....	9
1.4 Composición del cemento.....	10
1.5 Compuestos contaminantes producidos por los aceites usados.....	10
1.6 Gestión de los recursos minerales y el ambiente.....	11
1.7 Impactos ambientales y sociales en la minería.....	12
1.8 Tipos de contaminación producida por la explotación de recursos minerales....	13
1.8.1 Sobre la atmósfera.....	14
1.8.2 Sobre el agua.....	14
1.8.3 Sobre el suelo.....	14
1.8.4 Sobre la vegetación.....	14
1.8.5 Sobre la fauna.....	15
1.8.6 Sobre la morfología y el paisaje.....	15
1.9 Cambio climático.....	15
1.10 Concepto de Desarrollo Sostenible.....	16
1.11 Dimensiones del Desarrollo Sostenible.....	16
1.12 Herramientas para la gestión ambiental.....	18
1.12.1 Realización sistemática de evaluaciones del impacto ambiental.....	18
1.12.2 Implantación y sistematización de la reflexión: el benchmarking.....	18
1.12.3 Análisis Del Ciclo De Vida.....	19
1.13 Metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) .....	19
1.13.1 Definición.....	19
1.13.2 Normas ISO.....	20
1.13.3 Desafíos del ACV.....	21
1.13.4 Etapas del ACV.....	22
1.13.4.1 Definición de objetivos y alcance.....	23
1.13.4.2 Análisis de inventario.....	23
1.13.4.3 Evaluación de impactos (LCIA) .....	24
1.13.4.4 Interpretación.....	25
1.13.5 Análisis de Ciclo de Vida en la minería.....	25
1.14 Metodología: Eco-indicator 99 .....	26
1.14.1 Definición de Categorías de Impacto según el Eco-Indicator 99....	26
1.14.2 Tipos de usos de tierras según el eco-indicator 99.....	27
1.15 Procesos industriales de reciclaje.....	27
1.15.1 Reciclaje de filtros.....	27
1.15.2 Trituración de filtros.....	29
1.15.3 Re-refinación.....	29
1.16 Sujeto de estudio: cantera “La Cabrera” .....	32

1.16.1 Ubicación.....	32
1.16.2 Producción.....	33
1.16.3 Relieve.....	33
1.16.4 Clima .....	33
1.16.5 Vegetación.....	33
1.16.6 Aguas.....	34
1.16.7 Suelo.....	34
1.16.8 Agua subterránea.....	34
1.16.9 Geología regional.....	34
<b>CAPITULO II: MARCO LEGAL.....</b>	<b>35</b>
2.1 Constitución de la República Bolivariana de Venezuela.....	36
2.2 Ley Orgánica del Ambiente.....	36
2.3 Ley de Aguas.....	40
2.4 Ley de Bosques y Gestión Forestal.....	42
2.5 Decreto N° 2219: Normas para regular la afectación de los recursos naturales renovables asociada a la exploración y extracción de minerales.....	43
2.6 Decreto N° 638: Normas sobre calidad del aire y control de la contaminación atmosférica.....	44
2.7 Decreto N° 883: Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos.....	47
2.8 Decreto N° 2216: Normas para el manejo de los desechos sólidos de origen doméstico, comercial, industrial o de cualquier otra naturaleza que no sean peligrosos.....	48
2.9 Ley de Minas.....	49
2.10 Ley Penal del Ambiente (LPA) .....	50
2.11 Acuerdo de París.....	56
2.11.1 Objetivos del Acuerdo de París.....	56
2.11.2 Lineamientos del Acuerdo de París.....	57
<b>CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO.....</b>	<b>58</b>
3.1 Tipo de investigación.....	59
3.2 Diseño de la investigación.....	59
3.3 Sujeto de estudio.....	59
3.4 Medios, instrumentos, técnicas y métodos de recolección de datos. ....	59
3.4.1 Observación.....	59
3.4.2 Dispositivos electrónicos.....	59
3.4.3 Visitas técnicas.....	60
3.4.4 Hojas de cálculo.....	60
3.4.5 Entrevistas.....	60
3.4.5.1 Composición de las entrevistas.....	62
3.4.5.1.1 Entrevista a miembro del departamento de operaciones.....	62
3.4.5.1.2 Entrevista a miembro del departamento de ambiente.....	63
3.5 Análisis de datos.....	64
3.6 Fase I: Definición de objetivos y alcances.....	65
3.6.1 Metas.....	65
3.6.2 Sistema del producto a estudiar.....	66
3.6.3 Unidad Funcional.....	66
3.6.4 Límites del sistema.....	66

3.6.5	Calidad de datos.....	67
3.6.6	Metodología de ACV.....	67
3.7	Fase II: Análisis de Inventario.....	67
3.7.1	Procedimiento para la toma de datos.....	67
3.7.2	Respuestas de entrevista a miembros de operaciones.....	68
3.7.3	Respuesta de entrevista a miembros del departamento de ambiente..	71
3.7.4	Entradas y salidas.....	73
3.7.5	Sistema de producción del cemento.....	74
3.7.5.1	Primera etapa: Operaciones mineras.....	74
3.7.5.2	Segunda etapa: Producción del cemento.....	77
3.7.5.3	Tercera etapa: Uso del cemento.....	80
3.7.6	Inventario.....	81
3.7.6.1	Datos reales.....	81
3.7.6.2	Datos supuestos.....	83
	<b>CAPITULO IV: Análisis de Resultados.....</b>	<b>85</b>
4.1	Fase III: Evaluación de Impactos .....	86
4.1.1	Clasificación.....	86
4.1.2	Cálculos en función de la Unidad Funcional.....	86
4.1.3	Cálculos de emisiones de las salidas.....	87
4.1.3.1	Humo de diesel.....	87
4.1.3.2	Residuos de aceites.....	91
4.1.3.3	Residuos por consumibles.....	93
4.1.3.4	Polvos.....	95
4.1.3.5	Uso de tierras y transformación de tierras.....	95
4.1.4	Evaluación de daños.....	95
4.1.5	Consumo de agua.....	97
4.2	Fase IV: Interpretación.....	97
4.2.1	Análisis de evaluación de daños.....	97
4.2.1.1	Daño a la salud humana.....	97
4.2.1.2	Daño al ecosistema.....	99
4.2.2	Análisis sobre la contaminación del aire basado en el Decreto N° 638.....	101
4.2.3	Aplicación de modelos para analizar los daños producidos con distintas variables.....	103
4.2.3.1	Primer modelo: A partir de la producción total mensual.....	103
4.2.3.2	Segundo modelo: A partir de la meta de producción.....	106
4.2.3.3	Tercer modelo: Vida del yacimiento.....	108
4.2.4	Análisis sobre la generación de residuos.....	112
4.2.5	Análisis sobre el consumo de agua.....	113
4.2.6	Implicaciones legales.....	113
4.3	Establecimiento de propuestas de solución para las problemáticas detectadas.....	114
4.3.1	Humo de diesel.....	114
4.3.1.1	Instalación de un opacímetro para la medición de emisiones de gases.....	115
4.3.1.2	Revisión del tubo de escape y el catalizador.....	115
4.3.1.3	Condicionamiento de superficies para capturar carbono....	116
4.3.2	Polvos.....	116
4.3.2.1	Control de emisiones.....	117

4.3.2.2 Intersección de contaminantes y modificación del flujo de aire.....	118
4.3.3 Aceites quemados.....	118
4.3.3.1 Aceite quemado como combustible para hornos.....	119
4.3.3.2 Someter a los aceites al proceso de re-refinación.....	120
4.3.4 Filtros.....	120
4.3.4.1 Adquisición de una prensa de filtros.....	121
4.3.4.2 Fabricación de máquina prototipo para el reciclaje de filtros de aceite.....	121
4.3.5 Cauchos.....	122
4.3.5.1 Cauchos pulverizados como aditivo del concreto.....	122
4.3.5.2 Producción de combustible con cauchos.....	122
4.3.5.3 Reciclaje de neumáticos enteros.....	123
4.3.5.4 Otros usos de neumáticos reciclados.....	124
4.4 Cuadro resumen.....	124
CONCLUSIONES.....	126
RECOMENDACIONES.....	129
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	131

## LISTA DE FIGURAS

Figura N°1 - Arcilla de cantera “La Cabrera” .....	9
Figura N°2 - Dimensiones del Desarrollo Sostenible .....	17
Figura N°3 - Etapas del ACV .....	22
Figura N°4 - Inventario del Ciclo de Vida (LCI) .....	24
Figura N°5 - Elementos mandatorios y opcionales de acuerdo con la norma ISO 14042 .....	25
Figura N°6 - Almacenaje de filtros de aceites .....	28
Figura N°7 - Trituradora de filtros de aceite .....	29
Figura N°8 - Ubicación nacional de cantera “La Cabrera” .....	32
Figura N°9 - Tipos y cantidades de equipos de operaciones mineras en cantera “La Cabrera” .....	74
Figura N°10 - Primera Etapa: Operaciones mineras .....	74
Figura N°11 - Arranque mecánico y clasificación de material con excavador XCMG XE230 .....	75
Figura N°12 - Cargador frontal Cat 938 en espera para realizar la carga .....	76
Figura N°13 - Cargador frontal en proceso de carga del camión .....	76
Figura N°14 - Segunda Etapa: Producción del cemento .....	78
Figura N°15 - Material arcilloso apilado .....	79
Figura N°16 - Trituradora de planta .....	70
Figura N°17 - Cinta transportadora .....	80
Figura N°18 - Tercera etapa: Uso del cemento .....	80
Figura N°19 - Asignación de salidas a categorías de impacto .....	86
Figura N°20 - Depósito de cauchos en “La Cabrera” .....	112
Figura N°21 - Recipientes empleados para el reciclaje de aceite .....	119

## LISTA DE TABLAS

Tabla N°1 - Composición típica de óxidos en un cemento Portland ordinario.....	10
Tabla N°2 - Compuestos del aceite nuevo y usado medido en PPM.....	11
Tabla N°3 - Normas ISO con relación al ACV.....	21
Tabla N°4 - Rangos límites sobre la calidad de vertidos líquidos.....	47
Tabla N°5 - Marcas, modelos y número de equipos en cantera “La Cabrera” .....	69
Tabla N°6 - Combustible de equipos en cantera “La Cabrera” .....	60
Tabla N°7 - Aceite de equipos en cantera “La Cabrera” .....	69
Tabla N°8 - Datos reales sobre el equipo de arranque.....	81
Tabla N°9 - Datos reales sobre el equipo de carga.....	81
Tabla N°10 - Datos reales sobre el equipo de acarreo (por unidad de camión).....	82
Tabla N°11 - Otros datos reales.....	82
Tabla N°12 - Datos supuestos sobre el equipo de estabilización de suelos.....	83
Tabla N°13 - Datos supuestos sobre el equipo de riego de vías.....	84
Tabla N°14 - Composición del humo de diesel.....	88
Tabla N°15 - Proporción de Componentes no tóxicos en el diesel de equipos.....	88
Tabla N°16 - Proporción de componentes no tóxicos durante la producción de la Unidad Funcional.....	89
Tabla N°17 - Proporción de Componentes tóxicos durante la producción de la Unidad Funcional.....	91
Tabla N°18 - Tipos de aceites por equipos.....	92
Tabla N°19 - Proporción de compuestos generados por el aceite usado para producir la Unidad Funcional.....	93
Tabla N°20 - Cantidad de filtros y cauchos por equipos (Contando 3 equipos de acarreo) .....	93
Tabla N°21 - Categoría de impacto “Daños a la salud humana” .....	96
Tabla N°22 - Categoría de impacto “Daños a la calidad del ecosistema”.....	96
Tabla N°23 - Compuestos más nocivos para la salud humana en la producción de 1000 T de arcilla.....	97
Tabla N°24 - Compuestos más propensos a ocasionar daños al ecosistema durante la producción de 1000 T de arcilla.....	100
Tabla N°25 - Emisiones medidas en función a los límites establecidos por el Decreto N° 638.....	102
Tabla N°26 - Proporción de componentes tóxicos y no tóxicos generados por el humo de diesel durante la producción de 5040 T de arcilla.....	103
Tabla N°27 - Proporción de compuestos en residuos de aceite durante la producción de 5040 T de arcilla.....	103
Tabla N°28 - Gastos de consumibles para la producción de 5040 T de arcilla.....	104
Tabla N°29 - Cinco compuestos más nocivos para la salud humana en la producción de 5040 T de arcilla al mes.....	104
Tabla N°30 - Compuestos más propensos a ocasionar daños al ecosistema durante la producción de 5040 T de arcilla al mes.....	105
Tabla N°31 - Proporción de Componentes tóxicos y no tóxicos generados por el humo de diesel con una producción de 10080 T de arcilla al mes.....	106
Tabla N°32 - Proporción de compuestos en residuos de aceite durante la producción de 10080 T de arcilla al mes.....	106
Tabla N°33 - Gastos de consumibles para la producción de 10080 T de arcilla al mes.....	107

Tabla N°34 - Cinco compuestos más nocivos para la salud humana en la producción de 10080 T de arcilla al mes.....	107
Tabla N°35 - Compuestos más propensos a ocasionar daños al ecosistema durante la producción de 10080 T de arcilla al mes.....	108
Tabla N°36 - Proporción de Componentes tóxicos y no tóxicos generados por el humo de diesel durante toda la vida del yacimiento.....	109
Tabla N°37 - Proporción de compuestos en residuos de aceite durante toda la vida del yacimiento.....	109
Tabla N°38 - Gastos de consumibles durante toda la vida del yacimiento.....	109
Tabla N°39 - Cinco compuestos más nocivos para la salud humana durante toda la vida de la mina.....	110
Tabla N°40 - Compuestos más propensos a ocasionar daños al durante toda la vida de la mina.....	111
Tabla N°41 - Cuadro resumen del ACV.....	125

## INTRODUCCIÓN

La actividad minera genera un gran impacto sobre el territorio, ya que transforma el espacio en todas sus dimensiones: ecológica, ambiental, social y económica.

A partir de esta orientación, se han desarrollado numerosas iniciativas encaminadas al conocimiento de las emisiones reales de contaminantes, mediante la monitorización de cada punto del proceso. Una de ellas es la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida, que tiene por objeto cuantificar las emisiones generadas durante las etapas de vida del producto, así como plantear iniciativas para la introducción de políticas de prevención de las emisiones de dióxido de carbono y otras sustancias contaminantes.

La aplicación de esta metodología es necesaria para la industria minera, reconociendo que cada segmento del ciclo de producción representa un medio generador de elementos contaminantes. Este procedimiento va más allá del estudio de un solo tipo de impacto, abarcando la extracción de la materia prima, procesamiento, distribución, uso e incluso re-uso, reciclado o disposición; asumiendo que cada una de estas fases genera impactos ambientales que deben analizarse, considerarse y resolverse. Esta visión proporciona una forma integral de evaluar los beneficios para la sociedad de opciones de políticas particulares, preferencias de productos y mejoras del sistema.

Así surge esta investigación y sus interrogantes, que tiene como finalidad la aplicación del Análisis de Ciclo de vida en una cantera de arcilla, enfocado en las operaciones mineras. La misma, se encuentra conformada por un capítulo de marco teórico, en donde se resaltan los procedimientos y teorías que utilizará el investigador para llevar a cabo su actividad; el marco legal, que expone las bases legislativas de mayor influencia durante la producción de la arcilla; el marco metodológico, que explica los mecanismos utilizados para el análisis y además abarca las primeras dos fases del Análisis de Ciclo de Vida: Metas e Inventario; y el análisis de resultados, en donde se evalúan los impactos, así como los medios en donde se desarrollan y afectan, a través de las últimas dos etapas: Evaluación de Impactos e Interpretación. Finalmente, se exponen las conclusiones a las que llegó

el investigador, así como las recomendaciones que plantea para desarrollar con a profundidad esta línea de investigación.

### **Planteamiento del problema**

Cualquier actividad humana que implique su desarrollo a partir de la creación de nuevos aparatos, herramientas o estructuras; generará múltiples tipos de desechos. Esta afirmación es fácil de comprobar, puesto que todo elemento material existente se convertirá algún día en un residuo y que, durante su proceso productivo, también genera residuos. Por ese motivo, es necesario tomar en cuenta el ciclo de vida completo de los productos, desde su extracción hasta su etapa final. De este hecho no queda exenta la industria minera.

En un principio, las entradas, los recursos necesarios para llevar a cabo el procedimiento, son productos de otro ciclo de vida en el que se generaron contaminantes; y las salidas, todos aquellos elementos remanentes del proceso de producción cuya utilización posterior, en muchos casos, no tiene un destino definido, se convierten en un problema progresivo y relevante. Ambos factores son de obligatoria consideración para apegarse a los lineamientos del Desarrollo Sostenible y para cumplir con el objetivo del Acuerdo de París.

La toma de decisiones con respecto a los contaminantes debe estar enmarcada dentro de un contexto amplio, tomando en cuenta factores ambientales, ecológicos, socioeconómicos y culturales en relación con el medio físico que las sustenta. La industria minera es consciente de que no puede sobrevivir sin encontrarse fuertemente comprometida con la protección ambiental. Es necesario elaborar y suscribir públicamente políticas ambientales, realizar desde los inicios estudios de impacto ambiental, implementar sistemas de gestión ambiental, entre otras actividades.

Bajo este contexto, se tiene previsto aplicar la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida, enfocado específicamente en las operaciones mineras en una cantera de arcilla, para cuantificar sus emisiones generadas, así como analizar sus proveniencias y proponer soluciones. La información obtenida a partir del análisis, como los tipos de impactos suscitados, su grado de afectación y su medio de generación; servirán de base para la toma de decisiones en unidades de producción

mineras con comportamientos similares que deseen adherirse a los lineamientos del Acuerdo de París.

### **Objetivos de la investigación**

➤ **Objetivo General:**

Aplicar la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida enfocada en las operaciones mineras en canteras de arcilla

➤ **Objetivos Específicos:**

1. Realizar un inventario de las entradas requeridas para la ejecución del ciclo de producción y de las salidas generadas a partir del mismo.
2. Evaluar la influencia de las actividades involucradas durante el ciclo de vida minero en función a las leyes que les atañen.
3. Comparar los valores de elementos contaminantes presentes con los valores óptimos.
4. Destacar las consecuencias de los elementos contaminantes y agruparlos en categorías.
5. Plantear soluciones para la mitigación de los efectos ambientales enmarcados dentro de los objetivos del Acuerdo de París.

### **Justificación**

La aplicación de Análisis de Ciclo de Vida en una cantera de arcilla otorgará información cuantificada, con un profundo nivel de detalle, sobre el proceso de producción de la arcilla, así como sus consecuencias ambientales directas e indirectas. Este conocimiento otorgará una ventaja para todas las unidades de producción similares que decidan adaptarse a las demandas del Acuerdo de París, cuyo objetivo es el de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de los 2 grados centígrados con respecto a los niveles preindustriales. Al apegarse a estas condiciones, la Fábrica Nacional de Cemento podría obtener numerosos beneficios, como: mayor eficiencia en el consumo de materiales y energía, reducción de residuos generados, creación de productos con mayores niveles de aceptación por

consumidores con conciencia ecológica y ventajas comerciales a través de la mejora de su figura corporativa.

### **Antecedentes de la Investigación**

- González, J. (2005). “Estado del arte del Análisis de Ciclo de Vida como herramienta del ecodiseño de productos - factibilidad de aplicación en Venezuela”. Universidad Simón Bolívar, de donde se estudió precisamente la factibilidad de la aplicación del Análisis de Ciclo de Vida en Venezuela.
- Ruiz, E. (2015). “El Análisis de Ciclo de Vida. Metodología de decisión y evaluación ambiental en el sector de la edificación”. Universidad Politécnica de Valencia, en donde se estudió un modelo de aplicación similar al de la presente investigación, ya que, en ambos sujetos de estudio, el producto final va dedicado a la edificación.
- Cardim, A. (2001). “Análisis De Ciclo De Vida de productos derivados del cemento – aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento”, del cual se analizó un modelo de aplicación similar al de la presente investigación, ya que en ambos casos el producto final del ciclo general es el cemento.
- Sanchez, N. (2016). “Propuesta de plan de explotación quinquenal 2016-2021 de cantera de arcilla ‘La Cabrera’, de la empresa C.A., Fábrica Nacional de Cementos, S.A.C.A. Municipio Tomás Lander, estado Miranda“, desde donde se extrajo información sobre el ciclo de producción del sujeto de estudio.
- Awuah-Offei, K. (2011). Application of life cycle assessment in the mining industry". Missouri University, en donde se evaluó la herramienta del Análisis de Ciclo de Vida aplicado en minería.
- Frischknecht, R. y Jungbluth, N. (2007). Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods, en donde se evaluaron las distintas metodologías de la fase de Evaluación de Impactos.

**CAPITULO I**  
**MARCO TEÓRICO**

## 1.1 Conceptos básicos

- **Entrada(*Input*):** Factor productivo que la empresa adquiere del exterior para ser sometido a un proceso de transformación interna. Cuentan como entradas: las materias primas, los productos intermedios o semi-manufacturados y la energía que la empresa compra en el mercado. (Economía48, s.f.)
- **Salida(*Output*):** productos finales que se desprenden de cualquier tipo de proceso. (Economía48, s.f.). Se consideran como salidas a: el producto final, las emisiones contaminantes y los residuos.
- **Materia Prima:** se refiere a los recursos extraídos de la naturaleza que se transforman para elaborar materiales, que más tarde se convertirán en bienes de consumo.
- **Consumibles:** conjunto de materiales que requieren ciertas maquinarias para su funcionamiento, que se consumen en un periodo de tiempo relativamente corto. (RAE, 2001)
- **Proceso:** Conjunto de fases sucesivas de un fenómeno natural o de una operación artificial. (RAE, 2001)
- **Recurso:** Conjunto de elementos disponibles para resolver una necesidad o llevar a cabo una empresa. (RAE, 2001)
- **Clinker:** es el producto principal del cemento común. Se forma a partir de la calcinación de caliza y arcilla a temperaturas que oscilan entre los 1350 y 1450°C. (RAE, 2001)
- **Cemento:** Mezcla formada de arcilla y materiales calcáreos, sometida a cocción y muy finamente molida, que mezclada a su vez con agua se solidifica y endurece. (RAE, 2001).
- **Polvo:** Residuo que queda de otras cosas sólidas, moliéndolas hasta reducirlas a partes muy menudas. (RAE, 2001).
- **Opacímetro:** instrumento que permite valorar la cantidad de hidrocarburos sin quemar de los vehículos equipados con motor diesel. (RAE, 2001).
- **Caliza:** Roca sedimentaria formada principalmente por carbonato de calcio y que se caracteriza por presentar efervescencia por acción de los ácidos diluidos en frío. (RAE, 2001).

- **Aceite:** Líquido denso de origen natural, como el petróleo, o que se obtiene por destilación de ciertos minerales bituminosos o de la hulla, el lignito y la turba. (RAE, 2001).
- **Diesel:** Fracción destilada del petróleo crudo, que se purifica especialmente para eliminar el azufre y se usa, sobre todo, en los motores diésel y como combustible doméstico. (RAE, 2001).
- **Cantera:** Sitio de donde se saca piedra, greda u otra sustancia análoga para obras varias.
- **Homogenización:** Hacer homogéneo, por medios físicos o químicos, un compuesto o mezcla de elementos diversos.
- **Unidad funcional:** valor numérico de cierto producto que se usará como base para los cálculos en el Análisis de Ciclo de Vida, específicamente en la fase de Evaluación de Impactos (Peña, 2004).
- **Factor de cambio:** relación que existe entre el tiempo de uso de producto y su tiempo de reemplazo.
- **Neumoconiosis:** Género de enfermedades crónicas producidas por la infiltración en el aparato respiratorio del polvo de diversas sustancias minerales, como el carbón, sílice, hierro y calcio, que padecen principalmente mineros, canteros, picapedreros, etc. (RAE, 2001).

## 1.2 Operaciones mineras

Las operaciones mineras son una sucesión de fases u operaciones básicas aplicadas, tanto al material estéril como al mineral. Existen también operaciones auxiliares, cuya misión es servir de apoyo para el cumplimiento de las operaciones básicas con la mayor eficacia posible. (Ortiz, 2002).

### 1.2.1 Operaciones unitarias:

Según Ortiz (2002) las operaciones unitarias son una sucesión de fases aplicadas con el fin de extraer el yacimiento de la manera más óptima posible. Se subdivide en:

### ➤ Arranque

El arranque es la primera de las operaciones para el movimiento de los materiales. Comprende a la actividad o conjunto de actividades necesarias para separar la roca del macizo rocoso donde se encuentra originalmente. También se encarga de la fragmentación del material a un tamaño adecuado para su posterior manipulación por los equipos de fases siguientes.

El arranque se realiza de dos maneras: con máquinas o con explosivos. El primer método sólo es rentable cuando las rocas a explotar son relativamente blandas, tales como el carbón o los fosfatos. Las máquinas utilizadas arrancan la roca utilizando elementos móviles cortantes: picas, rodetes, cuchillas o discos (Ortiz, 2002).

Cuando las rocas son duras, es necesario acudir al arranque mediante explosivos. Este suele ser el método más utilizado. Se requiere de la realización de barrenos (agujeros en la roca) y de distribuirlos de una manera determinada para luego cargarlos de explosivo. A cada barreno se le da una secuencia de detonación para fragmentar la roca manteniendo una granulometría lo más uniforme posible.

### ➤ Carga

Durante la fase de carga se realiza la recolección de la roca triturada para su posterior ubicación en un medio de transporte. Un caso especial de carga es aquel en el que, tras la ejecución de específicas labores en el terreno, se permite utilizar la gravedad como medio de transporte directo a los equipos de carga (Ortiz, 2002).

### ➤ Acarreo

Se refiere al traslado del mineral fragmentado hacia las fases de procesamiento posterior. Este transporte va hasta las plantas de

tratamiento, en el caso de los minerales; o hasta los vertederos o escombreras, en el caso de los estériles.

El transporte dentro de una mina puede ser continuo, discontinuo o una mezcla de ambos. El transporte continuo utiliza medios de transporte que están continuamente en funcionamiento (cintas transportadoras, transportadores blindados y el transporte por gravedad, en pozos y chimeneas). En el transporte discontinuo los medios de transporte realizan un movimiento alternativo entre el punto de carga y el de descarga, (Ferrocarril, camiones roqueros), (Ortiz, 2002).

### 1.2.2 Operaciones auxiliares

Según Ortiz (2002) son aquel conjunto de actividades que sirven como apoyo a las operaciones unitarias. Entre ellas se destacan: el riego de vías, la estabilización de suelos, levantamientos topográficos, entre otros

### 1.3 Arcilla

Las arcillas se consideran rocas formadas por "minerales arcillosos", que químicamente son silicatos de aluminio hidratados, aunque en ocasiones contienen silicatos de magnesio, hierro u otros metales, también hidratados (RAE, 2001). En la figura 1 se puede observar una muestra de arcilla de cantera "La Cabrera".



Figura N°1: Arcilla de cantera "La Cabrera"  
Fuente: propia, tomada en la cantera.

El uso de la arcilla es diverso, principalmente dirigido a la industria de la construcción, en actividades como sostenimiento de tierras, material de sellado, elaboración de grasas lubricantes, etc.

#### 1.4 Composición del cemento

La tabla 1 muestra la proporción de los compuestos presentes en la fabricación de cemento.

ÓXIDO	%	Peso	Nombre
CaO	63		Óxido de Calcio
SiO <sub>2</sub>	22	93.5%	Óxido de Silicio
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6		Óxido de Aluminio
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.5		Óxido Férrico
MgO	2.6		Óxido de Magnesio
K <sub>2</sub> O	0.6	Álkalis	Óxido de Potasio
Na <sub>2</sub> O	0.3		Óxido de Sodio
SO <sub>3</sub>	2.0		Anhídrido Sulfúrico

Tabla N°1: Composición típica de óxidos en un cemento Portland ordinario

Fuente: Manual del constructor – Cemex concreto

#### 1.5 Compuestos contaminantes producidos por los aceites usados

Según la Dirección General de Prevención y Calidad Ambiental (2000), la proporción de los compuestos contaminantes producidos por los aceites usados que se muestra en la tabla 2.

CONSTITUYENTES QUE CONFIEREN EL CARÁCTER DE RP		
COMPUESTO QUÍMICO	ACEITE NUEVO	ACEITE USADO
<b>HALÓGENOS</b>		
<i>Cloro</i>	0/155	1.900
<b>ELEMENTOS INORGÁNICOS</b>		
<i>Arsénico</i>		5
<i>Bario</i>	2/162	40
<b>ELEMENTOS METÁLICOS</b>		
<i>Plomo</i>	0	321
<i>Zinc</i>	360/2440	490
<i>Cromo</i>	0	7
<i>Cadmio</i>	0	7
<b>ORGÁNICOS CLORADOS</b>		
<i>Diclorodifluormetano</i>		20
<i>Triclorotrifluoretano</i>		230
<i>Tricloroetano</i>		300
<i>Tricloroetileno</i>		100
<i>Tetracloroetileno</i>		170
<i>PCBs / PCTs</i>		6

Tabla N°2: Compuestos del aceite nuevo y usado medido en PPM

Fuente: Técnicas de prevención de la generación de suelos contaminados: la gestión de residuos peligrosos

### 1.6 Gestión de los recursos minerales y el ambiente

Según Enshassi y colegas (2014), para la correcta gestión de los recursos minerales bajo un enfoque ambiental, es importante reconocer los siguientes aspectos:

1. Aprovechamiento integral de las materias primas: las fases de procesamiento y concentración de las menas producen un volumen alto de residuos y estériles. Es importante considerar que el uso de tales residuos como materiales útiles, podrían en un futuro sustituir, en parte, a los recursos que actualmente están.
2. Reciclado de los materiales de desecho: después del uso o consumo de los productos, se generan importantes cantidades de materiales que pueden reciclarse en pro de generar beneficios económicos y ambientales.
3. Uso eficiente de la energía: promover la sustitución de determinados productos por materiales cuya elaboración suponga menores consumos

específicos de energía. Las innovaciones tecnológicas juegan aquí un papel fundamental.

4. Explotación eficiente de los yacimientos: el conocimiento geológico de los yacimientos y el correcto diseño de las minas son acciones fundamentales para lograr recuperaciones mineras más eficientes y básicas para su aprovechamiento racional.
5. Planificación del abastecimiento de los minerales: constituye una buena herramienta de gestión para asegurar el suministro de materias primas, al mismo tiempo que sirve de base para la puesta en marcha y ejecución de programas de ordenación minero - ambiental en algunos subsectores.
6. Legislación ambiental: la consideración de las leyes ambiental tiene el efecto de generar un cambio directo sobre los impactos producidos, haciendo que sean menores al aplicarse medidas correctoras sobre las alteraciones de carácter temporal y permanente.

### **1.7 Impactos ambientales y sociales en la minería**

Según Enshassi y colegas (2014), las operaciones extractivas suscitan inquietudes de dos tipos. En primer lugar, la utilización de recursos no renovables puede suponer el agotamiento de estos para las generaciones futuras. En segundo lugar, el impacto de la explotación minera puede dañar la calidad del medio ambiente.

El impacto ambiental de las operaciones extractivas incluye aspectos como la contaminación atmosférica (principalmente por el polvo), el ruido, la contaminación del agua o del suelo y diversas repercusiones en los niveles freáticos, la destrucción o perturbación de hábitats naturales y el impacto visual en el paisaje circundante. El alcance del impacto ambiental real de una explotación específica depende de la naturaleza del mineral y de las características específicas del yacimiento (profundidad del depósito, composición química del mineral y de las rocas circundantes, sustancias naturales presentes y demás condiciones geográficas y climáticas). Entre los factores que determinan las consecuencias para el medio ambiente también cabe mencionar las tecnologías utilizadas para extraer y tratar el mineral, así como para eliminar los residuos generados. Por lo general, la extracción de metales suele entrañar un mayor impacto ambiental, habida cuenta de la

necesidad de utilizar, en algunos casos, sustancias químicas tóxicas para las tareas de separación del mineral.

La explotación minera se encuentra entre las mayores fuentes de residuos a escala comunitaria. Algunos vertidos de residuos (en particular los generados por la minería de metales no férricos) contienen grandes cantidades de sustancias peligrosas, como son los metales pesados, y representan un riesgo significativo.

Por otra parte, las estadísticas de accidentes también ponen de manifiesto que la industria se encuentra entre los sectores de mayor riesgo y alberga peligros potenciales, como consecuencia de la interacción estrecha entre la naturaleza, la tecnología y el ser humano. Las repercusiones en materia de salud y seguridad en el trabajo hacen necesario el control de los riesgos a los que pueden verse expuestos los trabajadores.

Hoy en día, gracias a los avances tecnológicos, se pueden disminuir las consecuencias de las transformaciones sociales, al ser posible gestionar la explotación de una manera casi autónoma de su entorno, movilizándolo de manera temporal (o por turnos) mano de obra desde otros lugares y trasladando el mineral para su transformación a otras localizaciones, de forma que no siempre tienen que producirse estructuras estables en su entorno, como se produjo históricamente, siendo posible que se deslocalice el yacimiento del espacio social que lo rodea.

### **1.8 Tipos de contaminación producida por la explotación de recursos minerales**

Según Hernandez (1996), es conocido que las explotaciones mineras son la causa y origen de fuertes impactos ambientales, debido principalmente a los grandes volúmenes de material que deben ser removidos y que cambian la fisiografía de la zona y alteran las características productivas del terreno, dando lugar a efectos contaminantes, ecológicos y paisajísticos.

A continuación, se resumen las principales alteraciones producidas por la explotación de recursos minerales sobre los elementos, procesos y características ambientales.

### **1.8.1 Sobre la atmósfera**

- Polvo y gases tóxicos como consecuencia de las operaciones de excavación, creación de escombreras, tráfico de maquinaria pesada y preparación de minerales.
- Ruidos y onda aérea cuyas fuentes de emisión coinciden con las que producen la contaminación anteriormente citada.

### **1.8.2 Sobre el agua**

- Alteración permanente de los drenajes superficiales.
- Efectos como aumento de la turbidez por partículas sólidas, elementos tóxicos disueltos, acidificación, etc; derivada de las operaciones necesarias para el tráfico de maquinaria, bombeo y descarga de efluentes, tratamiento del mineral, implantación de viales e infraestructura, etc.

### **1.8.3 Sobre el suelo**

- Ocupación del suelo fértil por la creación de minas y por la construcción de la infraestructura asociada a la explotación.
- Alteración de las características o procesos edáficos en los alrededores de la explotación debido a la acumulación de residuos, elementos finos, polvo, etc.

### **1.8.4 Sobre la vegetación**

- Eliminación directa de la cubierta vegetal por la construcción de viales e infraestructuras y las modificaciones fisiográficas.
- Entorpecimiento de su capacidad de regeneración por pérdida de elementos fértiles, aumento de pendiente, incremento de la erosión y variación de régimen de escorrentía, ocasionadas por las acciones antes mencionadas.

- Daños directos sobre la vegetación, tanto por la acumulación de partículas en los órganos vegetativos y/o sexuales como por el vertido de estériles y la utilización de maquinaria.
- Cambios en la composición florística, con un aumento de la proporción de elementos de carácter ruderal y nitrófilo.

#### **1.8.5 Sobre la fauna**

- Eliminación o alteración de hábitat terrestres y acuáticos para la fauna.
- Perturbaciones sobre la fauna causadas por la explotación en su fase de funcionamiento (tráfico, ruido y polvo).

#### **1.8.6 Sobre la morfología y el paisaje**

- Modificación de las características visuales de la zona, proporcionales a la alteración fisiográfica producida.
- Alteración de la calidad paisajística.
- Una vez que la mina llega a la fase de cierre, el cese de la actividad extractiva, lejos de contribuir a aminorar sus efectos, genera impactos adicionales desde el punto de vista ambiental, ecológico, socioeconómico y cultural

### **1.9 Cambio climático**

El incremento de las temperaturas, deshielo de los glaciares, multiplicación de las sequías y de las inundaciones; todas estas actividades son efectos del cambio climático. Los riesgos son inmensos para el planeta y las generaciones futuras, lo que obliga a la humanidad a actuar de forma responsable, poniendo a su disposición toda la tecnología necesaria (Frers, 2010).

Los principales objetivos para reducir el cambio climático son:

- La reducción de los gases de efecto invernadero como objetivo prioritario

- Conseguir que las energías renovables sean una alternativa real y asequible, mediante la adopción de medidas destinadas a fomentar esas fuentes de energía e impulsar ese mercado, como en los sectores de la biomasa y de los biocarburantes.
- La gestión de medios de transporte más limpios y equilibrados.

### **1.10 Concepto de Desarrollo Sostenible**

Según el Banco Mundial (1992) el desarrollo sostenible se define como aquel desarrollo que satisface las necesidades de las presentes generaciones sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para que ellas también satisfagan sus propias necesidades. Se interpreta entonces como una forma de progreso económico y social, que procura que los recursos naturales no se consuman más rápido de lo que se pueden renovar, de forma que el progreso pueda ser estable y sostenido en el tiempo.

Esta idea surge como respuesta a fallas en la forma tradicional de desarrollo, como: la sobreexplotación de los recursos naturales (contaminación de las aguas y el aire, deforestación), diferencias socioeconómicas, exclusiones sociales, entre otras. Además es planteado como modelo para enfrentar las causas y consecuencias del cambio climático.

El desarrollo sostenible no consiste en dejar sin tocar los recursos del planeta, sino en mantener el desarrollo económico para satisfacer las demandas de las generaciones actuales, pero sin imposibilitar que las generaciones futuras puedan satisfacer las suyas.

### **1.11 Dimensiones del Desarrollo Sostenible**

Según Duque (2014) el desarrollo sostenible está compuesto por cinco dimensiones, ilustradas en la figura 2.



Figura N°2: Dimensiones del Desarrollo Sostenible  
Fuente: Duque (2014)

1. **Económica:** busca la estabilidad y solidificación de las actividades económicas de forma que se generen empleos productivos que permitan a los ciudadanos tener una alta calidad de vida. Hoy en día muchos países están yendo hacia una economía verde, la cual PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) define como: “Una economía que produce bienestar social y equidad y que al mismo tiempo debe reducir los riesgos ambientales y los impactos a la naturaleza”.
2. **Ambiental:** busca el mantenimiento de la integridad y la productividad de los recursos naturales y ecosistemas, de modo que permita proveer al ser humano de los recursos necesarios para su supervivencia y calidad de vida. En esta dimensión se encuentra la preservación de las aguas, suelos, aire, bosques, entre otros.
3. **Social:** busca que el progreso social sea inclusivo y equitativo de modo que todas las personas puedan tener las mismas oportunidades para tener alta calidad de vida. En esta dimensión se incluye el acceso a educación, salud, seguridad, entre otros.

4. **Política:** se refiere al desarrollo y mantenimiento de todas las instituciones que garantizan la democracia y la justicia en una nación.
5. **Cultural:** esta dimensión se refiere a dos aristas. La primera, el respeto, mantenimiento y promoción de todas las manifestaciones artísticas de una sociedad. La segunda se refiere a la promoción de las costumbres, conductas y comportamientos de individuos y de colectivos que permitan el desarrollo sostenible. Por ejemplo: la promoción de la cultura del reciclaje, del uso bicicletas y transporte público.

### **1.12 Herramientas para la gestión ambiental**

Según Blanca (2005), existen un conjunto de herramientas que, utilizadas e implementadas de manera correcta, permiten que los planes y proyectos se diseñen con costos asumibles y se sitúen como elementos imprescindibles a la hora de abordar una estrategia de mejora continuada y de reducción del coste ambiental. Entre ellas se destacan:

#### **1.12.1 Realización sistemática de evaluaciones del impacto ambiental**

En cada evaluación se realizará un análisis de todos los aspectos que, de forma directa o indirecta, afectan el medio ambiente, evaluándose conforme a una sistemática concreta. Las metodologías para la ejecución de este tipo de proyectos son: la realización de estudios medioambientales de base previos al desarrollo de un proyecto, el estudio de los impactos ambientales y su evaluación, la correcta implantación y el adecuado desarrollo de los sistemas de gestión ambiental, la mitigación y compensación de impactos y la correcta restauración posterior.

#### **1.12.2 Implantación y sistematización de la reflexión: el *benchmarking*.**

El "*Benchmarking*" es el proceso de medir y comparar continuamente los métodos, procesos, procedimientos, productos, servicios, rendimientos y resultados de la propia empresa contra los de las empresas que se distinguen constantemente en la misma categoría de factores. Es comparar las técnicas de una empresa con los líderes de cualquier otra parte del

mundo para conseguir información que ayude a tomar acción, con el fin de obtener mejores resultados.

En el *benchmarking*, se fija un compromiso para la mejora continua de procesos y se provee una estrategia de mejora buscando comparaciones, que vayan más allá de los límites de la propia industria, para identificar las mejores prácticas, independientemente de la industria en la que se observan, que puedan adaptarse para proporcionar a la empresa ventajas competitivas en su industria.

### **1.12.3 Análisis de Ciclo de Vida**

Metodología que permite identificar y evaluar los impactos creados por procesos o productos desde su “nacimiento” hasta su “muerte”, para proceder con su corrección o, al menos, evitarlos de manera preventiva. Esta será la metodología sobre la que se hará mayor énfasis en este trabajo de investigación.

## **1.13 Metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV)**

### **1.13.1 Definición**

El Análisis de ciclo de Vida (ACV) se define como un proceso para evaluar la carga ambiental asociada con un sistema de producción o actividad, al identificar y describir cuantitativamente el uso de energía y materiales y la liberación de residuos al medio ambiente, y para evaluar el impacto de aquel uso de energía y materiales y de los residuos liberados. La evaluación considera el ciclo de vida completo del producto o actividad, que incluye extracción y procesamiento de materias primas, manufactura, distribución, uso, re-uso, mantenimiento, reciclaje y disposición final; incluyendo toda la energía usada durante su producción y todo el transporte involucrado (Cardim, 2001).

El objetivo de esta estrategia es reducir las presiones ambientales de cada etapa del ciclo de vida de los recursos, lo que incluye su extracción o recolección, uso y eliminación final. Este planteamiento se aplicará

sistemáticamente al conjunto de las políticas ambientales. Básicamente, el ACV se enfoca en el rediseño de productos bajo el criterio de que los recursos energéticos y materias primas no son ilimitados y que, normalmente, se utilizan más rápido de cómo se reemplazan o como surgen nuevas alternativas. Los recursos naturales que se encuentran en el medio físico no son la excepción, contando con una importancia sobresaliente en todos los países (Cardim, 2001).

Por tal motivo, la conservación de recursos privilegia la reducción de la cantidad de residuos generados, ya que el ACV plantea manejar los residuos de forma sustentable, desde el punto de vista ambiental, minimizando todos los impactos asociados con el sistema de manejo. Esta metodología se orienta en la determinación de los impactos ambientales del sistema bajo estudio en las áreas de los sistemas ecológicos, la salud humana y la disminución de recursos. La misma ha sido estandarizada (aún en continuo estudio y desarrollo) en la Serie de Normas ISO 14.000, específicamente las normas ISO14040 a ISO14043 e ISO14047 a ISO14049 (Cardim, 2001).

### **1.13.2 Normas ISO**

Según Cadavid (2014), las normas ISO son una serie de reglamentos fijados por la Organización Internacional para la Estandarización, ISO por sus siglas en inglés (International Organization for Standardization), una federación mundial que agrupa a representantes de cada uno de los organismos nacionales de estandarización, y que tiene como objeto desarrollar estándares internacionales que faciliten el comercio internacional.

Con base en Ginebra, Suiza, esta organización ha sido la encargada de desarrollar y publicar estándares voluntarios de calidad, facilitando así la coordinación y unificación de normas internacionales e incorporando la idea de que las prácticas pueden estandarizarse, tanto para beneficiar a los productores como a los compradores de bienes y servicios.

Según las propias normas, la serie ISO 14000 “describe los principios y el marco de referencia para el análisis del ciclo de vida (ACV) incluyendo: la

definición del objetivo y el alcance del ACV, la fase de análisis del inventario del ciclo de vida (ICV), la fase de evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV), la fase de interpretación del ciclo de vida, el informe y la revisión crítica del ACV, las limitaciones del ACV, la relación entre las fases del ACV y las condiciones de utilización de juicios de valor y de elementos opcionales”.

El ACV se rige dentro de los parámetros de las Normas ISO, especialmente la serie ISO 14000, correspondiente a tratar temas como: Sistemas de gestión ambiental de las organizaciones, principios ambientales, etiquetado ambiental, ciclo de vida del producto, programas de revisión ambiental y auditorías. En la Tabla 3 se describen los lineamientos específicos a los que se apega cada norma.

Norma	Tema
ISO 14040:2006	Principios y marco
ISO 14044:2006	Requisitos y directrices
ISO 14045:2012	Principios, requisitos y directrices para ecoeficiencia
ISO/TR 14047:2012	Ejemplos ilustrativos de cómo aplicar la ISO 14044 en las situaciones de evaluaciones de impactos
ISO/TR 14048:2002	Formato de datos de documentación
ISO/TR 14049:2012	Ejemplos ilustrativos de cómo aplicar la ISO 14044 en la definición de objetivo, el alcance y el análisis de inventario

Tabla N°3: Normas ISO con relación al ACV

Fuente: Cadavid (2014). Análisis de Ciclo de Vida (ACV) del proceso siderúrgico.

### 1.13.3 Desafíos del ACV

Según Blanca (2005), el desafío de realizar un ACV de un producto, actividad o servicio, se descompone en dos partes:

1. La consideración de varios tipos de impactos (Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, Consumo de Energía, Consumo de Agua, Contaminación Atmosférica Local, Eutrofización del Agua, etc.).
2. El estudio holístico del proceso, dado que un producto no solo emite contaminantes y consume recursos durante su operación, sino en

toda su vida: de materias primas, producción, transporte, uso y disposición final. Además, durante su vida el producto utiliza otros insumos (materiales, químicos, energéticos etc.), que a su vez también tienen impactos ambientales que deben ser considerados.

#### 1.13.4 Etapas del ACV

Según Blanca (2005), y de acuerdo con la ISO 14040, el ACV consta de cuatro etapas: Definición de Objetivos y Alcances, Análisis de Inventario, Evaluación de Impactos e Interpretación. Este procedimiento está previsto para cuantificar el impacto ambiental y con ello comparar correctamente los efectos entre distintas actividades y productos.

En la figura 3 se ilustran las etapas del ACV.

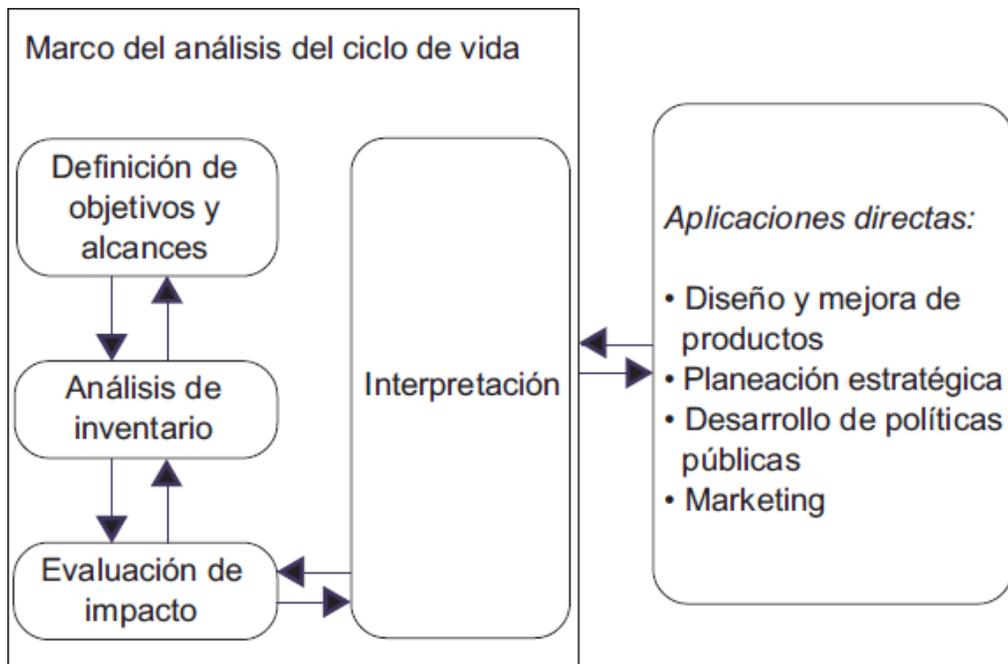


Figura N°3: Etapas del ACV

Fuente: Blanca (2005). El Análisis del Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental

Las fases activas o dinámicas, en las que se recopilan y evalúan los datos, son la segunda y la tercera. Las fases primera y cuarta se consideran como fases estáticas. A partir de los resultados de una fase pueden reconsiderarse

las hipótesis de la fase anterior y reconducirla hacia el camino que ofrezca el nuevo conocimiento adquirido. El ACV es, por lo tanto, un proceso que se retroalimenta y se enriquece a medida que se realiza.

Su utilidad también radica en identificar en qué etapas de la vida del producto se utiliza la mayor cantidad de recursos o se emite la mayor cantidad de contaminantes, determinando dónde es más efectivo implementar mejoras o innovaciones a los procesos existentes, lo que se traduce en una gran oportunidad para las compañías.

A continuación, se definen cada una de las fases del ACV:

#### **1.13.4.1** Definición de objetivos y alcance

Es una parte integral y crítica de la estructura técnica del ACV debido a su gran influencia en los resultados. Las decisiones y definiciones mínimas de esta etapa son: el propósito y la aplicación que se pretende, la unidad funcional del sistema estudiado, los límites del sistema aplicado y la calidad de los datos a recopilar.

#### **1.13.4.2** Análisis de inventario

También conocido por sus siglas en inglés como LCI (*Life Cycle Inventory*), es una descripción cuantitativa de todos los flujos de material y energía a través del límite del sistema y dentro de él. Es aplicado a cualquier actividad que involucre el uso directo o indirecto de energía o materiales. En la figura 4 se divide el LCI en entradas y salidas de material, así como la liberación al ambiente de residuos.

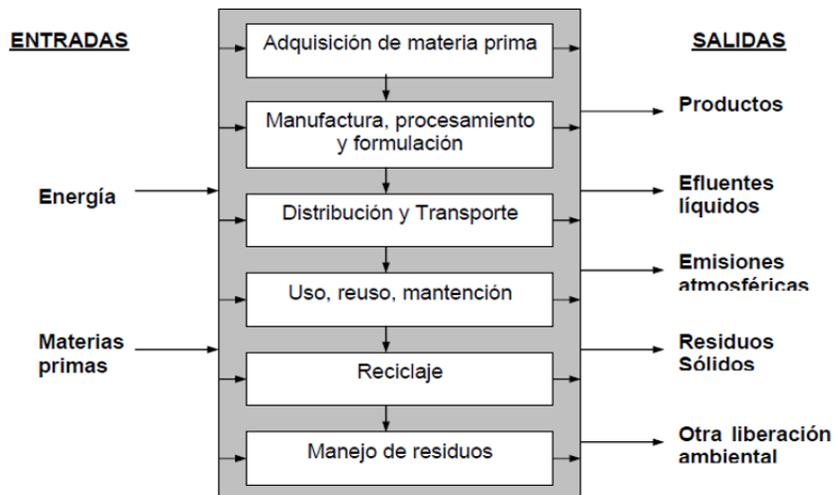


Figura N°4: Inventario del Ciclo de Vida (LCI)

Fuente: Peña (2004). Metodología de evaluación del impacto del ciclo de vida para la minería: anticipando el futuro

#### 1.13.4.3 Evaluación de impactos (LCIA)

También conocido por sus siglas en inglés como LCIA (*Life Cycle Impact Assessment*), se encarga de asignar los resultados del Inventario de Ciclo de Vida (LCI), y de realizar una evaluación de los efectos del uso de recursos y las emisiones generadas, a través de su agrupamiento y cuantificación en un número determinado de resultados ambientales, denominado “categorías de impacto”; y de cuantificarlos en función a una unidad funcional elegida,

Luego, los datos cuantificados pasarán a multiplicarse por sus respectivos “indicadores de categoría”, una representación cuantitativa del impacto propuesta por la metodología de LCIA a seguir, para determinar así una magnitud de la afectación.

Valiéndose de elementos mandatorios u opcionales, el marco general del LCIA convierte los resultados del ACV a resultados de indicadores por categoría de impacto. Algunos de estos elementos se mencionan en la f8igura 5.

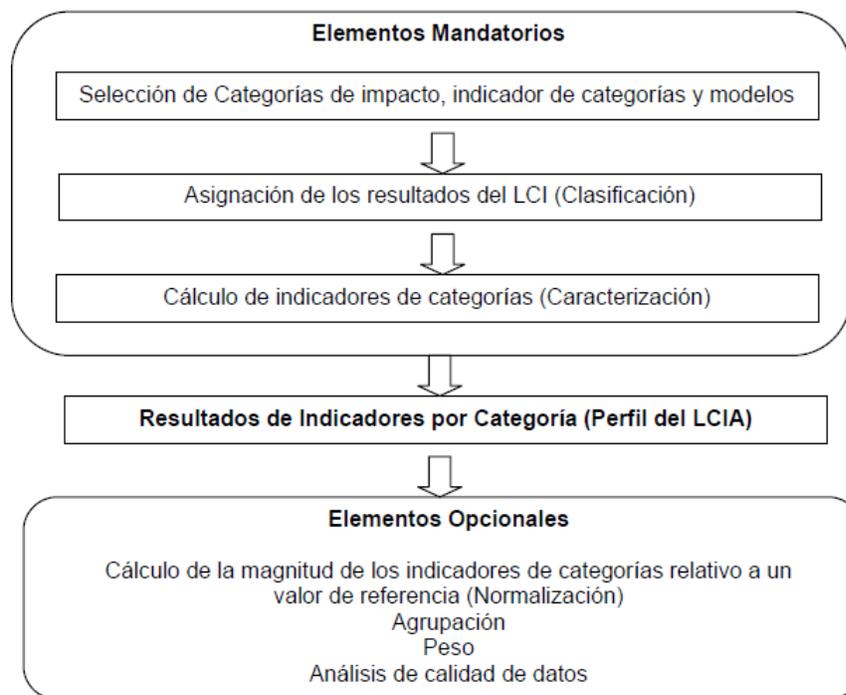


Figura N°5: Elementos mandatorios y opcionales de acuerdo con la norma ISO 14042

Fuente: UNEP-DTIE, 2003

#### 1.13.4.4 Interpretación

Es un procedimiento sistemático para identificar, calificar, chequear y evaluar la información concluida en el análisis de inventario y en la evaluación de impactos de un sistema. También consiste en un proceso de comunicación para dar a conocer los resultados de las fases técnicas del ACV, de una manera que resulte útil y comprensiva para la toma de decisiones. En esta etapa, se admite la implantación de modelos, en los que se realizan cálculos con modificaciones lógicas de datos, para evaluar los impactos ambientales generados en distintos escenarios.

#### 1.13.5 Análisis de Ciclo de Vida en la Minería

Según Awuah-Offei (2011), es inminente someter a los proyectos mineros a herramientas ambientales como el ACV, debido a las exigencias por parte de productores, consumidores y los entes legales. Este desafío se acrecentará en los próximos años, ya que la Minería actual enfrenta una Ley de Mineral

decreciente, debido al gran consumo de los recursos accesibles, escasez hídrica y un nuevo contexto energético.

#### **1.14 Metodología: Eco-indicator 99**

La fase de Evaluación de Impactos requiere de la utilización de una metodología específica para el establecimiento de categorías de impacto y la realización de los cálculos. Una de las metodologías clásicas del ACV es el eco-indicator 99.

Esta metodología propone una ponderación para cuantificar los resultados del ACV en unidades de impactos sobre la salud humana, los ecosistemas o los recursos. Tiene por objetivo analizar productos y así encontrar las principales causas de contaminación ambiental y oportunidades de mejora, para después elegir la alternativa menos contaminante

##### **1.14.1 Definición de Categorías de Impacto según el Eco-Indicador 99**

Según el Manual del Eco-Indicador 99, las categorías de impacto para esta metodología se definen de la siguiente manera:

- Daño a la salud humana: se refiere al daño producido a la salud de los seres humanos. Se expresa como el número de años de vida perdidos y la cantidad de años vividos deshabilitados, es decir, la fracción de vida que una persona puede acabar perdiendo en caso de sufrir una enfermedad debida a, por ejemplo, la exposición continuada a una determinada sustancia química de carácter industrial. Estos se conocen como Discapacidad de Años de Vida Ajustados (DALY, por sus siglas en inglés), un índice que también utiliza el Banco Mundial y la Organización Mundial de la Salud.
- Daño a la calidad de los ecosistemas: se define como la pérdida de especies en un área durante un periodo tiempo determinado. La unidad utilizada para cuantificar estos daños se denominada Fracción Parcialmente Disminuida (PDF, por sus siglas en inglés), con la que se indica la reducción parcial que sufre determinado ecosistema.

- Recursos: se enuncia como la energía excedente necesaria para futuras extracciones de minerales y combustibles fósiles.

#### 1.14.2 Tipos de usos de tierras según el eco-indicador 99:

El uso de tierras se refiere a las acciones, actividades e intervenciones que se producen por actividad antrópica sobre un determinado tipo de superficie para producir, modificarla o mantenerla. Esta metodología propone varios tipos de uso de tierra, en función a la intervención humana de la zona.

Los tipos de usos de tierra se muestran a continuación:

- Uso de tierras tipo II: Puede interpretarse como cercano a área natural
- Uso de tierra tipo III: Se refiere a áreas cuyos cambios no han sido muy intensos. Puede interpretarse como áreas urbanas o ferroviarias.
- Uso de tierra tipo IV: se puede interpretar como zonas urbanas
- Uso de tierra tipo III – IV: se asume un tiempo de ocupación por actividades industriales de 25 a 30 años. Como un resultado, el tiempo de restauración resulta en una sobreestimación del 20% del tiempo total de ocupación.

### 1.15 Procesos industriales de reciclaje

A continuación, se describen algunos de los procesos industriales de reciclaje de ciertos elementos presentes en la investigación.

#### 1.15.1 Reciclaje de filtros

Para llevar a cabo un reciclaje de filtros correcto, estos deben ser recolectados y almacenados, tal y como lo establece el **Artículo 5 Decreto N° 2216**, para evitar su dispersión, como se muestra en figura 6. Luego, una prensa los comprime en pequeños cubos, con el objetivo de agruparlos en una sola estructura del mismo material, y de extraer la mayor cantidad de aceite, aunque es inevitable que permanezca siempre una porción en los

filtros. Para remover este remanente, los cubos de acero son introducidos en un horno, en donde se calientan a 1.300 grados.



Figura N°6: Almacenaje de filtros de aceites  
Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=LAYpdrdZrEg> (mayo, 2108)

Todo el aceite recuperado de los filtros se expulsa a los receptáculos de recolección, donde una cámara secundaria se calienta a más de 1.700 grados para expulsar el exceso de vapores o humos. Esta etapa final permite obtener más de 700 galones de aceite usado, por lo que este método de reciclaje no se limita solo al reciclaje de los filtros, sino también al aceite.

El producto final de este proceso lo constituyen pequeños cubos de acero sin aceite que pueden ser derretidos y reutilizados. Esto plantea una estrategia que no es solamente ambiental, sino con potencial de ser económicamente rentable, ya que el reciclaje ahorra un 70 % de energía consumida en relación con el proceso de fabricación del acero.

Según Villavicencio y colegas (2011), por cada tonelada de acero usado que se recicla se ahorra una tonelada y media de mineral de hierro y unos 500 kilogramos del carbón, el combustible utilizado en la fabricación de este metal. Del mismo modo el uso del agua, otro bien natural cada vez más escaso se reduce en un 40 %. En relación con las emisiones, se disminuyen en un 88 % las emanaciones de gases de efecto invernadero

### 1.15.2 Trituración de filtros

La prensa de filtros de aceite, mostrada en la figura 7, aplica 10 toneladas de presión y exprime el aceite remanente. Los filtros usados se reducen al 25 % de su tamaño original, resultando en un tambor de recolección lleno de cubos metal reciclable. En la parte inferior, hay un contenedor de almacenamiento del aceite usado que permite recolectar el aceite remanente para después disponer de él.



Figura N°7: Trituradora de filtros de aceite  
Fuente:<http://www.bendpak.com/Shop-Equipment/Oil-Filter-Crushers/Recycling-Used-Oil-Filters/> (mayo, 2018)

La trituración de los filtros de aceite usado elimina el aceite residual, dejando el papel y el contenido del filtro con el producto de desecho resultante. No se requiere un paso separado para la eliminación de los medios, ya que cualquier material no metálico permanece con el filtro de aceite usado y se quema como impurezas en un horno de fabricación de acero.

### 1.15.3 Re-refinación

La Re-refinación es un método de manejo del aceite usado que utiliza eficientemente la energía y es beneficioso para el ambiente. En lugar de quemar el aceite usado, que libera emisiones nocivas a la atmósfera, la re-refinación conserva el aceite base.

Del modelo de re-refinación analizado por Gomez y colegas (2007) se obtienen tres productos principalmente:

- Aceites bases de lubricantes: con idénticas características que las obtenidos a partir de la refinación del petróleo crudo. (48 %)
- *Fuel oil*: Combustible no inflamable, apto para su comercialización. (47 %)
- Aceites livianos (*Gas Oil*): útil tanto para comercializar como para re-utilizar como combustible del mismo proceso, brindando autonomía energética a la planta. (4 %).

Para llevar a cabo el proceso de re-refinación, los autores Gomez y colegas (2007) describen que el aceite debe pasar primero por una fase de recepción y tratamiento del aceite, en donde se recibe el aceite usado, que luego es almacenado en tanques depósito y enviado a las tolvas de decantación (tanques especiales para el tratamiento) con agregado de floculantes. Se eleva a una temperatura a 50° C para acelerar la decantación de agua y algunos barros, que después van a tanques para su despacho y disposición final (residuos especiales). Son necesarias 48 horas de decantación para continuar a la siguiente fase: la destilación.

El aceite usado es una mezcla de hidrocarburos que podríamos clasificar en: aceites livianos (*gas oil*, kerosene), aceites pesados (aceites base de lubricantes), aditivos utilizados en su formulación como lubricantes y otros hidrocarburos más pesados que en conjunto conforman lo que denominamos *fuel oil*.

El proceso usado para separar fracciones homogéneas de este aceite es la destilación, que consiste en calentar la mezcla para lograr separar cada producto que se encuentra en la solución, a través de la evaporación controlada, de este modo los vapores se condensan fuera del contacto del resto de la mezcla. A distintas

temperaturas se obtienen los distintos productos. El aceite por destilar se almacena en un recipiente, desde el cual circula y recircula a través de una caldera, aumentando así su temperatura progresivamente.

Los aceites livianos, que son más volátiles, entran en ebullición y los vapores emergentes pasan, a través de un conducto, a un condensador (sistema de enfriamiento rápido) que los convierte en líquido y los almacena en un recipiente para los livianos o para el gas *oil*, respectivamente. Aquí se obtiene el primer producto de la destilación, que, almacenado en un tanque, será utilizado por la planta como combustible alternativo para la caldera.

Superados los doscientos grados y agotados por la destilación los aceites livianos, se conecta el sistema a una bomba de vacío que reduce la presión interna del mismo a 70mm de mercurio (algo así como el 5 % de la presión atmosférica). Como el siguiente producto a destilar son los aceites bases, el vacío permite que la destilación de los aceites bases destilen a 100°C menos de lo que destilarían a presión atmosférica, evitando así su craqueo por temperatura. Los aceites resultantes de esta etapa, conservan las características originales del aceite virgen usados en la formulación de lubricantes prácticamente sin aditivos.

Una vez pasados por el condensador y antes de romper el vacío terminan en un nuevo pulmón de aceites que es parte del sistema de vacío, que aún no se puede romper.

Agotada la cantidad de aceite que se destila, se interrumpe el proceso de destilación y se rompe el vacío con nitrógeno. Los hidrocarburos residuales que quedan en el recipiente conforman el *fuel oil*.

En el caso de que las características del aceite no permitieran que pudiese volver a ser refinado, se optaría por almacenarlo en

depósitos o hacerlo combustionar hasta que se evapore. Para cumplir esto último, el aceite usado debe cumplir con una serie de requisitos a partir de análisis para verificar que cumpla con las especificaciones acordadas, de lo contrario se deberían realizar operaciones de acondicionamiento de este, para llevarlo a las características deseados.

## 1.16 Sujeto de Estudio: Cantera “La Cabrera”

### 1.16.1 Ubicación

Se encuentra ubicada en el sector La Cabrera, entre Charallave y Ocumare del Tuy, Municipio Tomás Lander del estado Miranda, en la autopista Charallave-Ocumare del Tuy, situada al lado Oeste de la planta de cemento sector “La Cabrera”. La figura 8 muestra una imagen satelital con la ubicación de la cantera.



Figura N°8: Ubicación nacional de cantera “La Cabrera”.

Fuente: Sanchez (2016). Propuesta de plan de explotación quinquenal 2016-2021 de cantera de arcilla “La Cabrera”.

### **1.16.2 Producción**

A pesar de extraer arcilla, la cantera cuenta con una planta para procesar cemento. Su producción mensual, para la fecha de la publicación de esta investigación, es de 18000 T de cemento.

### **1.16.3 Relieve**

El sector Occidental de la cantera está definido geomorfológicamente por el flanco Este de una colina dentro de la propiedad, con una altura máxima de 254 metros y tres cursos de agua irregulares que drenan hacia el Sur-Este. En contraste a esto la cota mínima definida por la superficie plana del centro de la cantera, está limitada por la curva de nivel 210 metros.

### **1.16.4 Clima**

Los aspectos climatológicos más relevantes en el área están relacionados al relieve y a la acción de los vientos alisios del Noreste. Cuenta con una temperatura media anual de 32°C para los 200 m.s.n.m y corresponde a un clima de tipo awi, con una pluviosidad que sigue el régimen de las zonas de clima tropical de sabana (seco en verano y lluvioso en invierno). El periodo de lluvias máximas esta comprendido entre los meses junio, julio y agosto, siendo la medida anual de 700 mm.

### **1.16.5 Vegetación**

En el área central baja de la cantera predomina una vegetación de mediana altura y baja densidad, caracterizada por el predominio de cují, algunos alcornos y escasa guayaba sabanera. En las partes altas de la cantera, donde ha habido intervención minera, la escasa vegetación preexistente ha desaparecido y solo se observan pequeñas concentraciones de cují y gramíneas de nueva generación.

#### **1.16.6 Aguas**

El drenaje natural se realiza a través de tres (3) pequeños cursos de agua que corren hacia el Sur-Este, la zona plana. En este nivel central, la escorrentía es muy lenta y se orienta hacia la pequeña laguna localizada en el extremo Sur-Este de la cantera.

#### **1.16.7 Suelos**

En el área se ha identificado la existencia de un tipo de suelo transportado predominante, producto de la actividad extractiva, que tiende a homogeneizar la superficie del terreno de las inmediaciones de la cantera.

#### **1.16.8 Agua subterránea**

No hay presencia de aguas subterráneas a nivel topográfico natural de la cantera.

#### **1.16.9 Geología regional**

El sector Charallave-Ocumare, pertenece, geológicamente hablando, a la Formación Tuy tal, unidad litoestratigráfica depositada en un ambiente fluvio-lacustre, que abarca el área de la cantera de arcilla La Cabrera.

**CAPITULO II**  
**MARCO LEGAL**

Para ejecutar un Análisis de Ciclo de vida en cumplimiento con los principios de sustentabilidad, deben existir una serie de bases legales que lo respalden, decreten y validen. Seguidamente, se destacan una serie de artículos, provenientes de leyes y decretos, cuyo contenido se considera relevante para la presente investigación.

## **2.1 Constitución de la República Bolivariana de Venezuela**

De la constitución, el texto jurídico fundamental de la legislación nacional, se destacan los siguientes artículos que hacen referencia a la preservación ambiental:

### **Artículo 127:**

“Es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y del mundo futuro. Toda persona tiene derecho individual y colectivamente a disfrutar de una vida y de un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado...”

### **Artículo 217:**

“La oportunidad en que deba ser promulgada la ley aprobatoria de un tratado, de un acuerdo o de un convenio internacional, quedará a la discreción del Ejecutivo Nacional, de acuerdo con los usos internacionales y la conveniencia de la República”.

## **2.2 Ley Orgánica del Ambiente (LOA)**

Publicada en Gaceta Oficial N ° 5.833 de fecha 22 de diciembre de 2006, “esta Ley tiene por objeto establecer las disposiciones y los principios rectores para la gestión del ambiente, en el marco del desarrollo sustentable como derecho y deber fundamental del Estado y de la sociedad, para contribuir a la seguridad y al logro del máximo bienestar de la población y al sostenimiento del planeta, en interés de la humanidad. De igual forma, establece las normas que desarrollan las garantías y derechos constitucionales a un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado”.

**Artículo 22:**

“La planificación del ambiente constituye un proceso que tiene por finalidad conciliar el desarrollo económico y social con la gestión del ambiente, en el marco del desarrollo sustentable”.

**Artículo 27:**

“Los planes ambientales deberán ajustarse a las políticas que al efecto se dicten en materia ambiental, y definirán los objetivos, lineamientos, estrategias; metas y programas que orienten la gestión del ambiente, así como prever la viabilidad social, política, económica, financiera y técnica a los fines de lograr sus objetivos”.

**Artículo 28:**

“Los planes ambientales deben ser instrumentos flexibles, dinámicos, prospectivos y transversales, que definan y orienten la gestión del ambiente, y permitan prever y enfrentar situaciones que directa o indirectamente afecten los ecosistemas y el bienestar social”.

**Artículo 29:**

“Constituyen otros instrumentos para la planificación del ambiente la ordenación del territorio, las normas técnicas ambientales, las evaluaciones ambientales, la gestión integral de todas las áreas del alto valor ecológico, los sistemas de información geográfica y los criterios e indicadores de sustentabilidad”.

**Artículo 50:**

“El aprovechamiento de los recursos naturales y de la diversidad biológica debe hacerse de manera que garantice su sustentabilidad”.

**Artículo 52:**

“Todo aprovechamiento y uso deberá promoverse en función del conocimiento disponible y del manejo de información sobre los recursos naturales, la diversidad biológica y los ecosistemas”.

**Artículo 55:**

“La gestión integral del agua está orientada a asegurar su conservación, garantizando las condiciones de calidad, disponibilidad y cantidad en función de la sustentabilidad del ciclo hidrológico”.

**Artículo 56:**

“Para asegurar la sustentabilidad del ciclo hidrológico y de los elementos que intervienen en él; se deberán conservar los suelos, áreas boscosas, formaciones geológicas y capacidad de recarga de los acuíferos”.

**Artículo 59:**

“El aire como elemento natural de la atmósfera constituye un bien fundamental que debe conservarse”.

**Artículo 60:**

“Para la conservación de la calidad de la atmósfera se considerarán los siguientes aspectos:

1. Vigilar que las emisiones a la atmósfera no sobrepasen los niveles permisibles establecidos en las normas técnicas.
2. Reducir y controlar las emisiones a la atmósfera producidas por la operación de fuentes contaminantes, de manera que se asegure la calidad del aire y el bienestar de la población y demás seres vivos, atendiendo a los parámetros establecidos en las normas que la regulan...
3. Establecer en las normas técnicas ambientales los niveles permisibles de concentración de contaminantes primarios y secundarios, capaces de causar molestias, perjuicios o deterioro en el ambiente y en la salud humana, animal y vegetal.
4. Establecer prohibiciones, restricciones y requerimientos relativos a los procesos tecnológicos y la utilización de tecnologías, en lo que se refiere a la

emisión de gases y partículas, entre otros, que afectan la capa de ozono o inducen el cambio climático.

5. Dictar las normas técnicas ambientales para el establecimiento, operación y mantenimiento de sistemas de seguimiento de calidad del aire y de las fuentes contaminantes.

6. Llevar un inventario y registro actualizado de las fuentes contaminantes y la evaluación de sus emisiones”.

**Artículo 61:**

“La gestión integral del suelo y del subsuelo está orientada a asegurar su conservación para garantizar su capacidad y calidad”.

**Artículo 71:**

“El Estado garantizará a toda persona el acceso a la información ambiental, salvo que ésta haya sido clasificada como confidencial, de conformidad con la ley”.

**Artículo 80:**

“Se consideran actividades capaces de degradar el ambiente:

1. Las que directa o indirectamente contaminen o deterioren la atmósfera, agua, fondos marinos, suelo y subsuelo o incidan desfavorablemente sobre las comunidades biológicas, vegetales y animales.
2. Las que aceleren los procesos erosivos y/o incentiven la generación de movimientos morfodinámicos, tales como derrumbes, movimientos de tierra, cárcavas, entre otros.
3. Las que produzcan alteraciones nocivas del flujo natural de las aguas.
4. Las que generen sedimentación en los cursos y depósitos de agua.

5. Las que alteren las dinámicas físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua.

6. Las que afecten los equilibrios de los humedales.

(...)

9. Las que produzcan ruidos, vibraciones y olores molestos o nocivos.

10. Las que contribuyan con la destrucción de la capa de ozono.

11. Las que modifiquen el clima.

(...)

13. Las que propendan a la acumulación de residuos y desechos sólidos.

(...)

17. Las que alteren las tramas tróficas, flujos de materia y energía de las comunidades animales y vegetales.

18. Las que afecten la sobrevivencia de especies amenazadas, vulnerables o en peligro de extinción.

19. Las que alteren y generen cambios negativos en los ecosistemas de especial importancia.

20. Cualesquiera otras que puedan dañar el ambiente o incidir negativamente sobre las comunidades biológicas, la salud humana y el bienestar colectivo”.

### **2.3 Ley De Aguas**

Establecida el 2 de enero de 2007, bajo la Gaceta oficial N° 38.595, la Ley de Aguas “tiene por objeto establecer las disposiciones que rigen la gestión integral de las aguas, como elemento indispensable para la vida, el bienestar humano y el desarrollo sustentable del país, y es de carácter estratégico e interés de Estado”.

#### **Artículo 4:**

“La gestión integral de las aguas tiene como principales objetivos:

1. Garantizar la conservación, con énfasis en la protección, aprovechamiento sustentable y recuperación de las aguas tanto superficiales como subterráneas, a fin de satisfacer las necesidades humanas, ecológicas y la demanda generada por los procesos productivos del país...”

#### **Artículo 11:**

“Para asegurar la protección, uso y recuperación de las aguas, los organismos competentes de su administración y los usuarios y usuarias deberán ajustarse a los siguientes criterios:

2. (...) El uso eficiente del recurso.
3. La reutilización de aguas residuales...”

#### **Artículo 18:**

“El manejo de las aguas comprenderá la conservación de las cuencas hidrográficas, mediante la implementación de programas, proyectos y acciones dirigidos al aprovechamiento armónico y sustentable de los recursos naturales”

#### **Artículo 59:**

“A los efectos de la presente Ley, se entiende por usuario o usuaria de las fuentes de agua, toda persona natural o jurídica que realice un aprovechamiento lícito directamente en la fuente, entendida ésta como el curso de agua natural, acuíferos, lagos, lagunas o embalses, para abastecimiento de agua a las poblaciones, riego, generación de energía hidroeléctrica, uso industrial y uso comercial”.

#### **Artículo 113:**

“Las sanciones de multa previstas en esta ley se aumentarán al doble en los casos de:

1. Agotamiento de cualquier fuente de agua por sobreexplotación.

2. Contaminación de acuíferos o de fuentes superficiales.
3. Contaminación por vertido de sustancias, materiales o desechos peligrosos.
4. Usos que afecten o pongan en riesgo el suministro de agua a poblaciones...”

#### **2.4 Ley de Bosques y Gestión Forestal**

Anunciada bajo la Gaceta Oficial N° 38.946 del 05 de junio del 2008, el objetivo de la ley es el de “establecer los principios y normas para la conservación y uso sustentable de los bosques y demás componentes del patrimonio forestal, en beneficio de las generaciones actuales y futuras, atendiendo al interés social, ambiental y económico de la Nación”.

##### **Artículo 9:**

“La gestión forestal se refiere al conjunto integrado de acciones y medidas orientadas a la sustentabilidad de los bosques, y demás componentes del patrimonio forestal; y al desarrollo integral de las potencialidades del país en materia forestal. Se fundamenta en los principios siguientes:

1. Sustentabilidad: los bosques nativos constituyen ecosistemas indispensables para el mantenimiento del equilibrio ecológico del planeta, y debe garantizarse su permanencia en el tiempo para el beneficio de generaciones actuales y futuras, por lo cual debe fomentarse el bosque plantado para la provisión de servicios y bienes forestales maderables y no maderables...”

##### **Artículo 51:**

“Con el objeto de promover el incremento de la superficie boscosa a nivel nacional, los órganos o entes del Poder Público, desarrollarán en su respectivo ámbito de competencia, programas y acciones orientados a:

1. La forestación en terrenos desprovistos de vegetación con fines protectores o productores;
2. La repoblación forestal en áreas intervenidas con fines de compensación ambiental...”.

**Artículo 61:**

“Los planes de manejo forestal podrán ser revisados y adecuados de oficio, o a solicitud de parte interesada, cuando la planificación inicial requiera ajustarse con el fin de asegurar la sustentabilidad y la viabilidad ambiental, técnica y socioeconómica en el uso del patrimonio forestal; o cuando se pretenda aprovechar bienes o servicios derivados del bosque no contemplados en el instrumento originalmente aprobado...”.

**Artículo 103:**

“El financiamiento público para adquisición de maquinaria, equipos y tecnologías destinados a las actividades de extracción, transformación y procesamiento de bienes forestales, atenderá en forma prioritaria la inversión en tecnologías limpias, y las actividades de pequeñas y medianas industrias, empresas de producción social y demás formas comunitarias de producción”.

**2.5 Decreto N° 2219: Normas para regular la afectación de los Recursos Naturales Renovables asociada a la Exploración y Extracción de Minerales**

Expuesta en Gaceta Oficial N° 4.418 con fecha 27 de abril de 1992, “la presente norma tiene por objeto establecer los requisitos para obtener autorizaciones y aprobaciones para la ocupación del territorio, y para la afectación de los recursos naturales renovables, así como lineamientos que permitan controlar las actividades de exploración y extracción de minerales metálicos y no metálicos a cielo abierto, a los fines de atenuar el impacto ambiental que puedan ocasionar tales actividades”.

**Artículo 34:**

“Los materiales comerciales y estériles producto de la actividad extractiva, deberán ser dispuestos de tal manera, que no interrumpan el libre flujo de las aguas de

escorrentía y no constituyan una fuente de alta productividad de sedimentos hacia los cauces”.

**Artículo 35:**

“Las personas autorizadas para realizar cualquier actividad de exploración y extracción de minerales en un área determinada serán responsables de recuperarla de la degradación ambiental que ocasionen...”

**Artículo 36:**

“Cuando se produzcan emisiones gaseosas o de partículas, efluentes líquidos, desechos sólidos o ruido, en cualesquiera de las actividades operativas necesarias para la extracción de minerales, los interesados deberán cumplir con las medidas de control establecidas en el ordenamiento legal vigente sobre la materia”.

**Artículo 38:**

“Se prohíbe la disposición de material de desecho, resultante de las actividades reguladas en el presente Decreto, sobre ladera, barrancos, drenajes naturales o cualquier otro lugar donde se pueda alterar la calidad y el flujo natural del agua y el paisaje”.

**2.6 Decreto N° 638: Normas sobre Calidad del Aire y Control de la Contaminación Atmosférica**

Publicada en Gaceta Oficial N° 4.899 de fecha 19 de mayo de 1995, “este Decreto tiene por objeto establecer las normas para el mejoramiento de la calidad del aire y la prevención y control de la contaminación atmosférica producida por fuentes fijas y móviles capaces de generar emisiones gaseosas y partículas”.

**Artículo 3:**

“A los efectos de estas normas se establecen límites de calidad del aire para los siguientes contaminantes de la atmósfera:

Contaminante	Limite (? g/m <sup>3</sup> )	Porcentaje excedencia en lapso de muestreo	Periodo de medición (horas)
1. Dióxido de azufre	80	50%	24
	200	5%	24
	250	2%	24
	365	0,5%	24
2. Partículas totales suspendidas	75	50%	24
	150	5%	24
	200	2%	24
	260	0,5%	24
3. Monóxido de carbono	10.000	50%	8
	40.000	0,5%	8
4. Dióxido de nitrógeno	100	50%	24
	300	5%	24
5. Oxidantes totales expresados como ozono	240	0.02%	1
6. Sulfuro de hidrógeno	20	0.5%	24
7. Plomo en partículas suspendidas	1,5	50%	24
	2	5%	24
8. Fluoruro de hidrógeno	10	2%	24
	20	0,5%	24
9. Fluoruros	10	2%	24
	20	0,5%	24
10. Cloruro de hidrógeno	200	2%	24
11. Cloruros	200	2%	24

### Límites de calidad del aire

#### Artículo 5:

“Se establece la siguiente clasificación de zonas de acuerdo con los rangos de concentraciones de Partículas Totales Suspendidas (PTS), calculadas en base a promedios anuales.

Partículas ? g /m <sup>3</sup>	Zona
< 75	Aire limpio
75-200	Aire moderadamente contaminado
201-300	Aire altamente contaminado
> 300	Aire muy contaminado

Clasificación de zonas según rangos de concentraciones de Partículas Totales Suspendidas (PTS)

#### Artículo 7:

“La determinación de la concentración de contaminantes en el aire podrá ser realizada por los métodos de muestreo, períodos de medición y métodos analíticos, que se señalan a continuación”:

Contaminante	Método de muestreo	Periodo de medición	Método analítico
Dióxido de azufre	Absorción (manual)	1 hora a 24 horas continuas	Colorimetría (método de la pararosanilina)
	Absorción (manual)	1 hora a 24 horas continuas	Conductimetría (método manual)
	Absorción (manual)	1 hora a 24 horas continuas	Conductimetría (método automático)
	Instrumental (automático)	1 hora a 24 horas continuas	Fotometría de llama (método automático)
	Instrumental (automático)	1 hora a 24 horas continuas	Fluorescencia (método automático)
	Absorción (manual)	24 horas continuas	Cromatografía iónica
Partículas totales suspendidas	Gran Volúmen	24 horas continuas	Gravimetría
Monóxido de carbono	Instrumental (automático)	1 hora u 8 horas continuas	Espectrometría de infrarrojo no dispersivo (automático)
	Instrumental (automático)	1 hora u 8 horas continuas	Electroquímico (método automático)
Dióxido de nitrógeno	Absorción (manual)	24 horas continuas	Colorimetría (método arsenito de sodio)
	Instrumental automático	24 horas continuas	Quimiluminiscencia (método automático)
Oxidantes totales	Absorción (manual)	1 hora continua	Colorimetría (método del

#### Métodos de muestreo, períodos de medición y métodos analíticos

#### Artículo 17:

“En zonas urbanas o vecinas a centros poblados, donde se realicen construcciones, movimientos de tierra, trabajos de vialidad, actividades mineras, procesamiento, acarreo y almacenamiento de sólidos granulares o finamente divididos, susceptibles de producir, emisiones de polvos, se aplicarán las medidas correctivas para controlarlos, se mantendrá el área de trabajo u operaciones libre de escombros y restos de materiales y se acondicionarán las vías de acceso dentro del área de trabajo, a objeto de mantener en estas zonas las concentraciones de partículas totales suspendidas dentro de los límites establecidos en el artículo 3”.

#### Artículo 18:

“Las fuentes fijas localizadas fuera de áreas urbanas deberán considerar entre las medidas mitigantes a cumplir, la forestación o reforestación para impedir la erosión y arrastre de suelo, y formar cortinas rompe vientos que amortigüen el transporte de partículas a sectores vientos abajo de la fuente en cuestión”.

### **Artículo 20:**

“A los efectos de este Decreto, el indicador de la contaminación atmosférica por fuentes móviles es el vehículo con motor diesel”.

### **2.7 Decreto N° 883: Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos.**

Anunciado en Gaceta Oficial N° 5.021 Extraordinaria del 18 de diciembre de 1995, “el presente Decreto establece las normas para el control de la calidad de los cuerpos de agua y de los vertidos líquidos”.

### **Artículo 3:**

“Las aguas se clasifican en...

Tipo 5 Aguas destinadas para usos industriales que no requieren de agua potable”.

Según esta norma, este tipo de agua es el utilizado en actividades mineras.

### **Artículo 10:**

“A los efectos de este Decreto se establecen los siguientes rangos y límites máximos de calidad de vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados, en forma directa o indirecta, a ríos, estuarios, lagos y embalses”. La tabla 4 muestra los rangos límites establecidos por la ley:

<b>Parámetros Físico - Químicos</b>	<b>Límites Máximos o Rangos</b>
Aceites minerales e hidrocarburos	20 mg/l
Aceites y grasas vegetales y animales	20 mg/l
pH	6 a 9
Sólidos Suspendidos	80 mg/l
Sólidos Sedimentables	1 ml/l

Tabla N°4: Rangos límites sobre la calidad de vertidos líquidos  
Fuente: Editado del Decreto N° 883

El uso de valores cuantificables como estos permitirá, posteriormente, comparar la calidad del agua utilizada para las actividades mineras en relación con el agua en su estado natural.

## **2.8 Decreto N° 2216: Normas para el manejo de los Desechos Sólidos de Origen Doméstico, Comercial, Industrial o de cualquier otra naturaleza que no sean peligrosos**

Este decreto, publicado en Gaceta Oficial N° 4.418 Extraordinario del 27 de abril de 1992, “tiene por objeto regular las operaciones de manejo de los desechos sólidos de origen doméstico, comercial, industrial, o de cualquier otra naturaleza no peligrosa, con el fin de evitar riesgos a la salud y al ambiente”.

### **Artículo 2:**

“Los desechos sólidos objeto de este Decreto deberán ser depositados, almacenados, recolectados, transportados, recuperados, reutilizados, procesados, reciclados, aprovechados y dispuestos finalmente de manera tal que se prevengan y controlen deterioros a la salud y al ambiente”.

### **Artículo 5:**

“Los desechos sólidos procesados o no, deberán ser almacenados en recipientes, con el fin de evitar su dispersión”.

### **Artículo 11:**

“Los vehículos abandonados serán removidos mediante la ejecución de servicios especiales y la utilización de unidades específicas para ello destinadas...”

### **Artículo 13:**

“El equipo de recolección y transporte, deberá ser adecuado a las características de la vialidad existente en el área servida, estar identificado y mantenido en óptimas condiciones sanitarias de funcionamiento...”

#### **Artículo 24:**

“Los desechos sólidos cuyas características lo permitan, deberán ser reciclados y aprovechados utilizándolos como materia prima, con el fin de incorporarlos al proceso industrial de producción de bienes. Estos desechos denominados reciclables no deberán representar riesgos a la salud y al ambiente”.

### **2.9 Ley de Minas**

Creada bajo el Decreto N° 295 del 5 de septiembre de 1999, esta Ley tiene por objeto “regular lo referente a las minas y a los minerales existentes en el territorio nacional, cualquiera que sea su origen o presentación, incluida su exploración y explotación, así como el beneficio, o almacenamiento, tenencia, circulación, transporte y comercialización, interna o externa, de las sustancias extraídas, salvo lo dispuesto en otras leyes”.

#### **Artículo 52:**

“El Ministerio de Energía y Minas, conforme lo establece la Ley de Minas, podrá revocar la autorización de explotación cuando los beneficiarios de estas incurran en actos que conlleven a la degradación del medio ambiente, en todo caso, quedarán obligados a reparar íntegramente el daño causado”.

#### **Artículo 91:**

“Los materiales de cola o relave de minas o de plantas de procesamiento de ser ella técnicamente posible, deberán ser depositados en áreas acondicionadas y especialmente localizadas, en cumplimiento con las normas ambientales, a fin de ser procesadas ulteriormente, lo cual se hará según las mejores técnicas disponibles”.

#### **Artículo 92:**

“Los titulares de derechos mineros deberán consignar ante la Inspectoría Técnica Regional de su jurisdicción, el inventario de los equipos que utilice en las labores

mineras, en el cual deberá detallar la capacidad, modelo, cilindrada, serial, horas y número de días operativos promedio y un estimado del consumo de combustible”.

### **2.10 Ley Penal del Ambiente (LPA)**

La Ley Penal del Ambiente fue publicada en Gaceta Oficial N° 39.913 del 02 de mayo de 2012. Su objeto es el de “tipificar como delito los hechos atentatorios contra los recursos naturales y el ambiente e imponer las sanciones penales. Asimismo, determinar las medidas precautelativas, de restitución y de reparación a que haya lugar y las disposiciones de carácter procesal derivadas de la especificidad de los asuntos ambientales”.

#### **Artículo 9:**

“El juez o jueza podrá ordenar, entre otras, las siguientes medidas:

2.- (...) La restauración de los lugares alterados al estado más cercano posible al que se encontraban antes de la agresión al ambiente.

3.- La remisión de elementos al medio natural de donde fueron sustraídos, en caso de ser posible y pertinente.

5.- (...) La reordenación del territorio a fin de tornarlo utilizable ambientalmente con otro uso distinto al original, en aquellos casos en que el daño sea irreparable, al punto de resultar imposible recuperar la vocación inicial del suelo.

6.- La instalación o construcción de los dispositivos necesarios para evitar la contaminación o degradación del ambiente”.

#### **Artículo 15:**

“Las penas se aumentarán hasta la mitad, tomando como base la pena normalmente aplicable, en los siguientes casos:

2.- (...) Cuando el delito se cometiere en lugares, sitios o zonas pobladas o en sus inmediaciones y pusieren en peligro la vida o la salud de las personas”.

### **Artículo 19:**

“Las acciones penales y civiles derivadas de la presente Ley, prescribirán así:

1.- Las penales:

a.- A los cinco años, si el delito mereciere pena de prisión de más de tres años.

b.- A los tres años, si el delito mereciere pena de prisión de tres años o menos, o arresto de más

de seis meses.

c.- Al año, si el hecho punible sólo acarrear arresto por tiempo de uno a seis meses.

2.- Las civiles:

a. A los diez años”.

### **Artículo 36:**

“El funcionario público o funcionaria pública que otorgue actos autorizatorios para la construcción de obras y desarrollo de actividades no permitidas, de acuerdo con los planes de ordenación del territorio o las normas técnicas, en los lechos, vegas y planicies inundables de los ríos u otros cuerpos de agua, será sancionado o sancionada con prisión de seis meses a un año. La sanción acarreará la inhabilitación para el ejercicio de funciones o empleos públicos hasta por dos años después de cumplida la pena principal”.

### **Artículo 37:**

“La persona natural o jurídica que construya obras o desarrolle actividades no permitidas de acuerdo a los planes de ordenación del territorio o las normas técnicas, en los lechos, vegas y planicies inundables de los ríos u otros cuerpos de agua, será sancionada con prisión de seis meses a un año o multa de seiscientas unidades tributarias (600 U.T.) a un mil unidades tributarias (1.000 U.T)”.

**Artículo 38:**

“La persona natural o jurídica que provoque la degradación o alteración nociva de la topografía o el paisaje por actividades mineras, industriales, tecnológicas, forestales, urbanísticas o de cualquier tipo, en contravención de los planes de ordenación del territorio y de las normas técnicas que rigen la materia, será sancionada con arresto de tres a nueve meses o multa de trescientas unidades tributarias (300 U.T.) a novecientas unidades tributarias (900 U.T)”.

**Artículo 39:**

“La persona natural o jurídica que provoque la degradación o alteración nociva de la topografía o el paisaje en zonas montañosas, en sierras o mesetas por actividades mineras, industriales, tecnológicas, forestales, urbanísticas o de cualquier tipo, en contravención de los planes de ordenación del territorio y de las normas técnicas que rigen la materia, será sancionada con prisión de uno a dos años o multa de un mil unidades tributarias (1.000 U.T.) a dos mil unidades tributarias (2.000 U.T)”.

**Artículo 44:**

“El funcionario público o funcionaria pública que otorgue contratos, concesiones, asignaciones, licencias u otros actos administrativos sin cumplir con el requisito del plan de manejo sustentable, en las actividades para las cuales lo exigen las normas sobre la materia, será sancionado o sancionada con arresto de tres meses a un año. La sanción acarreará la inhabilitación para el ejercicio de funciones o empleos públicos hasta por dos años después de cumplida la pena principal”.

**Artículo 56:**

“La persona natural o jurídica que modifique el sistema de control o las escorrentías de las aguas, obstruya el flujo o el lecho natural de los ríos, o provoque su sedimentación en contravención a las normas técnicas vigentes y sin la autorización correspondiente, será sancionada con prisión de uno a cinco años o multa de un mil unidades tributarias (1.000 U.T.) a cinco mil unidades tributarias (5.000 U.T)”.

### **Artículo 58:**

“La persona natural o jurídica que utilice aguas ilícitamente o en cantidades superiores a las que las normas técnicas sobre su uso racional le señalen, será sancionada con arresto de dos a cuatro meses o multa de doscientas unidades tributarias (200 U.T.) a cuatrocientas unidades tributarias (400 U.T.).

Si el uso ilícito o en cantidades superiores a las que hubieren sido autorizadas se realiza con motivo de la ejecución de actividades industriales, agrícolas, pecuarias, mineras, urbanísticas o cualesquiera otras de explotación económica, la sanción será de prisión de seis meses a un año o multa de seiscientas unidades tributarias (600 U.T.) a un mil unidades tributarias (1.000 U.T.).”

### **Artículo 61:**

“Será sancionada con prisión de cinco a ocho años o multa de cinco mil unidades tributarias (5.000 U.T.) a ocho mil unidades tributarias (8.000 U.T.) la persona natural o jurídica que extraiga minerales no metálicos sin la debida autorización en los siguientes sitios:

- 1.- Dentro de la zona protectora de ríos y quebradas.
- 2.- A menos de tres mil metros aguas arriba de tomas para acueductos.
- 3.- En embalses para dotación de agua a comunidades.
- 4.- En embalses para aprovechamiento hidroeléctrico.
- 5.- A menos de mil metros aguas abajo de puentes o de cualquier obra de infraestructura ubicada en el río o sus tributarios.
- 6.- A menos de doscientos metros aguas arriba de puentes o de cualquier obra de infraestructura ubicada en el río o sus tributarios.
- 7.- A menos de cien metros en el sentido lateral a ambas márgenes del río o quebrada donde estén

establecidas obras de infraestructura.

8.- A menos de quinientos metros aguas arriba y aguas abajo de estaciones hidrométricas.

9.- A menos de mil quinientos metros de una explotación continua.

10.- En la confluencia con tributarios”.

**Artículo 84:**

“La persona natural o jurídica que vierta o arroje materiales no biodegradables, sustancias, agentes biológicos o bioquímicos, efluentes o aguas residuales no tratadas según las disposiciones técnicas dictadas por el Ejecutivo Nacional, objetos o desechos de cualquier naturaleza en los cuerpos de aguas, sus riberas, cauces, cuencas, mantos acuíferos, lagos, lagunas o demás depósitos de agua, incluyendo los sistemas de abastecimiento de aguas, capaces de degradarlas, envenenarlas o contaminarlas, será sancionada con prisión de uno a dos años o multa de un mil unidades tributarias (1.000 U.T.) a dos mil unidades tributarias (2.000 U.T.)”.

**Artículo 87:**

“La persona natural o jurídica que provoque la alteración térmica de cuerpos de agua por verter en ellos aguas utilizadas para el enfriamiento de maquinarias o plantas industriales, en contravención a las normas técnicas que rigen la materia, será sancionada con prisión de tres meses a un año o multa de trescientas unidades tributarias (300 U.T.) a un mil unidades tributarias (1.000 U.T.)”.

**Artículo 88:**

“La persona natural o jurídica que descargue al medio marino, fluvial, lacustre o costero en contravención a las normas técnicas vigentes, aguas residuales, efluentes, productos, sustancias o materias no biodegradables o desechos de cualquier tipo, que contengan contaminantes o elementos nocivos a la salud de las personas o al medio marino, fluvial, lacustre o costero, será sancionada con prisión de dos a cuatro años o multa de dos mil unidades tributarias (2.000 U.T.) a cuatro

mil unidades tributarias (4.000 U.T.). El tribunal deberá ordenar la instalación de los dispositivos necesarios para evitar la contaminación y fijará un plazo para ello”.

**Artículo 89:**

“La persona natural o jurídica que vierta hidrocarburos o mezcla de hidrocarburos o sus derivados, directamente en el medio marino, con ocasión de operaciones de transporte, exploración o explotación de la Plataforma Continental y Zona Económica Exclusiva que pueda causar daños a la salud de las personas, a la fauna o flora marina o al desarrollo turístico de las regiones costeras, será sancionada con prisión de uno a tres años o multa de un mil unidades tributarias (1.000 U.T.) a tres mil unidades tributarias (3.000U.T.)”.

**Artículo 96:**

“La persona natural o jurídica que emita o permita escape de gases, agentes biológicos o bioquímicos o de cualquier naturaleza, en cantidades capaces de deteriorar o contaminar la atmósfera o el aire, en contravención a las normas técnicas que rigen la materia, será sancionada con prisión de seis meses a dos años o multa de seiscientas unidades tributarias (600 U.T.) a dos mil unidades tributarias (2.000 U.T.)”.

**Artículo 97:**

“En los casos previstos en los artículos precedentes se ordenará la instalación de los dispositivos necesarios para evitar la contaminación atmosférica o molestias sónicas y se fijará un plazo para ello; si los correctivos no fuesen suficientes o si vencido el plazo los dispositivos no han sido instalados, se ordenará la clausura definitiva de la instalación o establecimiento o unidad de transporte y la publicación especial de la sentencia”.

**Artículo 98:**

“La persona natural o jurídica que viole con motivo de sus actividades económicas las normas nacionales o los convenios, tratados o protocolos internacionales, suscritos por la República para la protección de la capa de ozono del planeta, será

sancionada con prisión de uno a dos años o multa de un mil unidades tributarias (1.000 U.T.) a dos mil unidades tributarias (2.000 U.T.)”.

**Artículo 99:**

“La persona natural o jurídica que infiltre o entierre en los suelos o subsuelos, sustancias, productos o materiales no biodegradables, agentes biológicos o bioquímicos, agroquímicos, residuos o desechos sólidos o de cualquier naturaleza que no sean peligrosos, en contravención a las normas técnicas que rigen la materia, que sean capaces de degradarlos, esterilizarlos, envenenarlos o alterarlos nocivamente, será sancionada con arresto de uno a tres años o multa de trescientas unidades tributarias (300 U.T.) a un mil unidades tributarias (1000 U.T.)”.

**Artículo 110:**

“Los propietarios de fuentes fijas o establecimientos que generen ruidos que por su intensidad, frecuencia o duración fuesen capaces de causar daños o molestar a las personas, en contravención a las normas técnicas vigentes sobre la materia, serán sancionados con arresto de tres a seis meses o multa de trescientas unidades tributarias (300 U.T.) a seiscientas unidades tributarias (600 U.T.)”.

**2.11 Acuerdo de París**

Según Nutall (2015), la Cumbre del Clima de París (COP21), celebrada en diciembre de 2015, dejó como resultado la adopción del Acuerdo de París, que consigue aunar los esfuerzos de la comunidad internacional en materia de cambio climático, estableciendo un mismo marco de trabajo en el que todos los países, en función de sus capacidades pasadas, presentes y futuras, se comprometen a dar respuesta al principal reto medioambiental al que se enfrenta la sociedad actual: el cambio climático.

**2.11.1 Objetivos del Acuerdo de París**

El Acuerdo de París tiene como objetivo principal evitar que el incremento de la temperatura media global del planeta supere los 2°C respecto a los niveles preindustriales. También se busca promover esfuerzos adicionales que

hagan posible que el calentamiento global no supere los 1,5°C. De esta manera, el Acuerdo recoge la mayor ambición posible para reducir los riesgos y los impactos del cambio climático en todo el mundo y, al mismo tiempo, incluye todos los elementos necesarios para que se pueda alcanzar este objetivo.

Además, incluye una meta global que consiste en aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático, promoviendo la resiliencia al clima y el desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero, de un modo que no comprometa la producción de alimentos.

#### **2.11.2 Lineamientos del Acuerdo de Paris**

Cada 5 años, todos los países miembros deben comunicar y mantener sus objetivos nacionales de reducción de emisiones. Además, todos los países deben poner en marcha políticas y medidas nacionales para alcanzar dichos objetivos.

Para las naciones desarrolladas, el acuerdo demanda una mayor exigencia, motivándolos a mostrar liderazgo en la lucha contra el cambio climático al proveer apoyo financiero a países en desarrollo. Se establece una meta de 100,000 millones de dólares de financiamiento a partir de 2020, concediendo que la información de los aportes de los países sea publicada cada dos años. Las partes pueden optar por cumplir con su reducción de emisiones de manera unilateral o cooperar entre sí para lograr una mayor ambición en sus medidas de mitigación. Estos enfoques cooperativos tendrán por objeto impulsar la mitigación global de las emisiones mundiales con lo cual permite la participación de países en desarrollo y desarrollados.

Además, tiene como fin proteger a los medios de vida y ecosistemas, teniendo en cuenta las necesidades urgentes de los países más vulnerables.

**CAPITULO III**  
**MARCO METODOLOGICO**

### **3.1 Tipo de Investigación**

La presente investigación se considera de tipo descriptiva, porque se detallan paso a paso cada una de las acciones consideradas para llevar a cabo el análisis y dotarlo de la interpretación requerida.

### **3.2 Diseño de la Investigación**

Esta investigación se enmarca como No Experimental Transeccional, debido a que su objetivo es: describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado; además, durante la misma se optará por la observación y recolección directa de datos.

### **3.3 Sujeto de Estudio**

Se utilizará como sujeto de estudio a cantera “La Cabrera”, una cantera de arcilla a perteneciente a la Fábrica Nacional de Cemento (FNC), en donde se realizan las operaciones mineras en las que se basará esta investigación. El motivo de la elección de este sujeto de estudio es por la existencia y disponibilidad de trabajos de grado sobre minería en dicha cantera, realizados, además, por la Universidad Central de Venezuela.

### **3.4 Medios, instrumentos, técnicas y métodos de recolección de datos.**

#### **3.4.1 Observación**

Será utilizada durante la visita a la cantera, para detallar los procesos de operaciones mineras ocurridos durante la extracción de arcilla.

#### **3.4.2 Dispositivos electrónicos**

Los dispositivos electrónicos, como cámaras fotográficas, se emplearán para retratar y obtener imágenes sobre aquellos elementos que se consideran relevantes para la investigación. Las fotografías servirán como apoyo durante el desarrollo del Análisis de Ciclo de Vida.

### 3.4.3 Visitas Técnicas

Se ejecutará una visita técnica al sujeto de estudio: cantera “La Cabrera”; con el fin de obtener información sobre su proceso de producción, su ciclo de vida y estudiar los efectos sobre el ambiente ocasionados por las operaciones mineras.

### 3.4.4 Hojas de Cálculo

Las hojas de cálculo se usarán para la muestra de datos por medio de tablas, así como para la realización de los cálculos en la etapa de “Evaluación de Impactos”.

### 3.4.5 Entrevistas:

La herramienta será empleada para recopilar datos de la cantera a través de una serie de preguntas específicas (entrevista) aplicada a diversos actores que, de alguna forma u otra, se considera que están involucrados con las actividades a estudiarse en la cantera.

Serán realizadas dos clases de entrevistas: una a los miembros del Departamento de Operaciones, en la misma se esperan obtener datos de índole técnico sobre las operaciones mineras; y otra a los miembros del Departamento de Ambiente, con la finalidad de conocer datos sobre sus medidas de control a nivel ambiental.

Los perfiles de los entrevistados se muestran a continuación:

- a) Perfil del entrevistado en el departamento de Operaciones:
  - Profesión: se precisa que el individuo a consultar posea conocimientos académicos sobre los ámbitos de interés para la presente investigación. Se podría incluir a profesionales de la ingeniería de minas, ingeniería civil, ingeniería mecánica, ingeniería en geociencias, técnicos en minería y cualquier otra profesión afín involucrada en las actividades de este departamento.

- Cargo en la empresa: que desempeñe un cargo dentro del Departamento de Operaciones.
- Años de experiencia en minería o áreas afines: con mínimo tres (3) años de experiencia dentro del área de actividad del Departamento de Operaciones.
- Años laborando en la empresa: esperado mínimo un (1) año laborando en el sitio de estudio.

b) Perfil de Miembros del departamento de Ambiente:

- Profesión: se precisa que el entrevistado cuente con conocimientos académicos sobre temáticas ambientales, como ingenieros químicos, ingenieros ambientales, ecólogos, biólogos, químicos y cualquier otra profesión afín al campo ambiental.
- Cargo en la empresa: que desempeñe un cargo dentro del Departamento de Ambiente.
- Años de experiencia en minería o áreas afines: con mínimo tres (3) años de experiencia dentro del área de actividad del Departamento de Ambiente.
- Años laborando en la empresa: esperado mínimo un (1) año laborando en el sitio de estudio.

Es probable que un solo consultado no sea capaz de aportar todas las respuestas solicitadas, por lo que será admitida la realización de varias entrevistas a los miembros que cumplan con los perfiles solicitados, o que la misma entrevista pueda ser respondida entre varios profesionales de un área específica.

En caso de no encontrar individuos que cumplan con los perfiles solicitados, los entrevistados deberán cumplir con por lo menos el último de los requerimientos: más de un año laborando en el sitio de estudio, tiempo suficiente para ser capaces de conocer la suficiente información sobre el sujeto de estudio.

### 3.4.5.1 Composición de las entrevistas

Las siguientes planillas de preguntas serán entregadas a los miembros con los perfiles especificados en el ítem anterior, con la finalidad de obtener información requerida sobre los procesos mineros y utilizar los datos como base para la aplicación del Análisis de Ciclo de Vida.

#### 3.4.5.1.1 Entrevista a Miembros del Departamento de Operaciones:

La entrevista constará de dos partes:

##### ❖ Primera parte: Datos de los entrevistados

Será recopilada la información siguiente del profesional entrevistado, en demostración de que, en efecto, cumple con el perfil solicitado.

- Profesión
- Cargo en la empresa
- Años de experiencia en minería o áreas afines
- Años laborando en la empresa

##### ❖ Segunda parte: Preguntas técnicas

La siguiente lista de preguntas se enfoca en obtener información sobre los equipos y sus incidencias en la cantera. Como se desea obtener información general, las respuestas no necesariamente deberán estar basadas en experiencias personales. Lo que se busca es un compendio de respuestas complementadas por varios actores de la cantera especializados en las distintas áreas.

#### • Operaciones unitarias:

##### ➤ Con respecto a los **equipos**:

1. ¿Con cuáles y cuántos equipos (marcas y modelos) cuenta la cantera para la realización de las operaciones mineras?

##### ➤ Con respecto al **combustible de los equipos**:

1. ¿Cuántos litros de combustible utiliza cada equipo?

- Con respecto a los **aceites de los equipos**:
  1. ¿Cuántos litros de aceite utiliza cada equipo?
  2. ¿Cada cuánto tiempo se realiza el cambio de aceites de los equipos?
- Con respecto a **cauchos y filtros** del equipo:
  1. ¿Cada cuánto tiempo se realiza un cambio de cauchos en los equipos?
  2. ¿Cada cuánto tiempo son cambiados los filtros de los equipos?
- Operaciones auxiliares:
  - Con respecto al **agua**:
    1. ¿En qué operación auxiliar es utilizada el agua?
    2. ¿Cuántos litros de agua se utilizan?
    3. ¿De dónde proviene el agua?
  - Con respecto a la **ocupación de tierras**:
    1. ¿Cuánto es el área ocupada de cantera “La Cabrera”?
    2. ¿Cuánto es el área designada para la extracción de arcilla?

#### 3.4.5.1.2 Entrevista a miembros del departamento de Ambiente

Las siguientes interrogantes están basadas en lineamientos ambientales con respecto a cantera La Cabrera.

- ❖ Primera parte: Datos de los entrevistados
  - Profesión
  - Cargo en la empresa
  - Años de experiencia en minería o áreas afines
  - Años laborando en la empresa
- ❖ Segunda parte: Preguntas ambientales
- Operaciones unitarias:
  - Con respecto a los **equipos**:
    1. ¿Se cuenta con algún medio para cuantificar y/o controlar las emisiones de polvo producidas por los equipos durante cada fase? ¿En que está basado?

- Con respecto al **combustible de los equipos**:
  1. ¿Utilizan algún instrumento/método/criterio para medir y/o controlar las emisiones de gases contaminantes (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) producidos por la combustión de los equipos? ¿En que se basa?
  2. ¿Qué acciones se tomarían en caso de producirse un derrame de combustible?
- Con respecto al **aceite de los equipos**:
  1. Una vez finalizada la vida útil de los aceites, ¿En dónde se depositan?
  2. ¿Consideran algún plan de reutilización y/o valoración del aceite quemado?
  3. ¿Qué acciones tomaría en casos de producirse un derrame de aceite?
- Con respecto a **cauchos y filtros** del equipo:
  1. ¿Cuál es la disposición de los cauchos y filtros una vez finalizada su vida útil?
  2. ¿Cuentan con algún plan de reciclaje o reuso para estos consumibles? ¿En que se basa?
- Operaciones auxiliares:
  - Con respecto al **agua**:
    1. ¿El agua es reciclada? De ser positiva su respuesta: ¿De qué manera?
    2. Luego de ser utilizada, ¿Cuál es su disposición final? ¿En dónde se descarga o almacena?
- ❖ **Tercera parte: Posicionamiento ambiental.**
  1. ¿Cómo se figura cantera La Cabrera a nivel ambiental?
  2. ¿Considera que en la cantera se realizan actividades dentro del marco de sustentabilidad? De ser positiva su respuesta, ¿Cuáles?

### 3.5 Análisis de Datos

La aplicación del Análisis de Ciclo de Vida en la presente investigación abarca el estudio de los procesos del ciclo de vida en una cantera de arcilla, enfocado en las

operaciones unitarias (arranque, carga y acarreo) y operaciones auxiliares. Para esto, se realizarán visitas técnicas a la cantera con el fin de obtener información sobre sus equipos y el uso que les asigna a los recursos que se utilizan, así como su comportamiento frente a la protección ambiental.

Una vez obtenidos dichos datos, tanto cualitativos como cuantitativos, se cumplirán las fases del ACV establecidas por las normas ISO:

- **Objetivos y Metas:** se definirán los motivos para la aplicación esta metodología. También se dará información básica sobre los datos.
- **Análisis de Inventario:** se mostrarán los datos obtenidos y relevantes a partir de un inventario.
- **Evaluación de Impactos:** partiendo de los datos, se realizarán cálculos que permitirán cuantificar las emisiones.
- **Interpretación:** se expresan los resultados obtenidos de la fase anterior. Para ello, se mostrarán modelos, aplicación de variaciones a ciertos datos claves, y se propondrán medidas paliativas.

La ejecución del Análisis de Ciclo de Vida permitirá a las unidades de producción de arcilla y de elementos similares, establecerse dentro de los lineamientos del Acuerdo de París, que busca alcanzar la neutralidad de las emisiones, es decir, un equilibrio entre las emisiones y las absorciones de gases de efecto invernadero en la segunda mitad del siglo XXI.

### **3.6 Fase I: Definición de objetivos y alcances**

#### **3.6.1 Metas**

La aplicación del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) para una cantera de arcilla permitirá obtener datos cualitativos y cuantitativos de los recursos utilizados y los impactos generados durante las operaciones mineras de extracción de arcilla. Los resultados obtenidos servirán como base en la toma de decisiones futuras dentro en el marco del desarrollo sustentable.

Las razones para llevar utilizar la herramienta del ACV se enumeran en los siguientes incisos:

1. Comprender de manera clara el comportamiento en los ciclos de producción para canteras de arcilla.
2. Identificar los recursos empleados durante las operaciones mineras.
3. Cuantificar los impactos producidos.
4. Plantear soluciones para mitigar los efectos de las salidas.
5. Proponer medidas para optimizar los procesos de producción en canteras de arcilla.

### **3.6.2 Sistema del producto a estudiar**

El producto del sistema es la arcilla y su sistema es el proceso de operaciones mineras.

### **3.6.3 Unidad funcional**

La unidad funcional considerada para este trabajo de investigación es 1000 T de arcilla producida.

### **3.6.4 Límites del sistema**

- El presente trabajo de investigación se limita a estudiar el recurso y los impactos producidos por las operaciones mineras, dejando de lado el estudio a fondo de las fases posteriores de la producción del cemento.
- Dadas las características propias del sujeto de estudio la voladura no es implementada, y, por tanto, no será considerada dentro del ACV.
- Muchos de los datos requeridos para la realización de cálculos de emisiones no se encontraban cuantificados, por lo que, en los casos en los que sea necesario, se procederá a asumir dichos valores.
- Ciertos datos podrían carecer de exactitud, al considerarse valores promediados o ideales.
- Debido a la gran cantidad de suposiciones que deben ser hechas, los resultados obtenidos no están exentos de imprecisión.
- Las bases de datos disponibles para la realización de ACV generan valores de indicadores a partir de estudios europeo, lo que le suma

varios puntos más de indefinición al establecer el estudio en un país suramericano con los mismos datos.

### **3.6.5 Calidad de datos**

- Aquellos datos que no cuenten con una unidad de medida específica, les será asignada una unidad de cuantificación dentro de esta investigación. Por ejemplo: #Elementos.
- Los datos utilizados para llevar a cabo los cálculos provendrán únicamente de alguno de los siguientes medios: recopilación propia, tomada por el realizador del ACV en cuestión; recopilación bibliográfica, proveniente de otras investigaciones; de manuales o de asunciones.
- Aquellos datos relativos a maquinaria, tales como volumen de aceite utilizado y número total de filtros, serán recabados a partir del propio manual del equipo en cuestión, al considerarse que las especificaciones del fabricante son la información más precisa al respecto.

### **3.6.6 Metodología de ACV**

Durante la tercera fase del ACV (Evaluación de Impacto) se utilizará una metodología para cuantificar las emisiones: el Eco-Indicator 99.

El objetivo del Eco-indicator 99 es el de analizar productos o ideas para encontrar las principales causas de contaminación ambiental y oportunidades de mejora, además de comparar productos, procesos de producción o conceptos de diseño, para después elegir la alternativa menos contaminante.

## **3.7 Fase II: Análisis de Inventario**

### **3.7.1 Procedimiento para la toma de datos**

La recopilación de datos fue obtenida a partir de una visita a cantera “La Cabrera”.

El Gerente de Cantera y el Supervisor de Cantera fueron los responsables de dirigir la visita guiada; así como de ofrecer los datos de importancia,

explicar el proceso de producción de la arcilla y contestar a las preguntas de la entrevista.

De manera clara y detallada, fueron expuestos los siguientes puntos: estado de la cantera, disposición del material, funcionamiento de la planta y disposición de residuos. Asimismo, los miembros del Departamento de Operaciones han sido los encargados responder a las preguntas de naturaleza técnica, que servirían como datos en las fases posteriores del Análisis de Ciclo de Vida. La observación directa, el análisis, la aplicación de entrevistas y la adquisición de registros fotográficos fueron los medios utilizados para consolidar la información requerida.

Por otra parte, la entrevista a los miembros del Departamento de Ambiente fue realizada de manera digital, ya que este departamento no es único de cantera “La Cabrera”, sino que es un departamento general de toda la Fábrica Nacional de Cemento.

Los resultados de ambas entrevistas se muestran a continuación:

### 3.7.2 Respuestas de entrevista a miembros de Operaciones

#### ❖ **Primera parte: Datos de los entrevistados**

La entrevista fue realizada a dos miembros del Departamento de Operaciones con los siguientes perfiles:

- Profesión: Ingeniero de Minas.
- Cargo en la empresa: Jefe de Cantera.
- Años de experiencia en minería o áreas afines: 9 años.
- Años laborando en la empresa: 9 años.

Y:

- Profesión: Técnico en Minería.
- Cargo en la empresa: Supervisor de Cantera.
- Años de experiencia en minería o áreas afines: Mayor a 20 años.
- Años laborando en la empresa: 9 años.

❖ **Segunda parte: Preguntas técnicas**

• Operaciones Unitarias:

➤ Con respecto a los **equipos**:

1. ¿Con cuáles y cuántos equipos (marcas y modelos) cuenta la cantera para la realización de las operaciones mineras?

La información obtenida a partir de las respuestas obtenidas se expone en la tabla 5.

<b>Datos/Fases</b>	<b>Arranque</b>	<b>Carga</b>	<b>Acarreo</b>
Marcas Modelos	Excavadora XCMG XE230	Cargado frontal Cat 938	Camiones Volquetes Triton MP - 03
Cantidad	1	1	3

Tabla N°5: Marcas, modelos y número de equipos en Cantera “La Cabrera”  
Fuente: Elaboración Propia

➤ Con respecto al **combustible de los equipos**:

1. ¿Cuántos litros de combustible utiliza cada equipo?

La tabla 6 muestra los valores de combustible de cada equipo.

<b>Descripción</b>	<b>Diesel (l)</b>
Combustible de equipo de arranque	400
Combustible de equipo de carga	195
Combustible de equipo de acarreo	210

Tabla N°6: Combustible de equipos en cantera “La Cabrera”  
Fuente: Elaboración Propia

➤ Con respecto al **aceite de los equipos**:

1. ¿Cuántos litros de aceite utiliza cada equipo?

En la tabla 7 se expone el volumen y tipo de aceite requerido para cada equipo.

	<b>Aceite de motor (l)</b>	<b>Aceite de transmisión (l)</b>	<b>Aceite hidráulico (l)</b>
<b>Equipo de arranque</b>	25	12	240
<b>Equipo de carga</b>	20	11	170
<b>Equipo de acarreo</b>	24	16	183

Tabla N°7: Aceite de equipos en cantera “La Cabrera”  
Fuente: Elaboración Propia

1. ¿Cada cuánto tiempo se realiza el cambio de aceites de los equipos?

Cada 500 horas.

➤ Con respecto a **Cauchos y Filtros** del equipo:

1. ¿Cada cuánto tiempo se realiza un cambio de cauchos en los equipos?

Cuando lo requiere.

2. ¿Cada cuánto tiempo son cambiados los filtros de los equipos?

Cada 500 horas se cambian los tres tipos de filtros.

• Operaciones auxiliares:

➤ Con respecto al **Agua**:

1. ¿En qué operación auxiliar es utilizada el agua?

Riego de suelos, para fomentar la compactación y evitar el desprendimiento excesivo de polvos.

2. ¿Cuántos litros de agua se utilizan?

Se vacía el contenido de agua de todo el camión cisterna (18000 litros) en tres viajes de acarreo, lo que quiere decir que se utilizan 6000 litros de agua por viaje.

3. ¿De dónde proviene el agua?

El agua se extrae de un Pozo ubicado en cantera San Bernardo.

➤ Con respecto a la **Ocupación de Tierras**:

1. ¿Cuánto es el área ocupada de cantera “La Cabrera”?

150 hectáreas en total, contando tanto la cantera como la planta.

2. ¿Cuánto es el área designada para la extracción de arcilla?

5 hectáreas

### 3.7.3 Respuesta de Entrevista a miembros del departamento de Ambiente

#### ❖ **Primera parte: Datos de los entrevistados**

La entrevista fue realizada a dos miembros del departamento de ambiente, con los siguientes perfiles:

- Profesión: TSU en Minería. Ingeniero Civil.
- Cargo en la empresa: Gerente de Canteras.
- Años de experiencia en minería o áreas afines: 11 años.
- Años laborando en la empresa: 11 años

Y:

- Profesión: Licenciado en Química. Maestría en Ambiente y Desarrollo Sustentable.
- Cargo en la empresa: Especialista Ambiental. Gerencia de Gestión Ambiental.
- Años de experiencia en minería o áreas afines: 10 años.
- Años laborando en la empresa: 6 años

#### ❖ **Segunda parte: Preguntas sobre las operaciones mineras**

##### ● Operaciones Unitarias:

##### ➤ Con respecto a los **equipos**:

1. ¿Cuentan con algún medio para cuantificar y/o controlar las emisiones de polvo producidas por los equipos durante las fases de las operaciones mineras? ¿En que se basa?

No.

##### ➤ Con respecto al **combustible de los equipos**:

1. ¿Utilizan algún instrumento/método/criterio para medir y/o controlar las emisiones de gases contaminantes (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) producidos por la combustión de los equipos? ¿En que se basa?

No.

##### ➤ Con respecto al **aceite de los equipos**:

1. Una vez finalizada la vida útil de los aceites, ¿En dónde se depositan?

En tambores de 208 L.

2. ¿Consideran algún plan de reutilización y/o valoración del aceite quemado?

Se les da disposición final mediante tratamiento térmico. El aceite es usado como combustible alternativo en hornos de cemento en las plantas de INVECEM, empresa cementera filial de la CSC al igual que FNC.

➤ Con respecto a **cauchos y filtros** del equipo:

1. ¿Cuál es la disposición de cauchos y filtros una vez que finalizada su vida útil?

Los cauchos son almacenados bajo techo. Los filtros se colocan en tambores.

2. ¿Cuentan con algún plan de reciclaje o reuso para estos consumibles? ¿En que se basa?

Durante un tiempo se estuvo usando los cauchos como combustible alternativo en el horno de cemento. Actualmente este sistema no está activo, aunque se estudia su posible reactivación.

• Operaciones Auxiliares:

➤ Con respecto al **agua**:

1. ¿El agua es reciclada? De ser positiva su respuesta: ¿De qué manera?

No aplica en esta cantera.

2. Luego de ser utilizada, ¿Cuál es su disposición final? ¿En dónde se descarga o almacena?

El agua de lluvia se infiltra y sigue el patrón de escorrentía del área.

❖ **Tercera Parte: Posicionamiento ambiental.**

1. ¿Cómo se figura cantera La Cabrera a nivel ambiental?

A nivel ambiental, para la cantera se siguen todos los pasos previstos en la legislación vigente: obtención (en este caso

renovación) de la Autorización de Afectación de Recursos Naturales (AARN) por parte del MINEA (ya se tiene la Autorización de Ocupación del Territorio, AOT). Con el AARN se tramita el permiso (impuestos y tributos) por minería no metálica (el cual es estatal) ante la Gobernación del Estado Miranda, SATMIR. En la cantera se sigue un Plan de Explotación Minera, elaborado por la Gerencia de Canteras, en el cual se contempla tiempo de vida útil de la cantera y configuración de esta. La extracción del material se realiza a través de bancos descendentes. La pendiente general del talud adoptada para el diseño de la cantera es de 45° de acuerdo con lo establecido en los planos de topografía presentados al MINEA (DEA Miranda) como parte del Plan de Explotación de la cantera.

2. ¿Considera que en la cantera se realizan actividades dentro del marco de sustentabilidad? De ser positiva su respuesta, ¿Cuáles?

Por definición, la explotación de recursos no renovables no puede ser sustentable, por tanto, la actividad minera no es sustentable. Sin embargo, actuando responsablemente y dentro del Marco Legal Vigente en el país, se compensan y mitigan los impactos ambientales más relevantes de acuerdo con la actividad de cada cantera. Primordialmente, recuperación de taludes y suelos mediante medidas biológico-forestales. La principal actividad es la reforestación con especies autóctonas debido a que la cobertura vegetal interviene en la regulación del ciclo del agua, protección y conservación del suelo, regulación de la temperatura y microclima, conservación de hábitat, entre otros.

#### **3.7.4 Entradas y salidas**

Luego de la visita al sitio de estudio, se evalúa que los grupos de entradas y salidas que forman parte de las operaciones mineras en cantera “La Cabrera” son los que se muestran en la figura 9:



Figura N°9: Tipos y cantidades de equipos de operaciones mineras en cantera “La Cabrera”  
Fuente: Elaboración propia

### 3.7.5 Sistema de producción del cemento

#### 3.7.5.1 Primera etapa: Operaciones mineras

El proceso de operaciones mineras en cantera “La Cabrera” se detalla gráficamente en la figura 10.

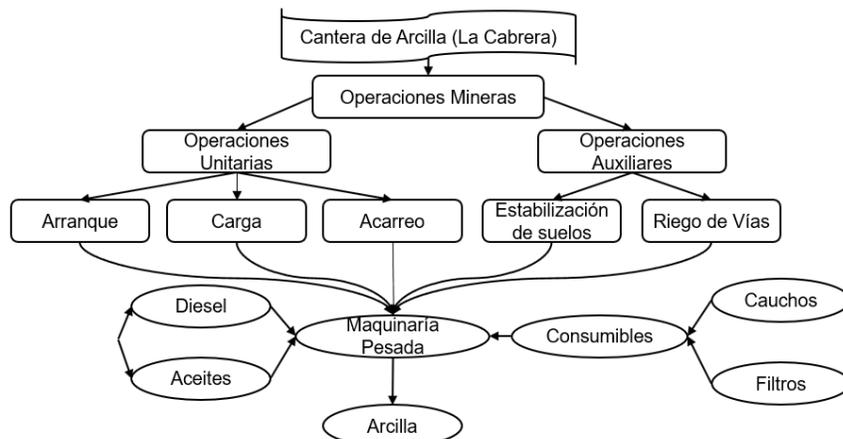


Figura N°10: Primera Etapa: Operaciones Mineras  
Fuente: Elaboración propia

Partiendo de la cantera de arcilla, el medio físico en el que se desarrolla todo el sistema de producción, se da inicio a las operaciones mineras. Estas operaciones se subdividen en dos: Operaciones unitarias (arranque, carga y acarreo) y operaciones auxiliares. Seguidamente, se procede a explicar a detalle en qué consisten:

- **Arranque**

Al inicio de la jornada laboral, el equipo de arranque, el excavador XCMG XE230, realiza un traslado desde la sede hasta la cantera, la cual se encuentra ubicada a una distancia de aproximadamente 2,5 kilómetros. Una vez allí, se le asigna el frente de trabajo que, dependiendo de los requerimientos de planta, podrá ser el frente identificado con material de alto nivel de sílice o de bajo nivel de sílice. Al mismo tiempo, el equipo puede estar llevando a cabo un subproceso de clasificación, apilando los materiales de cierto tipo en un lado u otro, a través de un proceso conocido como escogimiento, tal y como se puede observar en la figura 11.



Figura N°11: Arranque mecánico y clasificación de material con Excavador XCMG XE230  
Fuente: Propia, Cantera “La Cabrera”.

- **Carga**

Frente a una de las pilas previamente clasificadas por el excavador, el cargador frontal Cat 938 comienza con operación

unitaria de carga. En la figura 12 se muestra al equipo de carga ubicado frente a una de las pilas.



Figura N°12: Cargador frontal Cat 938 en espera para realizar la carga  
Fuente: Propia, Cantera “La Cabrera”.

- **Acarreo**

Finalmente, los camiones volquetes se ubican cerca del cargador frontal, para ser cargados y dar comienzo al transporte del material. Este proceso se observa en la figura 13.



Figura N°13: Cargador frontal en proceso de carga del camión  
Fuente: Propia. Cantera la Cabrera.

- **Estabilización de suelos**

Esta fase de operaciones auxiliares es necesaria para fijar el terreno a partir de la compactación y mantenerlo en condiciones óptimas de tránsito.

- **Riego de vías**

El suelo es rociado con agua para mitigar el levantamiento de polvos, sobre todo en el caso de un material tan fino como la arcilla. Un camión cisterna con capacidad para 18000 litros, que es llenado en un pozo de cantera “San Bernardo”, humedece el suelo de todo el camino desde la cantera hasta el patio de homogenización.

Luego de un análisis de las etapas de operaciones mineras se determina que su punto focal es la utilización de maquinaria pesada, y que de ella provienen casi todas las entradas en esta etapa del sistema. Entre ellas, se destacan las siguientes:

- **Diesel:** combustible de cualquier equipo de maquinaria pesada, proveniente de la refinación del petróleo.
- **Aceites:** utilizados para la lubricación de partes del equipo y para su funcionamiento óptimo. Su origen, similar al del diesel, es a partir de la refinación del crudo.
- **Consumibles:** son todos aquellos elementos propios del equipo que deben ser reemplazados durante cada cierto periodo. Para esta investigación, se considerarán los siguientes consumibles:
  - **Cauchos:** originados a partir del proceso de transformación del látex y de una estructura metálica que le da forma alrededor.
  - **Filtros:** fabricados a partir del acero.

### 3.7.5.2 Segunda etapa: Producción del cemento

El proceso de producción del cemento se muestra en la figura 14.

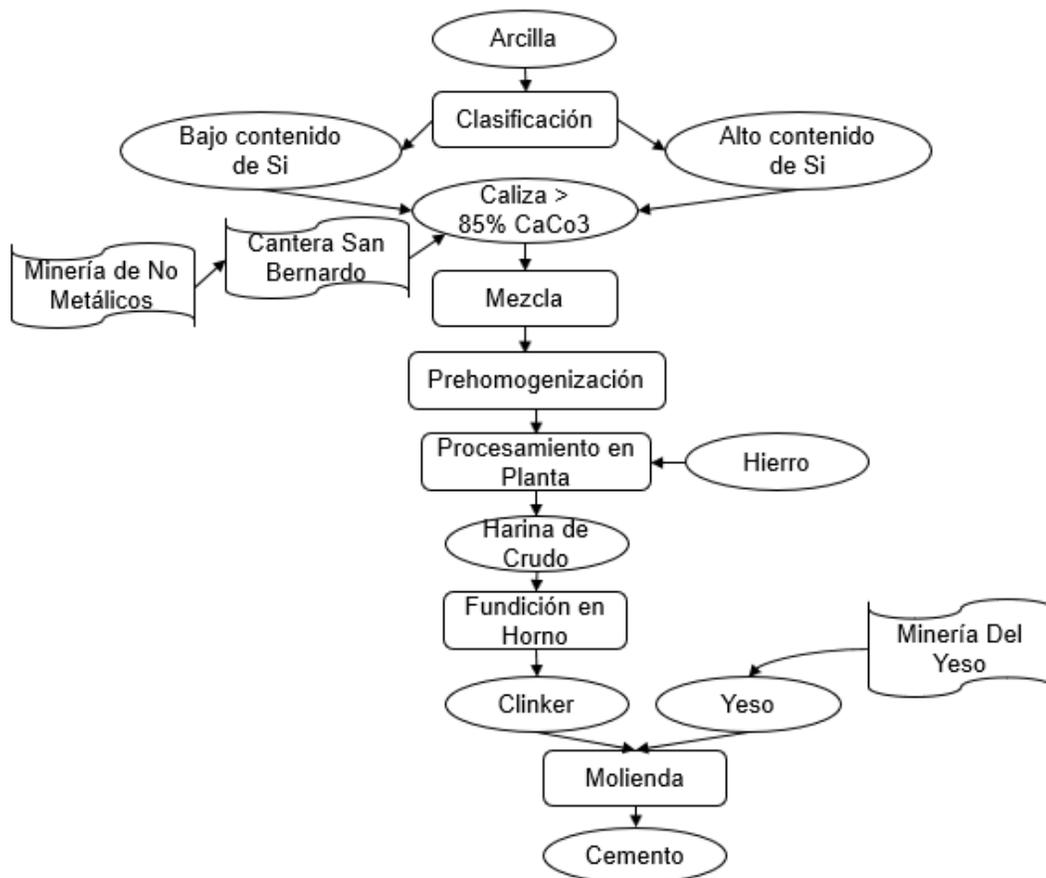


Figura N°14: Segunda Etapa: Producción del cemento  
Fuente: Elaboración propia

La arcilla recogida es dispuesta en dos pilas diferentes, separadas según su composición química en una etapa de clasificación del material arcilloso, que, en el caso de cantera “La Cabrera”, se divide en Material con alto contenido de sílice y material con bajo contenido de sílice. La figura 15 muestra una de las zonas en las que se apila el material arcilloso en la cantera.



Figura N°15: Material arcilloso apilado  
Fuente: Propia. Cantera la Cabrera.

Según los requerimientos de los operadores de planta el material es luego mezclado con caliza con contenido de  $\text{CaCO}_3$  mayor al 85 %, extraída de cantera “San Bernardo”, para regular la cantidad de aluminio presente en la arcilla.

Finalmente, el material se deja reposar en el patio de homogenización.

La arcilla, la caliza y el hierro entran en una fase de procesamiento en la planta de La Cabrera, en donde pasan por tres trituradoras de distintos tamaños y varios metros de cintas transportadoras. Una de las trituradoras y la cinta transportadora pueden apreciarse en las figuras 16 y 17, respectivamente.



Figura N°16: Trituradora de planta  
Fuente: Propia. Cantera “La Cabrera”.



Figura N°17: Cinta transportadora  
Fuente: Propia. Cantera “La Cabrera”.

La mezcla de los tres elementos se conoce como “Harina de Crudo”.

Esta “harina” es introducida en un horno que eleva su temperatura a 1450 °C, formando lo que se conoce *clinker*. El *clinker* es molido junto al yeso para consolidar lo que se conoce como cemento.

### 3.7.5.3 Tercera etapa: Uso del cemento

En la figura 18 se expresa, de manera y gráfica y resumida, el proceso del uso del cemento.

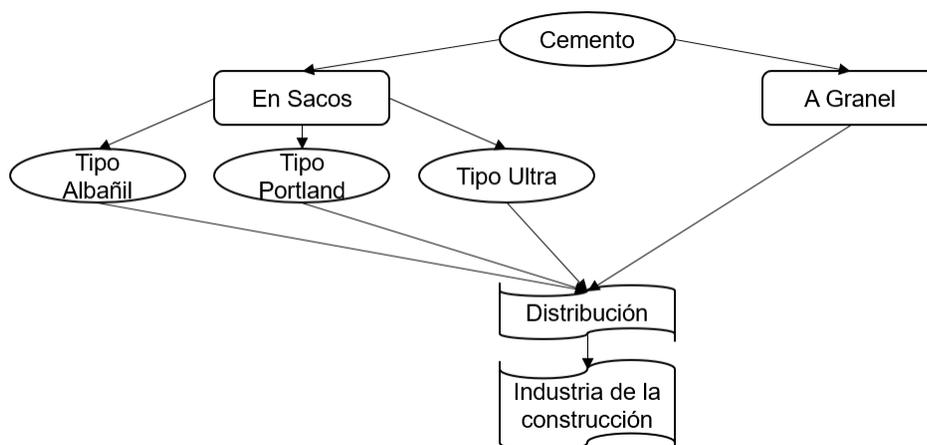


Figura N°18: Tercera Etapa: Uso del cemento  
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, el cemento es dispuesto de dos formas: en sacos, en donde se embolsa para venderlo en las presentaciones “albañil”,

“ultra” y “portland”; o a granel, puesto en camiones directo a las obras de construcción. Ambas deben pasar por un proceso de distribución hacia su destino, en donde formarán parte de la materia prima de algún otro producto en la industria de la construcción, contribuyendo al comienzo de otro ciclo de vida.

### 3.7.6 Inventario

#### 3.7.6.1 Datos reales

Las siguientes tablas 8, 9 y 10 muestran datos reales con información de los equipos extraídos durante la visita a Cantera “La Cabrera”. Estos datos fueron recopilados de manera presencial durante la visita, como respuesta a la entrevista, o a través de investigación de los manuales de cada equipo.

Descripción	Elemento	Unidades	Cantidad
Equipo de arranque	Excavadora XCMG XE230	#Elementos	1
Combustible de equipo de arranque	Diesel	Litros (l)	400
Aceites de equipo de arranque	Aceite de motor	Litros (l)	25
	Aceite de transmisión		12
	Aceite hidráulico		240
	Refrigerante		30
Consumibles	Filtros	#Elementos	16
	Cauchos		N/A

Tabla N°8: Datos Reales sobre el equipo de arranque  
Fuente: Elaboración propia

Descripción	Elemento	Unidades	Cantidad
Equipo de carga	Cat 938	#Elementos	1
Combustible de equipo de carga	Diesel	Litros (l)	195
Aceite de equipo de carga	Aceite de motor	Litros (l)	20
	Aceite de transmisión		11
	Aceite hidráulico		170
	Refrigerante		32
Consumibles	Filtros	#Elementos	15
	Cauchos		4

Tabla N°9: Datos Reales sobre el equipo de carga  
Fuente: Elaboración propia

Descripción	Elemento	Unidades	Cantidad
Equipo de acarreo	Camión Triton MP - 03	#Elementos	3
Capacidad equipo de acarreo	Capacidad	T	25
Combustible de equipo de acarreo	Diesel	Litros (l)	210
Aceites de equipo de acarreo	Aceite de motor	Litros (l)	24
	Aceite de transmisión		16
	Aceite hidráulico		183
	Refrigerante		24
Consumibles	Filtros	#Elementos	16
	Cauchos		18

Tabla N°10: Datos Reales sobre el equipo de acarreo (por unidad de camión)  
Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, la tabla 11 muestra una serie de datos reales con respecto al material y su comportamiento, que serán relevantes para las fases posteriores del ACV.

Descripción	Cantidad	Unidades
Producción Actual	18000	T cemento/mes
Meta de producción	36000	T cemento/mes
Área de cantera "La Cabrera"	5	Hectáreas
Capacidad de equipos de acarreo	25	T/viaje
Jornada laboral	8	horas
Tiempo de reemplazo de filtros	500	horas
Tiempo de reemplazo de aceites (todos los tipos)	500	horas
Tiempo de Reemplazo de cauchos	5000	horas
Densidad de arcilla (semi compactada)	1,47	T Arcilla/m3
Densidad del cemento	833	kg/m3 cemento
Temperatura del horno de <i>Clinker</i>	1450	°C
Distancia cantera - patio de homogenización	2,5	km
Agua (riego de vías)	6000	l/viaje

Tabla N°11: Otros datos reales  
Fuente: Elaboración propia

### 3.7.6.2 Datos que han sido supuestos

Las tablas 12 y 13 muestran datos generados a partir de suposiciones. El motivo de la estimación de dichos datos se debe a información faltante durante la visita, por la dificultad para encontrarla o comprobarla.

Las suposiciones realizadas se han hecho con respecto a los equipos de las operaciones auxiliares. Al efectuarlas con las marcas y modelos de los equipos, bastaría con buscar en los manuales respectivos para encontrar el resto de información relevante.

Se asume la presencia de una Motoniveladora Cat 160M3 AWD para la estabilización de suelos y de un Camión Cisterna Dongfeng DFA1101GZ5AD6J-907 para el riego de vías.

Descripción	Elemento	Unidades	Cantidad
Equipo para estabilización de suelos	Motoniveladora Cat 160M3 AWD	#Elementos	1
Combustible	Diesel	Litros (l)	394
Aceites	Aceite de motor	Litros (l)	30
	Aceite de transmisión		70
	Aceite hidráulico		100
	Refrigerante		32
Consumibles	Filtros	#Elementos	14
	Cauchos		6

Tabla N°12: Datos supuestos sobre el equipo de estabilización de suelos  
Fuente: Elaboración propia

<b>Descripción</b>	<b>Elemento</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>
Equipo para riego de vías	Camión Cisterna Dongfeng	#Elementos	1
Combustible	Diesel	Litros (l)	102
Aceites	Aceite de motor	Litros (l)	9
	Aceite de transmisión		4,2
	Aceite hidráulico		14,5
	Refrigerante		16
Consumibles	Filtros	#Elementos	12
	Cauchos		6

Tabla N°13: Datos supuestos sobre el equipo de riego de vías  
Fuente: Elaboración propia

**CAPITULO IV**  
**ANALISIS DE RESULTADOS**

## 4.1 Fase III: Evaluación de impactos

### 4.1.1 Clasificación

En la figura 19 se establece una clasificación de las salidas generadas por el proceso de producción de arcilla, con sus respectivas categorías de impacto:

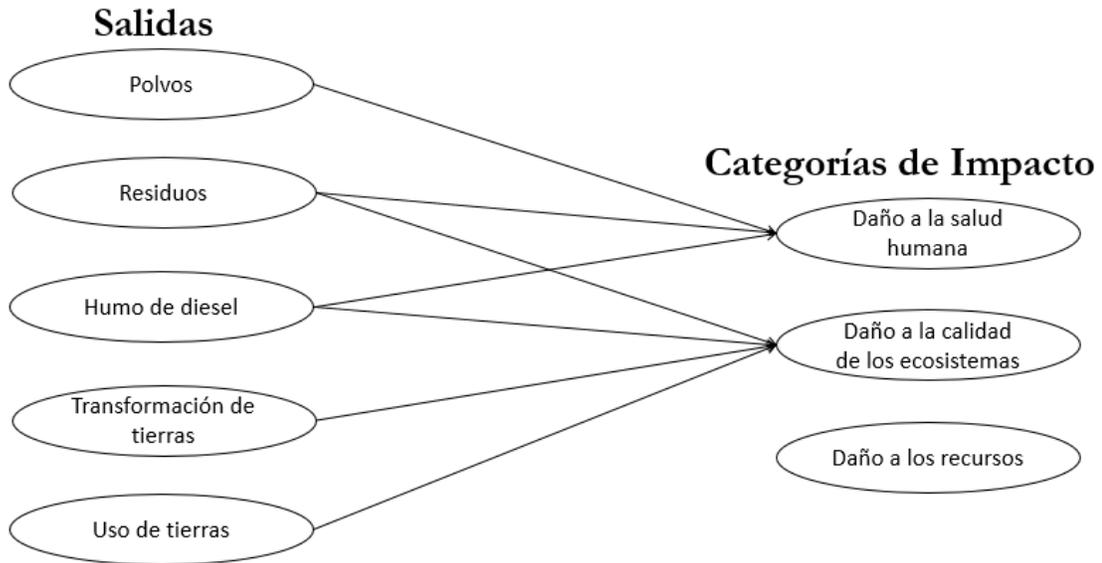


Figura N°19: Asignación de salidas a categorías de impacto  
Fuente: Elaboración propia

### 4.1.2 Cálculos en función de la Unidad Funcional

En la siguiente sección, se realizarán una serie de cálculos necesarios para la Evaluación de Impactos, considerando la Unidad Funcional como un valor imprescindible para los cálculos:

$$U_{\text{Funcional}} = 1000 \text{ T Arcilla}$$

Para el cálculo del tiempo partiremos del valor de producción actual. Sin embargo, debido a que la producción viene dada en función al peso del cemento, es necesario hacer una conversión que permita estimar el peso de arcilla.

La arcilla aporta el óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y una fracción del óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ). Para los efectos de esta investigación, se considerará que la

arcilla aporta la totalidad ambos, lo que quiere decir que aporta un total de 28 % de la mezcla.

Partiendo de que:  $Prod_{CEM} = 18000$  T cemento/mes y  $\%Arc=0,28$

$$Prod_{Arc} = Prod_{CEM} * \%Arc$$

$$Prod_{Arc} = 18000 \text{ T cemento/mes} * 0,28$$

$$Prod_{Arc} = 5040 \text{ T arcilla/mes}$$

Para saber el tiempo que tomará producir 1000 T arcilla, se realizaron los siguientes cálculos:

$$T_{UFuncional} = U_{Funcional} / Prod_{Arc}$$

$$T_{UFuncional} = 1000 \text{ T arcilla} / 5040 \text{ T arcilla/mes}$$

$$T_{UFuncional} = 0,198 \text{ mes} = 5,95 \text{ días}$$

Los días deben expresarse en números naturales, por lo que se hará una aproximación para obtener el tiempo de la Unidad Funcional:

$$T_{UFuncional} \approx 6 \text{ días}$$

#### **4.1.3 Cálculos de emisiones de las salidas**

##### **4.1.3.1 Humo de diesel:**

Se produce como resultado de la combustión del diesel. Su composición está expresada en la tabla 14.

<b>No Tóxicos</b>	
<b>Compuesto</b>	<b>Proporción (kg/l)</b>
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	2,60
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	12
Vapor de agua	1,10
<b>Tóxicos</b>	
<b>Compuesto</b>	<b>Proporción(g/km)</b>
Monóxido de carbono (CO)	0,05
Óxido dinitrógeno (NO <sub>x</sub> )	0,08
Hidrocarburos sin quemar (HC)	0,09
Óxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	0,17
Partículas de diesel (PM)	0,7

Tabla N°14: Composición del humo de diesel  
Fuente: Modificado de “La contaminación diésel provoca el 90 % del NO<sub>2</sub> acumulado en el aire”(Armas, 2015).

➤ **Elementos no tóxicos**

En la tabla 15, se procede a determinar los valores de los elementos contaminantes no tóxicos presentes en el humo de diesel, producido por los equipos en cantera “La Cabrera”. Para esto, es necesario contar con la cantidad de litros de diesel empleados en cada equipo, así como la proporción de emisiones por cada uno.

<b>Equipo</b>	<b>Diesel (l)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (Kg)</b>	<b>N<sub>2</sub> (Kg)</b>	<b>Vapor de agua (Kg)</b>
Proporción (kg/l)	N/A	2,6	12	1,1
Excavadora XCMG XE230	400	1040	4800	440
Cat 938	195	507	2340	214,5
Camión Triton MP – 03	630	1638	7560	693
Motoniveladora Cat 160M3 AWD	394	1024,4	4728	433,4
Camión Cisterna Dongfeng	102	265,2	1224	112,2
<b>TOTAL</b>	<b>1721</b>	<b>4474,6</b>	<b>20652</b>	<b>1893,1</b>

Tabla N°15: Proporción de componentes no tóxicos en el diesel de equipos.  
Fuente: Elaboración Propia

Para la producción de la unidad funcional, se va a asumir que el consumo total de diesel de los equipos se realiza cada 3 días. Entonces:

$$\#Recargas_{Diesel} = T_{UFuncional} / T_{ConsumoD}$$

$$\#Recargas_{Diesel} = 6 \text{ días} / 3 \text{ días}$$

$$\#Recargas_{Diesel} = 2$$

Se estima que se deben realizar dos recargas de combustible para producir 1000 T de arcilla, lo que estaría produciendo el doble de emisiones. La tabla 16 muestra la proporción de componentes no tóxicos durante la producción de la Unidad Funcional.

Equipo	Diesel (l)	CO <sub>2</sub> (Kg)	N <sub>2</sub> (Kg)	Vapor de agua (Kg)
Proporción (kg/l)	N/A	2,6	12	1,1
Excavadora XCMG XE230	800	2080	9600	880
Cat 938	390	1014	4680	429
Camión Triton MP - 03	1260	3276	15120	1386
Motoniveladora Cat 160M3 AWD	788	2048,8	9456	866,8
Camión Cisterna Dongfeng	204	530,4	2448	224,4
<b>TOTAL</b>	<b>3442</b>	<b>8949,2</b>	<b>41304</b>	<b>3786,2</b>

Tabla N°16: Proporción de componentes no tóxicos durante la producción de la Unidad Funcional

Fuente: Elaboración propia

#### ➤ Elementos tóxicos

Debido a que la proporción de los elementos tóxicos viene en función de gramos producidos por kilómetros, es necesario determinar la distancia que recorre cada equipo para lograr producir el valor de la Unidad Funcional.

Sabiendo que la capacidad de los camiones de acarreo es 25 T/viaje, entonces:

$$\#Viajes = U_{Funcional} / Cap_{Cam}$$

$$\#Viajes = 1000 \text{ T arcilla} / 25 \text{ T/viaje}$$

$$\#Viajes = 40 \text{ Viajes}$$

Se estima que los camiones realizan 40 viajes en total para lograr transportar 1000 T de arcilla. La distancia total que a desplazar es de:

$$D_{TOTAL} = \#Viajes * d_{cant-patio}$$

$$D_{TOTAL} = 40 \times 2,5 \text{ km}$$

$$D_{TOTAL} = 100 \text{ km}$$

El recorrido total de los camiones es de 100 km en total para extraer 1000 T de arcilla, el mismo tramo que realizarán algunos de los equipos de operaciones auxiliares ya que, durante cada viaje, ellos deben pasar para regar y estabilizar el terreno. Entonces:

$$D_{CAMION} = D_{CISTERNA} = D_{MOTONIVELADORA} = 100 \text{ km}$$

Con respecto a la excavadora y al cargador frontal, estos son equipos cuyas labores requieren de menos desplazamientos, por lo que, asumiremos que su desplazamiento es un cuarto de la distancia total:

$$\frac{1}{4} D_{TOTAL} = 25 \text{ km}$$

$$D_{EXC} = D_{CARGF} = 25 \text{ km}$$

Calculadas todas las distancias recorridas, es posible determinar la proporción de los componentes tóxicos producidos por el humo de diesel en Cantera "La Cabrera", la cual se expone en la tabla 17:

<b>Equipo</b>	<b>Distancia recorrida (km)</b>	<b>CO (g)</b>	<b>NO<sub>x</sub> (g)</b>	<b>HC (g)</b>	<b>SO<sub>2</sub> (g)</b>	<b>Partículas (g)</b>
Proporción (g/km)	N/A	0,05	0,08	0,09	0,17	0,7
Excavadora XCMG XE230	25	1,25	2	2,25	4,25	17,5
Cat 938	25	1,25	2	2,25	4,25	17,5
Camión Triton MP - 03	100	5	8	9	17	70
Motoniveladora Cat 160M3 AWD	100	5	8	9	17	70
Camión Cisterna Dongfeng	100	5	8	9	17	70
<b>TOTAL (g)</b>	<b>350</b>	<b>17,5</b>	<b>28</b>	<b>31,5</b>	<b>59,5</b>	<b>245</b>

Tabla N°17: Proporción de Componentes tóxicos durante la producción de la Unidad Funcional

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.3.2 Residuos de aceites

Para los efectos de esta investigación no se hará discriminación según el tipo de aceite. Por ello, se asumirá que todos los tipos de aceites, de todos los equipos, son almacenados en los mismos contenedores y se comportan de manera similar a nivel de composición química.

La tabla 18 muestra el total de aceite utilizado por cada equipo antes de realizar un cambio.

<b>Equipo</b>	<b>Aceite de motor (l)</b>	<b>Aceite de transmisión (l)</b>	<b>Aceite hidráulico (l)</b>	<b>Refrigerante (l)</b>
Excavadora XCMG XE230	25	12	240	30
Cat 938	20	11	170	32
Camión Triton MP - 03	72	48	549	24
MoTiveladora Cat 160M3 AWD	30	70	100	32
Camión Cisterna Dongfeng	9	4.2	14.5	16
<b>Total por tipos (l)</b>	<b>156</b>	<b>145,2</b>	<b>1073,5</b>	<b>134</b>
<b>Total General (l)</b>	<b>1508,7</b>			

Tabla N°18: Tipos de aceites por equipos  
Fuente: Elaboración propia

Se utilizarán un total de 1508,7 litros de aceite antes de que se haga un reemplazo (a las 500 horas). Sin embargo, es necesario conocer cuánto tiempo tomará para producir la unidad funcional:

$$T_{\text{UFuncional}} = 6 \text{ días} = 144 \text{ h}$$

En este ocasión, el Factor de Cambio representa el número de cambios de aceite necesarios para llegar a la Unidad Funcional:

$$FC_{\text{ACEITE}} = T_{\text{UFuncional}} / T_{\text{Reemplazo}}$$

$$FC_{\text{ACEITE}} = 144 \text{ h} / 500 \text{ h}$$

$$FC_{\text{ACEITE}} = 0,288$$

El total de aceite consumido hasta llegar a extraer 1000 T de arcilla es:

$$\text{Aceite}_{\text{UFuncional}} = \text{Aceite}_{\text{Total}} * FC_{\text{ACEITE}}$$

$$\text{Aceite}_{\text{UFuncional}} = 1508,7 \text{ l} * 0,288$$

$$\text{Aceite}_{\text{UFuncional}} = 434,50 \text{ litros}$$

Una vez calculada la cantidad de aceite usado, se determina la cantidad de masa producida de elementos tóxicos en la tabla 19.

Tipo de Elemento	Compuesto	Proporción (PPM)	Masa de Compuesto (g)
Halógenos	Cl	1900	825,55
Elementos inorgánicos	Ar	5	2,17
	Ba	40	17,38
Elementos metálicos	Pb	321	139,47
	Zn	490	212,90
	Cr	7	3,04
	Cd	7	3,04
Orgánicos clorados y no clorados	Hidrocarburos	2258	981,10

Tabla N°19: Proporción de compuestos generados por el aceite usado para producir la Unidad Funcional

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.3.3 Residuos por consumibles:

La cantidad total de filtros y cauchos por todos los equipos de la cantera, se muestran en la tabla 20.

Etapa	Equipo	Filtros	Cauchos
Arranque	Excavadora XCMG XE230	16	0
Carga	Cat 938	15	4
Acarreo	Camión TriT MP - 03	144	36
Estabilización de Suelos	Motoniveladora Cat 160M3 AWD	14	6
Riego de Vías	Camión Cisterna Dongfeng	12	6
<b>Total</b>		<b>175</b>	<b>40</b>

Tabla N°20: Cantidad de filtros y cauchos por equipos (Contando 3 equipos de acarreo)

Fuente: Elaboración propia

Se sabe que los filtros tienen el mismo tiempo de vida útil que el aceite: 500 horas. Entonces, podrá emplearse el mismo valor de Factor de Cambio:

$$FC_{\text{FILTRO}} = FC_{\text{ACEITE}} = 0,288$$

Para determinar la cantidad de filtros que deberán ser reemplazados hasta alcanzar la Unidad Funcional, se esboza el siguiente cálculo:

$$\text{Filtro}_{\text{UFuncional}} = \text{Filtro}_{\text{Total}} * \text{FC}_{\text{FILTRO}}$$

$$\text{Filtro}_{\text{UFuncional}} = 175 \text{ Filtros} * 0,288$$

$$\text{Filtro}_{\text{UFuncional}} = 50,4 \text{ Filtros}$$

Los consumibles considerados en este estudio (cauchos y filtros) solo serán reemplazados al consumir la totalidad de horas de su vida útil, por lo que, el valor generado de filtros consumidos, no se refiere más que al desgaste por uso equivalente de todos los filtros en ese periodo de tiempo. Este fenómeno se puede expresar en forma de porcentaje:

$$\% \text{Desg}_{\text{FILTROS}} = (\text{Filtro}_{\text{UFuncional}} / \text{Filtro}_{\text{Total}}) * 100$$

$$\% \text{Desg}_{\text{FILTROS}} = (50,4 \text{ filtros} / 175 \text{ filtros}) * 100$$

$$\% \text{Desg}_{\text{FILTROS}} = 28,8$$

Con respecto a los cauchos, se asumirá, a partir de datos promediados en los manuales, que el reemplazo se hará cada 5000 horas. Con esta información es posible identificar su factor de cambio:

$$\text{FC}_{\text{CAUCHOS}} = \text{T}_{\text{UFuncional}} / \text{T}_{\text{Reemplazo}}$$

$$\text{FC}_{\text{CAUCHOS}} = 144 \text{ h} / 5000 \text{ h}$$

$$\text{FC}_{\text{CAUCHOS}} = 0,0288$$

La cantidad de cauchos que tendrán que ser cambiados hasta producir la Unidad Funcional es de:

$$\text{Caucho}_{\text{UFuncional}} = \text{Caucho}_{\text{Total}} * \text{FC}_{\text{CAUCHOS}}$$

$$\text{Caucho}_{\text{UFuncional}} = 40 \text{ Cauchos} * 0,0288$$

$$\text{Caucho}_{\text{UFuncional}} = 1,152 \text{ Cauchos}$$

Cuyo equivalente en porcentaje de desgaste es:

$$\% \text{Desg}_{\text{CAUCHOS}} = (\text{Caucho}_{\text{UFuncional}} / \text{Caucho}_{\text{Total}}) * 100$$

$$\% \text{Desg}_{\text{CAUCHOS}} = (1,152 \text{ Cauchos} / 40 \text{ Cauchos}) * 100$$

$$\% \text{Desg}_{\text{CAUCHOS}} = 2,88$$

#### **4.1.3.4 Polvos**

En Cantera “La Cabrera” no se cuenta con un medio o dispositivo para la medición del polvo emitido por los factores erosivos y por la propia actividad minera.

Por esta razón, el autor deberá asumir un valor de 10 g de polvo por cada 1000 T de arcilla producida, con un tamaño de partícula de 2 $\mu$  (tamaño arcilla).

#### **4.1.3.5 Uso de tierras y transformación de tierras:**

El dato requerido para este cálculo es el área de la cantera, cuyo valor es de 5 Hectáreas.

#### **4.1.4 Evaluación de Daños**

Las tablas 21 y 22, muestran los datos extraídos de las listas presentadas en el Reporte de Metodología del Eco-indicator 99 que se ajustan de mejor modo a la investigación, en las categorías de impacto “Daño a la salud humana” y “Daño a la calidad de los ecosistemas”, respectivamente. Los elementos considerados son: el principio contaminante (medio o compuesto químico responsable de la contaminación) y un coeficiente propio de la metodología conocido como “Factor de Daño”, que permite cuantificar el impacto en función de la categoría de impacto a la que pertenece.

Emisión	Principio Contaminante	Factor de Daño	Masa del Compuesto (g)	Daño (DALY)
Humo de diesel	NO <sub>x</sub>	8,87E-05	28	0,0024
	SO <sub>2</sub>	5,46E-05	59,5	0,0032
	CO <sub>2</sub>	2,80E-06	8949200	25,05
	Partículas de diesel sueltas	9,78E-06	245	0,0023
	HCFC-123	6,60E-06	31,5	0,00021
	HCFC-124	8,50E-05	31,5	0,0026
	HCFC-22	2,80E-04	31,5	0,0080
Polvos	Polvo (PM2.5)	7,00E-04	10	0,0070
Residuos de aceites	Cadmio (Agua)	7,12E-02	3,04	0,21
	Cadmio (Suelo)	3,98E-03	3,04	0,012
	Arsénico (Agua)	6,57E-02	2,17	0.14273325
	Arsénico (Suelo)	1,32E-02	2,17	0.028677

Tabla N°21: Categoría de impacto "Daños a la Salud Humana"

Fuente: Elaboración Propia

Emisión	Principio Contaminante	Factor de Daño	Masa del Compuesto (g)	Daño (PDFxM <sup>2</sup> xAño)
Humo de diesel	NO <sub>x</sub>	5,71	28,00	159,96
	SO <sub>2</sub>	1,04	59,50	61,93
Residuos de aceites	Cadmio (Agua)	480	3,04	1459,92
	Cadmio (Suelo)	30,10	3,04	91,55
	Zinc (Agua)	16,30	212,91	3470,35
	Zinc (Suelo)	2980	212,91	634456,90
	Arsénico (Agua)	11,40	2,17	24,76
	Arsénico (Suelo)	610	2,17	1325,22
	Plomo (Agua)	7,39	139,47	1030,71
	Plomo(Suelo)	12,90	139,47	1799,22
Emisión	Principio Contaminante	Factor de Daño	Área (M2)	Daño (PDFxM <sup>2</sup> xAño)
Uso de tierras	Uso de tierras de tipo III-IV	0,96	50000	48000
	Ocupación como área industrial	0,84	50000	42000
Transformación de tierras	Transformación a área industrial	25,16	50000	1258000

Tabla N°22: Categoría de impacto "Daños a la Calidad del Ecosistema"

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.6 Consumo de agua

De la entrevista, se pudo recopilar la información de la cantidad de litros de agua empleados por el camión cisterna durante cada viaje para el riego de vías:

$$V_{\text{AguaCam}} = 6000 \text{ l/viaje}$$

De cálculos previos, se sabe que la cantidad de arcilla que debe ser transportada para generar la Unidad Funcional, es de 40 viajes.

Entonces:

$$\text{Agua}_{\text{UFuncional}} = V_{\text{AguaCam}} \times \#\text{Viajes}$$

$$\text{Agua}_{\text{UFuncional}} = 6000 \text{ l/viaje} \times 40 \text{ viajes}$$

$$\text{Agua}_{\text{UFuncional}} = 240000 \text{ l}$$

## 4.2 Fase IV: Interpretación

### 4.2.1 Análisis de Evaluación de Daños

#### 4.2.1.1 Daño a la salud humana

La tabla 23 muestra los 5 compuestos que generan más daño a la salud humana en la producción de 1000 T de arcilla:

Emisión	Principio Contaminante	Masa del Compuesto (g)	Daño (DALY)
Humo de diesel	CO <sub>2</sub>	8949200	25,06
	HCFC-22	31,5	0,0088
Residuos de aceites	Cadmio (Agua)	3,04	0,21
	Arsénico (Agua)	2,17	0,14
Polvos	Polvo (PM2.5)	10	0,007

Tabla N°23: Compuestos más nocivos para la salud humana en la producción de 1000 T de arcilla

Fuente: Elaboración propia

Analizando los resultados, la mayoría de los valores parece no afectar de manera significativa el tiempo de vida. Lo más probable es que esto sea debido a que la cantidad de equipos que laboran en cantera "La Cabrera", generadores de la totalidad de emisiones en las operaciones mineras, es relativamente baja. Sin embargo, se hace necesario realizar un análisis cuantitativo y con la menor cantidad de suposiciones posibles, para tener una figura más clara del concepto.

➤ **CO<sub>2</sub>**

El contaminante que genera un mayor valor de DALY es el CO<sub>2</sub>, con 25,06 años de vida perdidos a causa de sus efectos. Y es que, a pesar de no ser realmente un gas tóxico, el CO<sub>2</sub> es uno de los gases con mayores repercusiones a nivel de salud, de manera directa e indirecta. Su afectación se debe a tres factores: a su sencillo medio de consumo, a través de la respiración; a su abundancia en la corteza terrestre y a su influencia en la calidad del aire.

Si bien a una baja exposición de CO<sub>2</sub> no se experimenten síntomas severos, a mayores y prolongadas exposiciones se experimentan efectos como: sensación de inhabilidad para respirar (disnea), ritmo aumentado del pulso, jaqueca, mareos, sudor, fatiga, desorientación y distorsión visual desarrollada y, en los casos más severos, afectación al corazón.

➤ **HCFC-22**

Al igual que el resto de los hidrocarburos, el HCFC-22 muestra variados efectos sobre la salud, que dependen de su medio de contacto, destacando tres órganos principales: Pulmón (provocando tos, ahogo, sibilancias y ronqueras), aparato gastrointestinal (irritantes de boca, faringe e intestino, náuseas, malestar intestinal, distensión abdominal, eructos y flatulencia) y sistema nervioso central ( letargia, aturdimiento estupor y coma).

➤ **Cadmio**

Proveniente del residuo de aceites, el cadmio (tanto en agua como en suelo) los efectos tóxicos del cadmio se manifiestan especialmente en los huesos y riñones. Los síntomas son: náuseas, vómitos, dolores abdominales y cefalea. En muchos casos hay diarrea intensa con colapso. Estos síntomas aparecen cuando se ingiere agua o alimentos con cadmio en concentraciones de alrededor de 1 ppm. Entre los daños que se producen en estos órganos podemos citar osteomalacia y necrosis del tejido renal. La semivida del cadmio en el cuerpo es de 10 a 30 años.

➤ **Arsénico**

El arsénico es un agente carcinogénico para humanos, con base en estudios epidemiológicos que relacionan la ingesta de arsénico en el agua de bebida y cáncer en la piel, y estudios ocupacionales que relacionan la exposición al arsénico y cáncer de pulmón. Se dice basta con concentraciones tan ínfimas como 50 µg/L para que resulte nocivo para la salud.

➤ **Polvo**

El polvo se encuentra como el quinto de los principios contaminantes con mayores incidencias en la salud, a pesar de haber elegido un valor relativamente bajo para estimar su emisión. Una de las principales enfermedades producidas por el polvo es la neumoconiosis.

**4.2.1.2 Daño al ecosistema:**

En la tabla 24 se destacan los cinco principios contaminantes con mayores efectos sobre los ecosistemas circundantes al sitio de estudio.

<b>Emisión</b>	<b>Principio contaminante</b>	<b>Factor de daño</b>	<b>Área (M2)</b>	<b>Daño (PDFxM2xAño)</b>
Uso de tierras	Uso de tierras de tipo III-IV	0,96	50000	48000
	Ocupación como área industrial	0,84	50000	42000
Transformación de tierras	Transformación a área industrial	25,16	50000	1258000
<b>Emisión</b>	<b>Principio contaminante</b>	<b>Factor de daño</b>	<b>Masa del compuesto (g)</b>	<b>Daño (PDFxM2xAño)</b>
Residuos de aceites	Zinc (Agua)	16,3	212,91	3470,3515
	Plomo(Suelo)	12,9	139,47	1799,22105

Tabla N°24: Compuestos más propensos a ocasionar daños al ecosistema durante la producción de 1000 T de arcilla  
Fuente: Elaboración Propia

➤ **Uso de tierras de tipo III-IV**

Por su constante permanencia y el tiempo tan prolongado para revertir el daño ocasionado, el uso de tierras es uno de los principios contaminantes que más afecta a los ecosistemas, siendo el uso de tierras de tipo III-IV establecido para cantera “La Cabrera” al tratarse una actividad industrial duradera y que implica varios cambios sobre el terreno.

➤ **Ocupación como área industrial**

Por su parte, la ocupación como área industrial también genera un valor muy alto (42.000, respectivamente). Los efectos de estos dos principios del Uso de Tierras tienen una gran influencia en todos y cada uno de los medios (agua, fauna, flora, aire, entre otros), por este motivo es que su valor es tan alto.

➤ **Transformación de tierras**

La transformación de tierras cuenta con uno de los valores más altos debido a las implicaciones de este desarrollo, que son las mismas implicaciones de cualquier actividad minera: deforestación, degradación de recursos naturales, afectación de las especies florales, migración de fauna, entre otros.

### ➤ **Zinc**

Uno de los elementos que generan mayor cantidad de contaminantes es el zinc (212,91 PDFxM2xaño), especialmente en el agua. Esto se debe a la gran cantidad de Zinc presente en los aceites quemados.

Su afectación en los suelos se ve reflejada en las plantas, que a menudo tienen una toma de zinc que sus sistemas no pueden manejar, lo que genera que, en suelos ricos en zinc, sólo un número limitado de plantas tiene la capacidad de sobrevivir.

### ➤ **Plomo**

El acceso del plomo a los ecosistemas es a través del suelo o la superficie de aguas para las partículas grandes, mientras que las pequeñas viajan largas distancias a través del aire y permanecen en la atmósfera. El Plomo se acumula en los cuerpos de los organismos acuáticos y organismos del suelo, pudiendo afectar incluso a las funciones en el fitoplancton, una fuente de importante producción de oxígeno en mares.

#### **4.2.2 Análisis sobre la contaminación del aire basado en el Decreto N° 638**

En el Artículo 3, se fijan los límites de los principios contaminantes permitidos en el aire. Entre los presentes en este estudio, se encuentran: partículas suspendidas, dióxido de carbono y dióxido de azufre. El mismo decreto plantea una serie de rangos con los valores límites de emisiones, en un período determinado de tiempo.

Las emisiones producidas por estos principios contaminantes están expresadas en la tabla 25:

Principio contaminante	Período de emisiones (h)	Emisiones (g/m <sup>3</sup> )	Rango límite (g/m <sup>3</sup> )	¿Excede el límite?
CO	8	1,69	10000-40000	NO
SO <sub>2</sub>	24	17,27	85 - 365	NO
Partículas suspendidas	24	71,17	75 - 260	NO

Tabla N°25: Emisiones medidas en función a los límites establecidos por el Decreto N° 638

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la tabla, los valores de principios contaminantes no exceden los límites de emisiones. Esta apreciación puede deberse a la poca cantidad de equipos que intervienen durante el proceso de producción, aunque hay que considerar que estos valores fueron extraídos a partir de estimaciones, por lo que no la valoración no se encuentra exenta de imprecisiones.

En el Artículo 5, se muestran los límites con los que se considera la calidad del aire con respecto a la cantidad de partículas suspendidas. Debido a la baja cantidad de partículas (71,17 g/m<sup>3</sup>), se considera que el aire en cantera “La Cabrera” es un aire limpio.

Sin embargo, es importante mantener un control de la concentración de contaminantes en el aire, mediante métodos de muestreo, períodos de medición y métodos analíticos. Los métodos propuestos por el decreto en el Artículo 7, especificados para los principios contaminantes estudios, se muestran a continuación:

- Para Partículas Suspendidas: Gravimetría.
- Para Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>): colorimetría, conductimetría, fotometría de llama, fluorescencia y cromatografía iónica.
- Para Monóxido de Carbono (CO): espectrometría infrarroja no dispersiva, quimioluminiscencia.

#### 4.2.3 Aplicación de modelos para analizar los daños producidos con distintas variables

Los siguientes modelos muestran los cálculos que sirvan para el análisis en esta investigación, pero con la variación de datos claves, tales como la producción o el tiempo, basado en condiciones reales.

##### 4.2.3.1 Primer modelo: A partir de la producción total mensual

Considerando ahora que la unidad funcional es la producción total del mes:

$$\text{Prod}_{\text{Arc}} = 5040 \text{ T arcilla}$$

$$T_{\text{PROD}} = 1 \text{ mes} = 30 \text{ días}$$

Las tablas 26, 27, 28, 29 y 30 muestran los valores más destacables durante la producción total mensual.

##### ❖ Humo de diesel

NO TOXICOS: 10 Recargas						
Compuesto	Diesel (l)	CO <sub>2</sub> (Kg)	N <sub>2</sub> (Kg)	Vapor de Agua (Kg)		
<b>TOTAL</b>	17.210	44.746	206.520	18.931		

TÓXICOS: D <sub>CAMION</sub> = D <sub>CISTERNA</sub> = D <sub>MOTONIVELADORA</sub> = 505 km; D <sub>EXC</sub> = D <sub>CARGF</sub> = 126,25 km						
Compuesto	Distancia (km)	CO (g)	NO <sub>x</sub> (g)	HC (g)	SO <sub>2</sub> (g)	Partículas (g)
<b>TOTAL (g)</b>	1.767,5	88,37	141,40	159,08	300,48	1.237,25

Tabla N°26: Proporción de componentes tóxicos y no tóxicos generados por el humo de diesel durante la producción de 5040 T de arcilla

Fuente: Elaboración propia

##### ❖ Residuos de diesel

Residuos de aceite: con un total de 2.172,53 litros de diesel utilizados								
Compuesto	Cl	Ar	Ba	Pb	Zn	Cr	Cd	HC
<b>Masa de Compuesto (g)</b>	4.127,81	10,86	86,90	697,39	1.064,54	15,21	15,21	4.905,57

Tabla N°27: Proporción de compuestos en residuos de aceite durante la producción de 5040 T de arcilla

Fuente: Elaboración propia

❖ **Residuos de consumibles**

Residuos por consumibles		
Consumibles	#Cambios	%Desgaste
Filtros	1	44
Cauchos	0	14,3

Tabla N°28: Gastos de consumibles para la producción de 5040 T de arcilla  
Fuente: Elaboración propia

❖ **Polvos**

La cantidad de polvo será determinada a partir una relación de la estimación realizada durante la fase de evaluación de impactos:

$$\text{Polvos} = \text{Prod}_{\text{ARC}} \times 10 \text{ g}/U_{\text{Funcional}}$$

$$\text{Polvos} = 5040 \text{ T arcilla} \times 10 \text{ g} / 1000 \text{ T arcilla}$$

$$\text{Polvos} = 50,4 \text{ g}$$

❖ **Uso de tierras**

Al tratarse de la misma área para la cantera, este aspecto permanece invariable, por lo que aún se considera:

$$A_{\text{CANTERA}} = 5 \text{ hectáreas}$$

❖ **Evaluación de daños a la salud humana**

Emisión	Principio contaminante	Masa del Compuesto (g)	Daño (DALY)
Humo de diesel	CO <sub>2</sub>	44.746.000	125,29
	HCFC-22	159,08	0,045
Residuos de aceites	Cadmio (Agua)	15,21	1,083
	Arsénico (Agua)	10,86	0,71
Polvos	Polvo (PM2.5)	50,40	0,035

Tabla N°29: Cinco compuestos más nocivos para la salud humana en la producción de 5040 T de arcilla al mes  
Fuente: Elaboración propia

❖ **Evaluación de daños al ecosistema**

<b>Emisión</b>	<b>Principio Contaminante</b>	<b>Factor de Daño</b>	<b>Masa del Compuesto (g)</b>	<b>Daño (PDFxM2xAño)</b>
Residuos de aceites	Zinc (Suelo)	2.980	1.064,54	3.172.329,20
	Plomo(Suelo)	12,9	697,38	8.996,23
<b>Emisión</b>	<b>Principio Contaminante</b>	<b>Factor de Daño</b>	<b>Área (M2)</b>	<b>Daño (PDFxM2xAño)</b>
Uso de tierras	Uso de tierras de tipo III-IV	0,96	50.000	48.000
	Ocupación como área industrial	0,84	50.000	42.000
Transformación de tierras	Transformación a área industrial	25,16	50.000	1.258.000

Tabla N°30: Compuestos más propensos a ocasionar daños al ecosistema durante la producción de 5040 T de arcilla al mes

Fuente: Elaboración propia

❖ **Análisis del primer modelo**

Con un aumento de más de 4 veces la Unidad Funcional considerada en la etapa de Evaluación de Impactos, todos los valores de emisiones aumentaron en la misma proporción. Siguen predominando los mismos principios contaminantes que al analizar la Unidad Funcional, aunque el aumento en los valores de DALY resulta considerable, con el CO<sub>2</sub> encabezando la lista con 125,29 años.

A pesar del aumento y de la invariabilidad en los valores, uso de tierras y transformación de tierras, siguen permaneciendo como las emisiones con mayores efectos para el ecosistema, por los mismos motivos explicados anteriormente.

Este modelo resulta de especial interés ya que es aquél que más se ajusta a la realidad actual de la cantera. Sin embargo, la meta de la empresa no es permanecer allí con esos valores de producción, sino lograr duplicarla para el año 2019.

#### 4.2.3.2 Segundo modelo: A partir de la meta de producción

Durante la visita, los representantes de la cantera contaron su intención de duplicar la producción mensual, por lo que para este modelo se está considerando que:

$$\text{Prod}_{\text{Arc}} = 10080 \text{ ton arcilla}$$

$$T_{\text{PROD}} = 1 \text{ mes} = 30 \text{ días}$$

Lo valores obtenidos para este modelo se destacan en las tablas 31, 32, 33, 34 y 35.

##### ❖ Humo de diesel

No Tóxicos: 20 Recargas						
Compuesto	Diesel (l)	CO <sub>2</sub> (Kg)	N <sub>2</sub> (Kg)	Vapor de Agua (Kg)		
<b>TOTAL</b>	34.420	89.492	413.040	37.862		

TÓXICOS: D <sub>CAMION</sub> = D <sub>CISTERNA</sub> = D <sub>MOTONIVELADORA</sub> = 1.010 km; D <sub>EXC</sub> = D <sub>CARGF</sub> = 252,5km						
Compuesto	Distancia (km)	CO (g)	NO <sub>x</sub> (g)	HC (g)	SO <sub>2</sub> (g)	Partículas (g)
<b>TOTAL (g)</b>	3.535	176,75	282,80	318,15	600,95	2.474,5

Tabla N°31: Proporción de componentes tóxicos y no tóxicos generados por el humo de diesel con una producción de 10080 T de arcilla al mes  
Fuente: Elaboración propia

##### ❖ Residuos de diesel

Residuos de Aceite: con un total de <b>4345,06 litros</b> de diesel utilizados								
Compuesto	Cl	Ar	Ba	Pb	Zn	Cr	Cd	HC
<b>Masa de Compuesto (g)</b>	8.255,61	21,73	173,80	1.394,76	2.129,08	30,42	30,42	9.811,14

Tabla N°32: Proporción de compuestos en residuos de aceite durante la producción de 10080 T de arcilla al mes  
Fuente: Elaboración propia

❖ **Residuos de consumibles**

Residuos por consumibles		
Consumibles	#Cambios	%Desgaste
Filtros	2	88
Cauchos	0	28,6

Tabla N°33: Gastos de consumibles para la producción de 10080 T de arcilla al mes  
Fuente: Elaboración Propia

❖ **Polvos**

Se producirán el doble de polvos que con el modelo anterior.

Entonces:

$$\text{Polvos} = 100,8 \text{ g}$$

❖ **Uso de tierras**

Al tratarse de la misma área para la cantera, este aspecto permanece invariable, por lo que en este modelo también:

$$A_{\text{CANTERA}} = 5 \text{ hectáreas}$$

❖ **Evaluación de daños a la salud humana**

Emisión	Principio contaminante	Masa del compuesto (g)	Daño (DALY)
Humo de diesel	CO <sub>2</sub>	89.492.000	250,58
	HCFC-22	318,15	0,089
Residuos de aceites	Cadmio (Agua)	30,41	2,16
	Arsénico (Agua)	21,72	1,43
Polvos	Polvo (PM2.5)	100,80	0,071

Tabla N°34: Cinco compuestos más nocivos para la salud humana en la producción de 10080 T de arcilla al mes  
Fuente: Elaboración propia

❖ **Evaluación de daños al ecosistema**

<b>Emisión</b>	<b>Principio contaminante</b>	<b>Factor de daño</b>	<b>Masa del compuesto (g)</b>	<b>Daño (PDFxM2xAño)</b>
Residuos de aceites	Zinc (Suelo)	2.980	2.129,08	6.344.658,40
	Plomo(Suelo)	12,90	1394,76	17.992,40
<b>Emisión</b>	<b>Principio Contaminante</b>	<b>Factor de Daño</b>	<b>Área (M2)</b>	<b>Daño (PDFxM2xAño)</b>
Uso de tierras	Uso de tierras de tipo III-IV	0,96	50.000	48.000
	Ocupación como área industrial	0,84	50.000	42.000
Transformación de tierras	Transformación a área industrial	25,16	50.000	1.258.000

Tabla N°35: Compuestos más propensos a ocasionar daños al ecosistema durante la producción de 10080 T de arcilla al mes  
Fuente: Elaboración propia

❖ **Análisis del Segundo Modelo**

Es lógico pensar que, para producir el doble, los equipos deben trabajar el doble y consumir el doble de recursos, a pesar de laborar en el periodo habitual.

A nivel de daños, tanto a la salud como a los ecosistemas, los mismos principios contaminantes siguen siendo los mayores emisores, lo que lleva a pensar que son estos los que deben tratarse primero.

**4.2.3.2 Tercer modelo: Vida del yacimiento**

Para cumplir con el principio del Análisis de Ciclo de Vida, es necesaria una visión holística de la actividad minera. Es por esto por lo que este modelo se basa en mostrar las emisiones generadas durante la vida del yacimiento estudiado.

Para Sánchez (2015), la vida estimada del yacimiento de “La Cabrera” es la siguiente:

$$V_{YAC} = 5,63 \text{ años} = 2.026,8 \text{ días} = 49.318,8 \text{ horas}$$

Las tablas 36, 37, 38, 39 y 40 expresan los valores obtenidos para la vida del yacimiento.

❖ **Humo de diesel**

No tóxicos: 676 recargas						
Compuesto	Diesel (l)	CO <sub>2</sub> (Kg)	N <sub>2</sub> (Kg)	Vapor de Agua (Kg)		
<b>TOTAL</b>	<b>1.163.396</b>	<b>3.024.830</b>	<b>1,4E+07</b>	<b>1.279.736</b>		
Tóxicos: D <sub>CAMION</sub> = D <sub>CISTERNA</sub> = D <sub>MOTONIVELADORA</sub> = 33.150 km; D <sub>EXC</sub> = D <sub>CARGF</sub> = 8.287,5 km						
Compuesto	Distancia (km)	CO (g)	NO <sub>x</sub> (g)	HC (g)	SO <sub>2</sub> (g)	Partículas (g)
<b>TOTAL (g)</b>	<b>116.025</b>	<b>5.801,25</b>	<b>9.282</b>	<b>10.442,3</b>	<b>19.724,3</b>	<b>81.217,5</b>

Tabla N°36: Proporción de componentes tóxicos y no tóxicos generados por el humo de diesel durante toda la vida del yacimiento

Fuente: Elaboración propia

❖ **Residuos de diesel**

Residuos de aceite: con un total de 148.815,15 litros de diesel utilizados								
Compuesto	Cl	Ar	Ba	Pb	Zn	Cr	Cd	HC
<b>Masa de compuesto (g)</b>	282.749	744,08	5.952,61	47.769,70	72.919,40	1.041,71	1.041,71	336.025

Tabla N°37: Proporción de compuestos en residuos de aceite durante toda la vida del yacimiento

Fuente: Elaboración propia

❖ **Residuos de consumibles**

Residuos por consumibles		
Consumibles	#Cambios	%Desgaste
<b>Filtros</b>	987	30
<b>Cauchos</b>	9	87

Tabla N°38: Gastos de consumibles durante toda la vida del yacimiento

Fuente: Elaboración propia

❖ **Polvos**

Primero, debe determinarse las toneladas de material producidas durante la vida de la mina:

$$\text{Prod}_{\text{VIDA}} = \text{Prod}_{\text{MENSUAL}} \times V_{\text{YAC}}$$

$$\text{Prod}_{\text{VIDA}} = 5040 \text{ T arcilla/mes} \times 67,56 \text{ meses}$$

$$\text{Prod}_{\text{VIDA}} = 340502,4 \text{ T arcilla}$$

De acuerdo con las proporciones del modelo original:

$$\text{Polvos} = \text{Prod}_{\text{VIDA}} \times 10 \text{ g/U}_{\text{Funcional}}$$

$$\text{Polvos} = 340502,4 \text{ T arcilla} \times 10 \text{ g /1000 T arcilla}$$

$$\text{Polvos} = 3405,02 \text{ g}$$

❖ **Uso de tierras**

Una vez más, se mantiene la misma área de la cantera:

$$A_{\text{CANTERA}} = 5 \text{ hectáreas}$$

❖ **Evaluación de daños a la salud humana**

Emisión	Principio Contaminante	Masa del Compuesto (g)	Daño (DALY)
Humo de diesel	CO <sub>2</sub>	3.024.830.000	8.469,52
	HCFC-22	10.442,30	2,92
Residuos de aceites	Cadmio (Agua)	1.041,71	74,17
	Arsénico (Agua)	744,08	48,89
Polvos	Polvo (PM2.5)	3.405,02	2,39

Tabla N°39: Cinco compuestos más nocivos para la salud humana durante toda la vida de la mina

Fuente: Elaboración propia

❖ **Evaluación de Daños al ecosistema**

<b>Emisión</b>	<b>Principio contaminante</b>	<b>Factor de daño</b>	<b>Masa del compuesto (g)</b>	<b>Daño (PDFxM2xAño)</b>
Residuos de aceites	Cadmio (Agua)	480	1.041,71	500.020,80
	Zinc (Agua)	16,3	72.919,40	1.188.586,22
	Arsénico (Suelo)	610	744,08	453.888,80
	Plomo(Suelo)	12,9	47.769,70	616.229,13
<b>Emisión</b>	<b>Principio Contaminante</b>	<b>Factor de Daño</b>	<b>Área (M2)</b>	<b>Daño (PDFxM2xAño)</b>
Transformación de tierras	Transformación a área industrial	25,16	50.000	1.258.000

Tabla N°40: Compuestos más propensos a ocasionar daños al durante toda la vida de la mina

Fuente: Elaboración propia

❖ **Análisis del tercer modelo**

Al considerar un periodo tan extendido como lo es la vida del yacimiento, no sorprende que los valores de daños se incrementen proporcionalmente.

En el tema de daños a la salud, dado que se mantienen los mismos principios contaminantes que en todos los demás modelos anteriormente analizados, esta vez resalta la afectación debido a la ventana de tiempo de vida del yacimiento, por lo cual debe hacerse énfasis en la mitigación de emisiones como el principal problema a abordar, al cual debe dedicársele más atención debido a que actúa con mayor contundencia.

En este caso, existe una variación en los principales contaminantes del ecosistema, en los que se han considerado inamovibles aquellos ocasionados por el uso de tierras, puesto que no cambian con respecto al valor de eficiencia. Esta variación consiste en sustituir los daños por el uso de la tierra por afectación con sustancias químicas acumuladas, como el zinc, cadmio, plomo y arsénico, los cuales también estuvieron presentes en los modelos anteriores. Este hecho indica que las medidas de mitigación deben dirigirse principalmente a

reducirlas y palearlas, considerando que la composición de residuos de aceites contiene metales pesados.

#### 4.2.4 Análisis sobre la generación de residuos

De todas las posibles salidas, aquellas que corresponden a residuos, los sólidos son las más visibles y evidentes.

En todos los modelos, aquellos números totales de residuos de aceites y consumo de diesel resultan en valores altos, sobre todo por su contenido de compuestos químicos con potencial contaminantes.

Otro residuo importante son los filtros de aceite, cuyos cambios totales durante la vida de la mina serán de 987, por lo que este residuo sólido es acumulativo y además puede contener aceite remanente, lo que representa un doble problema que a largo plazo debe ser abordado y dispuesto adecuadamente para evitar daños al ambiente.

En cuanto a los cauchos, se requerirán 9 cambios de cauchos hasta la culminación de la vida del yacimiento. Esta cantidad de cauchos se le debe planificar un destino o incluso un uso posterior de estos residuos.

El estado actual de los cauchos en cantera “La Cabrera” se aprecia en la figura 20.



Figura N°20: Depósito de cauchos en “La Cabrera”  
Fuente: Propia

Los cauchos, residuos inertes, se encuentran agrupados en una zona que originalmente se utilizaba para apilar la arcilla, y, en la actualidad, ha pasado a ser un área de disposición de desechos sólidos.

#### **4.2.5 Análisis sobre el consumo de agua**

En cuanto al manejo del agua, en cantera “La Cabrera” se utiliza agua de un pozo ubicado en cantera “San Bernardo”, del cual se extrae el recurso para la actividad de riego. En el tema de la gestión integral del agua, se debe considerar no solo el proceso de extracción, sino la incorporación que se cumple con los preceptos de aprovechamiento sustentable del ciclo hidrológico y reposición del recurso.

Se detecta que queda pendiente la evaluación del estado del pozo, así como la capacidad y velocidad de recarga de los acuíferos, como lo dispone el artículo 56 de la LOA. Esto, no solo con el fin de preservar el recurso, sino de evitar sanciones por sobreexplotación y agotamiento de fuentes de agua, como las establecidas en el artículo 113 de la Ley de Aguas.

#### **4.2.6 Implicaciones legales**

Es necesario tomar medidas para evitar en lo posible la degradación del ambiente en todos sus ámbitos. Como lo establece el Artículo 52 de la Ley de Minas, “el ministerio pertinente tiene la capacidad de revocar la autorización de explotación cuando los beneficiarios de éstas incurran en actos que conlleven a la degradación del medio ambiente y, además, quedarán obligados a reparar íntegramente el daño causado”.

Las sanciones no solo parten por el uso desmedido, irracional e incorrecto de los recursos, sino por la inadecuada disposición de los desechos. De existir excepciones, como aquellos casos en los que, por cualquier motivo, los desechos no puedan ser reciclados ni procesados, deberán destinarse a un sitio de disposición final, el cual deberá acondicionarse para la disposición de los desechos sólidos por los métodos que no alteren la calidad de los

recursos naturales y de la salud. Todos estos escenarios deberán ser estudiados en los distintos ámbitos de la planificación minera.

Las penalidades legales por daños al medio ambiente van desde cárcel, con 5 a 10 años de prisión (LPA, Artículo 10) hasta multas de diversos montos (LPA, Artículo 37, 38, 39, 56, 58, 61, 84, 87, 88, 89, 96, 98, 99 y 110).

### **4.3 Establecimiento de propuestas de solución para las problemáticas detectadas**

Para la propuesta de soluciones, se parte del reconocimiento de las problemáticas, para enfocar los esfuerzos en la búsqueda de soluciones eficientes a los mismos. A continuación, se plantean una serie de propuestas, cuyo propósito será el de coadyuvar a la gestión de los residuos sólidos mineros, bien en estados de depósito, almacenaje, recolección, transporte, recuperación, reutilización, procesamiento, reciclaje, aprovechamiento y disposición final, de modo que se puedan prevenir y controlar los posibles deterioros a la salud humana y los daños al ambiente (Artículo 2, Decreto N° 2216).

Sin embargo, antes de acceder a su aplicación, se exhorta a cantera “La Cabrera” a que considere realizar un estudio más profundo de cada una de ellas, así como de las características propias de las salidas en cuestión, con el fin de determinar si las propuestas expuestas a continuación son efectivas para su caso específico.

#### **4.3.1 Humo de diesel**

Para la gestión de contaminantes del aire, se abarcan los siguientes aspectos, propuestos por Elliot (1996):

- Control de la generación de aires contaminados
- Control de los contaminantes generados en la mina
- Minimización de efectos adversos de operación de mejoramiento del área
- Minimización individual y efectos acumulativos de contaminantes de aire en una región

Las soluciones por contemplarse deben considerar: la calidad existente del aire, los controles en los emisores y la posibilidad de canalizar las partículas y disponer de ellas adecuadamente. Un método propuesto por Elliot (1996) es la construcción de barreras físicas para interceptar y modificar el flujo de aire.

A continuación, se esbozan algunas medidas para la gestión de la contaminación del aire.

#### **4.3.1.1 Instalación de un opacímetro para la medición de emisiones de gases**

Debido a la ausencia de equipos que permitan la medición de emisores, uno de los puntos que deben atenderse para el logro de la sustentabilidad a largo plazo, es la obtención de datos sobre los contaminantes en tipos y cantidades. Todo esto se hace necesario debido a que uno de los aspectos requeridos para la conservación de la calidad ambiental es vigilar que las emisiones de la atmósfera no sobrepasen los niveles permisibles establecidos por las normativas técnicas (Artículo 60, LOA); en este contexto, se propone la implementación de un opacímetro para la medición, seguimiento y control de emisiones gaseosas.

La instalación de un opacímetro permitiría registrar el control de los gases emitidos por los vehículos equipados con motor diesel, para valorar la cantidad de hidrocarburos sin quemar y, por tanto, la cantidad que se genera, con la finalidad de obtener más información sobre las emisiones por humo de diesel y establecer una estrategia de gestión y toma de decisiones.

#### **4.3.1.2 Revisión del tubo de escape y el catalizador**

En el sistema de escape de los equipos es el lugar dónde se procura atrapar el máximo posible de sustancias nocivas derivadas de la combustión antes de ser emitidas a la atmósfera, es por ello que se hace indispensable asegurarse del estado de los tubos de escape,

para verificar la existencia de fugas. Esto es importante ya que una mala combustión del motor produce mayor cantidad de humo de diesel y, por tanto, mayores emisiones contaminantes.

#### **4.3.1.3** Condicionamiento de superficies para capturar carbono

Al incrementar la superficie cubierta por biomasa boscosa, mediante: forestación, reforestación, agroforestería, forestación urbana, enriquecimiento y extensión de rotaciones; se cumple con el objetivo de aumentar el área capaz de capturar carbono liberado. Este tipo de proyectos no sólo comprende las plantaciones de gran extensión, sino también plantaciones en pequeños predios, que incluso podrían participar como programas de forestación urbana que son de una envergadura mucho menor.

En el caso de cantera “La Cabrera”, se propone emplear el estéril de la mina, material para la formación de capa vegetal que no tiene ningún uso asignado por los momentos, en la planificación minera, con el fin de reforestar la zona, dándole uso al material estéril y, al mismo tiempo, cumpliendo con la captura de carbono para minimizar las emisiones de elementos contaminantes de los humos de diesel.

Esta actuación puede presentar ventajas desde el punto de vista legal, ya que, según el Artículo 83 de la Ley Forestal de Suelos y Aguas: “el aprovechamiento de toda clase de suelos deberá ser practicado de forma tal que se mantenga su integridad física, y su capacidad productora...”, por lo que el estéril de la cantera estaría abarcando ambos aspectos propuestos por la ley.

#### **4.3.2** Polvos

Siendo los polvos elementos inevitables durante la actividad minera, en especial en los procesos de producción de arcilla, resulta imperativo que deban ser monitoreados con frecuencia, e incluso considerados durante el

diseño de la explotación, para asegurarse de que el desarrollo mantenga los niveles adecuados para el ambiente.

En el área circundante deben determinarse las fuentes generadoras de particulado, que variará dependiendo de las condiciones meteorológicas. Estas deben ser vigiladas y formar parte de la planificación minera del yacimiento. El monitoreo debe hacerse para determinar el impacto ambiental y la determinación de concentraciones en el ambiente, para lo que se debe partir de una línea base, valores iniciales de las emisiones de particulados, para realizar un monitoreo efectivo.

La importancia del control de polvos se refleja en el Artículo 17 del Decreto N° 638, que propone aplicar las medidas correctivas para controlar las emisiones que podrían afectar poblados cercanos. Este es el caso de cantera “La Cabrera”, ya que el material fino que produce puede ser transportado por el aire hasta una comunidad cercana a la cantera, una zona urbana conocida como Pueblo Nuevo. La vulnerabilidad de las comunidades frente a las actividades mineras es algo considerado en la legislación, que debe ser respetado y asumido operativa e internalizada en la planificación minera.

#### **4.3.2.1 Control de emisiones**

De acuerdo con Elliot (1996), el control de emisiones se puede conseguir mediante la aplicación de una serie de consideraciones:

- Uso apropiado del agua en zonas en donde hay presencia de polvos
- Determinación de la actuación sobre uno o más emisores de polvo,
- Áreas vegetales expuestas en extensivas áreas abiertas
- Minimización de áreas expuestas a través del planeamiento
- Incorporación de los procesos meteorológicos dentro de la planificación minera de corto y largo plazo
- Minimización del peso del material que vaya en caída libre

- Uso de materiales más duros y compactos (no desmenuzables) para las vías, de modo de reducir el levantamiento de polvos
- Agregar ciertos químicos en forma de espáis de agua.
- Limitar la velocidad de equipos en las vías, ya que al incrementar la misma aumentan también las emisiones de polvos

#### **4.3.2.2 Intersección de contaminantes y modificación del flujo de aire**

Alguna especie de barrera física puede ser usada para minimizar la emisión de polvo. Incluso son admitidos los medios naturales, como montañas, para evitar la propagación de polvos en cierta dirección (Elliot, 1996).

La zona de influencia y porosidad de cada barrera serán factores claves. Mantener la vegetación alta puede ser útil para interceptar el polvo emitido del sitio. En “La Cabrera”, sería ideal la construcción de escombreras reforestadas, que servirían como medio de barreras para la segregación de polvos.

El argumento de la reforestación se ve reforzado en el Artículo 18 del Decreto N° 638, en donde también se propone como una medida mitigante de polvos para impedir la erosión y arrastre de suelo, de modo de formar cortinas rompe vientos que amortigüen el transporte de partículas a sectores vientos abajo de la fuente en cuestión.

#### **4.3.3 Aceites quemados**

Se considera el aceite usado como uno de los contaminantes líquidos tóxicos más peligrosos. Esto es debido a la cantidad de metales pesados presentes en su composición y al problema de su disposición posterior. Sin embargo, el aceite usado puede dejar de ser un pasivo ambiental, debido a su potencial de reúso. Un ejemplo es el caso del aceite drenado que, mediante un proceso de refinamiento, puede ser reutilizado en forma de aceites lubricantes o combustible.

Para su correcta gestión, el aceite se puede almacenar en depósitos, tal y como se muestra en la figura 21, y ser devueltos al productor. Los mismos se pueden volver a refinar mediante procesos similares a los de la obtención de aceite a base de refinación de petróleo y emplearse nuevamente en procesos productivos, alargando así su ciclo de vida.



Figura N°21: Recipientes empleados para el reciclaje de aceite  
Fuente: <http://www.reporteurbano.cl/2015/09/04/reutilizacion-ejemplar-en-requinoa-recolectan-aceites-usados-para-crear-biocombustibles/> (mayo, 2018)

#### 4.3.3.1 Aceite quemado como combustible para hornos

El aceite quemado sirve como combustible en hornos de cemento y cal; en hornos para la elaboración de ladrillos y en hornos para tratamientos metalúrgicos. Esta reconversión tecnológica, permitiría cambiar el combustible utilizado en el proceso de precalcinación del *clinker*, que es el carbón, por los aceites lubricantes usados, permitiendo así el aprovechamiento del residuo de un proceso como combustible en otro, disminuyendo así la cantidad de residuos totales.

El carbón posee un poder calorífico de alrededor de las 7.000 kilocalorías sobre kilogramo, mientras que los aceites y grasas usadas oscilan por el orden de las 9.000 kilocalorías sobre kilogramo. En la zona de clinkerización, los gases además de las altas temperaturas tienen un tiempo de residencia de dos a cinco segundos, con un ambiente de carácter alcalino debido a la presencia

de calizas en el proceso. Esta característica beneficia la combustión de los residuos peligrosos porque en ésta se generan ácidos como el cloruro de hidrógeno, los cuales son fácilmente neutralizados fácilmente por la alcalinidad del ambiente (Villavicencio, 2001)

Un aspecto importante que se debe considerar es que este proceso de combustión puede emplearse únicamente si se conoce que es imposible reutilizar el aceite debido a la presencia de algunos tipos y niveles de contaminantes nocivos que solo se destruyen por combustión.

La FNC asegura mantener los aceites usados en tambores de 208 l y que se les emplea como combustible alterno en hornos de cemento en las plantas de INVECEM, lo cual cumple con el proceso de reciclaje de aceites del que se ha venido hablando.

#### **4.3.3.2 Someter a los aceites al proceso de re-refinación**

La re-refinación permitiría recuperar casi totalmente el aceite quemado, transformado ahora en otros productos, como aceites bases de lubricantes, *fuel oil* y aceites livianos. Sin embargo, este proceso debe ser realizado solo por aquellas organizaciones que cuenten con las estructuras, el conocimiento y el equipo calificado para llevar a cabo dicho proceso petroquímico.

#### **4.3.4 Filtros**

Según Elliot (1996), el reciclaje de filtros no es solamente una oportunidad de mantener un óptimo estado ambiental, sino también una oportunidad de aprovechamiento de residuos sólidos cuyas características físicas lo permitan.

Dicho esto, a continuación se muestran algunas propuestas para reciclar los distintos filtros de los equipos en cantera "La Cabrera".

#### **4.3.4.1 Adquisición de una prensa de filtros**

El uso de una prensa de filtros de aceites sería la solución para eliminar los residuos y darles un uso posterior. Además, representaría la oportunidad de un medio de ingreso diferente a la empresa, a través de la comercialización de cubos de acero completamente reciclables.

Sin embargo, se es consciente de que la adquisición de una prensa de filtros representa un alto costo para la empresa, por lo que se propone su adquisición no solamente para cantera “La Cabrera”, sino para toda la Fábrica Nacional de Cemento, pudiendo así beneficiarse del reciclaje de aceites a partir de todos los equipos que laboran en sus distintas canteras.

#### **4.3.4.2 Fabricación de máquina prototipo para el reciclaje de filtros de aceite**

En caso de existir algún tipo de impedimento con respecto a la adquisición de una prensa de filtros, existe la opción de fabricarla, lo que reduciría los costos de manera considerable y permitiría aun obtener los beneficios de su uso.

En su trabajo, Villavicencio y colegas (2011) realizan la construcción de una máquina para el reciclaje de filtros de aceite, enfocándose en sus tres partes especiales: el acero, el caucho y el propio aceite.

La máquina es capaz de sujetar, cortar, separar y compactar los filtros de aceite de motores, permitiendo reciclar un 90 % de los elementos constitutivos del mismo. Además, la máquina prototipo puede procesar un promedio de 450 filtros diarios bajo horarios laborables, lo que representa un volumen de recolección de 9 galones de aceite usado diarios, además de 81 kilos de chatarra totalmente reciclable, brindando un aporte muy significativo para el medio ambiente y la sociedad.

#### **4.3.5 Cauchos**

Siguiendo con los regímenes establecidos por el Artículo 24 Decreto N° 2216, se proponen medidas de reciclaje y aprovechamiento de los cauchos cuya vida útil ha concluido. En muchos casos, estos elementos pueden reincorporarse a los ciclos de vida de otros productos, en forma de materia prima.

##### **4.3.5.1 Cauchos pulverizados como aditivo del concreto**

En un estudio realizado por Albano y colegas (2012), estos autores elaboraron mezclas de concreto – caucho, sustituyendo parte de la arena, que representa el agregado fino, por caucho pulverizado a través de procesos de molienda. El porcentaje de caucho utilizado fue de 5 % en peso y los tamaños promedio de las partículas de caucho fueron > 1,19 mm (grueso) y < 1,19 mm (fino). El resto de los componentes se mantuvo constante.

Una de las conclusiones de este estudio es la inferencia de que la factibilidad del uso del caucho reciclado como aditivo para el concreto, ya que, durante las pruebas realizadas, el caucho no deteriora las características del concreto, sino que lo vuelve más liviano.

##### **4.3.5.2 Producción de combustible con cauchos**

Según García y colegas (2007), es posible aprovechar la energía térmica que produce la combustión de la goma de los cauchos al ser empleada como combustible. Una de sus ventajas es que el caucho permite ser utilizado en cualquiera de sus formas: entero, en polvo o en trozos.

Para su aprovechamiento, es requerido el uso de un horno para lograr la destrucción efectiva de los componentes orgánicos existentes en los residuos, por lo que cantera “La Cabrera” podría utilizar los neumáticos para hacer ascender la temperatura del horno

de *clinker*. Generando una combustión de temperaturas superiores a los 1200 °C, la atmósfera oxidante y los tiempos de permanencia entre 2 y 6 segundos, se garantiza la destrucción de componentes orgánicos, permitiendo eliminar la nocividad de estos y evitando la generación de cenizas susceptibles de tratamiento.

En el estudio de García y colegas (2007), se emplearon neumáticos troceados en un porcentaje de sustitución del 20 %, obteniendo que el desempeño del horno es similar al que se obtiene al usar combustibles a base de petróleo, mostrando una reducción considerable en las emisiones de NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub>, dos de los compuestos con mayores emisiones en la producción de la arcilla, por lo que es absolutamente factible la valorización en hornos de cemento hasta un 20 % del combustible utilizado.

#### **4.3.5.3 Reciclaje de neumáticos enteros**

Según Díaz (2013), algunos usos que se les pueden dar a los neumáticos enteros son los siguientes:

- Arrecifes artificiales: se espera que los neumáticos usados en la creación de arrecifes artificiales puedan perdurar más de 30 años porque los neumáticos sumergidos en agua marina se encuentran en un medio estable químicamente y protegidos de la radiación ultravioleta, lo que limita la cantidad de lixiviados contaminantes.
- Barreras acústicas: los neumáticos constituyen la base de la estructura y se recubren con tierra, de esta forma no les afecta la luz. Como la estructura es inmóvil, el desgaste del material es mínimo.
- Pistas provisionales: para la circulación de vehículos sobre terrenos poco estables en explotaciones forestales, accesos a canteras, entre otros.

#### **4.3.5.4 Otros usos de neumáticos reciclados**

De acuerdo con Díaz (2013), los cauchos tienen muchos más usos, como alfombras, aislantes de vehículos o losas de goma, materiales de fabricación de tejados, cubiertas, masillas, aislantes de vibración, como parte de los componentes de las capas asfálticas en la construcción de carreteras, en pisos de campos de juego, suelos de atletismo o pistas de paseo y bicicleta.

#### **4.4 Cuadro resumen**

La tabla 41 muestra un resumen de la información obtenida durante la investigación.

<b>Salida</b>	<b>Afectación a la salud</b>	<b>Afectación ambiental</b>	<b>Legislación pertinente</b>	<b>Propuestas Mitigantes</b>
Humo de Diesel	Malestar general, jaqueca, fatiga	Generación de gases de efecto invernadero	Ley Orgánica del Ambiente (LOA)	Instalación de un opacímetro
	Nauseas, irritaciones en la boca		Ley Penal del Ambiente (LPA)	Chequeo del tubo de escape y el catalizador
	Toxicidad pulmonar		Decreto N° 638	Condicionamiento de superficies para capturar carbono
Polvos	Dificultades pulmonares	Sin afectación aparente	Ley Orgánica del Ambiente (LOA)	Control de emisiones
	Neumoconiosis		Decreto N° 638	Intersección de contaminantes y modificación del flujo de aire
Aceites quemados	Ingreso de metales pesados al cuerpo	Contaminación de aguas subterráneas	Ley Orgánica del Ambiente (LOA)	Aceite quemado como combustible para hornos
	Náuseas, vómitos y cefalea	Infertilidad en suelos	Decreto N° 2216	Re-refinación
	Agente carcinogénico		Decreto N° 883	
Filtros	Sin afectación aparente	Acumulación de desechos sólidos	Ley Orgánica del Ambiente (LOA)	Adquisición de una prensa de filtros
			Decreto N° 2216	Máquina prototipo para el reciclaje de filtros de aceite de motores
Cauchos	Criaderos de mosquitos	Acumulación de desechos sólidos	Ley Orgánica del Ambiente (LOA)	Cauchos Pulverizado como aditivo del Concreto
			Decreto N° 2216	Producción de combustible con cauchos
			Ley Penal del Ambiente (LPA)	Reciclaje de Neumáticos Enteros

Tabla N°41: Cuadro resumen del ACV  
Fuente: Elaboración Propia

## CONCLUSIONES

### ❖ Conclusiones sobre la visita

La visita a cantera “La Cabrera” se llevó a cabo con total normalidad y fue brindada toda la información y el apoyo requerido. Se considera que es una empresa con potencial y buena gestión a nivel operacional. Sin embargo, podría mejorar en cuestiones de gestión ambiental, especialmente en el manejo de residuos sólidos, como los cauchos, que podrían ser reutilizados para una de las tantas propuestas que se expusieron en esta investigación. Así mismo, podría dársele un mejor uso al estéril que, siendo materia orgánica, podrá estar formando plantaciones que servirían tanto como barreras para polvos como para captura natural del CO<sub>2</sub>.

### ❖ Conclusiones sobre el Análisis de Ciclo de Vida

Se considera que la herramienta de gestión ambiental del Análisis de Ciclo de Vida es un método efectivo para obtener resultados con respecto a los ciclos de producción de manera general. No obstante, se cree que la herramienta de Evaluación de Impactos utilizada en esta investigación, el eco-indicator 99, es un método básico para la profundidad que este tipo de investigación requiere, debido a la falta de principios contaminantes presentes.

También, se concluye en que para aplicar esta y otras herramientas de gestión ambiental de la manera más efectiva posible, es requerida más investigación en el área, especialmente a nivel nacional y de habla hispana, en donde el número análisis de ciclos de vida en minería es limitado. Esto se debe a que la puesta en práctica no siempre resulta rentable para las pequeñas y medianas empresas de la industria, por los gastos que ella implica. La solución en estos casos se traduce en la necesidad de que las organizaciones de apoyo a las empresas asuman una implicación activa.

### ❖ Conclusiones de los resultados

Luego de analizar elementos como el humo de diesel, la producción de polvos, los residuos de aceites y la ocupación se tierra, se determinó que la contaminación en cantera “La Cabrera” se produce principalmente en suelo, y luego en aire,

presentando valores en DALY y PDF que deben ser considerados para las reducciones de emisiones futuras. Sin embargo, no es algo en lo que solo deba enfocarse “La Cabrera”. La industria y todos sus integrantes deberán asumir un compromiso de cooperación transparente en aras de sus objetivos, ya que los diversos efectos de dichos principios contaminantes son capaces de alterar la salud humana y la estabilidad de los ecosistemas aunque, si bien los valores obtenidos son bajos en comparación con minas de mayor envergadura o minas elementos metálicos, aun se producen contaminantes que contribuyen con el total mundial de emisiones que, según la propuesta del acuerdo de Paris, debe reducirse en los próximos años.

Los elementos predominantes en la fase de Evaluación de Impactos y en los modelos posteriores, fueron el CO<sub>2</sub>, HCFC-22, cadmio, arsénico y polvos (como daño a la salud): y el uso de tierras, transformación de tierras y zinc (como el daño a los ecosistemas), lo que señala que, al momento de tomar decisiones en pro de mitigación de impactos ambientales, debe iniciarse por abordar estos compuestos y elementos, especialmente el CO<sub>2</sub>, ya que no solo genera los valores más altos con respecto a la afectación a la salud, sino que también presenta un impacto a nivel global, al ser uno de los principales responsables del cambio climático.

Considerar la iniciativa de la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, a través de la disminución de elementos tóxicos y no tóxicos del humo de diesel; representa una contribución en la disminución de gases de efecto invernadero y, por ende, se está trabajando en pro de cumplir los objetivos del Acuerdo de París.

#### ❖ Conclusiones sobre la legislación venezolana

Se concluye en que la legislación venezolana cuenta con una variedad de leyes enfocadas en cada uno de los medios ambientales, como reglamentos sobre el manejo del agua, la calidad del aire y la gestión de desechos. Sin embargo, se considera que es necesaria la mayor severidad con respecto a las penalidades ambientales a nivel de fiscalización, ya que, tal y como lo establece la Ley Penal del Ambiente, el mayor delito ambiental cuenta con una multa de 8000 unidades tributarias, un valor muy bajo para las empresas, cuyo costo realmente no incentiva al cambio en las prácticas de gestión.

Con respecto al reciclaje, se concluye en que debe considerarse como una orden legislativa más que una opción, con el fin de reducir la cantidad de desechos y emisiones por parte de las empresas de cualquier industria.

❖ Conclusiones sobre las propuestas

Varias de las propuestas evaluadas para dar solución a problemáticas ambientales fueron extraídas de estudios, artículos y trabajos de grado de organizaciones serias y confiables, por lo que su aplicación resultaría efectiva.

Sin embargo, se está consciente de que muchas de las propuestas presentadas representan una inversión alta por parte de las empresas, pero los beneficios a largo plazo justifican los gastos, otorgando la protección ambiental integral, tanto de las especies como de las comunidades con las que interactúa la empresa en cuestión.

## RECOMENDACIONES

- La legislación debe hacer mayor énfasis en el reciclaje de recursos y manejo de residuos, llegando a plantearlo más como una obligación que como una sugerencia. De esta manera, se asegurará que un porcentaje de los residuos fuese utilizado con fines de reciclaje.
- La instauración de programas de enseñanza y formación en el ámbito de la prevención y el reciclado de residuos.
- Los trabajos realizados sobre el Análisis de Ciclo de Vida en la industria minera son escasos, por lo que se recomienda realizar más aplicaciones de esta y otras herramientas de gestión ambiental en minas y canteras.
- La fabricación del cemento es una etapa generadora de emisiones contaminantes que vale la pena estudiar, por lo que se recomienda realizar un análisis de ciclo de vida enfocado en esta fase.
- Se recomienda que se continúe la línea de investigación enfocada en los impactos sociales generados por la actividad minera en cantera “La Cabrera” a los poblados circundantes a la misma.
- Las investigaciones adicionales, a nivel académico, deberán llevarse a cabo a través de asociaciones, en donde cada una de ellas brinde apoyo, tanto para ofrecer datos de interés como para realizar pruebas de medición, reduciendo así las suposiciones para obtener valores lo más parecidos a la realidad posible.
- A las instituciones que deseen realizar ACV, se les recomienda invertir en los softwares especializados en la materia, que cuentan con una base de datos amplia y fiable para el desarrollo de la investigación.
- Existen ciertos elementos que no fueron considerados en los cálculos, como el CO, N<sub>2</sub>, Vapor de agua; por no poseer información de estos en el Eco-Indicator 99. Es recomendable extender la investigación analizando la influencia de dichas sustancias dentro de sus respectivas categorías de impacto.
- Al no haberse recopilado datos sobre la calidad del agua, no se ha podido determinar el estado del pozo de cantera San Bernardo, ni someterlo a comparación con respecto a los valores permisivos en el decreto 883. Por

ende, se recomienda extender la línea de investigación basándose en el estudio de este cuerpo de agua.

- A cantera “La Cabrera”, se recomienda que, antes de acceder a la aplicación de cualquiera de las propuestas, realice varios estudios de profundidad con respecto a cada una de ellas, así como evaluar las características específicas de las salidas en cuestión, con el fin de determinar si las propuestas expuestas son realmente aplicables para su caso.
- Antes de acceder a la aplicación de propuestas como el uso de cauchos o aceites quemados como combustible para hornos, se deben estudiar las características de los mismos, así como de los desechos, para comprobar si la aplicación de la propuesta sea realmente efectiva.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Awuah-Offei, K. (2009) "Valuation of Belt Conveyor and Truck Haulage Systems in an Open Pit Mine using Life Cycle Assessment". Missouri University. Estados Unidos
- Awuah-Offei, K. (2011) "Application of life cycle assessment in the mining industry". Missouri University. Estados Unidos
- Awuah-Offei, K. (2011) "Effect of mine characteristics on life cycle impacts of US surface coal mining". Missouri University. Estados Unidos
- Awuah-Offei, K. (2015) "Energy efficiency in mining: a review with emphasis on the role of operators in loading and hauling operations". Missouri University. Estados Unidos
- Blanca, I. (2005) "El Análisis del Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental". Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias. México
- Cadavid, G. (2014). "Análisis de Ciclo de Vida (ACV) del proceso siderúrgico". Universidad Nacional de Colombia. Colombia
- Cardim, A. (2001). "Análisis Del Ciclo De Vida De Productos Derivados Del Cemento – Aportaciones Al Análisis De Los Inventarios Del Ciclo De Vida Del Cemento". Universidad Politecnica de Cataluña. Cataluña
- Cat (s/f) "160M3 AWD". Estados Unidos
- Cat (s/f) "924K, 930K, 938K Wheel Loaders". Estados Unidos
- 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". Universidad Central de Venezuela. Venezuela
- Cemex Concretos (2008) "Manual del Constructor". México
- Charrabe E. (2015) "Propuesta de posible uso del material residual, proveniente de laguna de sedimentación de la planta de clasificación.

empresa: arenera y pedrera tauro S.A tocuyito, estado carabobo".  
Universidad Central de Venezuela. Venezuela

- Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, Gaceta Oficial de la República de Venezuela N°36.860 (Extraordinario), diciembre 30, 1999.
- Decreto N° 2216: Normas para el manejo de los Desechos Sólidos de Origen Doméstico, Comercial, Industrial o de cualquier otra naturaleza que no sean peligrosos, Gaceta Oficial N° 4.418 (Extraordinario), abril 27, 1992
- Decreto N° 2219: Normas para regular la afectación de los Recursos Naturales Renovables asociada a la Exploración y Extracción de Minerales, Gaceta Oficial N° 4.418, abril 27, 1992
- Decreto N° 638: Normas sobre Calidad del Aire y Control de la Contaminación Atmosférica, Gaceta Oficial N° 4.899, mayo 19, 1995
- Decreto N° 883: Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos, Gaceta Oficial N° 5.021 (Extraordinaria), diciembre 18, 1995
- Dirección General de Prevención y Calidad Ambiental (2000) "Técnicas de prevención de la generación de suelos contaminados: la gestión de residuos peligrosos". Consejería de Medio Ambiente. España
- Dongfeng Automobile CO., LTD (2006) "Service Manual DFA1101GZ5AD6J-907". Dongfeng Automobile CO., LTD. China
- Duque, J. (2014). "Análisis multidimensional, operativo y crítico de la omnipresencia del desarrollo sustentable basado en experiencias internacionales, contemplado desde un país latinoamericano con desarrollo humano alto". Instituto Internacional de Desarrollo y Cooperación(IIDEC)
- Elliot, J. (1996) "Australian Minerals & Energy Environment Foundation". University of New South Wales Press. Australia

- Enshassi<sup>1</sup>, A. y Kochendoerfer, B. (2014) "Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción". Technical University of Berlin. Alemania
- Frischknecht, R. y Jungbluth, N. (2007) "Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods". Swiss Federal Institute of Technology Zürich. Suiza
- Frers, C. (2010) "El cambio climático y cómo afectará a los seres humanos". MDZ. Argentina
- García, L. y Urbina, M. (2007) "Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso". Canadian Integrated Multi-Trophic Aquaculture Network. Canada
- Goedkoop, M. y Spriensma, R. (1999) "The Eco-indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment". PRé Consultants B.V. Países bajos
- Goedkoop, M. y Spriensma, R. (2000) "The Eco-indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment Vol 2". PRé Consultants B.V. Países bajos
- González, J. (2005). "Estado Del Arte Del Análisis Del Ciclo De Vida Como Herramienta Del Ecodiseño De Productos - Factibilidad De Aplicación En Venezuela". Universidad Simón Bolívar. Venezuela
- Gorniak-zimroz, J. y Pactwa K. (2015) "The Use of Spatial in Granite Deposit Life Cycle Assessment". Wroclaw University of Technology. Estados Unidos
- Guardino, X. (s.f.) "Calidad del aire interior". Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Mexico
- Hauwermeiren, S. (1998) "Manual de Economía Ecológica". Instituto de Economía Ecológica. Chile

- Hernandez, H. (1996) "Rumbo a una Nueva Gestión Ambiental". Ministerio del Ambiente y de los recursos Naturales Renovables. Venezuela
- Isotools (2015). "Que son las normas ISO y cuál es su finalidad?". Isotools. Estados Unidos
- Joshi, S. (2000) "Product Environmental Life-Cycle Assessment Using Input-Output Techniques". Michigan State University. Estados Unidos
- Karim, A. (2011) "Life Cycle Analysis and Life Cycle Impact Assessment methodologies: A state of the art". Universitat de Lleida. España
- Khanda, D. (2016) "APPLICATION OF LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) IN COAL MINING". The Mining Geological and Metallurgical Institute of India. India
- Leite, M. y Ferreira, H. (2015) "A Life Cycle Assessment (LCA) study of iron ore mining". University of Ouro Preto. Brazil
- Ley De Aguas, Gaceta oficial N° 38.595, enero 2, 2007
- Ley de Aguas. Gaceta Oficial de la República de Venezuela N°38.595 (Extraordinaria), enero 2, 2007.
- Ley de Bosques y Gestión Forestal, Gaceta Oficial N° 38.946, junio 5, 2008
- Ley de Minas, Gaceta Oficial N° 295, septiembre 5, 1999
- Ley Orgánica del Ambiente, Gaceta Oficial N ° 5.833, diciembre 22, 2006
- Ley Penal del Ambiente, Gaceta Oficial N° 39.913, mayo 2, 2012
- Lopez, U. (2003) "Arsénico en agua de bebida: un problema de salud pública". Universidade de São Paulo. Brazil
- Mann, M. y Kerr, D. (1999) "Life Cycle Assessment of Coal-fired Power Production". National Renewable Energy Laboratory. Estados Unidos

- Ministry of Housing (2000) "Eco-indicator 99: Manual for Designers". Spatial Planning and the Environment. Holanda
- Mogollon m. (2015) "Propuesta de alternativas para el aprovechamiento de los componentes de los filtros de aceite automotriz usados en Venezuela". Universidad de Carabobo. Venezuela
- Nuttall, N. (2015) "El acuerdo engloba todos los elementos para impulsar la acción climática". United Nations Climate Change. Estados Unidos
- Ortiz, F. (2002) "Curso de Laboreo de Minas I". Universidad Politécnica de Madrid. España
- Peña, C. (2004). "Metodología de evaluación del impacto del ciclo de vida para la minería: anticipando el futuro". Ministerio de Minería de Chile. Chile.
- Perez, P. y Cruz, A. (2012) "Los efectos del cadmio sobre la salud". Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado. Mexico
- Piña, A. (2013). "Identificación De Variables Para Toma De Decisiones En Fosfatos Sedimentarios, Mediante Correlación De Condiciones Genéticas Y Técnicas De Beneficio Mineral". Universidad Central de Venezuela. Venezuela
- Ruiz, E. (2015). "El Análisis De Ciclo De Vida. Metodología De Decisión Y Evaluación Ambiental En El Sector De La Edificación". Universidad Politécnica de Valencia. España
- Villavicencio, G. y Vásquez J. (2001) "Diseño y construcción de una máquina prototipo para el reciclaje de filtros de aceite de motores de gasolina". Universidad del Azuay. Ecuador
- Wieland, W. (1959) "¿Cómo medir polvos superfinos?". Materiales de Construcción Vol. 9. España