

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**Contaminantes generados en la exploración y explotación minera,
métodos de análisis y sus efectos ambientales**

**Monografía previa a la obtención del título de Licenciado
en Ciencias Químicas, especialidad Química Analítica**

CESAR ENRIQUE VELASCO BETANCOURT

Quito, 2015

CERTIFICACION

Certifico que la Monografía de Licenciatura en Ciencias Químicas, especialidad Química Analítica, del Sr. César Enrique Velasco Betancourt ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

Ing. Ernesto de la Torre

Director de la monografía

Quito, 27 de febrero del 2015

TABLA DE CONTENIDOS

	Página
Resumen.....	1
Abstract.....	2
Introducción.....	3
Marco teórico.....	6
1. Industria Minera no Metálica	6
1.1. Principales minerales no Metálicos explotados en el Ecuador	6
1.1.1. Caliza	7
1.1.2. Arcilla	9
1.1.3. Yeso	10
1.1.4. Feldespato	12
1.1.5. Pómez y Material Pétreo	13
1.2. Contaminación generada en la exploración, explotación y aprovechamiento de los minerales no metálicos	13
1.2.1. Contaminantes generados en la fase de exploración	14
1.2.2. Contaminantes generados en la fase de explotación	15
1.2.2.1. Contaminación del aire	15
1.2.2.2. Contaminación del suelo	17
1.2.2.3. Contaminación del agua	20
1.2.3. Contaminantes generados en la fase aprovechamiento	23
1.2.3.1. Cemento	23
1.2.3.1.1. Impacto ambiental y contaminantes generados en la producción de cemento	24
1.2.3.2. Cerámica	27
1.2.3.2.1. Impacto ambiental y contaminantes generados en la producción de baldosas cerámicas	32
2. Industria Minera Metálica	38

2.1. Minería Aurífera	40
2.1.1. Características, propiedades y aplicaciones del oro	40
2.1.2. Yacimientos auríferos	42
2.1.3. Métodos de extracción del oro	43
2.1.3.1. Métodos de extracción utilizados en minería artesanal	44
2.1.3.2. Lixiviación, cianuración de material con oro	45
2.1.4. Contaminación generada en la exploración, explotación y extracción de oro en la minería aurífera	54
2.1.4.1. Contaminación generada en la explotación de minas auríferas	55
2.1.4.2. Contaminación generada en la extracción de oro	56
2.1.4.2.1. Contaminación del agua	59
2.1.4.2.2. Contaminación del aire	59
2.1.4.2.3. Contaminación del suelo	60
2.1.4.2.4. Contaminación proveniente de la minería artesanal	61
3. Equipos y métodos de análisis para control de los contaminantes generados en la industria minera	76
3.1. Equipos y métodos de análisis para controlar la calidad del aire	63
3.1.1. Analizadores automáticos de CO, NO _x , SO ₂	63
3.1.1.1. Analizador de CO – fotometría infrarroja	64
3.1.1.2. Analizador de NO _x – quimioluminiscencia	64
3.1.1.3. Analizador de SO ₂ – fluorescencia pulsante	66
3.2. Monitores de partículas suspendidas	67
3.2.1. Microbalanza de elemento oscilante	67
3.2.2. Atenuación de radiación beta	68
3.2.3. Muestradores de partículas suspendidas	69
3.3. Equipos y métodos de análisis para controlar la calidad del agua	70
3.3.1. Turbidímetros – fotometría infrarroja	71
3.3.2. Auto-analizadores de cianuro total y cianuro libre – espectrofotometría visible con preparación previa de muestra	71

3.3.3. Auto-analizadores de mercurio – absorción atómica con vapor frío	74
3.3.4. Autoanalizador portátil de metales pesados – voltamperimetría de redisolución anódica	75
3.4. Equipos y métodos de análisis para controlar la calidad del suelo	76
3.4.1. Metales pesados - fluorescencia de rayos x	77
3.4.2. Pruebas cuantitativas in situ de hidrocarburos en suelos, sistema Petroflag® por desarrollo turbimétrico	79
4. Valores límite EPA-US para los contaminantes mineros estudiados	81
4.1. Valores límite EPA-US para contaminantes presentes en el aire	81
4.2. Valores límite EPA-US para contaminantes presentes en el agua limpia ..	82
4.3. Valores límite EPA-US para contaminantes presentes en suelos	83
Conclusiones	85
Recomendaciones	89
Referencias bibliográficas	90
Figuras	94
Tablas	112

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Sedimentación calcárea marina actual Conclusiones	94
Figura 2. Morfología de un yacimiento de caliza	94
Figura 3. Bloques de piedra caliza	95
Figura 4. Utensilios elaborados con arcilla	95
Figura 5. Cantera de arcilla	96
Figura 6. Cantera y mina de yeso	96
Figura 7. Explotación de una cantera de feldespatos	97
Figura 8. Yacimiento de piedra pómez	97
Figura 9. Canteras de material pétreo	98
Figura 10. Contaminación del agua por desechos sólidos	98
Figura 11. Material levantado por el viento en una cantera	99
Figura 12. Cambio en el paisaje	99
Figura 13. Cemento Portland	100
Figura 14. Fábrica de Cemento en Ecuador	100
Figura 15. Hornos giratorios en una fábrica de cemento	101
Figura 16. Baldosas de cerámica colocadas en piso	101
Figura 17. Hornos, prensado y serigrafía de baldosas de cerámica	101
Figura 18. Reservas de oro	102
Figura 19. Diagrama explicativo del proceso de extracción de Oro	102
Figura 20. Tanques de lixiviación por agitación	103
Figura 21. Lixiviación en pilas	103

Figura 22.	Contaminación de las manos de un minero artesanal	104
Figura 23.	Equipo analizador de CO	104
Figura 24.	Esquema del analizador de CO por Fotometría Infrarroja	104
Figura 25.	Equipo analizador de NOx	105
Figura 26.	Esquema del analizador de NOx por Quimioluminiscencia	105
Figura 27.	Equipo analizador de SO ₂	106
Figura 28.	Esquema del analizador de SO ₂ por fluorescencia pulsante	106
Figura 29.	Esquema de medición de partículas suspendidas por microbalanza oscilante	107
Figura 30.	Esquema de un analizador de partículas mediante la atenuación de radiación beta	107
Figura 31.	Esquema de un muestreador de alto volumen	108
Figura 32.	Turbidímetro	108
Figura 33.	Autoanalizador de Cianuro total y Cianuro libre	109
Figura 34.	Espectrofotómetro de absorción atómica con vapor frío	109
Figura 35:	Autoanalizador portátil de Metales Pesados en Agua	110
Figura 36.	Esquema de muestreo y medición, realizado con un analizador de metales pesados en agua	110
Figura 37.	Analizador de metales pesados, por fluorescencia de rayos X	111
Figura 38.	Sistema Petroflag	111

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Impactos socio-ambientales de la minería no metálica	112
Tabla 2. Afecciones médicas que se presentan por el tipo de material particulado	113
Tabla 3: Composición básica del cemento Portland	113
Tabla 4: Emisiones contaminantes en la industria cerámica de baldosas	114
Tabla 5. Potencial Minero del Ecuador	115

RESUMEN

La presente investigación bibliográfica se realiza con la finalidad de conocer los principales procesos de las actividades mineras no metálicas y de la minería aurífera; los contaminantes que se generan en cada una de sus etapas: exploración, explotación y aprovechamiento. Se abarca importante información en dos ramas específicas de la minería: Los procesos de la minería no metálica de: caliza, arcilla, yeso, feldespato, pómez y material pétreo de construcción; la industria del cemento y de la cerámica de baldosas y sus contaminantes, y la minería metálica para extracción de oro, todas estas como principales fuentes mineras del Ecuador. También se mencionan los efectos de los principales contaminantes sobre el aire, el agua y el suelo. Adicionalmente también los posibles equipos y métodos de análisis químico para control ambiental y una compilación de los parámetros de concentración aceptados internacionalmente de dichos contaminantes.

Se espera que este trabajo sea utilizado como fuente de estudio y consulta para todos aquellos químicos ambientales que deseen conocer acerca de los posibles impactos ambientales que puede tener la minería, así como también conocer de cerca los métodos de control en aire, agua y suelos para un rápido análisis y obtención de resultados.

Palabras clave: Minería no metálica / Minería aurífera / contaminantes / métodos de análisis / ambiental.

ABSTRACT

This literature search was performed in order to meet the main processes of non-metallic mining and gold mining; contaminants generated in each of its stages: exploration, exploitation and utilization. Important information is covered in two specific branches of mining: Processes of non-metallic mining: limestone, clay, gypsum, feldspar, pumice stone and construction material; the cement and ceramic tile and their contaminants, and metal mining for gold extraction, all of these are the main mining nonrenewable resources of Ecuador. This literature also mentioned how affecting the main pollutants generated in mining activities and their impacts on air, water and soil. In addition possible equipment and chemical analysis methods for environmental control and a finally compilation of concentration parameters internationally accepted of these pollutants.

Is hoped that this work will be used as a source of study and consultation for environmental chemists who wish to know about the potential environmental impacts that may have mining as well as learn about control methods in air, water and soil for rapid analysis and obtaining results.

Key words: non-metallic mining / gold mining / contaminants / chemical analysis / environmental

INTRODUCCIÓN

La minería está considerada como una de las actividades industriales más contaminantes del planeta, tanto porque extrae fuentes minerales no renovables como por los métodos que esta utiliza para la extracción de dichos minerales y sobre todo por el abuso en el uso de recursos, como el agua; así como en la falta de control de las emisiones contaminantes, que desechaban las compañías mineras hasta hace apenas dos décadas atrás.

El Ecuador no ha sido ajeno a los procesos extractivos mineros y su medio ambiente ha sido afectado, sobre todo por los mineros informales que buscando una fuente de ingresos, no han visto el daño causado tanto en su salud como en el medio que les rodea. Ahora, el Gobierno Nacional a través de leyes y reglamentos busca que esta minería esté regulada y sobre todo evitar que la contaminación continúe. Así mismo busca que la actividad minera sea explotada en gran escala, ya que los recursos minerales del país pueden generar las divisas necesarias para atender las necesidades tanto las zonas “afectadas” por la minería, como otras de carácter nacional; siempre y cuando las grandes compañías mineras se comprometan a realizar sus actividades en un marco regulatorio ambiental que proteja la biodiversidad y el bienestar de las personas.

Con el antecedente mencionado es importante la labor que pueda tener un Químico Analítico, ya que deberá entender los procesos mineros, conocer de los contaminantes

y emisiones que pueden generar dichos procesos y sobre todo llevar un control específico sobre el ambiente que rodea la actividad, con la finalidad de que evitar cualquier impacto sobre los medios necesarios para la vida: el aire, el agua y el suelo. Así mismo su control permitirá levantar alertas tempranas de contaminación que pueden ser remediadas de manera mucho más eficaz que cuando se presente una contaminación a gran escala con resultados irremediables.

La presente investigación bibliográfica está compuesta por cuatro capítulos: El primero de ellos está compuesto por información de la minería no metálica, los principales minerales que se explotan en Ecuador; caliza, arcilla, yeso, feldespato, pómez y material pétreo utilizado en la construcción. Los principales contaminantes que se presentan en las etapas de exploración, explotación y aprovechamiento de los mineral; incluyendo dentro de este último a la industria del cemento y la cerámica de baldosas.

El segundo capítulo trata de la minería metálica aurífera, las características y propiedades del oro, sus métodos de extracción y los contaminantes generados en cada uno de sus procesos y como afectan al aire, al agua y los suelos.

El tercer capítulo trata de los equipos y métodos de análisis de los principales contaminantes generados en la minería no metálica y en la minería aurífera.

El cuarto y último capítulo está conformado por una compilación de los parámetros aceptables de los contaminantes de las normas EPA-US y cuyos métodos de análisis se encuentran en los anexos.

Los objetivos principales de la presente monografía son los siguientes:

- Conocer de manera general las principales actividades mineras: exploración, explotación y aprovechamiento tanto para los principales minerales en la minería no metálica como para la minería aurífera.
- Identificar los principales contaminantes en aire, agua y suelo, que se generan en cada una de las principales actividades mineras.
- Proporcionar información acerca de los métodos de análisis modernos que se realizan en aire, agua y suelo; con la finalidad de que el químico ambiental realice controles para evitar posibles impactos contaminantes.
- Entregar información compilada de los rangos aceptables por la EPA (Environmental Protection Agency) – US o Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos; para los principales contaminantes generados en la minería y presentes en el aire, agua y suelos.

MARCO TEORICO

1. INDUSTRIA MINERA NO METALICA

Dentro de la industria minera, es de gran importancia la obtención de recursos minerales no metálicos, los cuales sirven de materia prima para la fabricación de compuestos muy utilizados en la industria de la construcción.

En nuestro país, aproximadamente desde finales de la década de los 80, se ha producido un crecimiento exponencial en la explotación de minerales no metálicos siendo los principales: caliza (carbonato de calcio), arcilla (arenas silíceas) y yeso (sulfato de calcio), los cuales son las materias primas para la fabricación del cemento; así como también feldespato (mezcla de aluminosilicatos), pómez y material pétreo para construcción como la arenisca y la grava. De igual forma existe explotación de piedra pómez, sal común y materiales pétreos para la construcción.

1.1. PRINCIPALES MINERALES NO METALICOS EXPLOTADOS EN EL ECUADOR

La industria minera ecuatoriana se ha concentrado principalmente en los siguientes minerales no metálicos, los cuales en su mayoría son materias primas para la fabricación de compuestos constructivos como el cemento y la cerámica.

Adicionalmente los yacimientos de estos minerales son relativamente fáciles de explotar ya que no conllevan procesos complejos de refinación y extracción. En su mayoría se utiliza maquinaria mecánica como retroexcavadoras para obtener el material, chancadoras o molinos para lograr la granulometría deseada y volquetes para el transporte del mineral a las industrias (Barragán, 2007).

Actualmente existen más de 1200 canteras para la explotación de minerales no metálicos (Pillajo, 2009); en la presente monografía se detallan aquellos cuya actividad son las de mayor explotación y consecuentemente las que podrían causar mayor impacto ambiental, adicionalmente también se menciona las fases de fabricación de cemento y cerámica ya que son las principales industrias derivadas de este tipo de minería.

1.1.1 CALIZA

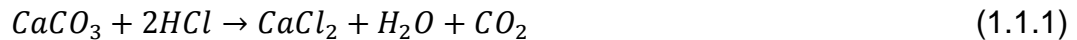
La caliza es una roca sedimentaria, formada principalmente por calcita o carbonato de calcio (CaCO_3), también puede contener trazas de magnesita o carbonato de magnesio (MgCO_3) y otros minerales como arcilla, siderita, cuarzo, etc.

Las formaciones de caliza se distinguen por su color blanco característico y se forma por descomposición del bicarbonato de calcio (soluble en agua) según la siguiente reacción (Griem y Griem-Klee, 2003):



Su origen es mayoritariamente biológico y proviene de la acumulación de esqueletos de organismos que utilizaron el carbonato de calcio como fuente primaria de su sistema óseo, es por esto que la mayoría de fuentes de caliza proviene de la sedimentación calcárea que se produjo a partir de la muerte de dichos organismos, especialmente en lugares cálidos. La figura 1 muestra los principales depósitos de sedimentación calcárea.

La caliza es muy reactiva con ácidos hidrácidos, como por ejemplo con el ácido clorhídrico (HCl) con el que forma la siguiente reacción:

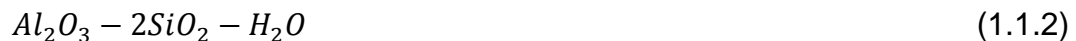


Históricamente la caliza se empleó como elemento constructivo primario, en la actualidad se utiliza como materia prima para fabricar varios morteros de construcción, el principal de ellos el cemento gris y también se la utiliza para la fabricación de lechadas de cal utilizados como base para pintura.

Las formaciones de caliza (ver Figura 2), son a menudo explotadas por canteras a cielo abierto, cuyo yacimiento se extrae a partir de la acción mecánica con maquinaria especializada para el efecto o también a través de voladuras controladas que desprendan el material en forma de bloques como lo muestra la Figura 3.

1.1.2 ARCILLA

La arcilla es una roca sedimentaria constituida principalmente por filosilicatos o agregados de silicatos de aluminio hidratados, y cuya fórmula molecular es la siguiente:



Se origina por la descomposición de rocas que contienen feldespato y según las impurezas que esta contenga variará la tonalidad de su coloración yendo desde el anaranjado al blanco que es el más puro.

En algunos casos presenta filosilicatos constituidos por magnesio (Mg^{+2}) y otros por hierro (Fe^{+2} y Fe^{+3}). Pueden interaccionar con diversas sustancias en especial con compuestos polares, con el agua forman compuestos plásticos que pueden adecuarse a diferentes formas, sin que esto quiera decir que son solubles en agua. Las arcillas poseen la capacidad de intercambio catiónico, que se puede definir como la suma de todos los cationes de cambio que un mineral puede adsorber a un determinado pH; lo que es equivalente a la medida total de cargas negativas que tiene la arcilla (García y Suárez, 2002).

La característica principal de la arcilla es su granulometría muy fina, inferior a 2 micras, tienen la capacidad de adsorber agua u otros elementos polares en sus espacios interlaminares o canales estructurales del mineral, la hidratación y

deshidratación del mineral es posible mientras su propiedad de intercambio catiónico exista. Adquieren una buena dureza cuando son calentadas por encima de los 800°C (García y Suárez, 2002).

Las arcillas tienen una variada aplicación en la industria, sobre todo en la fabricación de ladrillos, bloques, cerámicas, tejas, etc., los cuales son requeridos en proyectos de ingeniería. Históricamente tenía mucha importancia en la industria alfarera (ver figura 4.), ya que en la antigüedad se utilizaba para la fabricación de utensilios y sarcófagos. Actualmente la industria de la cerámica y refractarios es uno de los principales consumidores de arcillas, así como también la industria del papel que utiliza la arcilla como materia prima para lograr un acabado superficial requerido en los cuales se necesiten características de calidad y pureza diferentes. También es utilizado en la industria de fertilizantes y químicos para la fabricación de catalizadores (García y Suárez, 2002). De igual forma se lo utiliza como materia prima en la elaboración de cemento y otros materiales de mortero como emporadores para pegar y unir baldosas en pisos y paredes.

Las formaciones arcillosas se explotan normalmente a cielo abierto a través de medios mecánicos convencionales, según se muestra en la figura 5. El proceso de extracción es sencillo ya que el material es machacado y secado para eliminar su humedad y luego es molido hasta obtener el grano deseado.

1.1.3 YESO:

El yeso se encuentra en estado natural como una roca sedimentaria, formada principalmente por el 79% de sulfato de calcio anhidro y 21% agua y cuya fórmula molecular sería la siguiente (van Heiningen, 2009):



La formación del mineral es de tonalidad blanquecina, pero puede variar dependiendo de las impurezas que pueda tener como por ejemplo: arcillas, sílices, calizas, etc.

El sulfato de calcio se presenta como una roca compacta que absorbe rápidamente agua ocasionando un incremento en el volumen (dependiendo a la cantidad de líquido que esté expuesto) hasta en 30 o 50%. A pesar de que el sulfato de calcio es insoluble en agua tiene propiedades higroscópicas que favorecen su humedad (van Heiningen, 2009).

Los usos del yeso son variados pero es utilizado como materia prima para el cemento y también como material para obras de ingeniería especialmente como pasta de agarre y enlucido, también es utilizado para paneles de yeso tipo Dry wall utilizado en techos y paredes; también es utilizado en odontología para la fabricación de moldes y en la alfarería.

Las formaciones de yeso se explotan a cielo abierto o mediante mina subterránea (ver figura 6.), la extracción se realiza a través de medios mecánicos.

1.1.4 FELDESPATO

Los feldespatos son un grupo de minerales conformados por silicatos dobles de aluminio con calcio, sodio, potasio y en algunas ocasiones bario. Su composición principalmente está dada por Ortoclasa (KAlSi_3O_8), Albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) y Anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). El feldespato es el componente de muchas rocas ígneas y sedimentarias (Griem y Griem-Klee, 2003).

Es un metal plateado, maleable y que no se oxida con facilidad, resistente a la corrosión y es el grupo que forma la mayor masa de la corteza terrestre, aproximadamente el 60%. Tienen un alto punto de fusión, alrededor de 1100 a 1550°C y tiene una dureza relativamente alta (Griem y Griem-Klee, 2003).

El feldespato es usado como constituyente del vidrio y de cerámicas, también tiene aplicaciones como en el relleno de pinturas, plásticos, adhesivos y sellantes; adicionalmente se utiliza una vez pulido como piedra ornamental. La ortoclasa proporciona una mayor resistencia a la cerámica y aparte le da una tonalidad de vidriado, también es utilizado en la fabricación de inodoros, lavaderos, vajillas. También tiene usos como material aislante y como componente en pinturas industriales.

La explotación de los yacimientos de feldespato son en su mayoría realizado a través de minas o canteras a cielo abierto (ver figura 7.) y el material se extrae mediante medios mecánicos.

1.1.5 PÓMEZ Y MATERIAL PÉTREO:

La piedra pómez o pumita, es una roca ígnea volcánica de baja densidad y muy porosa, formada principalmente por cuarzo y feldespato (Villalobos, 2013).

Sus usos son muy variados y es utilizada como componente del cemento Portland, adicionalmente también se la utiliza en la fabricación de filtros, abrasivos y en usos agrícolas.

Sus yacimientos (ver figura 8.), se explotan principalmente a cielo abierto y el material se extrae mediante la utilización de maquinaria pesada.

El material pétreo que se extrae principalmente de canteras a cielo abierto son areniscas silíceas, utilizadas como componentes de fabricación para hacer morteros utilizados en obras de construcción.

Las canteras que se ubican en las afueras de la ciudad de Quito (ver figura 9.), son aquellas que explotan materiales pétreos que son utilizados en la construcción, y cuyos materiales se extraen por medios mecánicos, se realiza un tamizado y se comercializa en grandes proporciones.

1.2. CONTAMINACION GENERADA EN LA EXPLORACIÓN, EXPLOTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE LOS MINERALES NO METALICOS

1.2.1. CONTAMINANTES GENERADOS EN LA FASE DE EXPLORACIÓN

Quisiera mencionar que previo a la fase de exploración de cualquier concesión minera existen las fases de Reconocimiento y Prospección del terreno a ser explotado y en las cuales se realizan los respectivos estudios de investigación geográfica que pueden ser históricos o tomados in-situ para proyectar tanto la inversión requerida para su exploración, así como definir las posibles reservas posibles que puede tener un yacimiento. Posterior a estas dos fases que conllevan un tiempo de 1 a 5 años (MAE, 2013); se avanza a la fase de exploración, en la cual comienza el verdadero impacto ambiental al sitio designado para la mina.

Durante la fase de exploración, se realizan los estudios pertinentes a muestras estratégicamente obtenidas en varios puntos de la zona donde se encuentra la concesión minera y se procede a verificar mediante análisis físico-químicos si el yacimiento es rentable, así como también se puede proyectar las reservas probadas del mismo. Durante esta fase, tanto para la minería no metálica como para la metálica, los efectos de contaminación están dados por la apertura de caminos e invasión del personal que labora en las concesiones.

Los principales contaminantes que se dan en esta fase son (UICN, 2009):

- Desechos biológicos
- Desechos sólidos que provienen del consumo humano; por ejemplo botellas plásticas (ver Fig. 10)

- Hidrocarburos

Estos contaminantes son similares a los generados en las siguientes fases de explotación (extracción) y aprovechamiento, solamente que el impacto es menor, ya que la operación se realiza en una magnitud inferior. Con este precedente se abordarán los contaminantes generados a mayor profundidad en las fases mencionadas.

1.2.2. CONTAMINANTES GENERADOS EN LA FASE DE EXPLOTACION

Una vez que el proyecto minero ha pasado la etapa de exploración, y si es rentable, se procede con la etapa de explotación de la mina o cantera. Un ejemplo de la explotación son las canteras que se pueden observar en las afueras de la ciudad de Quito, de donde se extraen materiales pétreos, material que luego es utilizado para fabricar elementos de construcción diversos.

En la tabla 1, se identifican los factores ambientales y su impacto potencial generados en la explotación de minerales no metálicos.

Para efectos de la presente monografía nos concentraremos en los contaminantes que afectan a los factores del aire, agua y suelo.

1.2.2.1. CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Como se menciona en la tabla 1; la contaminación del aire viene dada por partículas en suspensión, contaminación por emisión de gases derivados de la combustión de hidrocarburos que son utilizados en las maquinarias y por la contaminación generada por voladuras en minas y canteras (UICN, 2009).

En la actividad minera no metálica, las partículas en suspensión o más conocido como “polvo minero” (ver figura 11.), tendrán composiciones específicas con la roca o mineral explotado, el cual puede ser problemático por dos razones principales:

- a. La granulometría: partículas con un diámetro inferior a 10 micras pueden causar varios problemas respiratorios, ya que estas pasan el tracto respiratorio y se acumulan en los pulmones los cuales tiempo después van disminuyendo su capacidad de funcionamiento. Las partículas menores a 2.5 micras aún son más problemáticas, ya que al ser muy ligeras pasan una gran parte suspendidas en el aire y pueden viajar varios kilómetros a la redonda de la mina o cantera (UICN, 2009).
- b. La composición: como se había mencionado depende del mineral explotado, pero principalmente se presentan en la tabla 2.

Por otro lado los gases contaminantes que se liberan de la combustión de los hidrocarburos utilizados en la maquinaria minera también forman parte de la contaminación del aire. Principalmente se genera Dióxido de Carbono (CO₂), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Azufre (SO₂) y gases de Nitrógeno

(Monóxido de Nitrógeno – NO y Dióxido de Nitrógeno – NO₂). Estos gases se liberan directamente a la atmósfera aportando de manera directa a la contaminación global del ambiente y secundariamente a los efectos ya conocidos por estos contaminantes (UICN, 2009).

1.2.2.2. CONTAMINACIÓN DEL SUELO

El suelo es uno de los principales medios que se contaminan con la actividad minera, ya que es una actividad intrusiva a los medios minerales que se han conformado en el transcurso de millones de años.

La actividad mecánica del hombre sobre el suelo que conforma una cantera o mina, es la responsable de muchos impactos sobre el ecosistema y calidad del terreno adyacente. Dentro de estas actividades físicas las de mayor impacto son las siguientes:

- a. Remoción de capa vegetal primaria: Desde las actividades de exploración, se realiza una actividad intrusiva, que remueve la capa vegetal primaria para la apertura de caminos, vías para el ingreso de maquinaria y retiro de la vegetación que cubre la veta mineral, en este proceso se afecta a las especies botánicas existentes y secundariamente a las especies zoológicas que se sirven de dichas plantas para su subsistencia (UICN, 2009).

- b. Pérdida de la capa fértil: Una vez retira la capa vegetal se continúa realizando el movimiento de tierras necesario para llegar a la veta, o explotar dichas masas de tierra con la finalidad de obtener el mineral requerido. Este movimiento y extracción de la tierra se considera una erosión no natural lo que se traduce rápidamente en una pérdida de la fertilidad del suelo (UICN, 2009).

- c. Cambios en la topografía y morfología del sitio: Una vez que ha comenzado el proceso de extracción del mineral, tanto la topografía y morfología del sitio irá cambiando paulatinamente, ya que la actividad extraerá todo el material que requiere de la concesión con lo cual el suelo de dicho lugar no tendrá geográficamente la misma forma natural inicial.

- d. Afectación de las características físico-químicas del suelo: la minería al ser una actividad que cambia físicamente toda la estructura del lugar, también afecta a la composición del suelo donde se está trabajando, la misma que es simbiótica al medio, plantas y animales; una vez que la erosión artificial de la actividad minera entre en efecto, está no devolverá al terreno a sus condiciones originales.

- e. Cambio del paisaje: Este efecto sobre todo visual es muy común en las canteras de la minería no metálica, literalmente se puede observar como la industria minera erosiona montañas con la finalidad de obtener el mineral y sobre todo la actividad en sí es una intromisión a la visión natural como se lo puede observar en la figura 12.

f. Desechos sólidos no tratados: Dentro de la actividad minera no metálica se producen dos tipos de desechos sólidos que pueden afectar a la contaminación del suelo. El primero de ellos son los escombros de material que se generan a partir de la misma explotación minera, los mismos que son acumulados en zonas específicas para su posterior disposición. El segundo de ellos son todos los desechos que produce el personal que trabaja en la concesión, ya que la actividad minera es una gran demandante de mano de obra, por lo cual es necesario que las empresas mineras tengan un buen sistema de tratamiento y disposición de residuos sólidos que generan sus trabajadores. La contaminación se produce cuando estos desechos no se tratan de forma adecuada, por ejemplo el primero de ellos va a causar una contaminación cruzada del aire dado que el viento erosiona los montículos del material desechado y va llenando el ambiente de partículas, adicionalmente por efectos de la lluvia y si el material extraído (no tratado) es de origen sulfuroso la afectación al suelo es devastadora, ya que por lixiviación la contaminación llega a estratos donde acaba con la fertilidad; adicionalmente donde se depositan los escombros e incluso después del retiro de estos, la capa vegetal no volverá a crecer sin una remediación. En el caso de los desechos generados por la actividad humana, la contaminación se puede producir por degradación de material orgánico y/o material de difícil descomposición como por ejemplo botellas de plástico o más grave aún desechos sólidos peligrosos como por ejemplo baterías, repuestos de maquinaria, etc. (Sacher y Acosta, 2012).

g. Derrames de hidrocarburos: Dado que la maquinaria utilizada dentro del proceso de explotación de una mina o una cantera es muy utilizada, se requiere una gran cantidad de hidrocarburos como aceites minerales para lubricación, gasolina y diésel para trabajo, movilidad, etc. Es muy común que por una mala manipulación de estos hidrocarburos, se produzcan derrames sobre el suelo donde se está extrayendo el mineral o más común sobre el suelo donde se realiza el mantenimiento de la maquinaria. El efecto de estos derrames que básicamente se logran ver a mediano plazo, es la muerte de la capa vegetal afectada y sobre todo que los hidrocarburos penetran a través de la porosidad de las capas del suelo y no se degradan con facilidad, quedando en las mismas por un largo tiempo, evitando que pueda crecer vegetación nueva (UICN, 2009).

1.2.2.3. CONTAMINACIÓN DEL AGUA

El agua es el recurso más importante para todo el ecosistema y es uno de los elementos que más sufre contaminación, no solo por la industria minera, sino también por toda la actividad humana, al ser un recurso no renovable y donde el efecto contaminante es inmediato, es necesario ponerle una atención adecuada para evitar su deterioro.

En la minería no metálica la contaminación del agua, puede afectar a cauces cercanos y fuentes subterráneas. En nuestro país, el agua está protegida como fuente de consumo para los ecuatorianos y por esto no se permite legalmente que las actividades mineras contaminen los afluentes de agua. La minería ilegal y

artesanal es la que más contaminación ha producido en cauces de ríos por un manejo inadecuado de los desechos sólidos y relaves (Parra, 2009).

Y aunque la minería utiliza una cantidad mucho menor de agua en comparación a otras actividades como por ejemplo la ganadería y/o la agricultura, es necesario mencionar las operaciones principales que pudieran incurrir en una contaminación del agua en la minería no metálica (UICN, 2009):

- a. Alteración de drenajes naturales: Tal y como se menciona en la contaminación del suelo, la actividad minera es una operación intrusiva en el medio, por lo que es probable que al encontrarse con un cauce de agua natural este sea desviado, con la finalidad de evitar que el agua erosione de forma más rápida el material de la concesión y una posible contaminación. (Antón, 2001).

- b. Sedimentos en suspensión (turbidez): Cualquier material no metálico que se haya extraído de una cantera o una mina y que se apile cerca a cualquier cauce de agua, puede generar contaminación con sólidos en suspensión y cambiar la turbidez de la misma e incluso puede generar un mayor problema si en temporadas de invierno con las crecidas de cauces y ríos, el agua puede llevarse consigo una gran cantidad de material contaminante y sedimentos que a la postre llevarán a mayores problemas en las partes bajas de los ríos (UICN, 2009).

- c. Contaminación por derrames de hidrocarburos: El agua que está junto a una concesión puede contaminarse por el uso irresponsable del hombre en el manejo

de hidrocarburos, los que son utilizados en las maquinarias mineras. En este caso los contaminantes son insolubles en agua y presentan mezclas heterogéneas que fácilmente se dispersan según el caudal, pudiendo así contaminar grandes extensiones por un largo periodo de tiempo (UICN, 2009).

- d. Desechos de aguas residuales o aguas negras no tratadas vertidas directamente en cauces naturales: Este tipo de contaminación, aunque ha sido controlado por empresas mineras responsables, históricamente ha causado grandes daños ambientales ya que toda el agua utilizada por la industria minera se vertía directamente a los cauces naturales sin ningún tratamiento previo. En la actualidad existen piscinas de tratamiento de aguas industriales y aguas servidas donde se ha logrado recuperar hasta el 95% del agua utilizada, la misma que se devuelve al ambiente o se re-utiliza (UICN, 2009).

La contaminación del agua es uno de los principales efectos que se toman en consideración al momento de realizar una concesión minera, y principalmente en Ecuador es una de las mayores preocupaciones e incluso es tema de debate para ecologistas y organizaciones sociales que están en contra de la minería a gran escala, y es que; nuestros ríos ubicados cerca a los lugares de explotación minera sobre todo artesanal, eran receptores de toda el agua contaminada de relaves y extracciones químicas; dando como resultado ríos extremadamente contaminados y que a su vez son afluentes de otros más grandes (Acosta y Sacher, 2012; Parra, 2009).

1.2.3. CONTAMINANTES GENERADOS EN LA FASE APROVECHAMIENTO

En la fase de aprovechamiento de la minería no metálica, se mencionarán los contaminantes generados en los procesos industriales de fabricación del Cemento y la Cerámica y que son considerados en la actualidad como industria estratégica para el país.

1.2.3.1. CEMENTO

El cemento es un conglomerado que se obtiene a partir de la mezcla de caliza, la cual mayoritariamente está compuesta por carbonato de calcio (CaCO_3), y arcilla, compuesta principalmente por silicatos de aluminio $\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_3$, calcinadas a altas temperaturas alrededor de 1500°C y posteriormente molidas. Esta mezcla es conocida como “Clinker”, a la que posteriormente se le añade yeso, compuesto de sulfato de calcio (CaSO_4); con lo que se logra obtener las características físicas al mezclarlo con agua y obtener una masa consistente, uniforme y maleable la cual fragua y se endurece (Prato, 2007).

El Cemento es utilizado como un compuesto primario en obras de ingeniería y existen cementos de varias gamas dependiendo de la Clinker o mezcla que se realice en su fabricación, obteniendo cementos con características y propiedades físicas y mecánicas que se ajustan a la necesidad de la construcción o uso. El más común es el cemento Portland (ver figura 13.) que tiene la composición básica descrita en la Tabla 3.

Las propiedades generales del cemento son las siguientes (Prato, 2007):

- Buena resistencia al ataque químico
- Resistencia a elevadas temperaturas: refractario
- Resistencia inicial elevada
- Uso apropiado para bajas temperaturas por ser muy exotérmico
- Al mezclarlo con agua, arena y gravilla (graba) se obtiene una mezcla pastosa que es maleable y plástica, la cual se utiliza para la unión de otros materiales y como sellante. Esta mezcla es conocida como hormigón.

1.2.3.1.1. IMPACTO AMBIENTAL Y CONTAMINANTES GENERADOS EN LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO

La industria del cemento, de gran expansión en nuestro país (ver figura 14.), sigue básicamente dos métodos de producción: los métodos húmedos y los métodos secos, en donde principalmente se prepara y se calienta la materia prima compuesto principalmente del conglomerado de piedra caliza y arcilla (Prato, 2007).

En el método húmedo la materia prima se muele con adición de agua hasta formar un lodo con 35 – 40% de agua. Durante la cocción el agua se evapora. Este método requiere un 100% de energía adicional al método seco y es por esto que la mayoría de industrias cementeras están invirtiendo en maquinaria para reemplazar o reacondicionar su método húmedo al método seco. Por razones lógicas la emisión de gases en el método húmedo es mayor que en el método seco (Prato, 2007).

En el método seco la materia prima se tritura al mismo tiempo que se seca, y se cuecen posteriormente en un horno giratorio a la temperatura de aglomeración requerida, aproximadamente 1400°C, la capacidad de procesamiento del material es también 5 veces superior en el método seco que en su contraparte húmeda. La figura 15 nos presenta una imagen de los hornos giratorios utilizados en la fabricación del cemento (Prato, 2007).

Los principales medios que se afectan con la industria cementera son los siguientes:

- **Contaminación del aire:** Se producen gases de escape en la cocción de las materias primas principalmente dióxido de carbono (CO₂), dada por la transformación del carbonato de calcio en óxido de calcio (CaO) donde se presenta la siguiente reacción:



Así pues las emisiones gaseosas de la descarbonatación, están conformadas por el dióxido de carbono, los gases de escape del combustible requerido por el horno y vapor de agua. Así también pueden aparecer compuestos de azufre generalmente en forma de SO₂ y óxidos de nitrógeno (NO_x). La temperatura de la llama en la fabricación del cemento que llega hasta los 1800°C, produce aún

más óxidos de nitrógeno por la oxidación del nitrógeno atmosférico (Parker, 2001).

Como materiales combustibles complementarios la industria del cemento utiliza aceites, disolventes, residuos de pintura, neumáticos viejos u otros residuos que contienen contaminantes; esta práctica ha sido positiva ya que la escoria final del horno es reciclada para tratar suelos contaminados, neutralizar cualquier efluente ácido, estabilizar los desechos peligrosos e incluso como relleno de asfalto; pero hay que tener especial cuidado de no quemar grandes cantidades de material peligroso que se pueda liberar a la atmósfera.

Otra de las principales causas de contaminación del aire es el polvo que se desprende en todas las fases de producción del cemento, desde el tratamiento de las materias primas hasta el almacenamiento del producto final. Al ser un producto que contiene sílice, el polvo suspendido en la atmósfera es causante de silicosis en los trabajadores de la planta.

- **Contaminación del agua:** Las fábricas de cemento son grandes consumidores de agua y sobre todo aquellas que aún fabrican cemento por el proceso húmedo, ya que las materias primas y el agua forman una lechada que es alimentada directamente en el horno. En algunos casos, las plantas pueden lixiviar el polvo del horno que se ha recolectado con la finalidad de eliminar el álcali soluble antes de volver alimentar el horno; en este tipo de plantas, el rebosamiento del proceso de lixiviación constituye la fuente más severa de contaminación hídrica la cual

requiere su respectiva neutralización antes de descargarlo. En plantas de procesos secos esto se ha evitado y el consumo de agua se da para enfriamiento de los hornos, la cual se recircula y solo se repone la cantidad perdida en el proceso (Parker, 2001).

- **Contaminación del suelo:** Puede suceder que las materias primas o los materiales de desecho utilizados como combustibles contengan concentraciones o trazas importantes de materiales peligrosos, no obstante estos son absorbidos durante la fabricación del Clinker en estado fundido; de todas formas se deben hacer análisis tanto de las materias primas como de los elementos combustibles para evitar ser utilizados cuando tengan grandes cantidades de materiales peligrosos tales como Plomo, Cadmio, Teluro, Mercurio y Cinc (Parker, 2001).

1.2.3.2. CERAMICA

Las fábricas de cerámica tienen similares procesos industriales; para efectos de la presente monografía se tomará como ejemplo la fabricación de baldosas cerámicas (ver figura 16.); material muy utilizado en la industria de la construcción. A continuación se da una breve descripción del proceso de fabricación de las mismas.

El proceso cerámico comienza con la selección de las materias primas que deben formar parte de la composición de la pasta, que son fundamentalmente arcillas, feldespatos, arenas, carbonatos y caolines.

Una vez realizada la primera mezcla de los distintos componentes de la pasta cerámica, ésta se somete por lo general a un proceso de trituración, que puede ser vía seca utilizando molinos de martillos o pendulares o vía húmeda con molinos de bolas continuos o discontinuos. El material resultante de la trituración presenta características distintas dependiendo si se efectúa por vía seca o por vía húmeda. En el primer caso se produce una fragmentación, manteniéndose tanto los agregados como los aglomerados de partículas, siendo el tamaño de partículas resultante superior al obtenido por vía húmeda en donde todas las partículas son menores de 200 micras (ITC, 2009).

El procedimiento que se ha impuesto en la fabricación de baldosas cerámicas, como consecuencia de las importantes mejoras técnicas que supone, es el de vía húmeda y posterior secado de la suspensión resultante por atomización. En el procedimiento de vía húmeda, las materias primas pueden introducirse total o parcialmente en el molino de bolas, a la suspensión resultante, conocida como barbotina, se le elimina una parte del agua que contiene hasta alcanzar el contenido en humedad necesario para cada proceso. El método más utilizado es el secado por atomización (ITC, 2009).

El proceso de secado por atomización, se realiza cuando una suspensión pulverizada en finas gotas, entra en contacto con aire caliente para producir un producto sólido de bajo contenido en agua. La barbotina nebulizada y dividida se seca poniéndola en contacto con una corriente de gases calientes. Estos gases provienen de un quemador convencional aire-gas natural. El granulado, con una

humedad entre el 5,5 y el 7%, es descargado en una cinta transportadora y llevado a los silos para su posterior prensado. La corriente de gases utilizada para secar la barbotina y obtener el polvo atomizado es eliminada por la parte superior del atomizador conteniendo un elevado grado de humedad y partículas de polvo muy finas en suspensión. La implantación del proceso de secado por atomización para la obtención de la materia prima del soporte: polvo atomizado, conlleva unas importantes ventajas que favorecen el desarrollo de las posteriores etapas del proceso de fabricación. Una de las ventajas más importantes es la obtención de gránulos más o menos esféricos, huecos en su interior y muy uniformes, lo que confiere al polvo atomizado una elevada fluidez, facilitando las operaciones de llenado de los moldes de las prensas y prensado de piezas de gran formato (ITC, 2009).

El procedimiento predominante de conformación de las piezas es el prensado hidráulico en seco (5-7% de humedad). Este procedimiento de formación de piezas opera por acción de una compresión mecánica de la pasta en el molde. Los moldes continúan al proceso de extrusión que básicamente es el procedimiento de conformación de pieza y consiste en hacer pasar una columna de pasta, en estado plástico, a través de una matriz que forma una pieza de sección constante (ITC, 2009).

La pieza cerámica una vez conformada se somete a una etapa de secado, con el fin de reducir el contenido en humedad tras su conformado hasta niveles lo suficientemente bajos (0,2-0,5 %), para que las fases de cocción y, en su caso,

esmaltado se desarrollen adecuadamente. En los secaderos que normalmente se utilizan en la industria cerámica, el calor se transmite mayoritariamente por convección, desde gases calientes a la superficie de la pieza. El aire que se utiliza debe ser lo suficientemente seco y caliente, pues se utiliza no sólo para eliminar el agua procedente del sólido sino también para suministrar la energía en forma de calor, que necesita esa agua para evaporarse. Actualmente el secado de las piezas se realiza en secaderos verticales u horizontales. La emisión resultante de la operación de secado es una corriente de gases a temperatura del orden de los 110°C y con muy baja concentración de partículas en suspensión (ITC, 2009).

El esmaltado consiste en la aplicación por distintos métodos de una o varias capas de vidriado con un espesor comprendido entre 75-500 micras en total, que cubre la superficie de la pieza. Este tratamiento se realiza para conferir al producto cocido una serie de propiedades técnicas y estéticas, tales como: impermeabilidad, facilidad de limpieza, brillo, color, textura superficial y resistencia química y mecánica. La naturaleza de la capa resultante es esencialmente vítrea, aunque incluye en muchas ocasiones elementos cristalinos en su estructura. El vidriado, al igual que la pasta cerámica, está compuesto por una serie de materias primas inorgánicas. Contiene sílice como componente fundamental (formador de vidrio), así como otros elementos que actúan como fundentes (alcalinos, alcalinotérreos, boro, cinc, etc.), como opacificantes (circonio, titanio, etc.), como colorantes (hierro, cromo, cobalto, manganeso, etc.). Dependiendo del tipo de producto, de su temperatura de cocción, y de los efectos y propiedades a conseguir en el producto acabado, se formula una amplia variedad de esmaltes. En otros procesos cerámicos

(porcelana artística, sanitarios) se utilizan en la formulación de vidriados única y exclusivamente materias primas cristalinas, naturales o de síntesis, que aportan los óxidos necesarios. En cambio, en el proceso de baldosas cerámicas se vienen usando materias primas de naturaleza vítrea, preparadas a partir de los mismos materiales cristalinos sometidos previamente a un tratamiento térmico de alta temperatura (ITC, 2009).

La serigrafía es la técnica mayoritariamente utilizada para la decoración de baldosas cerámicas, debido a su facilidad de aplicación en las líneas de esmaltado. Consiste en la consecución de un determinado diseño que se produce por aplicación de una o varias pantallas superpuestas (telas tensadas de una luz de malla determinada). Estas pantallas presentan la totalidad de su superficie cerrada por un producto endurecedor, dejando libre de paso únicamente el dibujo que se va a reproducir. Al pasar sobre la pantalla un elemento que ejerce presión, se obliga a la pasta serigráfica a atravesarla, quedando la impresión sobre la pieza (ITC, 2009).

La cocción de los productos cerámicos es una de las etapas más importantes del proceso de fabricación, ya que de ella dependen gran parte de las características del producto cerámico: resistencia mecánica, estabilidad dimensional, resistencia a los agentes químicos, facilidad de limpieza, resistencia al fuego, etc. Las variables fundamentales a considerar en la etapa de cocción son, el ciclo térmico y la atmósfera del horno, que deben adaptarse a cada composición y tecnología de fabricación, dependiendo del producto cerámico que se desee obtener (ITC, 2009).

Por último con la etapa de clasificación y embalado finaliza el proceso de fabricación del producto cerámico.

En la figura 17, se pueden observar fotografías de un horno, prensado y serigrafía en una fábrica de cerámica de baldosas.

1.2.3.2.1. IMPACTO AMBIENTAL Y CONTAMINANTES GENERADOS EN LA PRODUCCIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

La industria de fabricación de baldosas cerámicas tiene las siguientes afecciones ambientales (Instituto de Tecnología Cerámica, 2009):

- **Contaminación del aire:** Las emisiones atmosféricas generadas a lo largo del proceso productivo, dependiendo de la etapa de proceso donde se generen, tienen unas características más o menos definidas. La tabla 4 nos informa de las emisiones de la industria cerámica.

La emisión de material particulado está considerada como uno de los impactos ambientales más significativos de su proceso de fabricación, ya que se trata de un tipo de actividad industrial que procesa materiales de naturaleza pulverulenta. Este material particulado se emite a partir de focos canalizados o difusos. Las emisiones difusas tienen un impacto significativo, que dependiendo de las instalaciones puede ser tanto o más importante que el de las canalizadas, y que puede afectar tanto al medio ambiente (calidad del aire principalmente) como a

la salud humana. En el caso de la fabricación de productos cerámicos tradicionales (baldosas cerámicas, ladrillos, tejas, etc.), la naturaleza o composición de las partículas emitidas por chimeneas, vienen determinadas por las materias primas empleadas y la etapa del proceso en que se origina la emisión. Por ejemplo, la composición de las partículas procedentes de los puntos de aspiración será diferente si se generan en la etapa de preparación de materias primas, prensado y secado, donde las partículas emitidas son restos de: arcillas, cuarzo, feldespatos, etc., que si proceden de las aspiraciones de las líneas de esmaltado, donde se puede encontrar también plomo, otros elementos metálicos, boro, etc. Por lo tanto, a la hora de definir las características de las partículas es muy importante tener en cuenta la etapa de proceso donde se originan (ITC, 2009).

Las emisiones de contaminantes gaseosos son características de actividades o procesos industriales de alta temperatura y/o donde tienen lugar procesos de combustión. En el caso de fabricación de productos cerámicos estas etapas son principalmente, operaciones de secado y cocción. Los contaminantes gaseosos se pueden agrupar en:

- ✓ Gases generados en los procesos de combustión (CO₂, CO, NO_x, SO_x, etc.), como por ejemplo en el caso del secado por atomización, secado de piezas conformadas, cocción, etc.

- ✓ Gases producidos por descomposición de materias primas (CO₂, HF, HCl, SO_x, metales pesados, COV, etc.). Estos contaminantes son característicos

de procesos a alta temperatura (etapas de cocción), en el que se producen transformaciones físico-químicas importantes en los materiales procesados.

Los compuestos de flúor se encuentran presentes en las emisiones de la industria cerámica, fundamentalmente en forma de compuestos gaseosos en la etapa de cocción. En general, el flúor en los hornos de cocción de productos cerámicos, se genera como consecuencia de la descomposición de minerales arcillosos que contienen impurezas de flúor en su estructura, a partir de temperaturas del orden de 400-600°C. Los compuestos mayoritarios que se forman son ácido fluorhídrico, tetrafluoruro de silicio y en menor medida fluoruros alcalinos en forma de partículas, pudiendo considerarse la presencia de estos últimos prácticamente despreciable (ITC, 2009).

Los compuestos de azufre (SOx) se generan principalmente por oxidación del azufre contenido en ciertos combustibles fósiles (carbón y petróleo) durante el proceso de combustión. En el caso concreto del sector cerámico y afines, cabe destacar una clara tendencia a disminuir la utilización de dichos combustibles, utilizando la gran mayoría de industrias como combustible gas natural. Éste está considerado dentro del grupo de los denominados “gases limpios”, ya que la presencia de azufre e impurezas en su composición es prácticamente despreciable. No obstante, se debe tener en cuenta que en la fabricación de productos cerámicos se utilizan en algunos casos materias primas (fundamentalmente arcillas) que introducen azufre en su composición a través de impurezas; básicamente pirita (FeS₂) y yeso (CaSO₄·2H₂O), que provocan

emisiones de compuestos de azufre (SO_x), particularmente SO₂ - SO₃, durante la etapa de cocción. La emisión de azufre en el proceso de cocción de materiales cerámicos se produce en dos periodos, la primera se detecta alrededor de los 450°C y se debe a la oxidación de pirita (FeS₂) y al azufre asociado a materia orgánica. La segunda emisión tiene lugar por encima de los 750°C hasta el final del ciclo de cocción, en este caso se debe a la descomposición de los sulfatos (yeso), estando limitada por el proceso de vitrificación de la pieza (ITC, 2009).

Los óxidos nitrosos (NO_x) son un conjunto de óxidos de nitrógeno, básicamente NO y NO₂, presentes en una corriente gaseosa. Generalmente la proporción en la que se encuentran es de un 90% de NO y de un 10% de NO₂. El NO_x presente en las emisiones puede proceder de la combustión de moléculas de nitrógeno presentes en el combustible. Normalmente a estos óxidos nitrosos se les denomina NO_x del combustible y la cantidad generada es baja si el combustible utilizado es gas natural. La reacción, a la temperatura de combustión, entre el nitrógeno y el oxígeno del aire, denominado NO_x térmico. En las emisiones de la industria cerámica la presencia de este contaminante se asocia a las etapas de cocción y de secado por atomización. En el proceso de cocción de materiales cerámicos tradicionales, el contenido en óxidos de nitrógeno es bajo, aunque mayor que el observado en las instalaciones de secado por atomización, ya que como se ha comentado anteriormente este tipo de contaminante es característico de procesos a alta temperatura (ITC, 2009).

Los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) provienen de las materias primas cerámicas que pueden contener materia orgánica, además en el propio proceso de fabricación, se utilizan materiales de naturaleza orgánica, que se adicionan como agentes ligantes, formadores de poros, adhesivos, etc. Durante las etapas de proceso que requieren temperatura (secado, cocción, etc.), pueden emitirse COV como resultado de la descomposición de los materiales orgánicos utilizados. La posible presencia de metales pesados está asociada principalmente a la composición de las materias primas utilizadas en la etapa de preparación y aplicación de esmaltes (ITC, 2009).

- **Contaminación del agua:** Las aguas residuales procedentes de las operaciones de limpieza, preparación y aplicación de esmaltes suelen presentar turbidez y color debido a las finísimas partículas de esmalte y mineral arcilloso en suspensión. Desde el punto de vista químico se caracterizan por la presencia de:
 - ✓ Sólidos en suspensión: arcillas, restos de fritas, silicatos insolubles en general.
 - ✓ Aniones en solución: sulfatos, cloruros, fluoruros, etc.
 - ✓ Metales pesados en solución y/o suspensión, principalmente Pb y Zn.
 - ✓ Boro.
 - ✓ Materia orgánica: vehículos serigráficos y colas utilizadas en las operaciones de esmaltado.

La concentración de estos elementos dependerá del tipo y composición de los esmaltes utilizados y del volumen de agua que se emplee. Cabe resaltar que

también hay que considerar las aguas residuales domésticas y las aguas pluviales a la hora de la gestión de los efluentes líquidos de la empresa. Estas aguas se caracterizan, en general, por un alto contenido en materia orgánica, sólidos en suspensión, nitrógeno amoniacal, cloruros, aceites y grasas, detergentes y una alta turbidez (ITC, 2009).

Las aguas pluviales pueden arrastrar elementos procedentes de las emisiones de la empresa que estén dispersos en la atmósfera o depositados en las superficies de las edificaciones y terrenos.

- **Contaminación del suelo:** Los residuos sólidos son los más numerosos generándose en todas las etapas del proceso productivo. Desde el punto de vista cuantitativo cabe destacar los siguientes (ITC, 2009):
 - ✓ Restos de materias primas y aditivos, residuos de la depuración de gases y productos crudos (antes del proceso de cocción).
 - ✓ Producto acabado de desecho o fuera de especificaciones o normas (después del proceso de cocción).
 - ✓ Residuos de servicios auxiliares de proceso y mantenimiento, tales como chatarra, rodillos, elementos refractarios, abrasivos, etc.
 - ✓ Residuos de envases.
 - ✓ Lodos y suspensiones acuosas que contienen materiales cerámicos.
 - ✓ Materiales depositados en el interior de los canales de recogida de aguas (interior de la fábrica) que contengan sustancias peligrosas.

- ✓ Fangos procedentes de la depuración de aguas de proceso de acuerdo con el criterio anterior
- ✓ Residuos de la depuración de boro y de flúor.
- ✓ Residuos de envases.
- ✓ Aceites usados y otros residuos de mantenimiento general (baterías, filtros usados, etc.).

Los residuos peligrosos, por sus características implican un mayor riesgo para la salud de las personas y el medio ambiente, y por tanto requieren un tratamiento especial, así como un continuo control para su gestión.

2. INDUSTRIA MINERA METÁLICA

La industria minera metálica en el Ecuador ha tenido una explotación más amplia en el sentido que ha sido prolongada en el tiempo ya que desde la época pre-hispánica se obtenía oro, plata y otros metales para la fabricación de joyas principalmente. Desde la llegada de los españoles en el siglo XVI se incrementa la actividad de extracción de metales preciosos, principalmente el oro, y cuya actividad se realizaba en los márgenes de los ríos o en túneles de corto alcance hechos en la roca. Con el auge industrial a fines del siglo XIX e inicios del siglo XX, empieza la verdadera extracción de metales en minas subterráneas, luego en las décadas de los 70's y 80's del siglo XX ya existían varias pequeñas industrias y muchos mineros artesanales que hicieron de la explotación de metales su modo de vida y es hasta ahora considerada una fuente

de ingresos principal para las comunidades que se asentaron junto a los yacimientos mayoritariamente ubicados en el sur del país, Provincias del Oro, Azuay Zamora Chinchipe (Molina, 2013).

Dado que las extracciones se realizaban sin ningún control de parte de la autoridades y sobre todo la actividad realizada por pequeña minería (conformada por asociaciones de mineros artesanales), la minería artesanal y la minería informal han sido los causantes de varios desastres ecológicos en la comunidades de Portovelo, Zaruma, Nambija, Ponce Enríquez, Sigsig, entre otras; en donde la contaminación es parte del ambiente y ha causado (y continúa) conflictos sociales y políticos, cuyos problemas se están tratando de resolver con un nuevo mandato y código minero que se espera en el corto plazo ayude a regularizar la actividad minera. (Pillajo, 2009)

Según la Cámara de Minería del Ecuador (ver Anexo 1), los metales que presentan buen potencial minero en Ecuador son los siguientes, con sus respectivas reservas y recursos (incluye reservas probadas y probables; recursos medidos indicados e inferidos):

- Oro: 39 millones de Onzas
- Plata: 88 millones de Onzas
- Cobre: 8 millones de toneladas métricas
- Plomo: 28 mil toneladas métricas
- Zinc: 209 mil toneladas métricas

De los metales previamente indicados, solo el oro es el que ha tenido mayor atención, dada su buena cotización en los mercados nacionales e internacionales, y es el único metal que ha tenido explotación histórica a gran escala en el Ecuador. En la actualidad se está poniendo atención a otros metales, especialmente en el cobre, para lo cual se han designado como proyectos estratégicos con la finalidad que el país entre en la minería mundial a gran escala (Acosta y Sacher, 2012).

Para efectos de la presente monografía y dado el potencial aurífero que tiene el Ecuador se analizará los procesos de extracción del oro y su impacto en el medio ambiente.

2.1. MINERÍA AURÍFERA

2.1.1. CARACTERÍSTICAS, PROPIEDADES Y APLICACIONES DEL ORO

El oro (Au) es un elemento químico que se encuentra en estado natural, de color amarillento, es considerado metal precioso. Entre sus características principales se encuentran las siguientes (Fitzpatrick, 2013):

- Considerado el metal más maleable y dúctil, 1 onza de oro puede moldearse en una lámina que cubra 28 m².
- Buen conductor del calor y la electricidad

- Tiene una alta resistencia a la alteración química por parte del calor, la humedad y la mayoría de los agentes corrosivos
- Es un metal muy denso, con un alto punto de fusión y alta afinidad electrónica.
- Sus estados de oxidación más importantes son: 1+ y 3+
- No reacciona con la mayoría de los compuestos químicos pero es soluble con Cianuros alcalinos (cianuro de potasio o cianuro de sodio), Agua regia (mezcla de ácido clorhídrico - HCL y ácido nítrico – HNO₃ en relación 3:1), Mercurio (Hg) y con soluciones que contienen cloruros (Cl⁻), bromuros (Br⁻) o yoduros (I⁻).

El oro puro o de 24 quilates es demasiado blando para usarlo en aplicaciones directamente y se endurece al alearlo con plata o cobre, con lo que puede llegar a tener diferentes coloraciones o matices. El oro y sus aleaciones se emplean principalmente en joyería, como mercancía (moneda alterna de alto valor), en la industria, en la electrónica y en la química comercial. La riqueza de los países se mide en las reservas de oro (ver figura 18.), que tiene cada uno de estos. En el caso del Ecuador sus reservas de oro ascienden aproximadamente a 1,28 millones de onzas (Fitzpatrick, 2013).

El oro se utiliza en otras aplicaciones, como por ejemplo en electricidad al recubrir la superficie de las conexiones, en medicina uno de sus isótopos es usado en radioterapias para combatir el cáncer y también se emplea en la industria aeroespacial para recubrir partes esenciales en los satélites ya que el oro es un buen repelente de la luz infrarroja.

2.1.2. YACIMIENTOS AURIFEROS

Los yacimientos auríferos son diversos y se mencionará a continuación los principales:

- Depósitos de venas epitermales: Los depósitos de venas epitermales son depósitos de oro que están entre 1 km hasta 2 km por debajo de la corteza debido a la actividad volcánica de la Tierra que permiten que los minerales se mezclen y oxiden químicamente y alteren los elementos. Este fenómeno natural permite la formación del oro y como resultado de la actividad volcánica en las profundidades de la corteza, el oro tiende a acumularse hacia la superficie (Fitzpatrick, 2013).

- Depósitos alojados de piedra verde: Los depósitos alojados de piedra verde son regiones de la corteza de la superficie donde grandes cantidades de piedra verde, un tipo de roca metamórfica, se acumula a lo largo de las líneas de la falla. Esta red de líneas permite que muchos tipos de rocas metamórficas y minerales se formen, incluyendo el carbonato de cuarzo. El oro que se forma en estas líneas de falla se crea lentamente y se acumula a lo largo de millones de años. Muchos de estos depósitos de piedra verde alojados son también el hogar de grandes depósitos de plata. (Fitzpatrick, 2013).

- Depósitos de skarn: El skarn es una roca metamórfica con una gran cantidad de silicato. Típicamente, estos depósitos tienen tungsteno y cobre, pero los

depósitos ocasionalmente retienen grandes cantidades de depósitos de oro. Típicamente, un skarn se forma cuando una roca ígnea rica en carbono es cubierta por el magma volcánico, especialmente bajo el océano. Esto permite que una gran cantidad de productos químicos entren en la formación química de la roca y a veces pueda crear depósitos de oro. Muchos depósitos de skarn se encuentran en cañones o cordilleras que antes estaban cubiertos de océanos millones de años atrás. Durante ese lapso de tiempo, las aguas se disiparon y erosionaron las rocas de estas montañas (Fitzpatrick, 2013).

Muchos, si no todos, los depósitos de oro tardan millones de años en desarrollarse. La mayoría de los depósitos de oro, ya sea que estén profundos en la corteza terrestre o cerca de la superficie, se han desarrollado como resultado de la actividad de la roca metamórfica. Esto significa que los depósitos sedimentarios del agua del océano y la actividad volcánica ayudan a alterar químicamente los elementos lo suficiente como para crear los depósitos de oro que se ven hoy en día. La mayoría de estos depósitos de oro todavía se encuentran ya sea cerca de la actividad volcánica que los ayudó a crearse, como por ejemplo cerca de las aguas termales, o están situados en antiguas regiones donde las actividades volcánicas eran comunes (Fitzpatrick, 2013).

2.1.3. METODOS DE EXTRACCIÓN DEL ORO

Una vez finalizada la etapa de exploración, se procede a explotar el yacimiento principalmente a través de minería subterránea, para lo cual se realizan elaboradas

cámaras a través de las formaciones, siguiendo la ruta de afloramiento del cuarzo aurífero. En la mina se realizan perforaciones sistemáticas a la roca, donde se colocan explosivos para su posterior explosión, con la finalidad de obtener material granulado que sea transportable fuera de la mina y llevado a la planta de extracción. (MAE, 2013)

Para la extracción del oro se puede utilizar varias técnicas pero las más utilizadas, son las siguientes:

2.1.3.1. METODOS DE EXTRACION UTILIZADOS EN MINERIA ARTESANAL

Esta técnica utiliza un recipiente cóncavo de poca profundidad, de unos 25 a 35 centímetros de diámetro. Antiguamente estos recipientes o bateas eran de metal, pero actualmente se usan también los de plástico, con un detector de metales puede saberse de antemano si el material contendrá oro o no. El procedimiento consiste en llenar el recipiente con la arena y gravilla que contiene oro, sumergirlo en agua y agitarlo. Como el oro es más denso que la arena o la roca se asienta en el fondo. El material generalmente es obtenido a orillas de los arroyos o ríos, aprovechando la misma agua para separar el oro. Pero también suelen hallarse yacimientos en lechos de arroyos o ríos secos, en cuyo caso es necesaria una fuente auxiliar de agua. El bateo o *panning* es la técnica más sencilla para la búsqueda de oro, y suele usarse en forma individual, pero no es comercialmente viable para extraer el oro de los grandes depósitos.

Otra técnica utilizada para extraer oro de los minerales de vetas o filones, especialmente de partículas libres y granuladas, es a través de molienda utilizando *quimbaletes*, que son piedras con una concavidad que permite usarlas como un mortero y en donde se muele el material con agua. A continuación se agrega mercurio para formar una amalgama con el oro, la que es separada del resto colándola a través de una tela fina. Luego se *refoga* o quema la amalgama para evaporar el mercurio, quedando el oro en forma de bolas, cuyo tamaño depende de la cantidad de metal existente en el mineral. (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2010).

2.1.3.2. LIXIVIACIÓN, CIANURACIÓN DE MATERIAL CON ORO

El tratamiento metalúrgico de las menas de oro está basado principalmente en las propiedades inusuales del oro nativo y sus posibles aleaciones con plata. Esto es por su alto peso específico comparado con los de la ganga asociada y por otro lado por su solubilidad en soluciones alcalinas diluidas de cianuro de sodio o potasio (Lemos, 2004).

La separación gravitacional y la cianuración de menas trituradas o molidas constituyen los métodos más comunes que se ve en el diagrama de flujo indicado en la Figura 19.

Concentración gravitacional: Es el término generalmente usado para describir aquellas operaciones donde mezclas de partículas de distintos tamaños, forma y pesos específicos, son separadas unas de otras por medio de la fuerza centrífuga.

Su principio se basa en los efectos del peso específico sobre el asentamiento diferencial de las partículas en un fluido. El fundamento del proceso gravitacional es la diferencia del peso específico entre los diferentes minerales a separar. La molienda de las menas debe ser lo suficientemente fina como para liberar los minerales valiosos (Lara, 2005).

A continuación una pequeña reseña sobre algunos de estos equipamientos:

Concentrador en espiral. Espiral de Humphrey. El principio del espiral está basado en el principio de concentración a través de un flujo laminar, en el hecho que una partícula se desliza en un canal circular a través de una corriente de fluido (agua), está sujeta por lo menos a cuatro fuerzas a saber (Lara, 2005):

- Fuerza gravitacional
- Fuerza centrífuga
- Empuje del líquido
- Roce contra el fondo del canal

Cuando el material corre hacia abajo por el canal en espiral de sección semi circular cada partícula está sujeta a la fuerza a la fuerza centrífuga tangencial al cauce. Esta fuerza es directamente proporcional al radio en donde está ubicada la partícula. La fuerza centrífuga empuja al líquido hacia la periferia de la espiral hasta que la corriente de la pulpa alcanza el equilibrio entre la fuerza centrífuga y la de

gravedad. En tal caso la velocidad del flujo a través de la espiral decrece con la profundidad, siendo máxima en la superficie del líquido y tendiendo a cero hacia el fondo. Esta disminución proporcional de la aceleración es mayor en la cercanía del contacto pulpa - superficie del canal, formando sobre él una película de fluido retardado por el roce. Dicho efecto hace disminuir la fuerza centrífuga y las partículas decantadas en el fondo son llevadas hacia el interior del canal, mientras que las más livianas son arrastradas hacia la superficie (Lara, 2005).

Variables operativas (Lara, 2005):

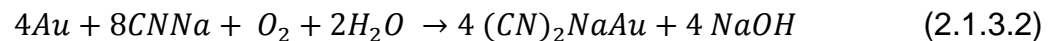
- ❖ Alimentación sobre 8 toneladas por hora de sólido.
- ❖ Porcentaje de sólido en la pulpa aproximadamente el 60% en peso.
- ❖ Granulometría de alimentación desde 0,003 mm a 2 mm.
- ❖ Volumen máximo de pulpa cercano a 5 m³/hora.

Jigs (vibración o flotación): Es un tipo de concentrador gravitacional mecánico, en donde una cama de partículas (de diferentes tamaños, formas y densidades específicas) es fluidizada por un chorro de agua intermitente (en dirección vertical). Este proceso aprovecha la velocidad de caída de los sólidos, las partículas más pesadas caen más rápido y logran recorrer mayores distancias que las más livianas. Al subir el fluido da un impulso a las partículas, donde las más livianas alcanzan mayores alturas (menor inercia). Después de repetidos impulsos se forma una camada de partículas ordenadas según su densidad. Las más densas se ubican el fondo y las más livianas en la superficie. Lo esencial en el funcionamiento de este equipo es la estratificación de partículas según sus densidades. Pueden

considerarse tres factores que contribuyen a la estratificación, ellos son (Lara, 2005):

- Clasificación por caída contrariada.
- Diferencia de aceleración.
- Consolidación de los estratos (compactación de la cama de mineral).

Cianuración: La cianuración es un proceso que se aplica al tratamiento de las menas de oro, desde hace muchos años. Se basa en que el oro nativo, plata o distintas aleaciones entre estos, son solubles en soluciones cianuradas alcalinas diluidas, regidas por la siguiente ecuación:



Los principales métodos de lixiviación son:

a) La lixiviación por agitación (ver figura 20.): La mena molida a tamaños menores a los 105 micrones, es agitada con solución cianurada por tiempos que van desde las 6 hasta las 72 horas. La concentración de la solución cianurada está en el rango de 200 a 800 ppm. El pH debe ser alto, entre 10 y 11, para evitar la pérdida de cianuro por hidrólisis (generación de gas cianhídrico, CNH, altamente venenoso) y para neutralizar los componentes ácidos de la mena. Para evitarlo se usa cal, para mantener el pH alcalino. Se adiciona lo necesario para mantener la concentración libre en la solución por

encima 100 gr/m³. La velocidad de disolución del oro nativo depende entre otros factores, del tamaño de la partícula, grado de liberación, contenido de plata. Es la práctica común, remover el oro grueso (partículas de tamaño mayores a 150 mallas o 0,105 mm), tanto como sea posible, mediante concentración gravitacional antes de la cianuración, de manera de evitar la segregación y pérdida del mismo en varias partes del circuito (Lara, 2005).

Una vez realizada la extracción, se realizan ensayos a escala laboratorio, con el objeto de determinar las condiciones óptimas para el tratamiento económico y eficiente de la mena.

Las variables a determinar son las siguientes:

- i. Consumo de cianuro por tonelada de mineral tratado.
 - ii. Consumo de cal por tonelada de mineral tratado.
 - iii. Optimo grado de molienda.
 - iv. Tiempo de contacto, ya sea en la lixiviación por agitación como en la lixiviación por percolación.
 - v. Concentración más conveniente del cianuro en la solución.
 - vi. Dilución más adecuada de la pulpa.
- b) La lixiviación por percolación o lixiviación en pilas (ver figura 21): La cianuración en pilas es un método que ya se está aplicando con regularidad en varios yacimientos a nivel mundial, para procesar minerales de oro y plata,

generalmente explotados por la pequeña minería. Es un método antiguo y se lo utilizaba para lixiviar minerales de cobre y uranio. Si bien este método fue concebido para explotar grandes depósitos de oro, se lo usa también para depósitos de pequeño volumen, debido a sus bajos costos de capital y de operación (Lara, 2005).

El mineral fracturado se coloca sobre un piso impermeable formando una pila de una cierta altura sobre la que se esparce una solución de cianuro diluida, la que percola a través del lecho disolviendo los metales preciosos finamente diseminados en la mena. La solución enriquecida de oro y plata se colecta sobre el piso impermeable, dispuesto en forma ligeramente inclinada que hace que fluya hacia la pileta de almacenamiento, desde ahí se alimenta el circuito de recuperación. Este circuito de recuperación de oro y plata, desde las soluciones cianuradas diluidas las que contienen los metales nobles en solución, puede ser de dos tipos preferentemente, a saber (Lara, 2005):

- Adsorción con Carbón activado
- Cementación de oro con Zinc

Adsorción con Carbón activado: Los carbones activados se utilizan por su estructura granular, los que tienen una gran superficie específica, las que permiten un alto grado de adsorción del oro y la plata, desde las soluciones cianuradas ricas a la superficie de estos carbones. A nivel industrial el método de adsorción por carbón activado es el más utilizado. El carbón activado se fabrica a partir de la corteza del coco debido a su dureza lo que lo hace más

resistente a la abrasión y la rotura, además su capacidad de adsorción es mayor que otros carbones activados fabricados a partir de otros materiales. En estas operaciones se hacen pasar las soluciones que percolan de las pilas de lixiviación, por 5 o 6 columnas, las que en su interior contienen el carbón activado. Las columnas en contacto con las soluciones cianuradas son periódicamente rotadas para tener un mayor aprovechamiento de la capacidad de adsorción del carbón. La cantidad de oro que puede cargar un carbón activado depende de la cantidad de cianuro libre que haya en la solución, de las impurezas y del pH de la solución, como así también del tiempo de contacto (Lara, 2005).

El oro adsorbido sobre el carbón activado es extraído del mismo, mediante una solución alcalina de sulfato de sodio o bien una solución cianurada en caliente. El oro que contendrá esta última solución cianurada, se puede recuperar mediante electrólisis y luego purificarlo (refinado). Al carbón descargado se lo reactiva con la finalidad de eliminar los carbonatos y sílice presente, mediante el lavado con solución de ácido nítrico diluido en caliente y soda cáustica, para luego someterlo a una etapa de reactivación en un horno elevando su temperatura entre los 600°C y los 650°C, durante treinta minutos en una atmósfera pobre en oxígeno, a fin de eliminar las materias orgánicas contaminantes sin producir una combustión (Lara, 2005).

Cementación de oro con Zinc: También llamado Método Merrill – Crowe, es otro de los métodos de recuperación usados, el proceso que se realiza es el siguiente (Lara, 2005):

- A la solución enriquecida en oro que proviene de la percolación en las pilas de lixiviación, se la filtra.
- A esta solución se le extrae el oxígeno disuelto, mediante una columna de desoxigenación, (vacío).
- A esta solución filtrada y desoxigenada se la pone en contacto con polvo de zinc.
- Por un proceso redox, el Zn pasa a la solución oxidándose, entregando electrones que son captados por los átomos de oro que se encuentran en estado catiónico (Au^+), el que se reduce sobre la partícula de Zn.
- Se recupera mediante el filtrado de todas las partículas de Zn, las que tienen el oro depositado en su superficie. A este se lo llama precipitado de Zn.
- Luego se lo funde y se obtiene un bullón, lo que no es otra cosa que una aleación de Oro, Plata, Cobre y Zinc.
- A este bullón se lo pasa a una etapa de refinación para obtener el oro 24 quilates, conocido como oro sellado.

Retomando el tema anterior de la lixiviación por percolación vemos que se deberá tener en cuenta ciertos aspectos:

- i. Preparación del piso de la pila: La cianuración en pilas se realiza con un material depositado sobre un piso o base impermeable donde se colectan las soluciones enriquecidas para evitar pérdidas de oro y plata, como así también

posibles contaminaciones de la capa freática en el caso de pérdidas de soluciones cianuradas en el terreno. Se utilizan materiales, para su construcción, como por ejemplo asfalto, hormigón, capas plásticas y ripio compactado con arcillas (Lara, 2005).

- ii. Preparación del mineral: Los minerales poco permeables a las soluciones deben ser triturados para mejorar la exposición al ataque químico de las soluciones. El grado óptimo de trituración se determina con la realización de ensayos de lixiviación en columnas a escala laboratorio. Estas pruebas también revelan la cantidad de cal que se le debe agregar para neutralizar los componentes ácidos de las menas, evitando de esa manera la destrucción de CNNa por hidrólisis por ende la generación de ácido cianhídrico, el cual es altamente venenoso (Lara, 2005).
- iii. Construcción de la pila: El armado de la pila es un punto crítico en la operación, la que requiere cuidados para obtener un lecho poroso y permeable donde las partículas se presenten uniformemente distribuidas y que no exista segregación de tamaños. Unas de las técnicas usadas consisten en depositar el mineral por capas, según el ángulo natural de reposo, siendo para tal efecto vaciado en el borde superior de la pila con el objeto de hacerlo rodar en cascada por la pendiente (Lara, 2005).
- iv. Aplicación de la solución: La técnica más difundida es la de esparcir la solución mediante procesos de goteo o rocío con tuberías plásticas perforadas (Lara, 2005).

2.1.4. CONTAMINACION GENERADA EN LA EXPLORACIÓN, EXPLOTACIÓN Y EXTRACCION DE ORO EN LA MINERIA AURIFERA

Dentro de la fase de exploración de un yacimiento aurífero, la contaminación generada será similar a cualquier fase de exploración minera, este tema fue ya descrito en el punto 1.2.1.

Todos los métodos de extracción minera producen algún grado de alteración de la superficie y los estratos subyacentes, así como los acuíferos. Los impactos de la exploración y pre-desarrollo, usualmente, son de corta duración e incluyen (Pillajo, 2009):

- alteración superficial causada por los caminos de acceso, hoyos y fosas de prueba, y preparación del sitio;
- polvo atmosférico proveniente del tráfico, perforación, excavación, y desbroce del sitio;
- ruido y emisiones de la operación de los equipos a diésel;
- alteración del suelo y la vegetación, ríos, drenajes, humedales, recursos culturales o históricos, y acuíferos de agua freática; y, conflictos con los otros usos de la tierra.

Las diferencias se darán a partir de la explotación y extracción de metales donde los procesos tienen notables cambios y sobre todo en la fase de extracción de oro donde se aplican químicos muy contaminantes.

2.1.4.1 CONTAMINACIÓN GENERADA EN LA EXPLOTACIÓN DE MINAS AURIFERAS

Tanto la extracción superficial, como la subterránea, incluyen los siguientes aspectos: drenaje del área de la mina y descarga del agua de la misma; remoción y almacenamiento/eliminación de grandes volúmenes de desechos; y traslado y procesamiento de los minerales o materiales de construcción. Este removimiento requiere el uso de equipos de extracción y transporte a diésel o eléctricos, y una numerosa y calificada fuerza laboral. Se requerirán amplios servicios de apoyo por ejemplo, un complejo de transporte, oficinas y talleres (parte de estos funcionarán bajo tierra en las minas subterráneas) y servicios públicos. El transporte del mineral dentro del área de la mina y hacia las instalaciones de procesamiento puede utilizar camiones, poliducto o banda de transporte, y generalmente, incluirá instalaciones de almacenamiento a granel, mezcla y carga (MAE, 2013).

Los métodos de extracción subterránea incluyen el trabajo de anchura y pilar, gradas, socavación y derrumbe, y frente corrido. Esto trae consigo la formación de grandes vacíos debajo de la superficie de la tierra y montones de piedra de desecho sobre la misma; en muchos casos, sin embargo, se rellenan porciones de los espacios subterráneos durante la extracción. La mayor parte de la excavación ocurre debajo de la tierra y requiere el uso de equipos de voladura, sin embargo, se realizan operaciones en la superficie también. Los posibles impactos de la extracción subterránea incluyen el retiro del suelo y la vegetación, creación de polvo, emisiones de los equipos a diésel que trabajan en la superficie, ruido, vibraciones

causadas por la voladura, gases desfogados (voladura, operaciones a diésel), descargas de agua contaminada de la mina (nitratos, metales pesados, ácido, etc.), alteración de los acuíferos de agua freática, fracturas, inestabilidad o hundimiento de la tierra y obstáculos visuales (MAE, 2013).

2.1.4.2 CONTAMINACIÓN GENERADA EN LA EXTRACCION DE ORO

La lixiviación in situ necesita una amplia red superficial de hoyos, muy cerca el uno al otro, y poliductos y bombas para recircular el lixivador por el cuerpo mineral. Los problemas operativos incluyen la pérdida de control del lixivador, problemas con la tubería, derrames, fugas, e insuficiencia del lavado o neutralización. Los impactos incluyen la alteración del suelo, vegetación, recursos culturales e históricos, degradación de la calidad del aire debido a las partículas y las emisiones de los equipos a diésel, contaminación de las aguas freáticas con el lixivador, y de las aguas superficiales con los derrames, y el ruido de las operaciones. La lixiviación in situ necesita una amplia red local de transporte, calificada fuerza laboral, equipos (taladros, camiones, grúas, generadores a diésel, bombas eléctricas), agua, fuente de energía eléctrica, instalaciones de apoyo (oficina, taller, almacenamiento y vivienda), campo de aviación, y caminos de acceso (MAE, 2013).

La lixiviación de las pilas de desechos puede involucrar la extracción de pilas de desperdicios y minas antiguas, o recuperación secundaria de una operación permanente, o, lo que es muy común, actualmente, en los depósitos de oro diseminados y pobres, lixiviación del material recién extraído en grandes montones,

sea en la superficie, o en las fosas antiguas. Usualmente, se prepara la superficie de la tierra o el fondo de la fosa, colocando forros y ripio; se instalan tuberías y se amontona el material mineral encima (el mineral proviene, usualmente, de las minas superficiales). El lixiviador (principalmente cianuro) se rocía o se vierte encima de las pilas, y luego se recoge para recuperar los metales. Después del proceso de lixiviación, se lava el montón, permitiendo que el líquido se filtre y extraiga el metal, o neutralice la pila antes de desecharla. Los problemas operativos incluyen la falta de estabilidad de la pila, control del lixiviador, erosión eólica e hídrica, fugas/filtración hacia el agua superficial y freática, problemas con la tubería, y lavado, neutralización o reclamación incompleto. Aparte de los efectos de la extracción superficial, los impactos incluyen la degradación de la calidad del aire debido a las partículas que el viento lleva de las pilas de lixiviación; sedimentación de los ríos locales con los materiales de la pila de lixiviación; contaminación del agua superficial por las fugas y derrames; deterioro del agua freática debido a la rotura del forro; pérdida de la fauna y animales domésticos en las piscinas de lixiviación; y el ruido de las bombas (Roesch, 2011).

Los equipos de procesamiento incluyen las plantas de preparación y lavado, de separación/concentración (separación por gravedad, lixiviación, amalgamación, intercambio iónico, flotación, etc.), refinерías y fundiciones. Las instalaciones de procesamiento de los minerales producen grandes cantidades de desechos (relaves, lama, escoria) que deberán ser eliminados en el sitio o cerca del mismo; a veces estos materiales pueden ser devueltos a las áreas donde la extracción ha terminado (MAE, 2013).

A menudo, las plantas de procesamiento de las regiones montañosas como en Ecuador, tienen dificultades para encontrar las áreas adecuadas para represar los relaves del concentrador, y, por consiguiente, descargan estos materiales inertes a los ríos torrentosos. Aguas abajo, se asientan estos materiales en las curvas del río, canales anchos, planicies de inundación y aguas costaneras de poca profundidad. Estos materiales perjudican a los organismos acuáticos, y pueden causar represamiento e inundaciones en las comunidades que se encuentran aguas abajo (MAE, 2013).

Cabe destacar que el consumo directo del agua en la minería del cobre, oro, plata, zinc, acero molibdeno, plomo y níquel, utiliza fundamentalmente en el proceso tradicional de concentración por flotación, seguido de fusión y electro refinación, o en el proceso hidrometalúrgico el que consta de lixiviación extracción por solventes. Una vez que el mineral es tratado para su explotación, quedan desechos sumamente tóxicos principalmente con cianuro, los cuales son vaciados en pilas con un forro en el fondo de esta fosa, allí se mantendrán estos residuos por largos periodos de tiempo. Este material contaminado con todas las sustancias químicas que se utilizaron en el proceso de explotación del mineral se filtran a través del suelo, causando gran contaminación y en el peor de los casos llegando hasta reservas de agua subterráneas, contaminándolas por completo, ya que las empresas mineras no conocen en su totalidad la cantidad de tóxicos que poseen estos residuos. Cabe destacar que una vez que ha terminado la vida útil de la mina, la empresa encargada de llevar a cabo la explotación se marcha del lugar dejando

estos residuos en dicha área, lo cuales siguen contaminando por muchos años (MAE, 2013).

2.1.4.2.1 CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Los hoyos mal sellados, o que no tengan el entubado adecuado, pueden permitir intercambio y contaminación entre los acuíferos. Si no es neutralizada o tratada adecuadamente, el efluente del proceso de eliminación de agua de las minas superficiales o subterráneas, puede ser muy ácido, y contaminará las aguas superficiales locales y las aguas freáticas de poca profundidad, con nitratos, metales pesados o aceite de los equipos, reduciendo las existencias locales de agua, o causando erosión en los ríos y canales. La remoción de estratos de piedra puede interrumpir la continuidad del acuífero local, y producir interconexiones y contaminación entre las aguas subterráneas; el material de relleno puede alterar las características hídricas y calidad del agua. La extracción in situ puede contaminar el acuífero si se pierde el control del lixiviador o se deja de neutralizar adecuadamente la región lixiviada al finalizar las operaciones (MAE, 2013).

Se pueden degradar las aguas superficiales locales si se descargan incorrectamente las aguas de proceso contaminadas, o si se produce filtración o fugas en las piscinas o poliductos de relaves, o si los solventes, lubricantes y químicos del proceso se derraman o se eliminan inadecuadamente (MAE, 2013).

2.1.4.2.2 CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Las partículas atmosféricas provienen de la voladura, excavación y movimiento de tierras, transporte, transferencia de materiales, erosión eólica de la tierra floja durante la extracción superficial, o cualquier operación que ocurre en la superficie de las minas subterráneas. Los nitratos emitidos por la voladura y los productos de la combustión que producen los equipos a diésel, pueden estar presentes en las minas, tanto superficiales, como subterráneas. Puede haber una concentración de radón en los respiraderos de las minas subterráneas. En las operaciones de dragado e in situ, estarán presentes los productos de combustión de los equipos a diésel. Durante el procesamiento, las partículas atmosféricas serán producidas por el transporte, reducción (tamizado, trituración o pulverización), tráfico vehicular, erosión eólica de las áreas secas de la piscina de relaves, caminos y pilas de materiales (MAE, 2013).

2.1.4.2.3 CONTAMINACIÓN DEL SUELO

Durante el proceso de extracción superficial, el removimiento y almacenamiento de la sobrecapa, y la construcción de las instalaciones auxiliares, significa la eliminación o cubierta de los suelos o vegetación, alteración o represamiento los ríos, drenajes, humedales o áreas costaneras, y modificación profunda de la topografía de toda el área de la mina. La extracción subterránea requiere terreno para la eliminación de los desechos de piedra, almacenamiento de los minerales y materiales pobres, y la construcción de las instalaciones auxiliares, cuyos efectos serán similares a los que se enumeraron anteriormente, en el caso de la extracción

superficial. La tierra en la superficie de las minas será inestable, y se producirá fracturación y hundimiento. La extracción puede causar la pérdida o modificación de los suelos, vegetación, hábitat de la fauna, ríos, humedales, recursos culturales e históricos, hitos topográficos, pérdida temporal o permanente de la productividad de la tierra, y contaminación de los suelos debido a los materiales minerales y sustancias tóxicas (MAE, 2013).

2.1.4.2.4 CONTAMINACIÓN PROVENIENTE DE LA MINERÍA ARTESANAL

El procedimiento de extracción y amalgamación con mercurio no solamente es nocivo para el minero que lo practica, quien aspira parte de los vapores del mercurio eliminado durante el calentamiento, sino también para las zonas aledañas, pues el mercurio evaporado se condensa contaminando tierras y aguas. El mercurio se absorbe fácilmente por el suelo que rodea a una mina de oro, lo que significa que una gran parte de las enormes cantidades de mercurio utilizadas para extraer el oro termina en el medio ambiente (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2010).

El mercurio, provoca problemas ambientales muy especiales, y debe ser manejado como corresponde. Es un metal extremadamente peligroso que puede ser asimilado por la piel y derivar en envenenamientos y problemas médicos mucho más graves como el cáncer. Lastimosamente la minería artesanal ha abusado del uso del mismo y las consecuencias tanto para el minero como para el ambiente son graves (ver figura 22.).

3. EQUIPOS Y METODOS DE ANALISIS PARA CONTROL DE LOS CONTAMINANTES GENERADOS EN LA INDUSTRIA MINERA.

Según lo indicado en los capítulos anteriores de la presente monografía, la actividad minera no controlada, produce impactos significativos en el medio ambiente, causando alteración principalmente en aire, agua y suelo; con las respectivas consecuencias de afectación directa hacia los seres vivos y en especial al hombre.

La contaminación del aire, por partículas en suspensión por actividades en canteras y minas de cielo abierto; y en minería subterránea causada por gases derivados del nitrógeno derivados de las explosiones; sumado a la contaminación por compuestos orgánicos. La contaminación del agua derivada por partículas en suspensión y por residuos provenientes de los relaves en la extracción del oro, sumado a esto la posible contaminación por cianuro y mercurio. Y por último y no menos importante la contaminación del suelo provocada por hidrocarburos, y más a largo plazo por metales pesados cambiando la estructura físico-químicas del mismo; han provocado daños terribles y en algunos casos irremediables al ambiente.

Según lo mencionado y dado que la actividad de un químico es realizar controles periódicos al ambiente para verificar que los parámetros estén bajo las normas aceptables, es necesario indicar los posibles métodos de análisis con los que se cuentan actualmente para controlar que los contaminantes se encuentren en concentraciones por debajo de la línea de tolerancia y en su defecto proporcionar medidas de control.

3.1. EQUIPOS Y METODOS DE ANALISIS PARA CONTROLAR LA CALIDAD DEL AIRE

Como se había mencionado en los numerales anteriores, el aire, es uno de los factores a controlar en cualquier actividad minera, es por esto que a continuación se indicará cuáles son los métodos de análisis para controlar dos contaminantes: las partículas en suspensión y gases nocivos derivados del azufre, del carbono y del nitrógeno.

A continuación se describen los principios de operación que actualmente utilizan los analizadores automáticos de gases, los monitores de partículas, así como el método de referencia para el análisis de partículas suspendidas:

3.1.1. ANALIZADORES AUTOMATICOS DE CO, NO_x, SO₂

Los analizadores automáticos aprovechan las propiedades físicas y/o químicas de un contaminante gaseoso para determinar su concentración.

Los métodos actualmente utilizados por los analizadores automáticos de gases contaminantes son los siguientes:

Monóxido de carbono (CO): Fotometría infrarroja

Óxidos de nitrógeno (NO_x): Quimioluminiscencia en fase gaseosa

Dióxido de azufre (SO₂): Fluorescencia pulsante

3.1.1.1. ANALIZADOR DE CO – FOTOMETRIA INFRARROJA

Los analizadores de Monóxido de Carbono, CO, se sirven del principio de operación que se basa en la capacidad que tiene este gas para absorber energía en determinadas longitudes de onda. En los equipos de medición (ver figura 23.) que utilizan este principio, se mide la absorción de luz infrarroja, llevada a cabo por las moléculas de CO en intervalos relativamente pequeños de longitudes de onda centradas sobre la región de máxima absorción del contaminante (INE, 2010).

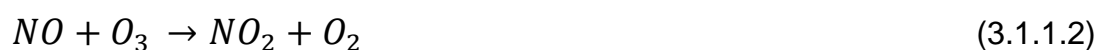
En los analizadores de CO se aplica una variación denominada filtro de correlación de gas cuyo funcionamiento se muestra en la figura 24.

En este caso el haz de luz infrarroja pasa por un filtro rotatorio integrado por dos celdas, una de las cuales contiene CO en alta concentración y la otra N₂ como blanco para crear el haz de referencia de modo tal que el detector mida la diferencia de energía entre la radiación absorbida en la celda de muestra y la señal modulada por la alternancia entre los filtros de gas. La señal del detector es procesada y acondicionada por microprocesadores para desplegarla como una lectura de concentración de CO (INE, 2010).

3.1.1.2. ANALIZADOR DE NO_x – QUIMIOLUMINISCENCIA

La figura 25, es la imagen de un equipo analizador de NO_x por quimioluminiscencia, la cual es una técnica analítica basada en la medición de la

cantidad de luz generada por una reacción química. Los analizadores de Óxidos de Nitrógeno, NO_x utilizan este principio a partir de la reacción que tiene lugar entre el óxido nítrico (NO) contenido en la muestra de aire y el ozono (O₃) que genera, en exceso, un dispositivo que es parte de los componentes del instrumento. La luz emitida se encuentra en el intervalo del infrarrojo entre 500 y 3000 nm. de acuerdo a la siguiente reacción (INE, 2010):



El NO en una muestra de aire reacciona con el ozono para formar dióxido de nitrógeno en estado de excitación (NO₂^{*}). Posteriormente, cuando el dióxido de nitrógeno generado vuelve al estado inicial emite una luz característica en una cantidad proporcional a la concentración del NO contenido en la muestra (Jahnke, 1993).

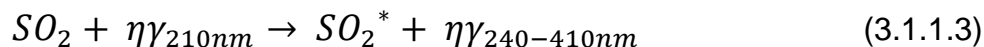
En la figura 26 se muestran los componentes básicos del módulo óptico de un analizador de NO_x.

El NO₂ no participa en la reacción de quimioluminiscencia, por lo que los analizadores están provistos de un convertidor a través del cual pasa la muestra de aire en forma alternada para que el dióxido de nitrógeno se reduzca a NO. La concentración de NO_x se determina en dos etapas de medición. Cuando la muestra llega directamente a la celda de reacción sin pasar por el convertidor la

concentración detectada corresponde a la concentración del NO existente y la lectura es guardada por el microprocesador. Cuando la muestra pasa por el convertidor y llega hasta la celda de reacción el NO₂ se convierte en NO y la concentración detectada se suma a la del NO de la etapa anterior y se reporta como NO_x total. La concentración de NO₂ corresponde a la diferencia entre las lecturas registradas de NO y NO_x (INE, 2010).

3.1.1.3. ANALIZADOR DE SO₂ – FLUORESCENCIA PULSANTE

Los analizadores de Dióxido de Azufre (ver figura 27.), emplean el principio de fluorescencia pulsante que se basa en el hecho de que las moléculas de SO₂ absorben radiación ultravioleta (UV) a una longitud de onda en el intervalo de 210-410 nm, entrando en un estado instantáneo de excitación para posteriormente decaer a un estado de energía inferior, emitiendo un pulso de luz fluorescente de una longitud de onda mayor en el intervalo de 240 a 410 nm como se indica en la siguiente reacción (INE, 2010):



La intensidad de la luz fluorescente emitida es proporcional a la concentración de SO₂. (Jahnke, 1993).

El principio de operación y los componentes básicos de un analizador de este tipo se muestran en la Figura 28.

Para reducir las interferencias, los analizadores de SO₂ también cuentan con lavadores o con dispositivos filtrantes para la remoción de hidrocarburos.

3.1.2. MONITORES DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS

3.1.2.1. MICROBALANZA DE ELEMENTO OSCILANTE:

El muestreador TEOM (por sus siglas en inglés, Tapered-Element Oscillating Microbalance) mide la cantidad de masa recolectada de una muestra de aire a una velocidad casi continua. Las partículas se recolectan en un filtro colocado en el extremo de un elemento puntiagudo oscilante, que tiene su otro extremo fijo. La frecuencia de oscilación del elemento cambia en proporción directa a la masa a medida que esta se acumula en el filtro. La cantidad de masa en la muestra recolectada se calcula a partir del cambio en la frecuencia del elemento en un período de tiempo fijo. El control de la tasa de flujo se hace mediante dos controladores de flujo másico: uno para el flujo de la muestra, desde uno a tres litros estándar por minuto y el otro para un flujo auxiliar para cumplir con las especificaciones de diseño de la entrada de muestra (16.7 l/min). La concentración de partículas se determina a partir de la masa recolectada, la tasa de flujo de la muestra y el tiempo de recolección de muestra. Ésta se expresa como concentración a las condiciones estándar de 25°C y 760 mmHg. La tecnología de microbalanza de elemento

oscilante permite hacer determinaciones de masa muy precisas, con mayor resolución que las microbalanzas convencionales (INE, 2010).

La figura 29 muestra el diagrama de funcionamiento de una balanza de este tipo.

3.1.2.2. ATENUACION DE RADIACION BETA

En este tipo de equipos el aire ambiente se introduce al sistema mediante una bomba de succión, depositando las partículas en el filtro (una cinta carrete de fibra de vidrio) de manera intermitente esto es, que el impacto de la masa de partículas en el medio filtrante se realiza en periodos de tiempo previamente establecidos por el usuario y que pueden ir desde una hasta veinticuatro horas o inclusive cuando el filtro se sature. Se hace pasar radiación beta de bajo nivel a través de la cinta y las partículas depositadas. La capa de partículas, que va en aumento, reduce la intensidad del haz de radiación beta en la sección, la cual es medida por una cámara de ionización como detector. La señal eléctrica de salida es proporcional a la masa real muestreada. La concentración se calcula a partir del aumento temporal de la masa de partículas. Algunos de estos monitores usan ciclos de medición, en los cuales el filtro con la muestra se transporta automáticamente para ser medida. Cada ciclo empieza cuando se coloca una sección limpia de cinta en la posición de muestreo. Otros son capaces de medir la masa y la concentración de las partículas en el filtro de manera continua, ya que la recolección y la medición se hacen simultáneamente en el mismo segmento del filtro (INE, 2010).

La figura 30 muestra el esquema de un analizador de partículas mediante la atenuación de radiación beta.

3.1.2.3. MUESTRADORES DE PARTICULAS SUSPENDIDAS

El método de referencia para la determinación de la concentración de partículas en aire ambiente es el de muestreo de alto volumen, combinado con el método gravimétrico en laboratorio. El muestreo de partículas es utilizado, en un principio, para la determinación de la concentración de partículas suspendidas totales en aire ambiente. Sin embargo, en muchas ocasiones el filtro con la muestra también es aprovechado para determinar la concentración de otros elementos como: metales pesados, nitratos, sulfatos, entre otros, por medio de análisis en laboratorio. El método consiste en hacer pasar aire ambiente a una tasa de flujo de aproximadamente 1 metro cúbico por minuto a través de un filtro de fibra de vidrio montado bajo una cubierta protectora que evita que se deposite material directamente sobre el filtro. El muestreo se lleva a cabo de manera continua durante 24 ± 1 horas. El filtro sin muestra tiene que ser previamente acondicionado a las mismas condiciones de temperatura y humedad a las que se acondicionará ya con la muestra, después de haber sido expuesto. Con este método se retienen partículas suspendidas de diámetro inferior a unos 50 μm . El peso de la muestra se obtiene de la diferencia de pesos del filtro con muestra y del filtro sin muestra, previamente acondicionados como se mencionó. La concentración de PST en el aire ambiente se calcula dividiendo la masa de las partículas recolectadas entre el volumen total de aire

muestreado y se expresa en microgramos por metro cúbico de aire. La frecuencia típica de muestreo empleando este método es de cada seis días pero en casos especiales se hace un muestreo cada tercer día. Los equipos muestreadores de alto volumen han sido modificados para llevar a cabo muestreo de partículas menores a 10 y 2.5 micrómetros. Estas adaptaciones consistieron en la instalación de un cabezal que fracciona las partículas para permitir únicamente el paso de aquellas con diámetros menores. La separación se tiene que llevar a cabo a una tasa constante de flujo durante todo el muestreo, ya que las variaciones afectan su eficiencia de separación. Es por esto que también fue necesario adaptarles un controlador de flujo (INE, 2010).

La Figura 31 muestra el esquema de un muestreador de partículas suspendidas de alto volumen.

3.2. EQUIPOS Y METODOS DE ANALISIS PARA CONTROLAR LA CALIDAD DEL AGUA

Según lo indicado en la polución del agua, se analizarán los métodos más rápidos y confiables para medir los siguientes contaminantes en el agua: Turbidez o sólidos en suspensión, cianuros y metales pesados; también a pesar de que la minería regulada ya no aplica mercurio a las actividades de extracción de oro, se informará acerca de los últimos equipos que ayuden a determinar las concentraciones de este metal en aguas contaminadas.

3.2.1. TURBIDÍMETROS – FOTOMETRIA INFRARROJA

Los turbidímetros son equipos muy eficientes y fáciles de llevar para realizar las mediciones in-situ del agua requerida. Estos miden los sólidos en suspensión en función de una referencia normada. Existen diferentes tipos de turbidímetro de mano o de mesa. El turbidímetro para agua funciona con el método infrarrojo. La turbidez se origina en sustancias no diluidas, finamente dispersadas en un líquido. Un líquido turbio tiene la capacidad de dispersar y reflejar la luz irradiada hacia el mismo, la intensidad de la luz reflejada suministra información sobre la medida de la turbidez. El turbidímetro ofrece la turbidez en NTU (Nephelometric Turbidity Unit). A menudo el turbidímetro se emplea en el tratamiento del agua potable y para controlar los valores permitidos en afluentes naturales como ríos o riachuelos. Los valores límite para el aspecto higiénico se encuentran por debajo de 1 NTU (Hach, 1998).

En la figura 32, podemos apreciar la imagen de un turbidímetro de fotometría infrarroja.

3.2.2. AUTO-ANALIZADORES DE CIANURO TOTAL Y CIANURO LIBRE – ESPECTROFOTOMETRIA VISIBLE CON PREPARACION PREVIA DE MUESTRA

Los Cianuros se refieren a todos los grupos CN- en compuestos químicos que pueden ser determinados como ion cianuro. Los cianuros son compuestos

potencialmente tóxicos, ya que ante un cambio de pH del medio puede liberar ácido cianhídrico, compuesto de máxima toxicidad para el ser humano. Es por ello que resulta de suma importancia determinar ion cianuro (CN-) la presencia de todos los compuestos cianurados en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas.

El método tradicional de análisis es manual, muy complejo y genera riesgos en el laboratorio, ya que requiere que los cianuros sean liberados, como ácido cianhídrico (HCN), por el reflujo de la muestra con un ácido fuerte, y luego absorbidos en una disolución de hidróxido de sodio (NaOH). La concentración del ion cianuro en la disolución adsorbente se determina espectrofotométricamente. Dicha determinación requiere que el cianuro se convierta en cloruro de cianógeno (CNCl) por reacción con cloramina-T a un pH menor a 8, evitando que se lleve a cabo la hidrólisis de los cianuros. Después de que la reacción llega a completitud, se busca el desarrollo de un compuesto coloreado mediante la adición del reactivo ácido piridin-arbitúrico. La concentración de hidróxido de sodio (NaOH) debe ser la misma en los estándares y en la muestra para obtener colores comparables de intensidad. Como puede apreciarse, el análisis de una muestra no es sencillo, requiere de un operador altamente entrenado y existe un riesgo importante para el laboratorio, sin contar la gran cantidad de residuos generados (Jenck, 2008).

En comparación del método tradicional con los autoanalizadores, el desempeño y el riesgo en el laboratorio disminuye notablemente. Sus ventajas son superiores: está libre de riesgos, disminuye el consumo de reactivos, disminuye la generación de residuos, ofrece una altísima frecuencia analítica, presenta una inigualable

confiabilidad en los resultados. El cianuro total es la suma de los cianuros orgánicos, iones de cianuro libre, complejos cianurados y cianuro ligado a metales simples (excepto el cianuro en complejos de cobalto), pero no incluye a los tiocianatos (SCN⁻). La determinación de cianuro total en una muestra se realiza aspirando un volumen reducido de la misma (2 mL.) y sometiéndolo a una digestión automática en medio ácido asistida por una luz UV-B, lo que evita la conversión del tiocianato en cianuro, pero asegurando que el cianuro total esté como cianuro de hidrógeno (HCN). Este compuesto se separa por destilación en línea y al condensado se lo hace reaccionar en forma automática y reproducible con los reactivos indicados en el método tradicional, para generar un compuesto rojizo cuya absorbancia se mide a 600 nm. El rango de luz visible va de 400 a 800 nm. El cianuro libre es la suma de todos los iones de cianuro y cianuros metálicos lábiles determinados de acuerdo con la Norma ISO-14403. No se incluyen los cianuros orgánicos. El procedimiento de medición es similar al descrito para cianuro total, con la diferencia de que la lámpara UV debe estar apagada. El límite de detección para estos equipos es de 0,35 ppb para Cianuros totales y 0,18 ppb para Cianuros libres. Los resultados son eficientemente más rápidos y confiables ya que elimina variables de error humano. La única desventaja de este método es que necesariamente debe ser efectuado en un laboratorio y no in-situ (Jenck, 2008).

En la figura 33 se puede identificar un equipo analizador completo de cianuros totales.

3.2.3. AUTO-ANALIZADORES DE MERCURIO – ABSORCION ATOMICA CON VAPOR FRIO

El principio de funcionamiento del sistema se basa en el método de flujo continuo. En primer lugar, el mercurio contenido en la muestra se transforma al estado elemental añadiendo un agente reductor al flujo de la muestra. En un reactor de flujo cruzado, el mercurio es separado con una corriente de gas y llevado a la célula óptica, realizada completamente en sílice fundida. Allí, la determinación cuantitativa del mercurio se obtiene midiendo la absorción UV a una longitud de onda de 253,7 nm a temperatura ambiente. La técnica analítica se conoce comúnmente como espectrometría de absorción atómica con vapor frío (CVAAS). La figura 34 muestra un espectrofotómetro de absorción atómica con vapor frío, utilizado para el análisis de mercurio (Mercury Instruments, 2010).

En contraste con un AAS multi-elemento típico, el equipo está especialmente diseñado para la determinación de mercurio, lo que vendría a ser una desventaja, pero la confiabilidad de los resultados es mucho mayor. El uso de una lámpara de descarga de mercurio de baja presión sin electrodos altamente estable (EDL) en conexión con las últimas técnicas de detección UV dan una excelente estabilidad de referencia a bajos límites de detección. Las mediciones de hasta 20 estándares de calibración y de hasta 53 muestras y los estándares de comprobación se realizan de forma totalmente automática. Los estándares y las muestras se introducen en viales de vidrio de 10 ml y se colocan en la placa giratoria del automuestreador. La solución reactiva (por ejemplo, cloruro de estaño (II) y la solución de aclarado (agua reactiva) se introducen

en los depósitos de vidrio correspondientes. A continuación, el flujo de gas de desorción se ajusta y la medición se inicia pulsando una tecla. El operador puede interrumpir el ciclo de medición en cualquier momento para seleccionar cualquier muestra que desee medir después. Las lecturas y el estado del instrumento se muestran en tiempo real en la pantalla. Este equipo también puede equiparse con un sistema de preparación de muestras opcional para muestras acuosas. El procedimiento de digestión deriva de métodos estándar comúnmente utilizados en el laboratorio. La muestra se extrae automáticamente del vial del automuestreador y se mezcla continuamente con un reactivo oxidante fuerte (por ejemplo, permanganato de potasio, bromuro-bromato). Posteriormente, la mezcla muestra/oxidante se calienta a aprox. 98°C en un serpentín calentado. Después del paso de oxidación, se añaden hidrocloreto de hidroxilamina y cloruro de estaño (II) para reducir el mercurio al estado elemental. El campo de medida del equipo varía entre 10 ppt y 50 ppb y como desventaja es que tampoco se lleva directamente al campo a realizar el análisis. (Mercury Instruments, 2010).

3.2.4. AUTOANALIZADOR PORTATIL DE METALES PESADOS – VOLTAMPERIMETRIA DE REDISOLUCION ANODICA

Estos equipos (ver figura 35.) han sido diseñados específicamente para permitir fácil y rentablemente el monitoreo de los metales pesados más comunes asociados a problemas de salud y medio ambiente. Ofrecen un importante avance en términos de uso fácil en campo y ofrece un alto nivel de precisión. El análisis en campo de metales pesados en el agua ha sido tradicionalmente difícil. El método analítico utilizado en estos equipos es la Voltamperometría de Redisolución Anódica (ASV) que junto una

sonda y un sistema de buffers simple, se ha desarrollado un instrumento que puede entregar resultados reproducibles en campo. El equipo permite la adición de futuros parámetros, sin la necesidad de actualizar el instrumento (Trace2O, 2013).

Los equipos detectan metales pesados en el agua hasta concentraciones en ppb. Los rápidos resultados obtenidos permiten actuar inmediatamente cuando los niveles de metales sean demasiado altos. La preparación de muestras en campo es muy simple, permitiendo que personal no técnico tenga la capacidad de obtener resultados que son comparables a los del laboratorio. El equipo fue construido para ambientes difíciles y permite el funcionamiento incluso en condiciones meteorológicas adversas. Capacidad de medir 10 parámetros – As (total), As (III), Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Mn, Ni, Zn (Trace2O, 2013).

La figura 36 nos muestra el esquema de uso y toma de muestra para el equipo autoanalizador portátil de metales pesados.

3.3. EQUIPOS Y METODOS DE ANALISIS PARA CONTROLAR LA CALIDAD DEL SUELO

En el caso de la contaminación del suelo, y dado que es una contaminación que se ve a largo plazo, se ha considerado principalmente que los potenciales contaminantes de este medio son los metales pesados y los hidrocarburos. A continuación se mencionan los últimos equipos con su respectivo método de análisis para determinar posible contaminación en los suelos.

3.3.1. METALES PESADOS - FLUORESCENCIA DE RAYOS X

Los analizadores de fluorescencia de rayos X se presentan como una alternativa eficaz a los métodos analíticos convencionales, tanto desde el punto de vista técnico como desde el punto de vista económico. Se trata de equipos de pequeñas dimensiones y pequeño peso, según el modelo de que se trate, y con suficiente autonomía para poder realizar una jornada completa de trabajo en el campo. Los analizadores de fluorescencia de rayos X se han utilizado para caracterizar metales en suelos desde hace más de 20 años, ya que uno de los principales usos de la energía dispersiva de fluorescencia de rayos X (EDXRF) es detectar metales (y otros elementos como arsénico y selenio) en suelos y sedimentos. Generalmente los elementos de número atómico comprendido entre 16 (azufre) y 92 (uranio) se pueden identificar y cuantificar, con mayor o menor precisión, con un analizador de fluorescencia de rayos X portátil (de campo). En su aplicación medioambiental, algunos de los principales elementos de interés que pueden ser identificados son: arsénico, bario, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, selenio, plata y zinc (Loredo, 2003).

Se pueden realizar entre 50 y 100 análisis multielementales en un día, sin generar residuos (técnica de análisis no destructiva), y sin necesidad de una toma de muestras convencional, ya que el equipo se puede situar directamente sobre el suelo para realizar el análisis, que tiene lugar a través de una pequeña ventana de medida.

Los analizadores de fluorescencia de rayos X actualmente en el mercado, vienen equipados con diferentes fuentes de radioisótopos (^{109}Cd , ^{241}Am y ^{55}Fe) que inducen la generación de rayos X y permiten obtener, de forma casi simultánea, las concentraciones de un gran número de elementos. Cada fuente permite analizar un grupo de elementos en tiempo de escasos minutos, en función de la resolución que se quiera obtener. El cambio de fuente es automático, con lo que en menos de 10 minutos se puede tener un análisis completo de la muestra. Las principales interferencias que se pueden presentar en la realización de los análisis están relacionadas con el contenido en humedad del suelo, las características físicas de la matriz del suelo (tamaño de grano y homogeneidad), las características químicas del suelo (tipo de suelo) y las interferencias espectrales entre algunos elementos. El equipo no necesita calibración para cada tipo de suelo, ya que un complicado software corrige automáticamente las variaciones en el tipo de muestra a analizar, siempre dentro de unos rangos que van desde suelos estándar a suelos arenosos. Existen equipos que permiten analizar 24 elementos tales como: Ag, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mo, Mn, Ni, Pb, Rb, Sb, Se, Sn, Sr, Ti, V, Zn, Zr, en conformidad con la metodología EPA 6200 (Loredo, 2003).

Los límites de detección van en función del tiempo de medida y de la matriz del suelo, y en todo caso son suficientemente bajos para que los equipos puedan ser utilizados no solamente para detectar anomalías, sino también durante las acciones de tratamiento, para ir controlando “in- situ” la eficacia del mismo en un determinado modelo de equipo portátil de fluorescencia de rayos X, para dos tipos de suelos y para distintos tiempos de medida. Una de las desventajas del equipo es que cuando se

utilizan tecnologías analíticas “in situ”, solamente se pueden analizar muestras individuales del suelo, que es la porción de éste sobre la que se sitúa el equipo. Las técnicas analíticas “in situ” tampoco permiten archivar la muestra para posteriores análisis. La precisión de los resultados, si bien son dependientes de los factores antes mencionados (características físicas y químicas del suelo e interferencias espectrales) es suficientemente buena para las tareas para las que está enfocada, como son las fases iniciales de prospección, y en muchos casos también es suficiente para fases de cuantificación y monitorización, especialmente si se utilizan como analizadores “on-site” u “off-site” (a nivel de laboratorio), con lo que se puede llegar a mejorar mucho la precisión de los resultados. Recientemente han salido al mercado equipos que utilizan un tubo de excitación de rayos X, que elimina la necesidad de utilizar varias fuentes y sobre todo reduce los controles de seguridad por parte de los organismos competentes (Loredo, 2003).

La figura 37 nos muestra la imagen de un equipo analizador de metales por fluorescencia de rayos X.

3.3.2. PRUEBAS CUANTITATIVAS IN SITU DE HIDROCARBUROS EN SUELOS, SISTEMA PETROFLAG® POR DESARROLLO TURBIMETRICO

Es un sistema portátil que utiliza el método de determinación del total de hidrocarburos en suelos. El sistema PetroFLAG®, cuantifica todos los combustibles, aceites y grasas como total de hidrocarburos. El equipo es portátil y por lo tanto se

puede utilizar para hacer determinaciones rápidas y controles en caso de contaminación.

El equipo tiene capacidad para realizar diez pruebas en el ambiente de trabajo y utiliza el método de desarrollo turbimétrico para realizar las mediciones. El análisis de 10 gramos de una muestra de suelo es ejecutado utilizando tres etapas: Extracción, Filtración y Análisis. Un total de quince referencias son cargadas en el analizador para ser utilizados dependiendo de la selección e interés del analista. Estas referencias están relacionadas con un amplio rango de combustibles, dependiendo si se trata de gasolinas, aceites o crudo pesado de petróleo. Los resultados son mostrados en PPM. El nivel más bajo de detección de hidrocarburos es de 10 ppm, con excepción de las gasolinas climatizadas las cuales tienen un límite de detección de 200 ppm. Utilizando una muestra estándar de 10 gramos, el analizador tiene la posibilidad de cuantificar el total de hidrocarburos hasta 2000 ppm (Ambicare Industrial, 2010).

Una debilidad de este equipo es que no diferencia el resultado entre hidrocarburos aromáticos e hidrocarburos alifáticos, pero es un buen sistema de análisis de alerta previa de contaminación; además que su metodología está aprobada por la EPA.

La figura 38 nos muestra una imagen del sistema PetroFLAG®.

4. VALORES LIMITE EPA-US PARA LOS CONTAMINANTES MINEROS ESTUDIADOS

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos o EPA-US por sus siglas en inglés, es un ente gubernamental de ese país encargado de proteger la salud humana y el medio ambiente, la misma que está en funcionamiento desde diciembre del año 1970 hasta la actualidad y ha regulado en todo este tiempo la normativa vigente de control de sustancias que pueden producir polución del aire, del agua y del suelo.

Dentro de su trabajo a más de regular el control de materiales contaminantes, ha elaborado métodos de análisis para realizar controles a las emisiones gaseosas, líquidas y sólidas de las diferentes industrias hacia el ambiente; son muchos los entes gubernamentales de otros países e industrias las que han tomado sus publicaciones como base para replicarlas en sus planes ambientales.

Se presenta a continuación los valores máximos permitidos en aire, agua y suelos de los contaminantes estudiados en la presente monografía.

4.1. VALORES LIMITE EPA-US PARA CONTAMINANTES PRESENTES EN EL AIRE (Bartual y Berenguer, 2001).

- Dióxido de azufre (SO₂): 125 ppt durante un día/24 horas de exposición sin que se superen 3 eventos al año.

- Dióxidos y monóxidos de nitrógeno (NOx): 200 ppt durante un día/24 horas de exposición sin que se superen 18 eventos al año.
- Monóxido de carbono: máximo 10 ppb en 8 horas de exposición por día.
- Partículas en suspensión (PM₁₀), menores a 10 micras de diámetro: máximo 50 ppt en un día/24 horas sin que se superen 35 eventos por año.
- Partículas en suspensión (PM_{2.5}), menores a 2.5 micras de diámetro: máximo 15 ppt en un día/24 horas sin que se superen 35 eventos por año.

4.2. VALORES LIMITE EPA-US PARA CONTAMINANTES PRESENTES EN EL AGUA LIMPIA.

Se considera agua limpia, a aquella que nace en una vertiente natural, como ríos, lagos y riachuelos; la cual puede ser usada como materia prima o “agua cruda” con la finalidad de obtener agua potable (EPA-1983).

- Cianuros totales (HCN): 0.05 ppm
- Mercurio (Hg): 0.001 ppm
- Metales pesados en cauces naturales:
 - Arsénico (As): 0.05 ppm
 - Cadmio (Cd): 0.005 ppm

- Cinc (Zn): 3.0 ppm
- Cromo (Cr): 0.05 ppm
- Cobre (Cu): 0.05 ppm
- Estaño (Sn): no existe información
- Niquel (Ni): 20.0 ppb (para agua potable)
- Plomo (Pb): 0.05 ppm

4.3. VALORES LIMITE EPA-US PARA CONTAMINANTES PRESENTES EN SUELOS.

A continuación los valores de concentración máxima de los contaminantes estudiados para suelos (US-DA y NRCS, 2000).

- Metales pesados, expresados en concentración máxima permitida.
 - Arsénico (As): 75 ppm
 - Cadmio (Cd): 85 ppm
 - Cinc (Zn): 7500 ppm
 - Cromo (Cr): 3000 ppm
 - Cobre (Cu): 4300 ppm
 - Estaño (Sn): no existe información
 - Niquel (Ni): 75 ppm
 - Plomo (Pb): 420 ppm

- Hidrocarburos totales (TPH)

- TPH (C4 – C12): 500 ppm
- TPH (C13 – C22): 1 ppm

CONCLUSIONES

1. Las actividades de la minería no metálica producen agentes contaminantes nocivos para el ambiente y los seres humanos y contamina principalmente el aire con partículas en suspensión derivados de la erosión eólica de las canteras a cielo abierto. El control de estas partículas a través de métodos de análisis de recolección de muestras gravimétricas deben ser periódicos con la finalidad de obtener lecturas que no sobrepasen los límites permitidos.
2. Las compañías que explotan y aprovechan los minerales no metálicos, incluyendo a las empresas cementeras y de cerámica, deben considerar de manera especial en su Estudio de Impacto Ambiental así como en su Manejo del Plan Ambiental, la presencia de partículas suspendidas, sobre todo aquellas menores a 10 micras y surtir del equipo de protección personal adecuado a sus trabajadores para evitar posible enfermedades respiratorias, como la silicosis.
3. En la explotación de minerales no metálicos en canteras a cielo abierto, el responsable químico ambiental y el responsable de mantenimiento, tienen especial atención en la maquinaria que utiliza hidrocarburos como lubricantes y combustibles, para evitar posible contaminación por derrames que afecten a la calidad principalmente del suelo y una posible contaminación de fuentes de agua cercanas. Es vital que se adecue un Plan de Mantenimiento periódico y tener

Planes de Mitigación con respuesta inmediata, en caso de tener eventos contaminantes de esta naturaleza.

4. Las industrias que están en la fase de aprovechamiento de los minerales no metálicos y que han sido parte de esta investigación bibliográfica, la industria del cemento y de la cerámica, a más de poseer equipos con métodos de medición para controlar sólidos en suspensión, poseen equipos de control de emisiones de gases a la atmósfera, ya que en sus procesos productivos utilizan fuentes de calor que generan gases contaminantes como: CO, CO₂, NO_x provenientes de la fabricación de sus productos y adicionalmente también pueden producir hidrocarburos y SO₂ derivados de una mala combustión de los combustibles utilizados. Sobre todo la industria cerámica al tener espacios confinados de enfriamiento debe controlar aún más la emisión de gases peligrosos.
5. En la minería aurífera y de yeso, que se realiza a través de canales subterráneos, es vital la medición de la calidad del aire, que se realizan con equipos apropiados para medir la concentración de gases contaminantes y que servirán para dar alertas tanto a los trabajadores de la mina como al analista ambiental, quien además deberá realizar mediciones periódicas para verificar que no existan incrementos paulatinos en las concentraciones de gases peligrosos.
6. Durante la etapa de extracción de oro, las mediciones del agua tratada que es fruto los procesos de relave, concentración y lixiviación, sirven para verificar que las trazas de cianuro y metales pesados no sobrepasen los límites permitidos y

que puedan ser vertidas a los cauces de aguas industriales o naturales. Las empresas mineras con correctos controles de medición ambiental implementan sistemas de re-circulación del el agua utilizada reponiendo únicamente aquella que se va perdiendo en el proceso.

7. Las mediciones que realice el analista ambiental de los contaminantes estudiados tanto en el aire, agua y suelos en una concesión minera previa a su operatividad, son esenciales como datos base para contrastarlos una vez que la actividad haya comenzado, y verificar si existe un aumento en aquellos elementos nocivos. Estas mediciones servirán especialmente para aquellas concesiones donde ya hubo o existe explotación minera y evitar que las nuevas empresas ganen problemas ambientales, de remediación y económicos.
8. Los equipos y métodos de análisis detallados en el numeral 3, no reemplazan a los métodos tradicionales de determinación en laboratorio, ya que estos suelen ser más precisos. Estos equipos deben ser utilizados de manera que sirvan como detectores de alertas para tomar correcciones en la manera de operatividad de la mina o la planta de extracción. El analista ambiental deberá contrastar las medidas realizadas in situ vs. los resultados obtenidos en el laboratorio para determinar si existen variaciones importantes.
9. Las normas EPA-US ayudan a que las concentraciones de los materiales contaminantes se encuentren en niveles aceptables. Es conveniente que en el Plan de Manejo Ambiental de una empresa minera se manejen límites aún

inferiores a la norma, con la finalidad de que el proceso esté mejor controlado y en caso de existir alguna emisión contaminante, esta se encuentre por debajo de los límites permitidos.

10. En toda concesión minera los controles ambientales deben ser los adecuados para un desarrollo correcto de la actividad, ya que estos evitan posibles problemas legales con el estado; sociales con las poblaciones cercanas; económicas, en caso de que existan procesos de remediación; laborales, con el personal que trabaja en la compañía minera; y otras que afecten a la imagen de la empresa.

11. El cuidado del medio ambiente es responsabilidad de todos los involucrados en un proceso minero, tanto del obrero que está en la mina o cantera como del oficinista o de la persona que realiza el aseo. Por lo que una correcta concientización a todo el personal, incluido a los proveedores y visitas, siempre ayudará a que la empresa minera sea considerada como una compañía social y ambientalmente responsable y no como una compañía que produce desechos.

RECOMENDACIONES

Al finalizar la presente investigación bibliográfica se realizan las siguientes recomendaciones para futuros estudios:

1. Verificar si existen normas nacionales que rijan sobre las emisiones de las actividades mineras; ya que mientras duró la presente investigación únicamente se encontraron normas nacionales para la emisión de gases provenientes de vehículos motorizados y límites para aguas residuales urbanas o industrias diferentes a la minería.
2. Realizar un estudio de los contaminantes que se generarán en la extracción de cobre (Cu), ya que es uno de los principales proyectos nacionales y cuya actividad minera a gran escala está empezando.
3. Para complementar esta investigación bibliográfica se debería realizar un estudio de los contaminantes que generan otro tipo de minería no metálica como por ejemplo el dragado de arenas y rocas en ríos y playas.
4. Finalmente recomendaría que dentro de la malla curricular para los estudiantes de la Carrera de Ciencias Químicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, existan materias relacionadas al control ambiental, específicamente para emisiones de las empresas que explotan recursos no renovables como el petróleo y la minería.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1) Ambicare Industrial S.A., **Petroflag Analizador de Hidrocarbonetos**, Setúbal, 2010, p. 3-15.
- 2) Antón, D. Impacto Ambiental de Tajos y Canteras. **Revista Ambientico**, 96, p.23-25, 2001.
- 3) Barragán, J. **Taller de capacitación para administradores y trabajadores de canteras: explotación a cielo abierto de materiales de construcción**. Pintag, 2007, p. 1-3, 29-52.
- 4) Bartual J., Berenguer M. J. NTP 607: **Guías de calidad de aire interior: contaminantes químicos**. Madrid: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2001, p. 2-4.
- 5) Departamento de salud y servicios humanos de los EE.UU. **Resumen de salud pública. Mercurio**. Atlanta: Servicio de Salud Pública Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 1999, p. 1-3, 11.
- 6) Enseñat, A. **La industria del cemento dentro de la problemática de la contaminación atmosférica** [en línea]. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2010, p. 221-229. Disponible en: <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/viewFile/1180/1313>.
- 7) EPA (Environmental Protection Agency). Methods for chemical analysis of water and wastes. **Report No. EPA-600/4-79-020**, EUA, p. 544, 1983
- 8) EPA (Environmental Protection Agency), **Parameters of water quality interpretation and standards**, Ireland: 2001, p. 30, 35, 42, 44, 52, 59-62, 65, 67, 98, 119.
- 9) Fitzpatrick, M. **Características de los yacimientos de oro** [en línea], 2013, p. 1-3. Disponible en: http://www.ehowenespanol.com/caracteristicas-yacimientos-oro-info_215835/.
- 10) García, E. y Suárez, M. **Las Arcillas: Propiedades y usos** [en línea]. Madrid: Universidad Complutense, p. 1-24, 2002. Disponible en: <http://campus.usal.es/~delcien/doc/GA.PDF>.
- 11) González, F.A. y Medina L.N. **Ecología**. México D.F.: Mc. Graw-Hill, 1995, p. 1-33.

- 12) Griem, W. y Griem-Klee, S. **Calizas – carbonatos**. Ambiente Oceánico 3 [en línea], 5 (12) p. 1-2, 2003. Disponible en: <http://www.geovirtual.cl/geologiageneral/ggcap05c-3.htm>.
- 13) Griem, W. y Griem-Klee, S. **Los Feldespatos**. Los minerales más importantes [en línea], 2 (6) p. 1-2, 2003. Disponible en: <http://www.geovirtual.cl/geologiageneral/ggcap02e.html>.
- 14) Hach Company, **Pocket Turbidimeter – Turbidímetro de Bolsillo**, 2da. Edición, EEUU, 2001, p. 4, 6-7.
- 15) Instituto Nacional de Ecología de México (INE), **Manual 3 Redes de Estaciones y Equipos de Medición de la Calidad del Aire**. En Manuales de Buenas Prácticas de Monitoreo de la Calidad del Aire, México, 2010, p. 50-60.
- 16) Instituto de Tecnología Cerámica y Comisión del Trabajo (ITC). **Guía de Mejores prácticas disponibles para el sector de fabricación de baldosas cerámicas en la comunitat valenciana**. 1era. ed. Valencia: Centro de Tecnologías Limpias Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Urbanisme i Habitatge Generalitat Valenciana, 2009, p. 33-50.
- 17) Jahnke, J.A. **Continuous emission monitoring**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1993, p. 24-32.
- 18) Jenck, **Determinación automática de cianuro libre y total en agua y efluentes** [en línea]. 2008, p. 1-3. Disponible en: <http://www.notijenck.com.ar/aplicaciones/determinacion-automatizada-de-cianuro-libre-y-total-en-agua-y-efluentes/>.
- 19) Lara, F. **Procesos de Cianuración** [en línea]. Sub-proyecto “Asistencia Técnica y Capacitación para el Desarrollo Técnico y Empresarial de Alamar”, 2005, p. 3-6. Disponible en: <http://www.bvcooperacion.pe/biblioteca/bitstream/123456789/5010/1/BVCI0004359.pdf>.
- 20) Lemos, P. **Minería del oro a cielo abierto utilizando lixiviación con cianuro**. Bariloche: Departamento de Pastoral Social de la Diócesis de San Carlos de Bariloche, 2004, p. 32-36.
- 21) Loredó, J. **Instrumentación de campo para la detección y cuantificación de metales en suelos**. En: operatividad de la instrumentación en aguas subterráneas, suelos contaminados y riesgos geológicos. Madrid: IGME, 2003, p. 177-183.
- 22) Loredó, J., Ordóñez, A., Gallego, J.L., García Iglesias, J. y Pendás, F. **Interest offield analytical technologies for brownfields characterization**. En:

Heavy metal contamination and the quality of life. Debrecen: SEGH 20th European Conference, 2002, p.67

- 23) Mercury Instruments GmbH. **Automatic Mercury Analyzer for the Laboratory**. Karlsfeld, 2010, p. 2-6.
- 24) Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE). **La Actividad Minera (No Metálica y Metálica)**. En: Estudio para conocer los potenciales impactos ambientales y vulnerabilidad relacionada con las sustancias químicas y tratamiento de desechos peligrosos en el sector productivo del Ecuador. Capítulo 34, Quito, 2013, p. 393-403.
- 25) Molina, D. **La Explotación Minera en el Ecuador** [en línea], 2013, p. 1-2, 4, 8-13, 15, 18-21, 32. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos96/explotacion-minera-ecuador/explotacion-minera-ecuador.shtml>
- 26) Parga J.R., Carrillo F.R., **Avances en los métodos de recuperación de oro y plata de minerales refractarios**. Consejo Superior de Investigaciones Científicas Licencia España [en línea]. p. 254-257. Disponible en: <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es>.
- 27) Parker, A. **Contaminación del aire por la Industria**. 1era. Reimpresión. Barcelona: Editorial Reverté, 2001, p. 571-588.
- 28) Parra H. **La responsabilidad ambiental de las empresas mineras conforme a la legislación del Ecuador**. Tesina (Postgrado con especialización en Derecho Empresarial). Cuenca, Universidad Técnica Particular de Loja, 2009, p. 41-45.
- 29) Pillajo E. **Impactos en el Medio Ambiente por la Explotación Minera**. Quito: Colegio de Ingenieros Geográficos, Minas y Petróleos, 2009, p. 1-5, 10-11, 32
- 30) Prato, N. **Química del Cemento**. Pta. Paysandú: Ancap, 2007, p. 1-5, 8-13, 22-25.
- 31) Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. **El uso del mercurio en la minería del oro artesanal y en pequeña escala**. Nairobi, 2010, p. 5-7.
- 32) Roesch, J. **Daño ambiental causado por la minería de oro**, 2011, p.1-3. Disponible en: http://www.ehowenespanol.com/dano-ambiental-causado-mineria-oro-sobre_429710/
- 33) Sacher, W. y Acosta A. **La minería a gran escala en el Ecuador**, Quito: Ediciones Abya-Yala, 2012, p. 17-38, 59-66, 75-79.

- 34) Selinus, O.; Alloway, B.; Centeno, J.A., Finkelman, R.B.; Fuge, R.; Lindh, U.; Smedley, P. **Essentials of medical geology. Impacts of the Natural Environment on Public Health**. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2005. p. 812.
- 35) Taylor, P. y Ramsey, M. **The balance between uncertainty and cost for the “in situ” analysis of contaminated land**. En: Heavy metal contamination and the quality of life. Debrecen: SEGH 20th European Conference, 2002, p.41
- 36) Trace2O. **Analizador portátil de metales pesados con precisión a niveles de ppb**. 2da. Edición. Berkshire, 2013, p.2-3.
- 37) UICN, Oficina Regional para Mesoamérica y la Iniciativa Caribe. **Guía de Gestión Ambiental para la Minería no metálica**, San José: Editorial Unicornio, 2009, p. 16-28.
- 38) United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Services. **Heavy Metal Soil Contamination**. En su Soil Quality – Urban Technical Note N°3, Soil Quality Institute, 2000, p. 1-3.
- 39) Van Heiningen, M. **La solubilidad y disolución de yeso**. Espeleogénesis: La Formación de cuevas [en línea], p. 1-2, 2009. Disponible en: http://espeleogenesis.blogspot.com/2009/07/la-solubilidad-y-disolucion-de-yeso_24.html
- 40) Vásquez, T. **Ecología y Formación Ambiental**. México D.F.: Mc. Graw-Hill, 1993, p. 238-296.
- 41) Villalobos, J. **Las rocas y sus procesos de formación** [en línea]. Departamento de Geología Universidad de Chile, p. 1, 2013. Disponible en: <http://www.geologia.uchile.cl/las-rocas-y-sus-procesos-de-formacion>.

FIGURAS

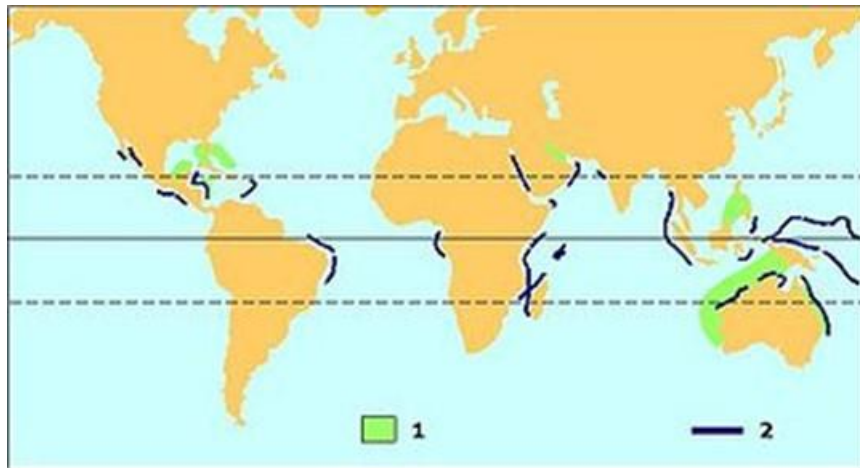


Figura 1. Sedimentación calcárea marina actual.

■ Plataformas carbonatadas

— Arrecifes coralinos

Fuente: <http://commons.wikimedia.org/wiki>



Figura 2. Morfología de un yacimiento de caliza. Los

yacimientos de caliza se distinguen por su color blanco característico. Fuente: Informe Layman, disponible en: http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=LIFE04_ENV_ES_000195_LAYMAN_ES.pdf



Figura 3. Bloques de piedra caliza.

Fuente: Dexpan, disponible en:
http://www.archerusa.com/nonexplosivesblastingdemolition/dexpanphotos/naturalstonequarrymining/dexpan_photos_quarry_wisconsin_limestone_nodiamondwire.html



Figura 4. Utensilios elaborados con arcilla.

Fuente: Umcomo, disponible en:
<http://artes.umcomo.com.br/articulo/como-reciclar-argila-11115.html>



Figura 5. Canteras de arcilla. Los yacimientos de arcilla se explotan a cielo abierto; en la imagen se observan las “terrazas” formadas por la acción mecánica. Fuente: Otro mundo es posible, disponible en: <http://www.otromundoesposible.net/secciones-historicas/geopolitica/nuevos-conceptos-para-la-gestion-del-territorio>



Figura 6. Canteras y mina de yeso. Se observa la tonalidad blanquecina característica de las formaciones y posterior explotación en una mina subterránea. Fuente: Foro-ciudad.com, disponible en: <http://www.foro-ciudad.com/almeria/beninar/fotos/140736-canteras-de-yeso-de-beninar.html> y Mis Pueblos.es, disponible en: http://www.mispueblos.es/castilla_y_leon/palencia/hornillos_de_cerrato/fotos/



Figura 7. Explotación de una cantera de feldespatos. Fuente: José Luis Calvo, disponible en: <http://www.mineralescalvo.com.ar/feldespato.php>



Figura 8. Yacimiento de piedra pómez, de origen volcánico. Fuente: Teleferico del Teide, disponible en: <http://blog.telefericoteide.com/ruta-de-miradores-en-las-canadas/>



Figura 9. Canteras de material pétreo. Dentro del Distrito Metropolitano de Quito, existen alrededor de 105 canteras de material pétreo. Fuente: Metroecuador, disponible en: <http://www.metroecuador.com.ec/67413-ordenanza-regularia-105-canteras-de-quito.html>



Figura 10. Contaminación del agua por desechos sólidos. Fuente: Water Pollution, disponible en: <http://grupo4miau.weebly.com/water-pollution.html>



Figura 11. Material levantado por el viento en una cantera. La acción eólica produce erosión y levanta material particulado que contamina el aire. Fuente: El ciudadano, disponible en: <http://www.elciudadano.gob.ec/se-procedera-al-cierre-inmediato-de-canteras-en-san-antonio/>



Figura 12. Cambio en el paisaje, por efectos de la acción minera. Fuente: Comunicación alternativa, disponible en: <http://unad-comunicacionalternativa.blogspot.com/2010/08/proyecto-minero-la-colosa-tolima.html>



Figura 13. Cemento Portland. Característico por su color grisáceo y su grano fino. Fuente: Reciclaje verde, disponible en: <https://reciclajeverde.wordpress.com/2012/06/01/la-valorizacion-energetica-de-residuos-en-la-industria-cementera-ii/>



Figura 14. Fábrica de Cemento en Ecuador. Las fábricas de cemento se han ubicado estratégicamente, de manera que se encuentren cercanas a los depósitos y explotación de caliza, cuyo mineral es la materia prima más importante en su fabricación. Fuente: SEDEMI, disponible en: <http://www.sedemi.com/EN/index.php/en/proyectos-sector-industrial/93-ampliacion-planta-de-cementos-holcim>



Figura 15. Hornos giratorios en una fábrica de cemento. Fuente: Mareche, disponible en: <http://www.mareche.es/en/rotary-kilns-dryers/>



Figura 16. Baldosas de cerámica colocadas en piso. Fuente: Arqhys, disponible en: <http://www.arqhys.com/baldosas-de-ceramica.html>



Figura 17. Hornos, prensado y serigrafía de baldosas de cerámica. Fuente: Exapro, disponible en: <http://www.exapro.es/ciclo-plano-extractor-plano-cassani-para-la-fabricacion-de-baldosas-de-terrazo-p30729063/> y Maincer, disponible en: http://www.maincer.es/71014_es/Grupo-fregador-humedo-para-baldosas-ceramicas/



Figura 18. Reservas de oro, en un banco inglés. Fuente: alearned.com, disponible en: <http://www.alearned.com/fort-knox-used-store-large-portion-us-official-gold-reserves/>

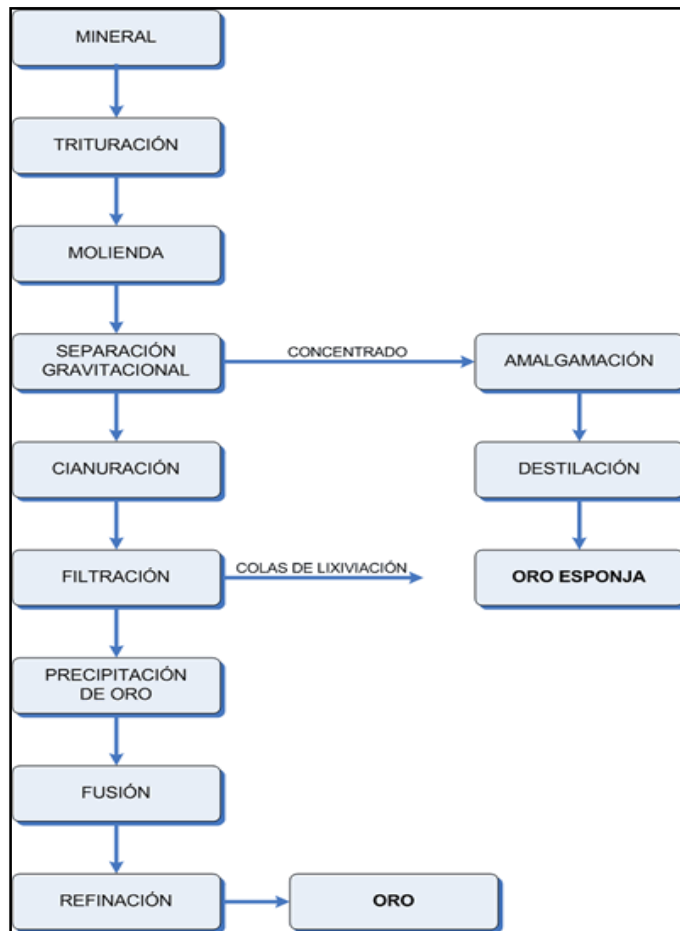


Figura 19. Diagrama explicativo del proceso de extracción de Oro. Fuente: textoscientíficos.com



Figura 20. Tanques de lixiviación por agitación. La agitación de la solución cianurada se realiza en lapsos de 6 a 72 horas. Fuente: Free-gold.com.cn



Figura 21. Lixiviación en pilas. El material fracturado se coloca formando una pila de altura definida sobre la que se coloca la solución de cianuro. Fuente: Horizonte consultores, disponible en: <http://hc-srl.com.pe/index.php?id=ingenieria>



Figura 22. Contaminación de las manos de un minero artesanal, por aplicación de mercurio para extraer oro. Fuente: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.



Figura 23. Equipo analizador de CO. Fuente: INE, Manual 3 Redes de Estaciones y Equipos de Medición de la Calidad del Aire

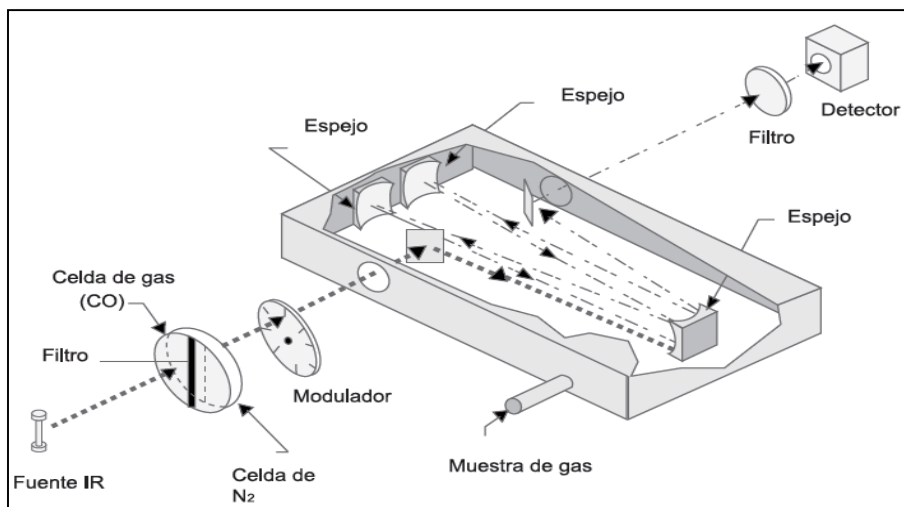


Figura 24. Esquema del analizador de CO por Fotometría Infrarroja. Fuente: INE, Manual 3 Redes de Estaciones y Equipos de Medición de la Calidad del Aire



Figura 25. Equipo analizador de NOx.
 Fuente: INE, Manual 3 Redes de Estaciones y Equipos de Medición de la Calidad del Aire.

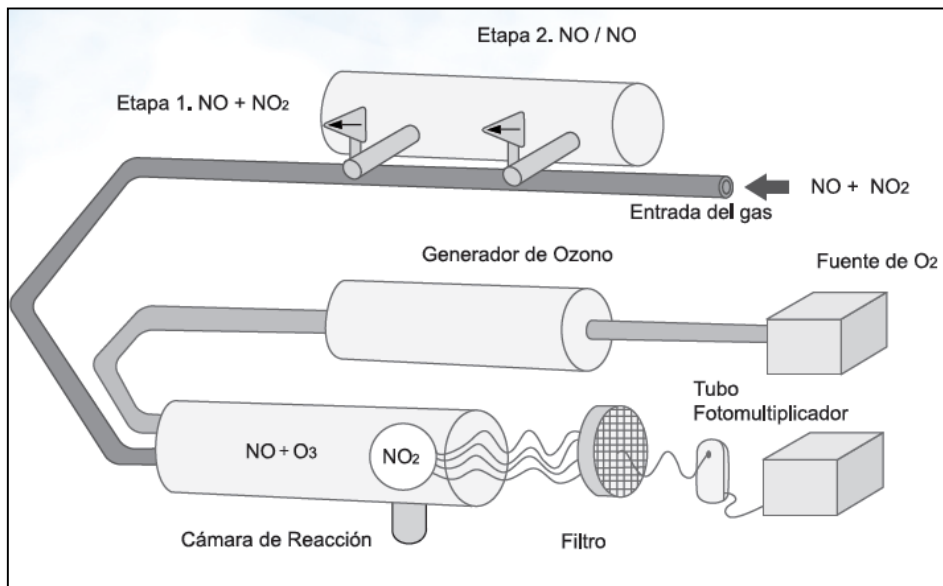


Figura 26. Esquema del analizador de NOx por Quimioluminiscencia. Fuente: INE, Manual 3 Redes de Estaciones y Equipos de Medición de la Calidad del Aire.



Figura 27. Equipo analizador de SO₂. Fuente: INE, Manual 3 Redes de Estaciones y Equipos de Medición de la Calidad del Aire.

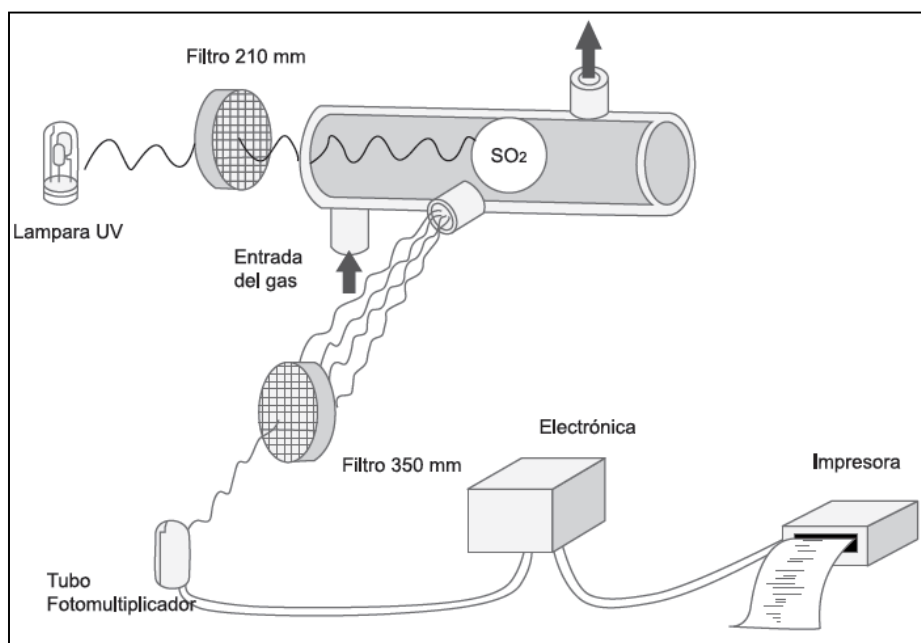


Figura 28. Esquema del analizador de SO₂ por fluorescencia pulsante. Fuente: INE, Manual 3 Redes de Estaciones y Equipos de Medición de la Calidad del Aire.

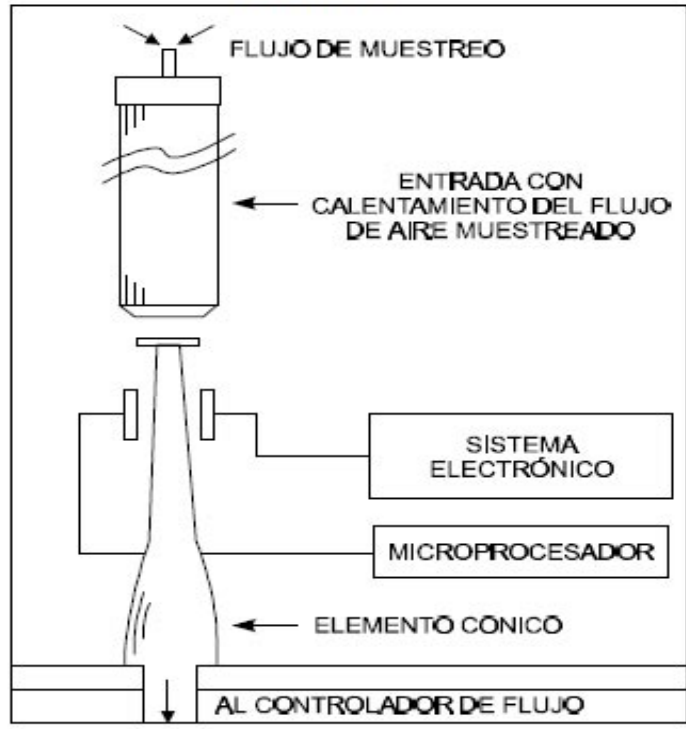


Figura 29. Esquema de medición de partículas suspendidas por microbalanza oscilante. Fuente: INE, Manual 3 Redes de Estaciones y Equipos de Medición de la Calidad del Aire.

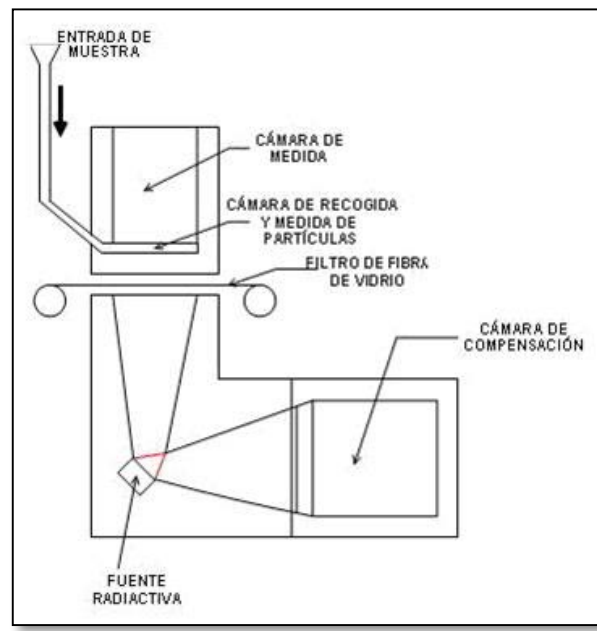


Figura 30. Esquema de un analizador de partículas mediante la atenuación de radiación beta. Fuente: INE, Manual 3 Redes de Estaciones y Equipos de Medición de la Calidad del Aire.

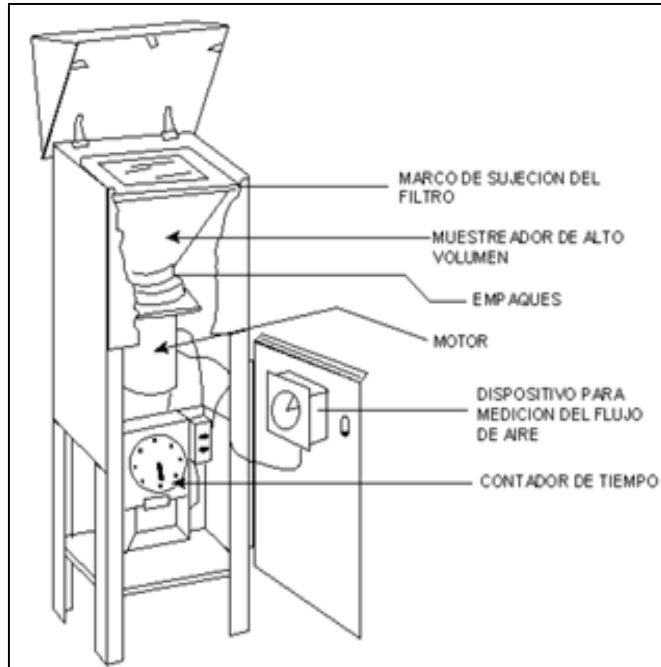


Figura 31. Esquema de un muestreador de alto volumen. Fuente: INE, Manual 3 Redes de Estaciones y Equipos de Medición de la Calidad del Aire.



Figura 32. Turbidímetro, que utiliza el método de fotometría infrarroja. Fuente: Hach Company.



Figura 33. Autoanizador de Cianuro total y Cianuro libre. Fuente: Jenck, disponible en: <http://www.notijenck.com.ar/aplicaciones/determinacion-automatica-de-cianuro-libre-y-total-en-agua-y-efluentes/>



Figura 34. Espectrofotómetro de absorción atómica con vapor frío, utilizado para el análisis de mercurio. Fuente: Mercury Instruments GmbH.



Figura 35: Autoanalizador portátil de Metales Pesados en Agua.
Fuente: Trace₂O.

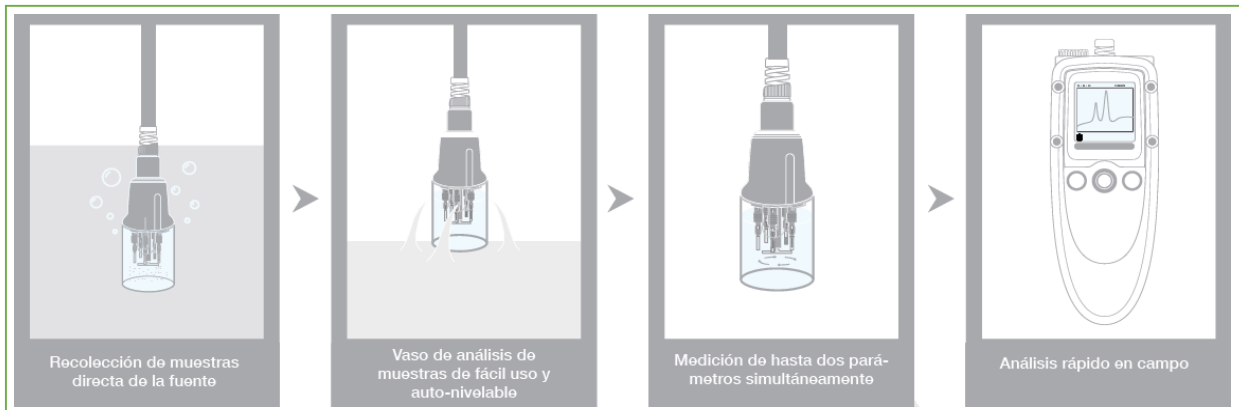


Figura 36. Esquema de muestreo y medición, realizado con un analizador de metales pesados en agua, donde se muestra que no existen interferencias que puedan afectar a los análisis. Fuente: Trace₂O.



Figura 37. Analizador de metales pesados, por fluorescencia de rayos X. Fuente: Loredó J. Instrumentación de campo para la detección y cuantificación de metales en suelos.



Figura 38. Sistema Petroflag, para determinación de hidrocarburos totales. Fuente: Ambicare Industrial S.A.

TABLAS

Tabla 1. Impactos socio-ambientales de la minería no metálica.

FACTOR AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL
Aire	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación del aire por partículas generadas en la explotación de canteras. • Contaminación del aire por gases derivados de la combustión de hidrocarburos utilizados en maquinarias • “Golpe de aire” producido por voladuras
Suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Remoción de capa vegetal • Pérdida de la capa fértil • Cambios en la topografía y morfología del sitio • Afectación de las características físico-químicas del suelo • Cambio en el paisaje • Desechos sólidos no tratados • Posible contaminación por derrame de hidrocarburos
Agua	<ul style="list-style-type: none"> • Alteración de drenajes naturales • Sedimentos en suspensión (turbidez) • Contaminación por derrames de hidrocarburos • Desechos de aguas residuales o negras no tratadas
Medio biótico	<ul style="list-style-type: none"> • Afectación de fauna y flora local • Cubierta vegetal no regenerada • Ruido
Medio social	<ul style="list-style-type: none"> • Plazas de trabajo y utilización de bienes y servicios • Riesgos laborales • Ruido

Fuente: Oficina Regional para Mesoamérica y la Iniciativa Caribe, UICN, 2009.

Tabla 2. Afecciones médicas que se presentan por el tipo de material particulado.

<i>Material explotado</i>	<i>Principal compuesto del polvo generado</i>	<i>Afecciones que se pueden presentar pos su exposición</i>
Caliza	Carbonato de calcio / CaCO_3	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Irritación de ojos, piel y vías respiratorias ▪ Irritación de las mucosas respiratorias derivándose en enfermedades pulmonares
Arcilla, Feldespato	Arenas silíceas / formado principalmente por silicatos de aluminio $\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_3$ y calcio Ca_3SiO_5 .	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Por inhalación produce fibrosis pulmonar y enfisemas; más comúnmente conocida como silicosis. ▪ Irritación de ojos, piel y mucosas respiratorias
Yeso	Sulfato de calcio / CaSO_4	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Irritación de ojos, piel y mucosas respiratorias ▪ Obstrucción del aparato digestivo ▪ Irritación de mucosas del esófago y estómago
Pómez, Materiales Pétreos	Carbonatos y rocas silíceas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Irritación de ojos, piel y mucosas respiratorias.

Fuente: Oficina Regional para Mesoamérica y la Iniciativa Caribe, UICN, 2009.

Tabla 3: Composición básica del cemento Portland.

<i>Compuesto</i>	<i>Porcentaje (%)</i>
Oxido de calcio	64
Oxido de silicio	21
Oxido de aluminio	5,5
Óxidos de hierro	4,5
Oxido de magnesio	2,4
Sulfatos	1,6
Otros (principalmente agua)	1%

Fuente: Prato N., 2007.

Tabla 4: Emisiones contaminantes en la industria cerámica de baldosas.

<i>Etapa proceso</i>	<i>Nivel de emisión</i>	<i>Caudal de emisión</i>	<i>Tipo ⁽¹⁾</i>	<i>Contaminante emitido</i>
Almacenamiento, manipulación y transporte de materia primas	Variable	Continuo / Discontinuo	Difusas	Partículas
Molienda en seco	Variable	Continuo / Discontinuo	Canalizadas	Partículas
Molienda en húmedo	Variable	Continuo / Discontinuo	Canalizadas	Partículas
Secado por atomización	Constante	Continuo	Canalizadas	Partículas y gases ⁽²⁾
Conformado	Variable	Continuo	Canalizadas	Partículas
Secado	Constante	Continuo	Canalizadas	Partículas y gases ⁽²⁾
Preparación de esmaltes	Variable	Discontinuo	Canalizadas	Partículas
Esmaltado	Variable	Continuo	Canalizadas	Partículas
Cocción	Constante	Continuo	Canalizadas	Partículas y gases ^{(2) (3)}

Fuente: ITC, 2009

- 1) Emisión canalizada: emisión a través de una conducción (chimeneas).
Emisión difusa: emisión que llega a la atmósfera, desde una superficie o volumen, sin haber sido canalizada a través de una conducción.
- 2) Gases: CO₂, CO, SO_x, NO_x, etc.
- 3) Otros contaminantes gaseosos.

Tabla 5. Potencial Minero del Ecuador, se indican reservas: probadas y probables; recursos: medidos, indicados e inferidos.

Proyecto	Compañía Minera	Recursos & Reservas	Minerales				
			Oro (Au) Onzas	Plata (Ag) Onzas	Cobre (Cu) Ton. Métrica	Plomo (Pb) Ton. Métrica	Cinc (Zn) Ton. Métrica
Mirador	ECSA	Rec. Medidos e Inferidos	2,740,000	21,530,000	2,669,841		
Mirador	ECSA	Rec. Inferidos	1,250,000	9,900,000	1,228,118		
Mirador Norte	ECSA	Rec. Indicados e Inferidos	590,000		1,103,855		
Panantza	ECSA	Rec. Inferidos			3,033,107		
Zaruma	DMM	Rec. Medidos e Indicados	1,110,200				
Zaruma	DMM	Rec. Inferidos	1,383,400				
Jerusalem	DMM	Rec. Medidos e Indicados	585,100	4,388,100		8,630	39,020
Jerusalem	DMM	Rec. Inferidos	710,130	6,276,470		8,050	37,840
Dynasty Goldfield	DMM	Rec. Medidos e Indicados	1,011,000	7,920,000			
Dynasty Goldfield	DMM	Rec. Inferidos	1,151,700	8,337,000			
Fruta del Norte	KGC	Rec. Medidos e Indicados	5,737,000	7,304,000			
Fruta del Norte	KGC	Rec. Inferidos	6,134,000	7,908,000			
Condor Gold	CMC	Rec. Inferidos	853,000				
Santa Bárbara	CMC	Rec. Inferidos	821,000				
Quimsacocha	IMG	Rev. Probadas y Posibles	1,682,000				
Quimsacocha	IMG	Rec. Medidos e Indicados	2,107,000				
Río Blanco	IMZ	Rec. Medidos e Indicados	661,000	4,785,000			
Río Blanco	IMZ	Rec. Inferidos	354,400	1,976,000			
Gaby	IMZ	Rec. Medidos e Indicados	6,940,000				
Gaby	IMZ	Rec. Inferidos	2,850,000				
Curipamba	SRL	Rec. Indicados	60,000	1,963,000	23,039	2,540	25,896
Curipamba	SRL	Rec. Inferidos	346,000	6,388,000	80,952	9,252	106,893
TOTAL			39,076,930	88,675,570	8,138,912	28,472	209,649

Fuente: Cámara de Minería del Ecuador - 2011

Compañías Mineras:

ECSA: Ecuacorriente

DMM: Dynasty Metals & Mining

CMC: Condor Mining Corp

KGC: Kinross Gold Corp. (Ahora la concesión pertenece a Fortress Minerals)

IMG: Iamgold Corp. (Ahora la concesión pertenece a INV Metals)

IMZ: International minerals Corp. (Ahora las concesiones pertenecen a China CAMC Engineering Co.)

SRL: Salazar Resources Limited

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, César Enrique Velasco Betancourt, con CC. 171193906-4, autor del trabajo de graduación intitulado: **“Contaminantes generados en la exploración y explotación minera, métodos de análisis y sus efectos ambientales”**, previa la obtención del grado académico de **LICENCIADO EN CIENCIAS QUÍMICAS, ESPECIALIDAD QUÍMICA ANALÍTICA** en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través del sitio web de la Biblioteca de la PUCE el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de la Universidad.

Quito, 23 de Marzo de 2015

f) _____

C.C. 171193906-4