

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK**

**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**

**Plan de Investigación de Fin de Carrera Titulado:**

**“SOLIDIFICACIÓN DE RELAVES DE UNA EMPRESA MINERA 2016,  
UTILIZANDO CEMENTO PORTLAND PARA LA FABRICACION DE  
JARDINES MINIATURA”**

**Realizado por:**

**PRISCILA ESTEFANIA GUAÑUNA DÍAZ**

**Director del proyecto:**

**M.Sc. Katty Coral**

**Como requisito para la obtención del título de:**

**INGENIERA AMBIENTAL**

**AÑO**

**2015-2016**



## DECLARACION JURAMENTADA

Yo, PRISCILA ESTEFANIA GUAÑUNA DÍAZ, con cédula de identidad # 172171386-3, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



**Priscila Estefania Guañuna Díaz**

172171386-3

## DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“Solidificación de relaves de una empresa minera 2016, utilizando cemento portland para la fabricación de jardines miniatura”**

Realizado por:

**PRISCILA ESTEFANIA GUAÑUNA DÍAZ**

como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERA AMBIENTAL

ha sido dirigido por el profesor

**KATTY CORAL CARRILLO**

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



Katty Coral Carrillo  
DIRECTOR

## LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

**ANITA RODRÍGUEZ**

**JORGE ESTEBAN OVIEDO**

Después de revisar el trabajo presentado,  
lo han calificado como apto para su defensa oral ante  
el tribunal examinador



**Anita Rodríguez**



**Esteban Oviedo**

Quito, 29 julio 2016

## **DEDICATORIA**

*A mis padres: Franklin Eduardo y Lilian Del Rosario, mis primeros maestros, protectores y guías por estar conmigo en mis éxitos y fracasos y convertirme en un ser humano sensato y de buenos sentimientos.*

*A mi ángel guardián que desde el cielo me protege, Nelson Rafael.*

***Estefany***

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios porque me ha permitido llegar a culminar con éxito mi profesión.*

*A la Universidad Internacional SEK y a sus maestros por sembrar en mi sabiduría y  
responsabilidad.*

*A Msc. Katty Coral mi directora de Tesis porque más que maestra es una gran amiga y un  
ejemplo a seguir.*

*Al Ing. Esteban Oviedo por guiarme con rectitud y cariño a lo largo de mi trayecto estudiantil.*

*A Robert mi hermano, amigo, confidente, cómplice por ser el mejor de mis impulsos y  
ayudarme en la ejecución d mi tesis.*

*Estefany*

## RESUMEN

En los últimos años se ha desarrollado la industria minera a nivel mundial, actividad que genera (relaves mineros) una gran cantidad de residuos tóxicos y peligrosos, los cuales no son sometidos a un adecuado tratamiento para su disposición final causando un mayor impacto en el ambiente como en la salud humana. A partir de este planteamiento, se ve necesaria la implementación de una tecnología eficiente para una adecuada disposición final de relaves mineros mediante el proceso de solidificación con Cemento Portland Puzolánico para la fabricación de jardines inertizados, los cuales contarán con algunas propiedades como: mínima generación de lixiviados, no poseer reactividad química, mínima permeabilidad, elevada resistencia, entre otros. El presente proyecto pretende proporcionar una opción eficiente para un adecuado manejo de relaves mineros mediante el uso de aglomerante, agregado fino, residuo sólido, agua y aditivo, con el objetivo de obtener muestras inertizadas con mínima concentración de metales pesados y útiles para su aprovechamiento. La metodología aplicada fue la descrita en la tesis del Ing. Oviedo Esteban; se tomaron muestras representativas mediante muestreo sistemático, de esta manera se realizó seis ensayos de acuerdo a la composición de cada muestra basada en una misma dosificación; los cuales además dieron paso a análisis fisicoquímicos para evaluar la capacidad contaminante y determinar el nivel de inertización.

En base a los resultados obtenidos tanto de procedimientos experimentales como de laboratorio, se pudo determinar como una opción válida y eficiente el proceso de solidificación con Cemento Portland Puzolánico para relaves mineros, como tratamiento que reduce su capacidad de lixiviarse y los encapsula en una matriz concreta de la cual no pueden salir.

***Palabras clave:*** Disposición de residuos peligrosos, Estabilización, Residuos de la minería, Reusó de residuos sólidos, Tratamiento Fisicoquímico.



## ABSTRACT

In the past years, the mining industry has developed all over the world, generating (mining waste) a large amount of toxic and dangerous waste, which are not subjected to the proper treatment before their disposal and therefore causing a great impact and damage to the environment as well as to people's health. From this point of view, the need is observed to come up with an efficient technology for the proper disposal of the mining waste, solidifying it by using pozzolanic Portland cement and using it for building inert gardens. These will have qualities such as minimum leachate production, no chemical reactivity, minimum permeability, high level of endurance, among others. This project hopes to provide an efficient option for an appropriate handling of tailings miners by the use of binders, fine aggregate, solid residue, water and additive in order to come up with inert samples this a minimum concentration of heavy metals, that can be useful.

The methodology applied was that described in the thesis by engineer Esteban Oviedo, where from a systematic sampling process, representative portions or samples were considered and then six tests were carried out according to the composition based in the same dosage, which in addition led to physical and chemical analysis to evaluate the contaminant capacity and determine the level of inactivity.

Based on the results from both, experimental and laboratory procedures, it was considered valid and efficient the process of solidification with pozzolanic Portland cement for mining waste, this treatment reduces its ability to leach and encases them in a concrete matrix.

***Key words:*** *Disposal of hazardous waste, stabilization, Mining Waste, reuse of solid waste, physicochemical treatment.*

## PRELIMINARES

	Pág. No.
DECLARACION JURAMENTADA.....	¡Error! Marcador no definido.
DECLARATORIA .....	¡Error! Marcador no definido.
LOS PROFESORES INFORMANTES .....	¡Error! Marcador no definido.
Dedicatoria.....	X
Agradecimientos .....	XI
RESUMEN .....	XII
ABSTRACT.....	XIII

## ÍNDICE GENERAL

	Pág. No.
<b><u>CAPÍTULO I .....</u></b>	<b><u>19</u></b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>19</b>
<b>1.1. DESCRIPCIÓN DEL TEMA A DESARROLLAR .....</b>	<b>19</b>
<b>1.2. ANTECEDENTES.....</b>	<b>21</b>
<b>1.3. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO.....</b>	<b>24</b>
<b>1.4. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS A ALCANZAR .....</b>	<b>25</b>
1.4.1. Objetivo General .....	25
1.4.2. Objetivos Específicos .....	25
<b>1.5. CARACTERÍSTICAS DEL SITIO DEL PROYECTO .....</b>	<b>25</b>
<b><u>CAPÍTULO II .....</u></b>	<b><u>28</u></b>
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>28</b>
<b>2.1. ESTUDIOS PREVIOS .....</b>	<b>28</b>
2.1.1 Estado actual del conocimiento.....	28
<b>2.2 MARCO LEGAL .....</b>	<b>31</b>
Cuerpos legales .....	31
• Constitución de la República del Ecuador.....	31
• Ley minera.....	31
• Ley de Gestión Ambiental .....	32
• Normativa Internacional.....	32
• Ordenanza 404 del Distrito Metropolitano de Quito.....	33
• Reglamento General a la Ley Minera .....	34
• Reglamento Ambiental De Actividades Mineras .....	34
• Acuerdo Ministerial 061.....	35
• Acuerdo Ministerial 097.....	37

Cuerpos no legales.....	40
• Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2518: 2010.....	40
• Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 536:2010.....	41
• Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2615: 2012.....	41
<b>2.3. MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>43</b>
2.3.1. Gestión de Residuos Solidos.....	43
2.3.2. Residuo.....	43
2.3.2.1. Residuos Tóxicos y Peligrosos .....	44
2.3.2.1.1. Residuo minero- metalúrgico.....	45
2.3.2.1.2. Ensayo Vía residuo.....	46
2.3.2.1.3. Ensayo Vía Lixiviado .....	48
2.3.3. Tratamiento físico – químico .....	50
2.3.3.1. Proceso de Solidificación de Residuos .....	50
2.3.4. Aglomerante .....	50
2.3.5. Cemento Portland .....	51
2.3.9. Áridos.....	53
2.3.7. Aditivos.....	53
2.3.8. Fraguado.....	54
2.3.9. Mortero.....	55
2.3.9.1. Propiedades del Mortero .....	55
<b><u>CAPÍTULO III .....</u></b>	<b><u>56</u></b>
<b>3. METODOLOGÍA .....</b>	<b>56</b>
<b>3.1. TAMAÑO DE LA MUESTRA .....</b>	<b>56</b>
<b>3.2. PROCEDIMIENTOS DE CAMPO .....</b>	<b>56</b>
<b>3.3. PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES.....</b>	<b>58</b>
3.3.1. Procedimiento.....	59
3.3.1.1. Elaboración de moldes.....	59
3.3.1.2. Dosificación - Ensayo Blanco.....	61
3.3.1.3. Dosificación – Muestras inertizadas .....	62
<b>3.4. PROCEDIMIENTOS DE LABORATORIO .....</b>	<b>67</b>
3.4.1. Procedimiento para la determinación del porcentaje de humedad .....	67
3.4.2. Procedimiento Ensayo Vía Residuo .....	68
3.4.3. Procedimiento Ensayo Vía Lixiviado (TCLP).....	70
3.4.6. Espectrofotometría de Absorción Atómica .....	73
3.4.4.1. Límites de detención de concentración de cada metal en Espectrofotometría de Absorción Atómica .....	75
3.4.5. Ensayo de Lixiviación monolítica.....	76
3.4.6. Ensayo de Resistencia .....	79
<b>3.5. PROCESAMIENTO DE DATOS.....</b>	<b>79</b>
3.5.1. Levantamiento de datos en el laboratorio.....	79

<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>84</b>
<b>4. DATOS Y RESULTADOS.....</b>	<b>84</b>
<b>4.1. DATOS PRIMARIOS.....</b>	<b>84</b>
4.1.1. Levantamiento de Datos de Campo. ....	84
4.1.2. Levantamiento de Datos Experimentales .....	84
4.1.2.1 Datos del Peso- Muestra 1 , Muestra 2.....	84
4.1.2.2 Datos y cálculos porcentaje de humedad .....	85
4.1.2.3. Datos proceso Vía Lixiviado (TCLP)- Muestra 1, Muestra 2.....	86
4.1.2.4. Datos proceso Vía Lixiviado (TCLP)- Muestras Inertizadas.....	87
4.1.3. Lectura de metales por Espectrofotómetro de Absorción Atómica.....	88
4.1.3.1. Calculo para pasar Lectura por EAA en mg/L a mg/kg de residuo para el Ensayo Vía Residuo – Muestra 1 y 2.....	88
4.1.3.1.1 Vía Residuo.....	88
<b>4.2. RESULTADOS .....</b>	<b>89</b>
4.2.1. Presentación de resultados obtenidos ensayo Vía Residuo, Vía Lixiviado – Muestra sin inertizar.....	89
4.2.2. Presentación de resultados obtenidos ensayo Vía Lixiviado (TCLP) – Muestras Inertizadas.....	91
4.2.1.1. Presentación de Datos- Muestra 1 y Muestra 2.....	92
4.2.2.1. Presentación de Datos- Muestras inertizadas– MUESTRA 1.....	95
4.2.2.2. Presentación de Datos- Muestras inertizadas – MUESTRA 2 .....	96
4.2.3. Presentación de datos - % de inertización - Muestras Inertizadas.....	98
<b>4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>101</b>
4.3.1. Interpretación y comparación de resultados.....	101
4.3.1.1 Interpretación de resultados obtenidos en Muestra 1 en Espectrofotometría de Absorción Atómica de cada metal .....	101
4.3.1.2 Interpretación de resultados obtenidos en Muestra 2 en Espectrofotometría de Absorción Atómica de cada metal .....	104
4.3.1.3. Interpretación de resultados obtenidos en Muestras inertizadas en Espectrofotometría de Absorción Atómica de cada metal.....	107
4.3.2. Interpretación de los resultados obtenidos del Porcentaje de inertización .....	109
4.3.3. Comparación de la concentración de cada metal en Muestras Inertizadas .....	110
4.3.4. Comparación de la concentración de cada metal en Muestras Inertizadas respecto al Marco legal aplicable (límites permisibles), Acuerdo Ministerial 097 .....	111
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>113</b>
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>113</b>
<b>5.1. CONCLUSIONES.....</b>	<b>113</b>
<b>5.2. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>116</b>
<b>CAPÍTULO VI .....</b>	<b>118</b>
<b>6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>118</b>

**CAPITULO VII .....122**

<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>122</b>
MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DE MORTEROS Y MOLDES .....	122
FASE DE CAMPO .....	124
ELABORACIÓN DE MOLDES PARA MORTEROS .....	128
PROCEDIMIENTO- ENSAYO BLANCO PROCESO Y MEZCLA .....	129
PROCEDIMIENTO- MUESTRAS INERTIZADAS PROCESO Y MEZCLA.....	130
ENSAYO DE LIXIVIACIÓN MONOLÍTICA .....	131
LECTURA DE METALES MEDIANTE EAA .....	132

**ÍNDICE ECUACIONES**

Pág. No.

Ecuación. 1-1 Porcentaje de humedad.....	67
Ecuación. 4 -1. Calculo mg/L a mg/kg.....	88
Ecuación. 4- 3 Porcentaje de Inertización .....	98

**ÍNDICE FIGURAS**

Pág. No.

Figura 1. Lugar donde se realizó la investigación .....	27
Figura 2. Límites de descarga a un cuerpo de Agua Dulce .....	38
Figura 3. Jerarquización de Gestión de Residuos .....	43
Figura 4. Toma de muestra de manera sistemática .....	57
Figura 5. Peso Inicial de las muestras .....	58
Figura 6. Dimensiones del Molde .....	60
Figura 7. Proporciones de mortero.....	61

**ÍNDICE FLUJOGRAMAS**

Pág. No

Flujograma 1. Proceso de solidificación – Muestras Inertizadas.....	64
Flujograma 2. Proceso Vía Residuo.....	69
Flujograma 3. Proceso Vía Lixiviado .....	72
Flujograma 4. Ensayo de Lixiviación Monolítica.....	78

**ÍNDICE GRAFICOS**

Pág. No.

Gráfico 1. Concentración de metales mediante EAA- MUESTRA1 - Vía residuo.....	92
Gráfico 2. Concentración de metales mediante EAA- MUESTRA1 - Vía TCLP .....	93
Gráfico 3. Concentración de metales mediante EAA- MUESTRA 2 - Vía Residuo .....	94
Gráfico 4. Concentración de metales mediante EAA- MUESTRA 2 - Vía TCLP .....	94
Gráfico 5. Concentración de metales mediante EAA- Muestras Inertizadas- M1- TCLP.....	96
Gráfico 6. Concentración de metales mediante EAA- Muestras Inertizadas- M2- TCLP.....	98
Gráfico 7. Concentración de Metales Mediante EAA- Muestras Inertizadas.....	107
Gráfico 8. Comparación de la concentración de metales - Muestras Inertizadas con los LMP .....	111

## ÍNDICE TABLAS

Pág. No.

Tabla 1. Límites granulométricos del árido para uso en mortero para mampostería .....	41
Tabla 2. Requisitos Físicos. INEN 2615.....	42
Tabla 3. Materiales constitutivos para elaboración de moldes .....	59
Tabla 4. Materiales constitutivos para el Ensayo Blanco .....	61
Tabla 5. Materiales constitutivos para muestras inertizadas– M.1 .....	62
Tabla 6. Constitutivos para muestras inertizadas – M.2 .....	63
Tabla 7. Equipos, materiales y reactivos para desarrollar el ensayo Vía Residuo.....	68
Tabla 8. Equipos, materiales y reactivos para desarrollar el Ensayo Vía lixiviado .....	70
Tabla 9. Materiales y Reactivos Para Desarrollar. FLUIDO 1. ....	71
Tabla 10. Materiales y Reactivos Para Desarrollar. FLUIDO 2.....	71
Tabla 11. Límite de Detección de Concentración para cada Metal Espectrofotómetro de Absorción Atómica	75
Tabla 12. Dosificación Fluido No.1 – Muestras Inertizadas.....	77
Tabla 13. Formato de ingreso de datos del peso- Muestra 1.....	80
Tabla 14. Formato de ingreso de datos del peso- Muestra 2.....	80
Tabla 15. Formato para Ingreso de datos % de Humedad .....	80
Tabla 16. Formato para ingreso de datos proceso Vía Lixiviado (TCLP).....	81
Tabla 16.1 Formato para ingreso de datos proceso Vía Lixiviado (TCLP)- Muestras Inertizadas.....	81
Tabla 17. Formato ingreso de datos lectura de Metales por EAA - Vía Residuo- Muestras sin inertizar .....	82
Tabla 17.1 Formato ingreso de datos lectura de Metales por EAA - Vía TCLP- Muestras sin inertizar .....	82
Tabla 18. Formato ingreso de datos lectura de Metales por EAA – Muestras Inertizadas.....	83
Tabla 19. Ingreso de Datos del peso Muestra 1 – Muestra 2.....	84
Tabla 19.1 Datos y resultados - % de Humedad.....	85
Tabla 19.2 Datos proceso Vía Lixiviado (TCLP)- Muestra 1 y 2.....	86
Tabla 19.3 Datos proceso Vía Lixiviado (TCLP)- Muestras Inertizadas .....	87
Tabla 20. Formato ingreso de datos lectura de Metales por EAA – Vía Residuo- Muestras sin inertizar.....	89
Tabla 20.1 Formato ingreso de datos lectura de Metales por EAA –Vía Lixiviado (TCLP)- Muestras sin inertizar .....	90
Tabla 20.2 Formato ingreso de datos lectura de Metales por EAA – Muestras inertizadas.....	91
Tabla 21. Datos - Muestra 1.....	92
Tabla 21.1 Datos - Muestra 2.....	93
Tabla 22. Datos – M1E1 .....	95
Tabla 22.1 Datos – M1E2 .....	95
Tabla 22.2 Datos – M1E3 .....	95
Tabla 23. Datos – M2E1 .....	96
Tabla 23.1 Datos- M2E2.....	97
Tabla 23.2 Datos- M2E3.....	97
Tabla 24. Datos % de Inertización- M1.....	99
Tabla 24.1 Datos % de Inertización- M2.....	100
Tabla 25. Rango de concentración de los metales vía residuo.....	101
Tabla 26. Rango capacidad de lixiviarse los metales.....	102
Tabla 27. Rango de concentración de los metales vía residuo.....	104
Tabla 28. Rango capacidad de lixiviarse los metales.....	105
Tabla 29. Rango capacidad de lixiviarse los metales.....	108

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL TEMA A DESARROLLAR

La industria minera tiene dos parámetros fundamentales en los cuales se sustenta su actividad de desarrollo y genera la riqueza de un país; en primer lugar está, la tecnología, capacidad y habilidad de aplicación para obtener los productos mineros del subsuelo, esenciales para el bienestar local e internacional; en segundo lugar, está la potencialidad de inversión, legislación, control y normativa ambiental por parte de las autoridades del ramo, para crear ventajas comparativas frente a los productos y servicios que se ofrecen en el mercado internacional.

Todos los materiales empleados por la sociedad moderna han sido obtenidos mediante minería, o necesitan productos mineros para su fabricación. Puede decirse que, si un material no proviene de una planta, entonces se obtiene de la tierra. Incluso las otras actividades del sector primario: agricultura, pesca y silvicultura no podrían llevarse a cabo sin herramientas y máquinas fabricadas con los productos de las minas. Cabe argumentar por ello que la minería es una industria fundamental para la civilización humana.

La minería tiene como objetivo obtener minerales o combustibles, incrementar la productividad de un país. Un mineral puede definirse como una sustancia homogénea originada por un proceso genético natural con composición química, estructura cristalina y propiedades físicas constantes dentro de ciertos límites ( Ministerio de Minas y Energía, Colombia, 2003)

Un recurso mineral es un volumen de la corteza terrestre con una concentración anormalmente elevada de un mineral o combustible determinado. Se convierte en una reserva si dicho mineral, o su contenido (un metal, por ejemplo), se puede recuperar mediante la tecnología del momento con un costo que permita una rentabilidad razonable de la inversión en la mina (Paladines, 1986, p.41).

[Ir al índice](#)

Los recursos minerales forman parte de los recursos naturales no renovables, por ellos entendemos a todos aquellos materiales geológicos que tienen interés económico como materias primas, en sentido amplio, se pueden clasificar en varios grupos en función de sus usos y de sus características. Se pueden subdividir en los siguientes grandes grupos: minerales metálicos o menas, minerales y rocas industriales y combustibles fósiles. Los recursos de minerales metálicos o menas, agrupan a las mineralizaciones que se explotan para la obtención de elementos metálicos, normalmente, mediante un proceso metalúrgico complejo. Los minerales y rocas industriales engloban a los materiales terrestres, de interés económico y que se utilizan tal cual por la industria, o bien requieren un tratamiento relativamente simple (Ruiz de Almodóvar, 1999).

La actividad minera se ha desarrollado en Ecuador desde tiempos milenarios, pero solamente a nivel artesanal y de pequeña minería; en la actualidad el estado ecuatoriano busca una transformación cualitativa para el desarrollo minero. Conforme el paso de los años, se han establecido nuevas leyes y reglamentos, los cuales rigen el campo minero, entre los cuales se encuentra la Gestión de Residuos sólidos, tóxicos y peligrosos generados en dicha actividad.

El desarrollo de la actividad minera genera en si relaves, es decir “lodos” los cuales son considerados como un conjunto de desechos tóxicos de procesos mineros y concentración de minerales, usualmente constituidos por una mezcla de tierra, minerales, agua y rocas (SERNAGEOMIN, 2003).

El trabajo consistió en inertizar los relaves mineros utilizando Cemento Portland Puzolánico, previo a lo cual se determinó la concentración de metales vía residuo y vía Lixiviado, tanto antes de la solidificación como después de la misma.

La elaboración del material inertizado con Cemento Portland Puzolánico, este tipo de cemento cuenta con mayor resistencia a los agentes químicos, se caracteriza por tener menor dilatación, ser más impermeable disminuyendo la exudación y segregación, el cual se



emplea ampliamente para la Solidificación de residuos, aquellos que contienen metales y contaminantes inorgánicos (Dr. Jiménez, 2011)

El Cemento Portland ofrece una matriz sólida para el aislamiento de los desechos, la mayoría de residuos se sostienen físicamente en la matriz rígida del aglomerante, con lo que están sujetos a lixiviación. El éxito de la solidificación con Cemento Portland depende mucho de si los residuos afectan o no adversamente a la fuerza y estabilidad de cemento producido (Manahan, 2007)

La aplicación de sorbentes y/o aglomerantes, puede incluir la retención mecánica simple, la sorción física y las reacciones químicas, es importante hacer corresponder el sorbente con el desecho, es decir, una sustancia con una afinidad fuerte por el agua debe emplearse para residuos que contienen exceso de agua y debe usarse otra para materiales orgánicos con exceso de disolventes orgánicos (Manahan, 2007).

Los residuos aptos para el proceso de solidificación con cemento deben ser de naturaleza totalmente inorgánica, con el objetivo que el proceso a ser realizado resulte totalmente eficiente (Coral, 2013).

Para aprovechar el proceso de solidificación se fabricaran jardines en miniatura con el material inertizado, el resultado por un lado reducirá el porcentaje de residuos tóxicos y por otro se obtendrá como producto final jardines miniatura, los cuales podrán ser comercializados.

La propuesta de este estudio se enfocó en evaluar la efectividad del proceso de solidificación estabilización por cementación usando un aglomerante para la retención de metales pesados (cadmio, níquel, mercurio, plomo y zinc).

## 1.2. ANTECEDENTES

Unos 250 años antes, la población mundial era aproximadamente de 500 millones de habitantes, con el paso del tiempo se produjo un crecimiento exponencial de la población y la introducción de la revolución industrial, junto con su concentración en grandes núcleos urbanos y con el creciente consumo de recursos, ha originado graves problemas que

engloban al ambiente, como contaminación de aire, suelo y agua. El crecimiento de los asentamientos urbanos no solo implicó la necesidad de abastecer de alimentos y otros productos a la población, sino también la de suministrar agua potable, depurar aguas residuales, mantener la calidad del aire y eliminar los residuos sólidos generados (August; Bonmatí, 2008).

La actividad minera ha constituido una fuente importante de trabajo a nivel mundial, como también un gran potencial de contaminación cuando sus residuos no reciben tratamiento adecuado, afectando de manera directa al ser humano y al ambiente. Se reconoce también, el cambio rápido que está manifestando la industria minera, orientada a mejorar, hacer más limpios y seguros sus procesos, ante las presiones sociales y gubernamentales para que prevengan los impactos adversos sobre el ambiente. Sin embargo, aún queda mucho por hacer, en particular en el caso de las pequeñas operaciones mineras en países en desarrollo cuyo desempeño ambiental es precario (M.Sc. Guañuna, 2016).

En la actualidad, las posibilidades de un desarrollo minero plantean importantes retos para nuestro país, pues si bien puede existir un gran potencial minero, al mismo tiempo su extracción significa un alto porcentaje de conflictividad social, ambiental, económica y política. Si los procesos mineros no responden a un adecuado proceso de planificación y prevención de riesgos ambientales, sociales y culturales, los impactos negativos de la actividad minera pueden causar daños graves tanto a pequeña como a gran escala (M.Sc. Guañuna, 2016).

Con respecto al manejo de los residuos tóxicos y peligrosos generados por la actividad minera a nivel mundial, se ha optado por la creación de tecnologías eficientes para tratar este tipo de residuos, la tecnología empleada en el proyecto fue la Solidificación con Cemento Portland Puzolánico de relaves mineros, por ser catalogado como una de las más seguras y viables estrategias para el manejo integral de residuos tóxicos y peligrosos.

El proceso de solidificación ha sido considerado en varios casos, la mejor tecnología disponible demostrable para la remediación de lugares con un alto porcentaje de contaminación. Sin embargo, no es una tecnología que se encuentre totalmente desarrollada, (Paria & Yuet, 2006), mencionan, que muchos aspectos de esta metodología permanecen poco entendidos y mal cuantificados.

En los últimos años se han hecho esfuerzos sustanciales para reducir las cantidades de residuos y, por consiguiente, la carga que representa su manejo, reutilización, estabilización y/o disposición. Gran parte de estos esfuerzos han sido resultado de las legislaciones y regulaciones que los restringe, aunados a la preocupación resultante sobre las posibles acciones legales y juicios. En muchos casos -e idealmente en todos- la minimización de la cantidad de residuos producida es, simplemente, un buen negocio (Manahan, 2007).

Un aspecto relevante de este proceso es su impacto positivo en el ambiente, pues al reducir las extensiones del territorio nacional para guardar los residuos de manera permanente se evitarían los costos de almacenamiento en rellenos sanitarios o confinamientos, ya que el producto solidificado final tendría aplicaciones en la industria de la construcción (México Agencia Iberoamericana para la Difusión de la Ciencia y Tecnología DCYT, 2010)

Si se considera este ahorro del costo de pago de depósito en confinamiento y el de la solidificación, así como el aprovechamiento económico de los productos finales (ladrillos y bloques, entre otros, por ejemplo), se puede estimar que la solidificación implicaría un ahorro de 40% comparado con el costo del proceso de almacenamiento de residuos (México Agencia Iberoamericana para la Difusión de la Ciencia y Tecnología DCYT, 2010).

Se han realizado varios trabajos a nivel mundial referentes a tratamiento de muestras de suelos contaminados usando cemento portland como aglomerante para la retención de cromo, plomo y cobre, dentro de lo cual, la inmovilización de compuestos orgánicos ha sido más difícil debido a que interfieren en el proceso de formación del hormigón (Lara-Díaz & Melgoza-Alemán, 2009).

El estudio realizado, Solidificación – Estabilización de Cromo, Níquel y Plomo en una Matriz Sólida de Hormigón Fabricada con Cemento Portland, demostró que la técnica de solidificación-estabilización usando cemento portland (cementación portland) con una formulación para una resistencia a la compresión de  $29.4 \text{ N/mm}^2$  es una técnica que permite la inclusión de metales en el hormigón. Se pudo ver a esta técnica como una alternativa para el tratamiento de corrientes líquidas con metales de la industria; también puede ser usada para disposición final de estos metales en rellenos sanitarios existentes en muchas

ciudades y no en confinamientos controlados de residuos peligrosos, disminuyendo adicionalmente los costos de disposición. Los resultados demostraron la factibilidad de la técnica del hormigón obtenido para usos en aplicaciones de construcción en función de sus valores de resistencia a la compresión satisfaciendo los estándares de construcción en México (Lara-Díaz & Melgoza-Alemán, 2009).

En lo que se refiere a Ecuador se emplean varios procesos para el manejo de residuos sólidos, tóxicos y peligrosos en las diferentes áreas industriales, con el fin de reducir el porcentaje de residuos a ser depositados en un determinado relleno sanitario, así como también se obtienen nuevos productos para ser reinsertados en la matriz productiva y generar ingresos económicos.

### 1.3. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

La preservación del ambiente y garantía de un desarrollo sustentable fue promulgada en la Ley de Gestión Ambiental, Ley No. 37. Ro/ 245 del 30 de Julio de 1999, constituye el cuerpo legal específico más importante atinente a la protección ambiental en el país. Esta ley está relacionada directamente con la prevención, control y sanción a las actividades contaminantes a los recursos naturales y establece las directrices de política ambiental, determina las obligaciones, señala los límites permisibles, controles y sanciones dentro de este campo (Doc. Cárdenas, 2008).

El presente estudio radica su importancia en el manejo adecuado de los residuos mineros, con el fin de que puedan ser integrados como materia prima para la elaboración de un nuevo proceso productivo, jardines miniatura inertes, con características de durabilidad, resistencia e impermeabilidad, lo cual representará beneficios dirigidos hacia la economía como también hacia el ambiente.

La Solidificación constituye una excelente tecnología para el reciclaje de relaves mineros, además de ser respetuosa con el ambiente, garantiza la inserción del compuesto peligroso en el seno de una matriz concreta de donde no puede salir (Castells, 2012).

El proceso de Solidificación con un material aglomerante, presenta ventajas importantes para el tratamiento de residuos peligrosos con metales como son: requerimientos técnicos de personal, bajo costo de producción, estabilidad estructural del aglomerante a largo plazo, alta resistencia a la biodegradación, relativamente baja permeabilidad, ninguna toxicidad de los materiales usados y la composición estandarizada del cemento obtenido en distintos lugares (Paria & Yuet, 2006).

#### 1.4. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS A ALCANZAR

##### 1.4.1. Objetivo General

Solidificar relaves de una empresa minera, utilizando Cemento Portland Puzolánico para la fabricación de jardines miniatura inertizados.

##### 1.4.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la capacidad contaminante de los relaves mineros vía residuos y vía lixiviado para la determinación de su peligrosidad.
- Determinar el nivel de inertización obtenido a través de ensayos de lixiviación para el aprovechamiento de los lodos.

#### 1.5. CARACTERÍSTICAS DEL SITIO DEL PROYECTO

La minería en el Ecuador se remonta a las primeras comunidades que se formaron en las distintas partes de los territorios ecuatorianos, siendo estas las propulsoras de los actuales avances mineros en el país (Centro de Investigación de Planificación del Medio Ambiente / Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo de Iniciativa de Investigación de Políticas Mineras, 2002).

En América Latina, varias fueron las empresas; Compañía Minera Antamina, Minas Buenaventura S.A.A y Xstrata Tintaya, que llevaron a cabo los actos de minería en el continente. Dichos actos se las conocía como mitas; que solamente fueron minas que no cumplían con los reglamentos básicos de seguridad y que se dedicaban a extraer los metales preciosos de los diferentes yacimientos y entregarlos para que los jefes supremos los usaran, y que al fundirlos, daban varias joyas como aretes, collares, manillas, etc. Sin embargo estas pequeñas ideas que tenían los antiguos pueblos, pronto se convirtieron en las armas más

poderosas para satisfacer cierto grado de ambición de los conquistadores (Eckhardt & Girona, 2009)

Ciertas características de la antigua minería aún no se han podido dejar atrás, ni se ha podido dejar de establecerlas como reglas generales de la minería. Tal es el caso que en la actual minería se emplea el agua, logrando así una contaminación exhaustiva de este recurso natural. (Oyarzun, 2009).

Actualmente Ecuador posee un potencial muy importante de recursos mineros de 36,9 millones de onzas de oro, 72,4 millones de onzas de plata, 8,1 millones de toneladas de cobre metálico, 28.471 toneladas métricas de plomo y 209.649 toneladas métricas de zinc (Centro de Investigación de Planificación del Medio Ambiente / Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo de Iniciativa de Investigación de Políticas Mineras, 2002).

Con el paso del tiempo se logró establecer ciertos mandatos mineros que son muy importantes para regular y controlar la minería a gran y mediana escala. Aunque estos mandatos han tenido mucha discusión y crítica, eran muy necesarios para controlar las situaciones mineras a cargo del estado (Mendoza, 2015).

Pero el mandato minero lastimosamente no ha tenido los efectos deseados ya que el organismo de control, Ministerio de Minería, tiene muy poco control en el campo minero ya que en el Ecuador también se practican la minería ilegal o artesanal (Mendoza, 2015).

La actividad minera genera los siguientes residuos; roca estéril, drenajes ácidos, depósito de metales y relaves (lodos), los cuales están compuestos por agua, arena y químicos (sulfuros, cianuro, arsénico, antimonio, cadmio), en sus diferentes procesos de explotación y beneficio (Alianza Mundial de Derecho Ambiental (ELAW), 2010).

La cantidad de residuos producida depende del tipo de mineral extraído, así como el tamaño de la mina. Oro y Plata son los metales más derrochadores, donde más del 99% del mineral extraído termina como residuos, por el contrario, la minería de hierro genera menor desperdicio, con aproximadamente el 60% del mineral extraído es tratado como residuo (Sánchez, 2005).

El presente proyecto se realizó en la ciudad de Quito, en las instalaciones de la Universidad Internacional SEK, FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES, en sus respectivos laboratorios como se observa en el siguiente Figura 1. La materia prima a ser empleada en este proyecto fueron relaves mineros obtenidos de la provincia de el Oro, en el cantón Portovelo, considerados como residuos tóxicos correspondientes a la actividad minera, los cuales junto con otros elementos fueron empleados en el desarrollo del proyecto.

**Figura 1. Lugar donde se realizó la investigación**



Elaborador por: Guañuna, 2016. 1.  
Fuente: Google Earth, 2014.

El resultado final del proyecto, jardines en miniatura inertizados, tendrán una serie de propiedades: Mínima permeabilidad para evitar que el agua de lluvia o agua procedente de otras corrientes penetre en la estructura del material cuando sea vertido o reutilizado (construcción, etc.). Mínima producción de lixiviados, el producto final no debe ser inflamable, biodegradable, combustible, ni poseer reactividad química, producir olores, con elevada resistencia a la compresión, con el objetivo de que se pueda deponer de una forma segura e incluso pueda reutilizarse adicionalmente; que contenga una amplia gama de residuos, de esta forma disminuye el volumen final de producto S/E (Solidificado/ Estabilizado) y por tanto los costes. (Castells, 2012).

## Capítulo II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ESTUDIOS PREVIOS

##### 2.1.1 Estado actual del conocimiento

Se han realizado varios trabajos a nivel mundial de tratamiento de residuos peligrosos usando cemento portland como aglomerante para la retención de metales.

En el año 2000 en la Universidad Internacional SEK, Oviedo Esteban realizó un estudio de inertización de Cenizas Provenientes de un incinerador como reemplazo de los agregados finos del Cemento Portland Puzolánico, con el fin de obtener bloques puzolánico inertizados. El estudio reflejó resultados satisfactorios en el procedimiento de inertización con Cemento Portland Puzolánico en la mayoría de sus ensayos realizados, los valores obtenidos a los resultados de los ensayos de resistencia mostraron que el mortero y el hormigón obtenidos al mezclar las cenizas con cemento y con cemento ripio, solo pueden ser utilizados con fines no estructurales, tales como enlucidos, acabados, mampostería, entre otros (Oviedo, 2000).

En Costa Rica, se desarrolló un proyecto de inmovilización: estabilización/ solidificación de desechos peligrosos. Según Romero & Vargas 2008, se evaluó la tecnología de inmovilización en un lodo proveniente del tratamiento del agua residual del proceso de electrodeposición de cromo y níquel sobre cobre; dos reactivos químicos vencidos de metales tóxicos (plomo y cadmio); y dos residuos sólidos resultantes del tratamiento de desechos líquidos del Instituto Tecnológico de Costa Rica (Romero Esquivel & Vargas Camareno, 2009).

Para la inmovilización de un lodo proveniente del tratamiento del agua residual del proceso de electrodeposición de cromo y níquel sobre cobre de la empresa Prolex S. A., se evaluó la eficacia de tres tipos de materiales cementantes: cemento Portland / carbonato de calcio (50/50 y 75/25); y cemento Portland/puzolana (85/15). Con el fin de determinar si el lodo se puede disponer en un relleno sanitario, se determinaron las características tóxicas de lixiviación del lodo mediante el método *Toxicity Characteristic Leaching Procedure*



(TCLP), determinándose que los niveles de lixiviación del níquel están por encima de la norma nacional (Romero Esquivel & Vargas Camareno, 2009).

[Ir al índice](#)

Se encontró que todos los cementos logran la inmovilización satisfactoria del níquel, pero la mezcla cemento Pórtland /puzolana (85/15) presenta las mejores resistencias mecánicas para la disposición del material tratado en un relleno sanitario; por lo tanto es la más recomendable para el tratamiento. El residuo inmovilizado no presentó lixiviación por encima de la norma para arsénico, cromo, mercurio, plomo y bario. Sin embargo, el tratamiento se realizó para alcanzar valores de resistencia mecánica suficientemente altas para permitir la disposición del residuo en un relleno sanitario (Romero Esquivel & Vargas Camareno, 2009).

Esquivel & Vargas (2009), en México, realizaron la Estabilización de Residuos con Arsénico mediante el proceso de fijación química y solidificación (FQS). El punto de partida del proyecto fue la remoción de arsénico, impurezas particuladas, especialmente sólidos no sedimentables y color del agua, en el proceso de coagulación – floculación, empleando diversos coagulantes, el cemento se empleó como el principal agente en la estabilización de residuos peligrosos a través del proceso conocido como fijación química y solidificación (FQS). Se empleó la tecnología de fabricación de tabicones para estabilizar los residuos, mezclando cemento, arena, grava y los residuos con arsénico, formando una pasta que se somete a compresión para formar los tabicones. Se utilizó este proceso para tratar residuos peligrosos que se encuentran en forma líquida o en lodos con el fin de producir un sólido apto para su disposición en el suelo (Rosa, Ramírez, Camperos, Elisa, & Martínez, 2006). El proyecto reflejó como resultado, que es factible el uso de la tecnología de fijación química y solidificación (FQS) con Cemento Portland, a través de la fabricación de tabicones, para el tratamiento de residuos con arsénico provenientes del proceso de coagulación-floculación de aguas residuales. Las condiciones óptimas obtenidas del proyecto fueron: el nivel Pórtland I<sub>30</sub> del material cementante, el residuo sin espesar y la disposición del material estabilizado en sitios o lugares en donde no esté expuesto continuamente a lluvias ácidas (Rosa et al., 2006) .

Durante el año 2009, en la Universidad de las Américas de Puebla, se validó la técnica de cementación como alternativa para la solidificación-estabilización de residuos sintéticos de

metales pesados, cromo, níquel y plomo, usando probetas sólidas de hormigón de cemento Portland. El proceso de cementación se realizó a partir de una mezcla base para obtener hormigón con resistencia a la compresión de 29.4 N/mm<sup>2</sup>, los metales fueron incorporados como sales metálicas en el agua de amasado. El hormigón fabricado con cemento Portland es adecuado para su uso en la solidificación estabilización de níquel y plomo a una concentración máxima de 0.43% para níquel y 1.94% para plomo. Los resultados de laboratorio demostraron la factibilidad técnica del hormigón obtenido para usos en aplicaciones de construcción en función de sus valores de resistencia a la compresión satisfaciendo los estándares de construcción en México. Se puede ver a esta técnica como una alternativa para el tratamiento de corrientes líquidas con metales de la industria; también puede ser usada para disposición final de estos metales en rellenos sanitarios existentes en muchas ciudades y no en confinamientos controlados de residuos peligrosos, disminuyendo adicionalmente los costos de disposición (Lara-Díaz & Melgoza-Alemán, 2009).

En la Escuela Politécnica Nacional en el año 2009, se realizó un estudio de solidificación de pilas y baterías de uso doméstico mediante la técnica de macro encapsulamiento. El estudio consistió en una investigación bibliográfica sobre las generalidades en cuanto a pilas y a baterías; y una investigación experimental a nivel de laboratorio sobre la solidificación de pilas de uso doméstico, para evaluar entre ellas la mejor opción como alternativas de destino final a este residuo. El estudio se centró en el diseño de un modelo de encapsulamiento, el cual se lo lleva a cabo en tres propuestas que son elaboración de testigos de hormigón armado simple, hormigón armado con aditivo impermeabilizante y hormigón armado con sílice como agregado de dimensiones 0,2 x 0,2 x 0,2. Las propuestas de encapsulamiento son desarrolladas conjuntamente con una muestra de residuo (1.7kg) y viruta o polvo de acero como agente inmovilizador de metales pesados. (Ortiz López, 2009).

El proyecto concluyó que la propuesta de macro encapsulamiento de testigos de hormigón armado con aditivo impermeable presenta los mejores resultados en los ensayos de evaluación de eficiencia del proceso, principalmente en resistencia a la compresión, porosidad, absorción e impacto. Finalmente, se concluyó que esta propuesta es viable tanto técnica, económica y ambientalmente, y puede ser aplicada como alternativa de destino a este residuo caracterizado como doméstico peligroso (Ortiz López, 2009).

## 2.2 MARCO LEGAL

El presente marco legal aplicable para Residuos Sólidos Tóxicos Peligrosos, en el Área minera, refleja las bases sobre las cuales se construyeron, determinaron el alcance y naturaleza de provisiones regulatorias y leyes interrelacionadas.

### **Cuerpos legales**

- **Constitución de la República del Ecuador**  
*Registro Oficial # 449, Asamblea Constituyente 2008*

Con respecto a la constitución en el TITULO II, Sección Segunda, Art. 14 “se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*”. Adicionalmente en el Art.66, Literal 27 define, “El derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza”. Como también en el Art. 276, “Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural”.

- **Ley minera**  
*Registro Oficial Suplemento 517 de 29- Enero-2009*

Norma el ejercicio de los derechos soberanos del Estado Ecuatoriano, para administrar, regular, controlar y gestionar el sector estratégico minero, de conformidad con los principios de sostenibilidad, precaución, prevención y eficiencia. En el Art.43, Define: Residuos minero - metalúrgicos.- A desmontes, escombreras, relaves, desechos y escorias resultantes de las actividades minero-metalúrgicas.

Los residuos minero-metalúrgicos forman parte accesoria de la concesión, planta de beneficio o fundición de donde provienen, aunque se encuentren fuera de ellas. El titular del derecho minero puede aprovecharlos libremente.

Por otro lado en el Título IV, “De las obligaciones de los titulares mineros”, Capítulo II, “De la Preservación del Medio Ambiente”, en el Art.81, acerca de Acumulación de residuos y prohibición de descargas de desechos.- Los titulares de derechos mineros y mineros

artesanales, para acumular residuos minero-metalúrgicos deben tomar estrictas precauciones que eviten la contaminación del suelo, agua, aire y/o biota de los lugares donde estos se depositen, en todas sus fases incluyendo la etapa de cierre, construyendo instalaciones como escombreras, rellenos de desechos, depósitos de relaves o represas u otras infraestructuras técnicamente diseñadas y construidas que garanticen un manejo seguro y a largo plazo.

Se prohíbe la descarga de desechos de escombros, relaves u otros desechos no tratados, provenientes de cualquier actividad minera, hacia los ríos, quebradas, lagunas u otros sitios donde se presenten riesgos de contaminación. El incumplimiento de esta disposición ocasionará sanciones que pueden llegar a la caducidad de la concesión o permiso. Como también, en el Art. 83. Del manejo de desechos y residuos sólidos, líquidos y emisiones gaseosas que la actividad minera produzca dentro de los límites del territorio nacional, deberá cumplir con lo establecido en la Constitución y en la normativa ambiental vigente (Asamblea Nacional (Comisión Leslativa /Fiscalización), 2009).

- **Ley de Gestión Ambiental**

*Registro Oficial Suplemento 418 de 10-sep-2004*

Como está escrito en la Ley de Gestión Ambiental en el Artículo 2, la gestión ambiental se sujeta a los principios de reciclaje y reutilización. El Artículo 9, Literal j, establece que al Ministro de Ambiente corresponde, coordinar sistemas de control con los organismos competentes para la verificación del cumplimiento de las normas de calidad referentes a los desechos (Congreso Nacional (Comisión de Legislación /Codificación), 2004).

- **Normativa Internacional**

- ❖ Convenio de Basilea

*Conferencia de Plenipotenciarios del 22 de marzo 1989, entro en vigor el 5 de mayo de 1992.*

Convenio sobre el control de los movimientos transfronterizos que pueden causar daños a la salud y al medio ambiente. Dentro del Art.2, Literal 1, Definió: Por “desechos” se entienden las sustancias u objetos a cuya eliminación se procede, se propone proceder o se está obligado a proceder en virtud de lo dispuesto en la legislación nacional”. Por otro lado en el Art. 2, Literal 8, Por “manejo ambientalmente racional de los desechos peligrosos o de otros desechos” se entiende la adopción de todas las medidas posibles para garantizar que los desechos peligrosos y otros desechos se manejen de manera que queden protegidos el medio ambiente y la salud humana contra los efectos nocivos que pueden derivarse de tales desechos” (PNUMA, 1992).

❖ Agenda 21

*Conferencia Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 1992*

En su Capítulo 20, acerca de la Gestión ecológicamente racional de los desechos peligrosos, incluida la prevención del tráfico internacional ilícito de desechos peligrosos, tiene como objetivos reducir hasta donde sea posible la producción de desechos peligrosos, como parte de un sistema integrado de producción menos contaminante, aprovechar al máximo las materias primas, utilizando, cuando sea factible y ecológicamente racional, los residuos derivados de los procesos de producción (Agenda 21 (OPS/OMS), 1992).

- **Ordenanza 404 del Distrito Metropolitano de Quito**

*Ordenanza Metropolitana Reformatoria de la Ordenanza Metropolitana No. 213, sustitutiva del Título V, “Del Medio Ambiente” Del Libro Segundo Del Código Municipal.*

Se resuelve expedir las normas técnicas para la aplicación de la codificación del Título V, “De La Prevención Y Control Del Medio Ambiente”. En el Capítulo I “De La Gestión De Los Residuos Sólidos Urbanos, Domésticos, Comerciales, Industriales Y Biológicos Potencialmente Infecciosos”, en el Art. II.345.- “De La Gestión Integral De Los Residuos Sólidos”.- El Concejo Metropolitano de Quito, a propuesta de sus comisiones o de la Dirección Metropolitana de Medio Ambiente, establecerá políticas que promuevan la gestión integral de los residuos sólidos, es decir la reducción, reutilización y reciclaje de dichos residuos en domicilios, comercios e industrias, y su recolección, transporte, transferencia, industrialización y disposición final ecológica y económicamente sustentables. Esta gestión integral será operada y promovida por la Municipalidad o por las empresas propias o contratadas para el servicio de aseo, a fin de permitir mejorar la calidad de vida de los habitantes del Distrito Metropolitano. La Dirección Metropolitana de Medio Ambiente en su calidad de autoridad ambiental, será la responsable de regular, coordinar, normar, controlar y fiscalizar la gestión ambiental de los residuos sólidos y, por lo tanto, las concesionarias estarán sujetas a sanciones por incumplimientos de su responsabilidad ambiental, según lo dispuesto en el Código Municipal y en los reglamentos respectivos (Asamblea Nacional, 2013).

- **Reglamento General a la Ley Minera**

*Registró Oficial, Suplemento No. 67, 09-mayo-2012*

El presente Reglamento General a la Ley Minera, tiene como objeto, establecer la normativa necesaria para la aplicación de la Ley de Minería. Capítulo IV, “DE LAS MULTAS”, en el Art. 97.- Multas, Literal i.- Las multas se impondrán de conformidad con la gravedad del daño causado por el infractor y serán establecidas por la autoridad que imponga la sanción, que de acuerdo a la infracción corresponderán a: i) La acumulación de residuos minero-metalúrgicos inobservando estrictas precauciones que eviten la contaminación del suelo, agua, aire y/o biota de los lugares donde estos se depositen, en cualquier fase de la actividad minera incluyendo la etapa de cierre; así como la descarga de desechos de escombros, relaves u otros desechos no tratados, provenientes de cualquier actividad minera, hacia los ríos, quebradas, lagunas u otros sitios donde se presenten riesgos de contaminación, será sancionado en la primera vez con una multa de hasta quinientas remuneraciones básicas unificadas del trabajador en general; y, en caso de reincidencia y previo informe de la Agencia de Regulación y Control Minero, el Ministerio Sectorial podrá declarar caducada la concesión (Asamblea Nacional, 2009a)

- **Reglamento Ambiental De Actividades Mineras**

*Registró Oficial, Suplemento No. 67, 01-julio-2011*

El Reglamento Ambiental de las Actividades Mineras, establece normas técnicas ambientales y aquellas que se expidan sobre su base, regulan en todo el territorio nacional la gestión ambiental en las actividades mineras en sus fases de prospección, exploración inicial y avanzada, explotación, beneficio, procesamiento, fundición, refinación, comercialización y cierre de minas. En el Capítulo VI, “Del control”, seguimiento y monitoreo ambiental actividades mineras, el cual en el Art.63.- Del Manejo de desechos en general: Respecto del manejo de desechos, se observará la legislación ambiental vigente y en general lo siguiente: a) Reducción de desechos en la fuente.- Los planes de manejo ambiental deberán incorporar específicamente las políticas y prácticas para la reducción en la fuente de los desechos que origine la operación minera; b) Clasificación.- Los desechos deberán ser clasificados, tratados, reciclados o reutilizados y dispuestos de acuerdo a normas ambientales y conforme

al plan de manejo ambiental; c) Disposición.- Se prohíbe la disposición no controlada de cualquier tipo de desechos. Los sitios de disposición de desechos, tales como escombreras, rellenos sanitarios y piscinas de disposición final, contarán con un sistema adecuado de impermeabilización y canales para el control de lixiviados, así como tratamiento y monitoreo de éstos previo a su descarga. Se prohíbe la disposición de desechos de molinos y plantas de beneficio tales como relaves, soluciones, aguas de procesos, químicos, y otros, directamente a los cursos de agua, suelos y huertas.

En el Art. 65.- Del Manejo de desechos no biodegradables y residuos peligrosos.- Todos los desechos no biodegradables y residuos peligrosos que se generen de las labores de minería por actividades mineras en cualquiera de sus fases, deberán ser recuperados y transportados en recipientes herméticos fuera del área del proyecto, para su manejo, tratamiento y disposición final; debiendo cumplir con lo señalado en las normas técnicas contenidas en la legislación ambiental vigente. El manejo y disposición de los residuos peligrosos provenientes de las actividades mineras se sujetarán a lo dispuesto en la normativa vigente. Los desechos con presencia de material radiactivo serán almacenados herméticamente conforme a las normas internacionales, para que sean trasladados al cementerio de desechos radiactivos, en coordinación con la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica (Reglamento Ambiental a la Ley Minería, 2011).

En el Capítulo IX,” Disposiciones Técnico-Ambientales Específicas para Actividades de Explotación”, en el Art. 85.- Uso de productos y residuos peligrosos.- Está prohibido contaminar los cuerpos de agua y suelos por derrame de combustibles, aceites nuevos o usados, grasas o cualquier otro producto químico que se utilice en el proceso (Asamblea Nacional, 2009b).

- **Acuerdo Ministerial 061**

*Reforma al libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Registro Oficial Edición Especial 316. Lunes 4 de mayo del 2015.*

El libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, establece los procedimientos y regula las actividades y responsabilidades públicas y privadas en materia de calidad ambiental. Dentro del cual en el CAPÍTULO VI, GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS NO PELIGROSOS, Y DESECHOS PELIGROSOS

Y/O ESPECIALES. En el Art. 47, declara como prioridad nacional la gestión de los residuos sólidos no peligrosos y desechos peligrosos y/o especiales, como también en el Art. 49, de Políticas generales de la gestión integral de los residuos sólidos no peligrosos, desechos peligrosos y/o especiales.- Se establecen como políticas generales para la gestión integral de estos residuos y/o desechos y son de obligatorio cumplimiento tanto para las instituciones del Estado, en sus distintos niveles de gobierno, como para las personas naturales o jurídicas públicas o privadas, comunitarias o mixtas, nacionales o extranjeras, en los siguientes literales: a) Manejo integral de residuos y/o desechos; c) Minimización de generación de residuos y/o desechos; d) Minimización de riesgos sanitarios y ambientales; f) Fomento al desarrollo del aprovechamiento y valorización de los residuos y/o desechos, considerándolos un bien económico, mediante el establecimiento de herramientas de aplicación como el principio de jerarquización: 1. Prevención, 2. Minimización de la generación en la fuente. 3. Clasificación. 4. Aprovechamiento y/o valorización, incluye el reusó y reciclaje, 5. Tratamiento y Disposición Final.

En la SECCIÓN II, GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS PELIGROSOS Y/O ESPECIALES, en el Art. 83 Fases.- El sistema de gestión integral de los desechos peligrosos y/o especiales tiene las siguientes fases: a) Generación; b) Almacenamiento; c) Recolección; d) Transporte; e) Aprovechamiento y/o valorización, y/o tratamiento, incluye el reusó y reciclaje; f) Disposición final. En el PARÁGRAFO V, “Del Aprovechamiento”, en el Art. 123 Del aprovechamiento.- En el marco de la gestión integral de los desechos peligrosos y/o especiales, bajo el principio de jerarquización de los mismos y el de responsabilidad extendida del productor, es obligatorio para las empresas privadas generadoras del desecho, el impulsar y establecer programas de aprovechamiento-tratamiento o reciclaje como medida para la reducción de la cantidad de desechos peligrosos y/o especiales a disponer finalmente. Se incluyen para el aprovechamiento-tratamiento, procesos físicos o químicos, valorización térmica, u otros que reduzcan la cantidad y peligrosidad de los desechos. Los procesos de aprovechamiento-tratamiento de los residuos peligrosos y/o especiales, deberán considerar los literales: a) Cuando los desechos peligrosos y/o especiales ingresen a un nuevo ciclo productivo, se deberá llevar actas de entrega-recepción de los mismos por parte de los gestores ambientales autorizados por la Autoridad Ambiental competente. Si del proceso del aprovechamiento se generaren desechos, éstos deberán ser entregados al prestador del servicio. b) Todos los sistemas de aprovechamiento se los realizará en condiciones ambientales, de seguridad industrial y de salud, de tal manera que se minimicen los riesgos; deberán ser controlados por parte del prestador del servicio y



de las autoridades nacionales, en sus respectivos ámbitos de competencia. c) Cuando el aprovechamiento de los desechos peligrosos y/o especiales se los realice como materia prima para la generación de energía, este tipo de actividad deberá ser sometido a la aprobación de la Autoridad Ambiental Nacional. d) La recuperación y aprovechamiento de los desechos peligrosos y/o especiales deberá efectuarse según lo establecido en la normativa ambiental vigente. f) Los procesos de aprovechamiento deben promover la competitividad mediante mejores prácticas, nuevas alternativas de negocios y generación de empleos (Ministerio del Ambiente, 2015b).

- **Acuerdo Ministerial 097**

*Reforma al Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua. Registro Oficial Edición Especial 387. Miércoles 4 de noviembre del 2015.*

El Acuerdo Ministerial 097, tiene como objeto la prevención y control de la Contaminación Ambiental, en lo relativo al recurso agua para salvaguardar y preservar los usos designados, la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general. En el 4.6.2.- Los ensayos de lixiviación deberán realizarse utilizando el procedimiento de lixiviación característico EPA 1311, también conocido como TCLP, por sus siglas en inglés.

En el Literal 5.2.4.7, especifica.- Los límites máximos permisibles para descarga de lixiviados a cuerpos de agua dulce, se regirán conforme a la normativa ambiental emitida para el efecto, como se describe en la Tabla 9 del Anexo 1 Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua del Libro VI del TULSMA.

**Figura 2. Límites de descarga a un cuerpo de Agua Dulce**

**TABLA 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce**

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Alkil mercurio		mg/l	<b>No detectable</b>
Aluminio	Al	mg/l	5
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2
Boro total	B	mg/l	2
<b>Cadmio</b>	<b>Cd</b>	<b>mg/l</b>	<b>0,02</b>
Cianuro total	CN <sup>-</sup>	mg/l	0,1
<b>Zinc</b>	<b>Zn</b>	<b>mg/l</b>	<b>5,0</b>
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		<a href="#">[1]Remoción &gt; al 99,9%</a>
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O <sub>5</sub> .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5
Fluoruros	F	mg/l	5
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20
Manganeso total	Mn	mg/l	2
Materia flotante	<b>Visibles</b>		<b>Ausencia</b>
<b>Mercurio total</b>	<b>Hg</b>	<b>mg/l</b>	<b>0,005</b>
<b>Níquel</b>	<b>Ni</b>	<b>mg/l</b>	<b>2</b>
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	15
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
<b>Plomo</b>	<b>Pb</b>	<b>mg/l</b>	<b>0,2</b>
Potencial de hidrógeno	pH		05-sep
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	mg/l	1000
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ±3
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1

*La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida*

Fuente: Acuerdo Ministerial 097, (2015). 1

Las aguas residuales que no cumplan con los parámetros de descarga establecidos en esta Norma, deberán ser tratadas adecuadamente, sea cual fuere su origen: público o privado. Los sistemas de tratamiento deben contar con un plan de contingencias frente a cualquier situación que afecte su eficiencia (Ministerio del Ambiente, 2015a).

La investigación se realizará basándose en Normas Técnicas Ecuatorianas (INEN), para la elaboración de morteros con sus respectivos lineamientos, los cuales están englobados en el sector Productivo CIU: D2694: Fabricación de cemento, cal y yeso (DMQ, 2012).

### **Cuerpos no legales**

- **Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2518: 2010**

*Morteros para unidades de mampostería. Requisitos. Publicada en el año 2010.*

Esta norma establece las especificaciones para elaborar morteros unidades de mampostería reforzada y no reforzada. 5.1.1 Medición de materiales. El método de medición de materiales para morteros usados en la construcción debe ser tal que, las dosificaciones especificadas de los materiales sean controladas y mantenidas de manera precisa. 5.1.2 Mezclado de morteros. Todos los materiales cementantes y los áridos deben ser mezclados entre 3 y 5 minutos con la máxima cantidad de agua para producir una consistencia trabajable. Se permite el mezclado manual de morteros, con la aprobación escrita del especificador que describa el procedimiento del mezclado manual (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010a).

5.1.3 Retemplado de morteros. Los morteros que se han endurecido deben ser reemplados mediante la adición de agua tan frecuentemente como sea necesario para restaurar la consistencia requerida. Ningún mortero debe ser usado más allá de 2½ horas después de mezclado. 5.1.4 Condiciones climáticas. A menos que sea reemplazado por otra disposición contractual o requisito de los códigos locales de construcción, la construcción con mampostería, en climas cálido y frío, en lo que tiene que ver con el mortero. Requisitos Específicos, Literal. 6.1.1.3 Agua. El agua debe ser limpia y estar libre de aceites, ácidos, álcalis, sales, materiales orgánicos, u otras sustancias que sean perjudiciales para los morteros o para cualquier metal en la pared (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010a).

- **Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 536:2010**

*Áridos para usos en morteros para mampostería. Requisitos. Publicada en el año 2010.*

Literal 2.1.- el árido para ser utilizado en mortero para mampostería debe consistir de arena natural o elaborada. La arena elaborada es el producto obtenido de la trituración de la roca, grava o escorias de altos hornos de hierro enfriada al aire, debe ser prolijamente elaborada para garantizar la graduación adecuada. 3.1 requisitos específicos, literal 3.1.1.1.- el árido para uso en mortero para mampostería, dependiendo de si se utiliza arena natural o arena elaborada, debe estar graduado dentro de los límites que se encuentran en la Tabla 1.

**Tabla 1. Límites granulométricos del árido para uso en mortero para mampostería**

Tamiz	Porcentaje pasante	
	Arena natural	Arena elaborada
4,75 mm (No. 4)	100	100
2,36 mm (No. 8)	95 a 100	95 a 100
1,18 mm (No. 16)	70 a 100	70 a 100
600 $\mu$ m (No. 30)	40 a 75	40 a 75
300 $\mu$ m (No. 50)	10 a 35	20 a 40
150 $\mu$ m (No. 100)	2 a 15	10 a 25
75 $\mu$ m (No. 200)	0 a 5	0 a 10

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización 2010, 1

3.1.1.2 El árido no debe tener una masa retenida mayor a 50% entre dos tamices consecutivos de los citados en la Tabla 1, ni más de 25% entre el tamiz de 300  $\mu$ m (No. 50) y de 150  $\mu$ m (No. 100). 3.1.1.4 Cuando un árido no cumple con los límites de graduación especificados en los numerales. 3.1.1.1 y 3.1.1.2, se permite su utilización siempre que el mortero sea preparado cumpliendo con la relación de áridos, retención de agua, y requisitos de resistencia a la compresión de las especificaciones (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010b).

- **Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2615: 2012**

*Cemento para Morteros. Requisitos. Publicada en el año 2012.*

Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el cemento para mortero. En el Literal 3.1.1 Cemento para mortero. Cemento hidráulico, utilizado principalmente en construcción con mampostería, que consiste en una mezcla de cemento portland o cemento hidráulico compuesto con materiales plastificantes (tales como piedra caliza o cal hidráulica o cal

hidratada) junto con la inclusión de otros materiales para incrementar una o más propiedades, tales como: tiempo de fraguado, trabajabilidad, retención de agua y durabilidad. Literal 6.1.1.1.- Se establece requisitos específicos para la selección del cemento para el mortero el cual debe ajustarse a los requisitos aplicables señalados en la siguiente Tabla 2.

**Tabla 2. Requisitos Físicos. INEN 2615**

REQUISITO	TIPOS DE CEMENTO PARA MORTERO		
	N	S	M
Finura, retenido sobre el tamiz de 45 $\mu\text{m}$ (No. 325), % máximo.	24	24	24
Expansión en autoclave, % máximo	1,0	1,0	1,0
Tiempo de fraguado por el método de Gillmore:			
Fraguado inicial, minutos, no menor a	120	90	90
Fraguado inicial, minutos, no mayor a	1 000	1 000	1 000
Resistencia a la compresión, (promedio de tres cubos):			
Resistencia a la compresión de cubos de mortero, elaborado en volumen, de 1 parte de cemento y 3 partes de mezcla de arenas (50% de arena graduada normalizada y 50% de arena normalizada 20 – 30) preparados y ensayados de acuerdo con esta norma, debe ser igual o mayor que los valores especificados para las edades indicadas a continuación:			
7 días, MPa.	3,5	9,0	12,4
28 días, MPa.	6,2	14,5	20,0
Resistencia de adherencia en flexión.			
28 días, mínimo, MPa	0,5	0,7	0,8
Contenido de aire del mortero:			
% Mínimo, en volumen	8	8	8
% Máximo, en volumen	17	15	15
Retención de agua, % mínimo respecto al flujo original	70	70	70

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización 2012, 2

En lo que refiere a temperatura y humedad, Literal 6.1.2.1.- La temperatura y humedad relativa del ambiente en donde se elaboran las mezclas y se encuentran almacenados los materiales secos, moldes, placas base y tazón de mezclado.

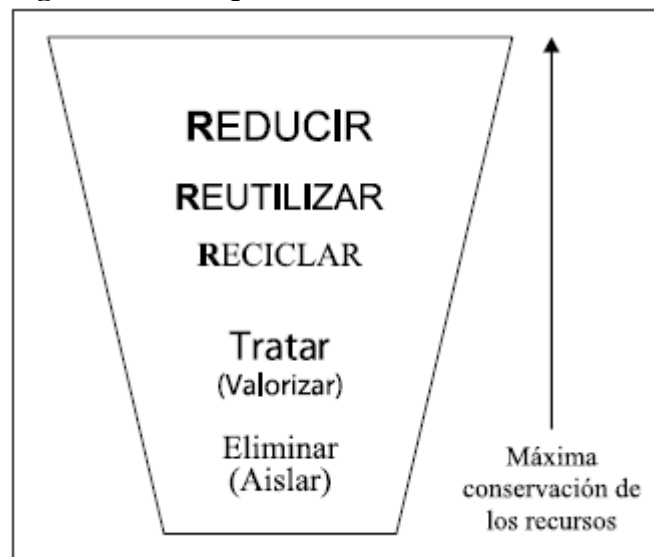
7. Métodos de Ensayo. 7.7.2 Mezcla de morteros. NTE INEN 155, Literal 4.5 Procedimiento Para La Mezcla De Morteros, define.- Colocar la paleta y el tazón secos en la mezcladora, en posición de mezclado, luego introducir el material para una amasada dentro del tazón y mezclar de la siguiente manera: Literal 4.5.1.- Colocar toda el agua de mezclado en el tazón. 4.5.2.- Añadir el cemento al agua; y mezclar. 4.5.3.- Añadir la cantidad total de arena lentamente durante un período de 30 segundos, mientras se continúa con el mezclado. 4.5.5 Dejar el mortero descansar por 90 segundos. Durante los primeros 15 segundos de este intervalo, empujar rápidamente hacia abajo, dentro de la mezcla todo el mortero que pueda haberse adherido a los lados del tazón; luego por el resto de este intervalo cubrir el tazón con la tapa. 4.5.6 Terminar el mezclado por 60 segundos 4.5.7 En el caso que requiera un intervalo de remezclado, todo el mortero adherido a los lados del tazón, debe ser rápidamente empujado hacia abajo dentro de la mezcla con el raspador, previo al remezclado (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009).

## 2.3. MARCO CONCEPTUAL

### 2.3.1. Gestión de Residuos Sólidos

Se entiende por estrategia de gestión de residuos el control de la generación, almacenaje, recogida, transferencia y transporte, tratamiento y evacuación de los residuos, de forma que sea respetuosa con el ambiente. Para el diseño de una estrategia de gestión de residuos es necesario considerar lo que se denomina “jerarquía de la gestión de residuos”, que no es otra cosa que priorizar las actuaciones en función de criterios ambientales (August; Bonmatí, 2008). El esquema de jerarquización de gestión de residuos es el que se muestra en la Figura 3.

**Figura 3. Jerarquización de Gestión de Residuos**



Fuente: Bonmatí & Gabarell, 2008 1

### 2.3.2. Residuo

Se debe tener en cuenta que los residuos sólidos siempre han existido en la Tierra, desde que el hombre nace genera residuos, no obstante se genera un problema ambiental cuando se comienzan a acumular en la biósfera, por la velocidad de generación o por la naturaleza química de los propios residuos, que combinado con la acción directa del hombre como generador, obstaculiza la descomposición e incorporación a los ciclos naturales sobre la Tierra (Instituto Nacional de Estadística e Informática (LIMA - PERÚ), 2015).

Un residuo es aquella sustancia u objeto agregado por una actividad productiva o consumo, de la que hay que desprenderse por no ser objeto de interés directo de la actividad principal.

En general todas las legislaciones suelen definir al residuo como aquella sustancia u objeto que no resulta útil para un poseedor y por la cual tenga intención, o bien la obligación de desprenderse de ella (Castells, 2012).

Según la organización de Cooperación y Desarrollo económico OCDE, se denomina “residuos” a aquellas materias generadas en las actividades de producción y consumo que no han alcanzado ningún valor económico en el contexto que son producidas, es decir aquello que su propietario desecha por no serle útil comprendido como “útil” una posible obtención de recursos económicos del producto (Coral, 2013).

La carencia de valor se puede deber, tanto a la imposibilidad de ser reutilizado, como a la inexistencia de la tecnología que permita su incorporación al ciclo productivo o a tener un valor económico muy bajo (Coral, 2013, p2).

Normalmente, cuando se habla de residuos, se piensa en materias de consistencia sólida. No obstante, los residuos de un proceso pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos. Lo que si es cierto es que existe una gran diferencia entre la legislación y la gestión de los residuos en función de que se trate un residuos sólido, líquido o gaseoso (August; Bonmatí, 2008).

### **2.3.2.1. Residuos Tóxicos y Peligrosos**

La clasificación de un residuo como peligroso es una de las etapas más valiosas en la gestión de residuos, ya que de ella depende que los que así sean clasificados se sometan a un control más riguroso con el propósito de incrementar la seguridad en su manejo y prevenir y reducir riesgos para la salud o al ambiente (Ministerio de Ambiente/ Vivienda /Desarrollo Territorial/Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible /Organización de Control Ambiental y Desarrollo Empresarial OCADE, Colombia, 2007) .

La primera definición de residuo peligroso abordó EPA a principios de los 70, las leyes estaban influenciadas por las tendencias políticas, carecían de rigor científico. Empezaron definiendo un residuo como un objeto móvil sin empleo conocido y permanentemente descartado. Residuo tóxico era una forma de residuo. Esta definición de residuo sólo afectaba a residuos sólidos (lodos, alquitranes...) no incluía residuos líquidos, ni gases; era una definición pobre (August; Bonmatí, 2008).



En 1985 surge una nueva definición por el programa ambiental de la ONU que define los residuos tóxicos como aquellos sólidos, lodos, líquidos o gases envasados de manera diferente a los radiactivos e infecciosos los cuales debido a su actividad química, tóxica, corrosiva o debido a otras características son fuente de peligrosidad para la salud pública y el medio ambiente (Ministerio de Ambiente/ Vivienda /Desarrollo Territorial/Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible /Organización de Control Ambiental y Desarrollo Empresarial OCADE, Colombia, 2007).

Actualmente los residuos tóxicos y peligrosos son todos aquellos materiales sólidos, pastosos, líquidos, así como gaseosos contenidos en recipientes, que son el resultado de un proceso de producción, transformación, utilización, o consumo. Debido a su composición se les atribuyen características de peligrosidad y toxicidad, los cuales son generados de las acciones que el hombre realiza y son desechados por ser categorizados como inservibles a pesar de contener en su estructura materiales altamente peligrosos para la salud humana y el ambiente (Coral, 2013).

Por medio de las características que presentan los Residuos Tóxicos y Peligrosos podemos determinar la peligrosidad de los mismos, cada una de estas características pueden ser medida de forma directa o indirecta. La determinación de manera directa será realizada mediante un ensayo determinado de una muestra de residuos y comparando los resultados con los estándares, por otro lado de manera indirecta, se lo realiza comparando la composición del residuo o lixiviado con los límites máximos permisibles de concentraciones de los componentes (Coral, 2013).

#### **2.3.2.1.1. Residuo minero- metalúrgico**

##### **2.3.2.1.1.1. Relaves Mineros**

Los desechos generados por las minas en ocasiones son considerados un recurso y pueden ser apropiados como relleno para la construcción de carreteras y como material de construcción. Diversos proyectos están buscando una variedad de usos finales para este material. Sin embargo, el volumen de desechos es tan grande que no es más que una pequeña fracción del total lo que se utiliza de esta manera. También debe ser usado con cuidado, en especial en la industria de la construcción, ya que los contaminantes presentes en el desecho a veces han provocado problemas en el largo plazo (International Institute for Environment and Development MMSD, 2003).

Los relaves son roca finamente molida desde la cual los valores minerales deseados han sido extraídos mediante el uso de reactivos químicos. Este residuo toma la forma de una solución acuosa compuesta al menos en un 50% de agua y puede ser transportada a través de cañerías.

Los relaves por lo general son vaciados en instalaciones de almacenamiento, donde son retenidos en estanques o diques construidos con los mismos relaves, desechos de minas o rellenos de tierra o roca. Cuando los relaves son depositados en la instalación, la fracción sólida se asienta, lo que forma una playa que propicia que la solución acuosa sea decantada y depositada o reciclada. A medida que los relaves son decantados, a menudo son utilizados para aumentar la altura del dique de los mismos relaves, debido a que los relaves están compuestos por partículas finas, cuando se secan pueden ser fuentes de graves problemas de polvo (International Institute for Environment and Development MMSD, 2003)

Los relaves también pueden ser condensados para mejorar el método de eliminación. Los relaves convencionales están compuestos de 30 a 50% de material sólido, mientras que los 'relaves condensados' son de 55 a 75% y los 'relaves pasta' son sólidos en más de un 75%. Los relaves condensados pueden ser almacenados con una retención de agua mínima, lo que genera una estructura más estable, tanto física como químicamente, mientras que el relave pasta puede ser utilizado para rellenar minas subterráneas. En algunas minas los relaves pueden ser condensados antes de ser eliminados y el líquido es reutilizado en el circuito de procesamiento. En muchos casos esto tiene el beneficio agregado de reciclar sustancias químicas para el proceso (International Institute for Environment and Development MMSD, 2003).

#### **2.3.2.1.2. Ensayo Vía residuo**

##### **2.3.2.1.2.1. Agua Regia**

El Agua regia (del *latín Aqua regia*, Agua real) es una solución altamente corrosiva y fumante, de color amarillo, formada por la mezcla de ácido nítrico concentrado y ácido clorhídrico concentrado generalmente en la proporción de 1:3. Fue llamada de esa forma debido a que puede disolver metales pesados, por lo que es utilizada en varios procedimientos analíticos. El agua regia no es muy estable, por lo que debe ser preparada

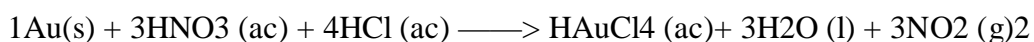
antes de ser utilizada con las debidas precauciones y equipos de protección adecuada (Montalvo, 2015).

Con el avance del tiempo, también se ha desarrollado una técnica para poder recuperar ciertos metales a través de una solución elaborada con disolventes orgánicos. Si bien la selectividad conseguida es espectacular y permitiría el uso de estas mezclas en el reciclaje de los metales, en términos de eficiencia/costo el agua regia orgánica no es competitiva actualmente con el agua regia tradicional, por lo que todavía está lejos de tener un uso industrial (Montalvo, 2015).

#### 2.3.2.1.3.1.1. PROPIEDADES

El agua regia es uno de los pocos reactivos capaces de disolver el oro, el platino y el resto de metales, fue llamada de esa forma porque puede disolver aquellos llamados metales regios, reales, o metales nobles, sin embargo, ninguno de sus ácidos constituyentes puede hacerlo por sí solo. El ácido nítrico, es un potente oxidante, que puede disolver una cantidad minúscula (prácticamente indetectable) de oro, formando iones de oro. El ácido clorhídrico, por su parte, proporciona iones cloruro, que reaccionan con los iones de oro, sacando el oro de la disolución. Esto permite que siga oxidándose el oro, por lo que el oro acaba disolviéndose (Morcillo, 2002).

El agua regia es un disolvente poderoso debido al efecto combinado de los iones H<sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, y Cl<sup>-</sup> en disolución. Los tres iones reaccionan con los átomos del oro, por ejemplo, para formar agua, óxido nítrico y el ion estable tetracloruro áurico (AuCl<sub>4</sub><sup>-</sup>), que permanece en disolución (Morcillo, 2002).



Para la investigación se mezcló ácido nítrico concentrado y ácido clorhídrico concentrado en la proporción de 1:3. Se dejó enfriar y se almacenó la mezcla para su uso posterior.

#### 2.3.2.1.3.1.2. MÉTODO DEL AGUA REGIA

Como ya se mencionó, esta mezcla es un importante disolvente de metales. Es una combinación de poder oxidante y complejante, al que se suma el de ácido propiamente dicho. En algunos casos se puede reemplazar la acción oxidante del HNO<sub>3</sub> por KClO<sub>3</sub>. El

método de “Agua Regia” fue realizado en un procedimiento por vía húmeda, que conlleva la descomposición de muestras empleando ácidos oxidantes, solos o en mezclas, en sistemas abiertos a presión atmosférica. Se suelen emplear además, agentes oxidantes auxiliares, tal es el caso del peróxido de hidrógeno, los que destruyen la materia orgánica transformando la muestra en un residuo compuesto por sales que son fácilmente solubles en ácidos diluidos (Montalvo, 2015).

A partir de lo mencionado, se demuestra que este es un método adecuado para la determinación de la concentración de metales pesados presentes en los lodos de relaves mineros.

#### **2.3.2.1.3. Ensayo Vía Lixiviado**

Es el proceso mediante el cual los contaminantes se transfieren de una matriz estabilizada a un medio líquido como el agua. Generalmente el potencial de la pérdida de contaminantes de una masa estabilizada se determina mediante ensayo de lixiviación (Botasso, Rivera, & Fensel, 2002)

El fluido con el cual son lixiviados los contaminantes se denomina líquido lixivante, después de que el lixivante se ha contaminado se denomina lixiviado. Los términos de extracción y lixiviación se usan indistintamente y, como se definió anteriormente, son el proceso por el que los contaminantes son transferidos de una matriz sólida al lixivante (Ortiz López, 2009).

Los compuestos de una masa estabilizada se lixivian cuando los contaminantes de la muestra pasan de la masa estabilizada al lixivante. Los contaminantes pueden disolverse en el lixivante al ser lavados de la superficie del material estabilizado o difundirse desde la masa estabilizada al lixivante (Ortiz López, 2009).

En la actualidad, esta palabra describe el proceso mediante el cual se lava una sustancia pulverizada con el objetivo de extraer de ella las partes que resulten solubles. Esto significa que, con la ayuda del agua como medio de transporte, se usan químicos específicos para separar los minerales valiosos (y solubles en dichos líquidos) de los no valiosos. Es decir, que la lixiviación es un proceso de recuperación y determinación de material. La lixiviación produce el desplazamiento de sustancias solubles o de alta dispersión, mediante este proceso

se extrae uno o varios solutos de un sólido, mediante la utilización de un disolvente líquido. Ambas fases entran en contacto íntimo y el soluto o los solutos pueden difundirse desde el sólido a la fase líquida, lo que produce una separación de los componentes originales de sólido. Dicho proceso es comúnmente utilizado en la extracción de minerales metálicos y es estudiado en el proceso ambiental por la difusión de contaminantes o sales en el suelo a través del agua (Montalvo, 2015).

#### 2.3.2.1.4.1. *ENSAYO TCLP*

Este ensayo se utiliza para caracterizar un residuo como peligroso y también para evaluar la eficiencia de la estabilización, solidificación. Este método de ensayo, Toxicity Characteristic Leaching Procedure fue desarrollado a fines de la década del 80 en los Estados Unidos por la EPA (Environmental Protection Agency). Conocido como test TCLP, es el test de lixiviación más conocido, para cuantificar la extractabilidad de compuestos tóxicos como metales, compuestos orgánicos volátiles, semi-volátiles y pesticidas bajo un conjunto de condiciones de laboratorio (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1992).

Es importante precisar que este método ha sido diseñado para determinar la característica de toxicidad por lixiviación de un compuesto tóxico, sea este un residuo líquido, sólido o una mezcla de dichas fases, simulando las condiciones de un vertido, a partir de un análisis practicado a una muestra del lixiviado o extracto del mismo, determinando el potencial de peligrosidad del residuo si el lixiviado del test contiene algún constituyente tóxico en concentraciones que igualen o superen la norma (Montalvo, 2015).

Según Montalvo (2015), el desarrollo del ensayo TCLP, comprende una fase inicial en la cual se determinan las características de la muestra. El procedimiento que se debe realizar, consiste en que se separan las fases líquida y sólida presentes en la muestra con el fin de determinar el porcentaje de sólidos presentes, además se lleva la muestra a un período de agitación de 18 horas con la solución lixivante que se determina según lo indicado por el método para posteriormente preparar el extracto obtenido para el análisis en el espectrofotometría de absorción atómica (Montalvo, 2015).

Acorde con Montalvo (2015), ésta metodología aplicada a la presente investigación, puede determinar la concentración de los metales presentes en los relaves mineros.

### **2.3.3. Tratamiento físico – químico**

#### **2.3.3.1. Proceso de Solidificación de Residuos**

El proceso de solidificación es un proceso físico- químico, es una técnica muy utilizada en la gestión de residuos peligrosos, incluida la presentación de mecanismos, técnicas y consideraciones de diseño de solidificación, junto con los ensayos utilizados para evaluar la eficiencia del tratamiento (Ortiz López, 2009).

La solidificación abarca como objetivos tanto la reducción de la toxicidad, movilidad de los contaminantes del residuo como la mejora de las propiedades técnicas del material estabilizado, debe considerarse como un proceso de tratamiento de residuos que reduce, hasta una velocidad aceptable o geológicamente lenta, el movimiento de los contaminante en el ambiente (Ortiz López, 2009).

Apto para residuos sólidos y lodos inorgánicos es factible la aplicación de técnicas de solidificación. Básicamente se utiliza en residuos inorgánicos con menos del 10% al 20% de materia orgánica, debido a que los residuos orgánicos generalmente sufren de degradación, provocando inviabilidad de la utilización de estas técnicas ( Ministerio de Ambiente/ Vivienda /Desarrollo Territorial/Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible /Organización de Control Ambiental y Desarrollo Empresarial OCADE, Colombia, 2007).

La solidificación es el conjunto de técnicas que encapsulan a un residuo sólido en una forma monolítica estructural. La encapsulación puede desarrollarse en forma pequeña de partículas de residuo, conocida como micro encapsulación, o bien en forma de bloques de tamaño apreciable, o macro encapsulación. La solidificación no involucra necesariamente una interacción química entre el residuo y el agente solidificante, pero retiene mecánicamente el residuo dentro de un sólido obtenido (Castells, 2012).

#### **2.3.4. Aglomerante**

Se llaman ligantes o aglomerantes a los materiales que tienen la propiedad de generar “piezas artificiales” mediante un proceso químico iniciado con la incorporación de agua, o por su reacción ante el aire u otros productos químicos que hacen de catalizadores (Codina, 2015).

Los aglomerantes definen las cualidades fundamentales del mortero. Los más utilizados en nuestro medio para la ejecución de morteros son: cal aérea, cemento portland, cemento de

albañilería, yeso. Los cuales difieren entre sí en cuanto a trabajabilidad, tiempo y tipo de fragüe, rigidez y resistencia de morteros (Codina, 2015).

En el proceso de solidificación se utilizó como aglomerante el Cemento Portland Puzolánico IP en proporción de volumen suelto de 3:1, es decir 2400g de cemento y 800g de agregados finos (arena fina).

### **2.3.5. Cemento Portland**

Los Cementos Portland son conglomerados o ligantes hidráulicos, de aspecto pulverulento, llamados así porque sus partículas tienen la propiedad de producir una reacción química en presencia del agua que se manifiesta por aumento de temperatura y el fraguado posterior endureciendo la masa hasta constituirse en una piedra artificial de características estables. Durante la hidratación, veloz principio, se produce un rápido endurecimiento que dura algunas horas y luego continúa indefinidamente mientras exista humedad, pero a un ritmo cada vez menor (Codina, 2015).

El cemento Portland es un Cemento hidráulico producido mediante la pulverización del clinker, está compuesto principalmente por silicatos de calcio hidráulicos y, varias formas de sulfato de calcio que se adicionan durante el proceso de molienda (Fuentes, 2008).

El agua que se emplea para hidratar el cemento se conoce como agua de mezclado, esta constituye aproximadamente el 15% del volumen total del concreto de donde un 5 % sirve para la hidratación y el 10% restante lubrica el concreto y luego se evapora durante el proceso de fraguado (Racero & Albarrán, 2008).

Un factor positivo es que puede conferir a una mayor protección a las armaduras contra la corrosión metálica, por lo que el Cemento Portland es utilizable con ventaja en el caso de concreto pretensado que implique una gran responsabilidad, siempre que se tenga en cuenta la posibilidad de fisuración por retracción (sobre todo térmica), en particular por lo que pueda afectar a la propia corrosión (CEMEX Concretos, 2013).

El proceso de Solidificación con cemento, se adapta mejor a residuos inorgánicos, especialmente aquellos que contienen metales pesados. Como resultado del elevado pH del cemento, los metales son retenidos como hidróxidos insolubles o carbonatos de estructura endurecida. Los residuos se mezclan con el cemento, y en el caso de que el residuo no tenga

agua suficiente, si fuese necesario, se añade agua para su hidratación. La hidratación del cemento origina una estructura cristalina de aluminio- silicato cálcico. Esto da lugar a una masa dura monolítica de aspecto rocoso (Ortiz López, 2009).

### **2.3.7.1. Cemento Portland Puzolánico**

Las puzolanas son un material que reacciona con la cal en presencia de agua para producir un material de cementación. La reacción del material aluminio- silíceo, cal y agua da lugar a la formación de un producto del tipo de hormigón denominado puzolánico. Entre los materiales puzolánicos se encuentran las cenizas volantes, escorias de incineración y polvo de hornos de cemento. Las estructuras puzolánicas resultantes se denominan aluminio-silicatos amorfos (Ortiz López, 2009).

Se usa principalmente en elementos en las que se necesita alta impermeabilidad y durabilidad, como también es aplicado a tecnologías de solidificación, reciclaje y reutilización de residuos.

La mayoría de las aplicaciones de la solidificación con puzolanas es para material inorgánico. El medio de alto pH es adecuado para residuos contaminados con metales pesados (Codina, 2015).

#### **2.3.5.1.1. Propiedades**

El cemento Portland es una mezcla de varios compuestos como el silicato tricálcico, el silicato dicálcico, el aluminato tricálcico y el aluminio ferrito tetracálcico los cuales conforman el 90% o más del peso del cemento (Codina, 2015).

El hidrato de silicato de calcio es el componente cementante más importante en el concreto. Las propiedades ingenieriles del concreto, fraguado, endurecimiento, resistencia y estabilidad dimensional principalmente dependen del gel del hidrato de silicato de calcio. Es la médula del concreto (Fuentes, 2008).

La resistencia está en la parte sólida de la pasta, en su mayoría en el hidrato de silicato de calcio y en las fases cristalinas. Entre menos porosa sea la pasta de cemento, mucho más resistente es el concreto. Por lo tanto, cuando se mezcle el concreto no se debe usar una cantidad mayor de agua que la absolutamente necesaria, para la hidratación (Fuentes, 2008).



El calor que se produce cuando el concreto está en el proceso de fraguado es conocido como calor de hidratación. El conocimiento de la cantidad de calor liberado a medida de que el cemento se hidrata puede ser útil para planear la construcción (Fuentes, 2008).

En invierno, el calor de hidratación ayudará a proteger el concreto contra el daño provocado por temperaturas de congelación. En zonas cálidas, el calor en estructuras masivas, tales como presas, puede producir esfuerzos indeseables al enfriarse luego de endurecer.

Es importante conocer la velocidad de reacción entre el cemento y el agua, porque la velocidad determinará el tiempo de fraguado y de endurecimiento. El yeso, que es adicionado en el molino de cemento durante la molienda del clinker, actúa como regulador de la velocidad inicial de hidratación del cemento Portland. Otros factores que influyen en la velocidad de hidratación incluyen la finura de molienda, los aditivos, la cantidad de agua adicionada y la temperatura de los materiales en el momento del mezclado (Codina, 2015).

### **2.3.9. Áridos**

Los áridos son materiales granulares inertes, de tamaño comprendido entre 0 y 100 mm, de naturaleza inorgánica y de procedencia natural o artificial que contribuyen a la estabilidad de volumen, resistencias y economía de los morteros y hormigones (Codina, 2015).

En la investigación para el proceso de solidificación con Cemento Portland Puzolánico se empleó agregados finos llamados también arena o árido fino: árido o fracción del mismo, son partículas menores de 4,75mm pero mayores 75  $\mu$ m, o también la porción del material que pasa por un tamiz de 4 mm de malla (Polanco & Marquínez, 2011).

Las arenas dan volumen al conjunto. Los vacíos que quedan entre los granos de arena son llenados por los aglomerantes, y eventualmente por la fracción de granulometría más fina. (Dr. Calleja, 2010).

### **2.3.7. Aditivos**

Un aditivo es una sustancia química, generalmente dosificada por debajo del 5% de la masa del cemento, distinta del agua, los agregados, el cemento y los refuerzos de fibra, que se emplea como ingrediente de la pasta, del mortero o de concreto, y agrega al conjunto antes o durante el proceso de mezclado, con el fin de modificar alguna o algunas de sus propiedades

físicas, de tal manera que el material se adapte de una mejor forma a las características de la obra o las necesidades del constructor (Rivera, 2006a).

Los aditivos se emplean cada vez en mayor escala en la fabricación de morteros y hormigones, para la elaboración de productos de calidad, en procura de mejorar las características del producto final. No se trata en ningún modo de aditivos del cemento, pues la misión del aditivo no consiste en mejorar el cemento, sino permitir la transformación o modificación de ciertos caracteres o propiedades de un producto acabado que según el caso, puede ser un mortero (Rivera, 2006a).

En resumen el aditivo no se limita a actuar sobre el cemento, sino que su acción se ejerce sobre los tres componentes de mezcla: el árido (agregado fino), el cemento y el agua. En esta acción influyen en gran manera la naturaleza y la dosificación de cada uno de estos componentes (Rivera, 2006a).

#### **2.3.7.1. Aditivo tipo c: acelerante**

Son aditivos químicos generalmente líquidos, que se permiten acelerar el fraguado y tener resistencias iniciales y finales más altas. La mayor parte de los acelerantes comúnmente usados producen un aumento de la contracción que sufre el concreto al secarse. Frecuentemente se dosifican estos aditivos entre 1,5 y 5,0 % de la masa del cemento en la mezcla. Con los aditivos se obtendrá las siguientes ventajas: desarrollo de resistencias más rápidamente, mejora de las características del terminado, disminución de los agrietamientos, cumplimiento de su función estructural más temprana (Rivera, 2006a).

#### **2.3.8. Fraguado**

El proceso de fraguado se caracteriza por los tiempos de fraguado, también conocidos como inicio de fraguado y fin de fraguado es decir, el inicio de fraguado es el momento en que la pasta, que es una suspensión viscoelástica -plástica con una pequeña resistencia al corte, pasa a ser un sólido viscoelástico - plástico con una mayor resistencia al corte; es decir, es el momento en que la mezcla deja de ser trabajable. El fin de fraguado corresponde al momento en que comienza el endurecimiento. Existen algunos factores que afectan el tiempo de fraguado como son: temperatura / clima, relación agua- cemento, contenido cemento- adicionales, tipo de cemento, aditivos químicos y mezclado (Gabalec, 2008).

### **2.3.9. Mortero**

Se denomina mortero a la mezcla de un conglomerante y áridos, que al unirse forman una pasta maleable que posteriormente se endurece y solidifica para formar una piedra artificial. Dentro de las ventajas los morteros presentan, elaboración sencilla sin equipamientos importantes ni técnicas sofisticadas, puede moldearse fácilmente, puede diseñarse para lograr cualidades como aislación térmica, resistencia, entre otras (Codina, 2015).

Se estableció la elaboración de morteros con el fin de obtener moldes para el proceso de solidificación, ya que los morteros están constituidos por cemento, agregados finos y agua, de igual manera estos no son empleados para construcción de estructuras grandes.

#### **2.3.9.1. Propiedades del Mortero**

##### **2.3.9.1.1. Resistencia**

En general un mortero es más resistente cuanto mayor sea la producción del aglomerante que lo forma, no debiendo exceder la cuantía del aglomerante, por la posible aparición de fisuras que destruyen la impermeabilidad (Angulo, Bodenbender, Guillermo & Codina, 2015, p. 124).

La cantidad de aglomerante está relacionado directamente con el tipo de árido empleado y especialmente la cantidad de vacíos de los áridos, pues la función del aglomerante consiste en rellenar los huecos de material inerte, ligando las partículas para dar estabilidad mecánica al conjunto (Codina, 2015).

La resistencia a tensión y a compresión son propiedades deseables del mortero. Una buena resistencia a tensión del mortero evita la aparición de grietas. Se puede adjudicar el acelerado éxito que logró el Cemento Portland en su capacidad de adquirir altas resistencias a tempranas edades, convirtiéndose en el aglomerante ideal para fines estructurales, sin embargo existen algunas desventajas en el uso del cemento, por este ser un aglutinante muy rígido no es un material ideal para ser aplicado donde se requiere flexibilidad (Codina, 2015).

##### **2.3.9.1.2. Durabilidad**

Otra propiedad deseable de los morteros es la durabilidad, es decir la capacidad del mortero a resistir al envejecimiento, los cambios del clima y efectos nocivos de la intemperie durante su vida útil (Dr. Calleja, 2010).

## Capítulo III

### 3. METODOLOGÍA

La presente investigación tuvo la finalidad de desarrollar una propuesta de tratamiento para los componentes que constituyen los relaves, generados en la actividad minera de Ecuador, utilizando la técnica de solidificación, con Cemento Portland Puzolánico IP para la fabricación de jardines miniatura inertizados.

#### 3.1. TAMAÑO DE LA MUESTRA

El tamaño de la muestra para la presente investigación científica fue,  $n= 2$ , se consideró la cantidad necesaria para el proceso de solidificación, se tomó este número de muestras debido a una escasez de recursos, logística, infraestructura, como también para el inicio de una nueva investigación.

Las muestras tomadas fueron representativas y están en una cantidad adecuada, de cada uno de los puntos de muestro.

#### 3.2. PROCEDIMIENTOS DE CAMPO

Desde hace varios años en la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales de la Universidad Internacional SEK se ha realizado varios estudios acerca de Solidificación de Residuos Tóxicos y Peligrosos, sin embargo esta investigación, es solamente la primera de este tipo, es decir el presente estudio aportará con los datos iniciales sobre el proceso de solidificación de relaves mineros.

Actualmente, el único método de disposición final con el que cuentan los residuos tóxicos y peligrosos es el relleno sanitario, por lo que las iniciativas de implantar sistemas de manejo y tratamiento distintos y convenientemente amigables con el ambiente son indispensables, las mismas que prevean varias formas de gestión y disposición final de los residuos sólidos.

En el caso de implementarse el método de solidificación de relaves, es pertinente conocer la cantidad, composición y caracterización de los lodos y a través de la determinación de la concentración de metales pesados, y su capacidad de lixiviarse al medio, se analizó si la solidificación es una buena opción o si es conveniente ver otras distintas.

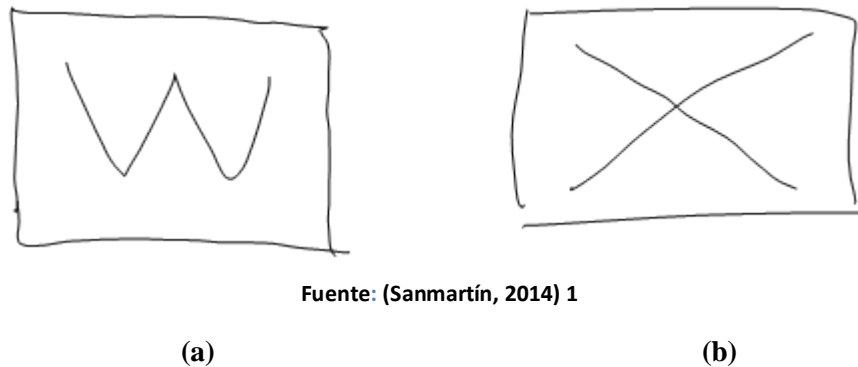
[Ir al índice](#)

En la presente investigación, se utilizaron Relaves Mineros obtenidos de una empresa ubicada en la Provincia de el Oro, en el cantón Portovelo.

El proceso de muestreo tuvo la acción de recoger muestras representativas, es decir obtener una porción cuyas características y condiciones sean similares e identifiquen el total relativo del material. La metodología de muestreo debe tener en cuenta y haber definido los siguientes aspectos: el material a ser muestreado, la cantidad a ser muestreada, análisis requeridos, la precisión requerida, logística necesaria durante la operación (Sanmartin, 2014).

La toma de muestra se realizó de manera sistemática, es decir cuando se toma muestras en grandes áreas, se establecen sobre ella patrones de toma de muestra en forma de W, X, útiles para lotes homogéneos o para una primera prospección (a) y (b).

**Figura 4. Toma de muestra de manera sistemática**



Fuente: (Sanmartín, 2014) 1

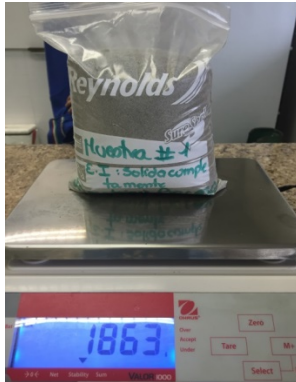
(a)

(b)

Se tomaron dos muestras, en diferentes puntos de muestreo, en un tiempo determinado. La muestra No. 1, presentó un peso inicial de 1863g. Por el contrario, la muestra No.2, presentó peso inicial de 1478g, con un alto nivel de humedad, ambas muestras se almacenaron en bolsas de plástico.

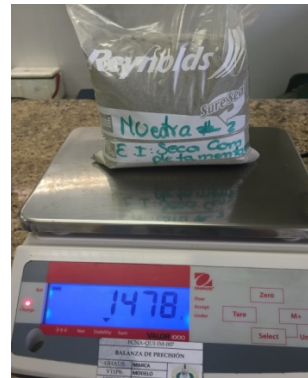
**Figura 5. Peso Inicial de las muestras**

**Peso: Muestra 1**



Fuente: Guañuna, 2016. 1

**Peso: Muestra 2**



Fuente: Guañuna, 2016. 2

Las muestras fueron sometidas al proceso de secado a temperatura ambiente en el Sector Valle de los Chillos, el proceso no pudo ser realizado en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales de la Universidad Internacional SEK, debido a que la persona encargada se encontraba de viaje. Para ambas muestras el proceso de secado empezó el día jueves 21 de abril. La muestra No. 1 fue sometida al proceso de secado hasta el día viernes 22 de abril a las 12:00 pm, es decir el tiempo de secado de la muestra No. 1 fue de 24 horas. Por el Contrario, la muestra No.2 fue sometida al proceso de secado hasta el día sábado 23 abril a las 12:00pm, es decir el tiempo de secado para esta muestra fue 48 horas, con el fin de obtener muestras secas para poder realizar el ensayo Vía Residuo y Vía lixiviado.

Una vez terminado el proceso de secado se procedio a la fase de almacenamiento de las muestras, en bolsas de plástico marca Zíploc medianas; no fue necesario refrigeración.

### 3.3. PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES

Para la realización de la propuesta de tratamiento de solidificación con cemento Portland, se utilizó una resistencia de 160 kg /cm<sup>2</sup> debido a que es una resistencia óptima para cumplir con las necesidades al proceso de solidificación, inertización.

Para la investigación se realizaron siete muestras inertizadas diferentes de acuerdo a la composición cada muestra sin inertizar , basadas en la misma dosificación, en donde la primera mezcla se dominó ensayo blanco, la cual está compuesta por componentes tradicionales y se utilizó como estándar de comparación con respecto a los ensayos restantes.

### 3.3.1. Procedimiento

#### 3.3.1.1 Elaboración de moldes

Una parte importante de esta investigación fue el desarrollo y elaboración de moldes, el diseño se basó en la construcción de recipientes resistentes y estructurales. Además debe ser lo suficientemente grande para albergar un volumen de  $0,008 \text{ m}^3$ , tener dimensión máxima de 20cm por lado.

##### 3.3.1.1.1 Materiales

Para la elaboración de moldes, se utilizó:

**Tabla 3. *Materiales constitutivos para elaboración de moldes***

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>
Tabla triple (2,40 x 1,20)m Espesor: 9mm	1
Bisagras	4 por cada molde Total 32bisagras
Tornillos	4 por cada bisagra Total 128
Tubo PVC 3 pulg	2 por cada molde
Tubos ½ pulg	2 por cada molde
<b>Equipos</b>	<b>Cantidades</b>
Cierra eléctrica	1
Martillo	1
Metro (5 m)	1
Escuadra	1

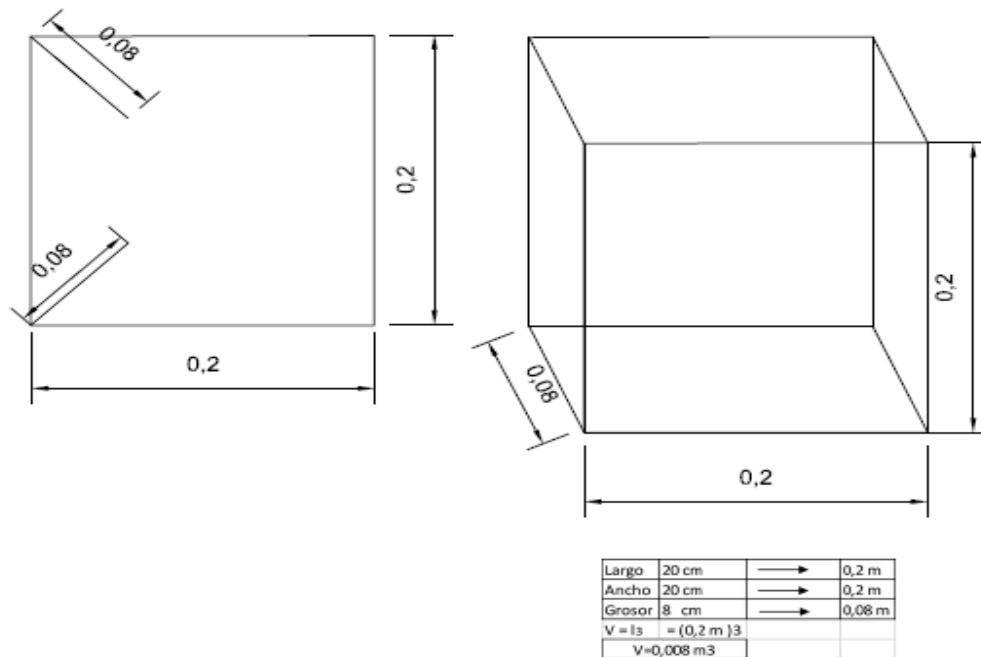
**Elaborado por:** Guañuna (2016).

##### 3.3.1.1.2 Construcción de moldes

Las dimensiones por cada molde se establecieron en función del volumen que se alojaría, es decir un molde cuadrilátero de 20 cm de largo por 20 cm ancho con espesor de 8 cm que

alojaría 0,008 m<sup>3</sup> del total de la mezcla. Las dimensiones se especificaron en el siguiente Figura 6.

**Figura 6. Dimensiones del Molde**  
**Dimensiones del Molde de 20 x 20 cm**



**Elaborado por:** Estefania Guañuna 2016.

Una vez adquiridos los materiales, se midió las dimensiones establecidas a escuadra y se señalaron, posterior a esto se cortó la tabla triplex de acuerdo a cada dimensión. Se unió la parte inferior con las partes laterales usando bisagras y tornillos, se aseguró con dos clavos en cada esquina para evitar su apertura al momento de colocar la mezcla terminada, a la hora de fundir se colocó dos tubos PVC de 9cm de alto los cuales dieron forma al molde para poder sembrar las plantas y también tubos 1/2 pulgada para el desfogue de exceso de agua.



### 3.3.1.2 Dosificación - Ensayo Blanco

El ensayo blanco tuvo como materias primas: Cemento Portland Puzolánico IP, agregados finos (arena fina), agua y aditivo (Acelerante) Plastocrete 161 HE. Las proporciones para cada uno de los materiales fueron establecidas en proporciones de volumen suelto, se expresan colocando primero la unidad que representa el cemento y el siguiente número representa la proporción de agregado fino; proporciones referidas a un volumen unitario de cemento es decir:

**Figura 7. Proporciones de mortero**



**Elaborado por:** Estefania Guañuna 2016.

**Fuente:** (Rivera, 2006b).

La cantidad o proporción de agua no se colocó, viene establecida de acuerdo al grado de fluidez que requiera la mezcla hasta que llegue a ser homogénea y manejable, según la utilidad que se le vaya dar en la obra (Rivera, 2006b).

La masa unitaria suelta de cemento (MUSc ≈ 1200kg), para sacos de cemento de 50 kg. Se tuvo en cuenta que para una misma fluidez, a medida que se aumenta la porción de agregado fino respecto al cemento disminuye la resistencia (Rivera, 2006b).

En el ensayo blanco se empleó una proporción 3:1, significa que por cada tres volúmenes de cemento se colocó un volumen de agregado fino, como se observa en la Tabla 4.

**Tabla 4. Materiales constitutivos para el Ensayo Blanco**

Materiales	Peso
Cemento Portland Puzolánico IP	2400g
Agregados Finos (arena fina)	800g
Aditivo – Acelerante Plastocrete 161 HE	50mL

Agua	1000mL
------	--------

**Elaborado por:** Estefania Guañuna 2016.

**Fuente:** (Rivera, 2006b).

El tiempo de fraguado fue de 72 horas, dentro del cual se esparció 10 mL de agua en la superficie del ensayo blanco con el fin de adquirir una mayor resistencia al finalizar el tiempo de fraguado. Todas estas cantidades se emplearon para cubrir una área de (20 x 20) cm con 8 cm de espesor.

### 3.3.1.3 Dosificación – Muestras inertizadas

En las muestras inertizadas se empleó como materias primas: Cemento Portland Puzolánico IP, agregados finos (arena fina), relave minero (residuo toxico), agua y aditivo (Acelerante) Plastocrete 161 HE.

Durante la investigación se realizaron tres ensayos por cada muestra sin inertizar con un total de 6 muestras inertizadas. Las proporciones fueron tomadas de esta manera debido a que la masa total de las muestras sin inertizar no superaba los 1900 g en peso, por este motivo se optó por establecer valores determinados de acuerdo al peso de cada muestra, se tomó como referencia la proporción del ensayo blanco 3:1, es decir 2400g de cemento y 800g de agregados finos, la cuales están especificadas en las Tabla 5 y Tabla 6.

**Tabla 5. Materiales constitutivos para muestras inertizadas– M.1**

<b>Muestra No. 1</b>		
<b>No. de Ensayo</b>	<b>Relación en volumen</b>	<b>Dosificación de materiales c= cemento; a= agregado fino; Rs= residuo (todas medidas en gr)</b>
1	<b>3:4:12</b>	c= 2400 a= 600 Rs= 200
2	<b>3:12:4</b>	c= 2400 a= 200 Rs=600
		c= 2400

3	<b>3:1</b>	Rs= 800
---	------------	---------

**Elaborado por:** Estefania Guañuna 2016.

**Fuente:** (Rivera, 2006b)

**Tabla 6. Constitutivos para muestras inertizadas – M.2**

<b>Muestra No. 2</b>		
<b>No. de Ensayo</b>	<b>Relación en volumen</b>	<b>Dosificación de materiales c= cemento; a= agregado fino; Rs= residuo (todas medidas en gramos (g))</b>
<b>1</b>	<b>3:4:12</b>	c= 2400 a= 600 Rs= 200
<b>2</b>	<b>3:12:4</b>	c= 2400 a= 200 Rs= 600
<b>3</b>	<b>3:1</b>	c= 2400 Rs= 800

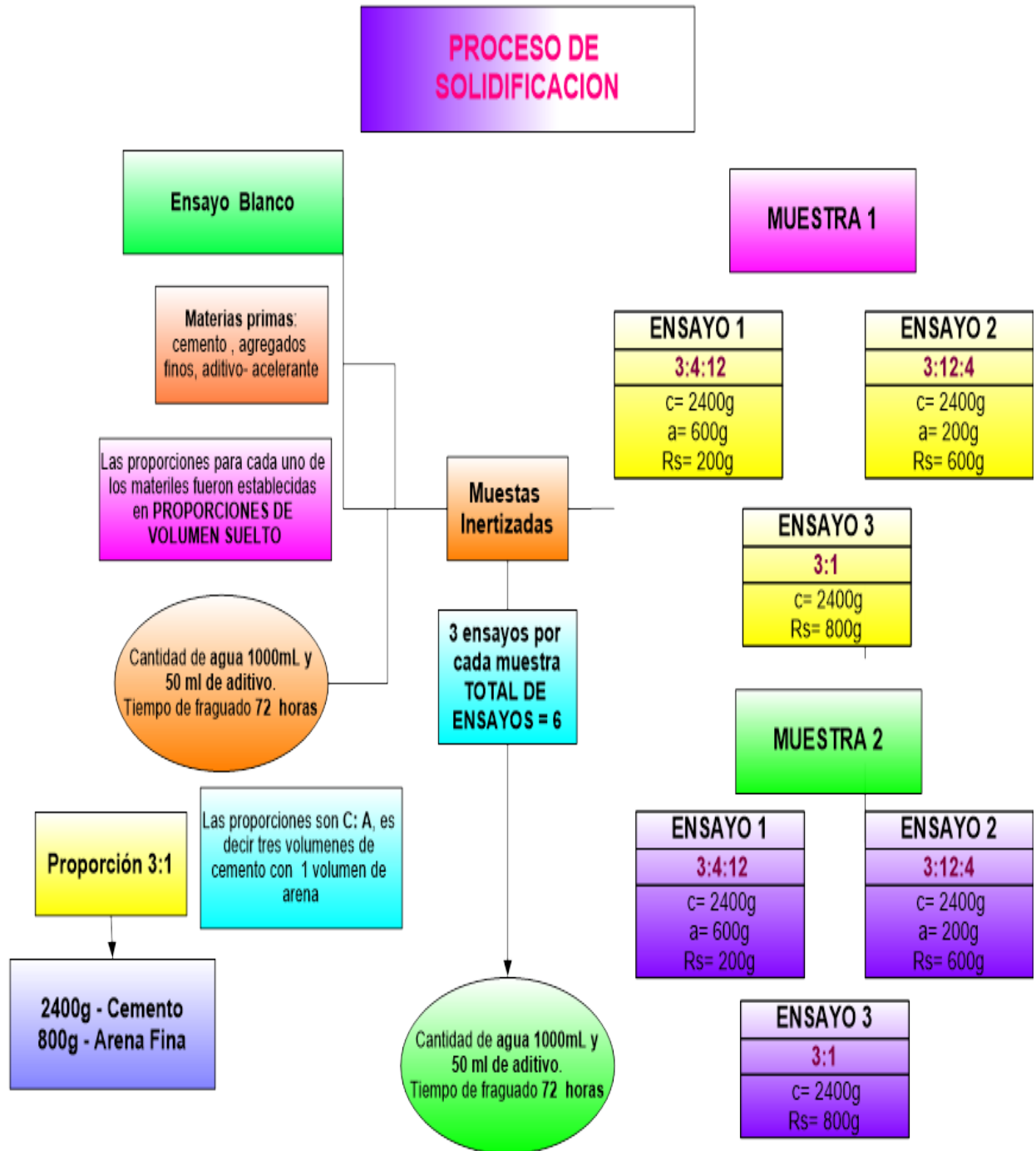
**Elaborado por:** Estefania Guañuna 2016.

La cantidad de cemento a ser empleado fue 2400g de igual manera que la proporción tomada para el ensayo blanco, la diferencia en proporciones llevo los agregados finos junto con el residuo toxico (relaves mineros), los cuales tendrán variabilidad de acuerdo al número de muestra que se realizó en la investigación. Por otro lado la proporción de agua no se colocó, la cual viene establecida de acuerdo al grado de fluidez que requiera la mezcla hasta que llegue a ser homogénea y manejable, según la utilidad que se le vaya dar en la obra (Rivera, 2006b).

El agua necesaria para lograr una mezcla homogénea se midió con una probeta graduada de 1000 mL, esta fue la cantidad establecida para el ensayo blanco. En cuanto al aditivo, es decir acelerante, Plastocrete 161 HE, se empleó 50 mL. El tiempo de fraguado fue de 48 horas, dentro del cual se esparció 10 mL de agua en la superficie de la muestra con el fin de adquirir una mayor resistencia al finalizar el tiempo de fraguado. Todas estas cantidades se emplearon para cubrir una área de (20 x 20) cm con 8 cm de espesor.

El proceso de solidificación en resumen se realizó de la siguiente manera.

### Flujograma 1. Proceso de solidificación – Muestras Inertizadas



Elaborado por: Guañuna, (2016) 1.

[Ir al Índice](#)

### 3.3.1.3.1 Procedimiento para la elaboración de ensayo blanco

La elaboración del ensayo Blanco se realizó acorde con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2518: 2010 y NTE INEN 155. Dentro de la cual explica:

1. La medición de materiales para morteros debe ser tal que, las dosificaciones especificadas de los materiales sean controladas y mantenidas de manera precisa.
2. En el proceso de mezclado todos los materiales cementantes y los áridos (agregados finos) se mezclaron durante un período de 30 segundos, mientras se continúa con el mezclado.
3. Una vez mezclados los materiales secos se mezclaron entre 3 y 5 minutos con la cantidad de agua necesaria, como también con la cantidad de aditivo, para producir una consistencia trabajable. Se permite el mezclado manual de morteros (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010a).
4. El agua debe ser limpia y estar libre de aceites, ácidos, álcalis, sales, materiales orgánicos, u otras sustancias que sean perjudiciales para los morteros o para cualquier metal en la pared (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010a)
5. Dejar el mortero descansar por 90 segundos. Durante los primeros 15 segundos de este intervalo, empujar rápidamente hacia abajo, dentro de la mezcla todo el mortero que pueda haberse adherido a los lados del tazón.
6. En el caso que requiera un intervalo de remezclado, todo el mortero adherido a los lados del tazón, debe ser rápidamente empujado hacia abajo dentro de la mezcla con el raspador, previo al remezclado.
7. Retemplado de morteros. Los morteros que se han endurecido deben ser reemplados mediante la adición de agua tan frecuentemente como sea necesario para restaurar la consistencia requerida. Ningún mortero debe ser usado más allá de 2½ horas después de mezclado (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010a).
8. Posterior a esto se colocó la mezcla homogénea en el molde de dimensiones (20 x 20) cm, 8 cm de espesor, dejar secar el tiempo de fraguado y curado establecido anteriormente y cada uno de los días esparcir agua en la superficie para contribuir en el incremento de la resistencia.

### **3.3.1.1.2 Procedimiento para la elaboración de muestras inertizadas**

La elaboración de los muestras inertizadas de igual manera que el procedimiento del ensayo blanco se realizó en su mayoría acorde con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2518: 2010 y NTE INEN 155. Dentro de la cual explica:

1. La medición de materiales para morteros debe ser tal que, las dosificaciones especificadas de los materiales sean controladas y mantenidas de manera precisa.
2. En el proceso de mezclado todos los materiales cementantes, los áridos (agregados finos) y Rs (residuo sólido) se deben mezclar durante un período de 30 segundos, mientras se continúa con el mezclado.
3. Una vez mezclados los materiales secos se mezclaron entre 3 y 5 minutos con la cantidad de agua necesaria, como también con la cantidad de aditivo, para producir una consistencia trabajable. Se permite el mezclado manual de morteros (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010a).
4. El agua debe ser limpia y estar libre de aceites, ácidos, álcalis, sales, materiales orgánicos, u otras sustancias que sean perjudiciales para los morteros o para cualquier metal en la pared (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010a)
5. Dejar el mortero descansar por 90 segundos. Durante los primeros 15 segundos de este intervalo, empujar rápidamente hacia abajo, dentro de la mezcla todo el mortero que pueda haberse adherido a los lados del tazón.
6. En el caso que requiera un intervalo de remezclado, todo el mortero adherido a los lados del tazón, debe ser rápidamente empujado hacia abajo dentro de la mezcla con el raspador, previo al remezclado.
7. Retemplado de morteros. Los morteros que se han endurecido deben ser reemplados mediante la adición de agua tan frecuentemente como sea necesario para restaurar la consistencia requerida. Ningún mortero debe ser usado más allá de 2½ horas después de mezclado (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010a).
8. Posterior a esto colocar la mezcla homogénea en el molde de dimensiones (20 x 20) cm, 8 cm de espesor, dejar secar el tiempo de fraguado y curado establecido anteriormente y cada uno de los días esparcir agua en la superficie para contribuir en el incremento de la resistencia.

### 3.4. PROCEDIMIENTOS DE LABORATORIO

Los análisis físico- químicos referentes a la investigación se realizó en el laboratorio de Química de la Universidad Internacional SEK, para tener acceso al laboratorio se realizó una carta de autorización la cual estuvo basada en la descripción de los análisis a ser realizados. Para ingresar al laboratorio el estudiante perteneciente al grupo de investigación, cuenta con su Equipo de Protección Personal (EPP) adecuado para realizar los procedimientos correspondientes a la investigación. Por otro lado cada estudiante cuenta con una bitácora en la cual se anotan los materiales, reactivos y equipos, dentro de los cuales se debe detallar la fecha y el tiempo empleados para realizar los procesos.

#### 3.4.1. Procedimiento para la determinación del porcentaje de humedad

La humedad es el contenido de agua que posee un residuo, los residuos sólidos contienen un porcentaje considerable de agua, que varía de acuerdo a la composición del residuo, los cuales contienen de un 25 a un 60 % de humedad (Coral, 2013).

El procedimiento se tuvo que seguir para poder obtener datos referentes a la humedad fue siguiente:

1. Se colocó en un crisol tarado de 50 mL seis gramos de muestra previamente triturada.
2. Pesó los crisoles con la muestra húmeda en la balanza analítica.
3. Se colocó los crisoles en la estufa a una temperatura de 105 °C durante 24 horas.
4. Por último se pesó finalmente el crisol con la muestra seca en la balanza analítica.

Una vez realizado este procedimiento, el porcentaje de humedad se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

#### Ecuación. 1-1 Porcentaje de humedad

$$\%H = \frac{(P_H - P_S) * 100}{P_H}$$

Dónde:

$P_H$ = peso del residuo húmedo.

$P_S$ = peso del residuo seco (Coral, 2013).

[Ir al Índice](#)

Acorde con Montalvo (2015), para dar inicio a los análisis fisicoquímicos, en los cuales se basan esta investigación, fue necesario obtener las muestras en estado líquido, por lo que los lodos mineros presentes en estado sólido fueron procesados mediante dos métodos que se basaron en la extracción de los metales pesados de las muestras. Dichos métodos permitieron obtener una fracción líquida de las muestras.

Los métodos utilizados en la investigación fueron:

- Vía residuo
- Vía Lixiviado

Para el desarrollo de ambos métodos se utilizó varios equipos, materiales y reactivos de igual manera un procedimiento a ser seguido, lo cual es detallado posteriormente.

### 3.4.2. Procedimiento Ensayo Vía Residuo

Acorde con la metodología utilizada por Montalvo (2015), para el método vía residuos se escogió el ataque ácido con agua regia, ya que se disuelven los metales pesados, nobles o reales (Montalvo, 2015).

Los materiales, equipos y reactivos necesarios para realizar el ensayo vía residuo se detallan a continuación:

**Tabla 7. Equipos, materiales y reactivos para desarrollar el ensayo Vía Residuo**

<b>EQUIPOS</b>	Balanza Analítica Espectrofotómetro de Absorción Atómica Plancha de calentamiento Refrigerador Extractor de gases	
<b>MATERIALES</b>	Vasos de precipitación Balón aforado 50 mL Corchos	- Pipetas Graduadas - Papel Filtro - Embudos de vidrio
<b>REACTIVOS</b>		<b>CANTIDAD</b>
	Agua Regia	20 mL
	Ácido Nítrico al 10%	25 mL
	Agua Destilada	50 mL

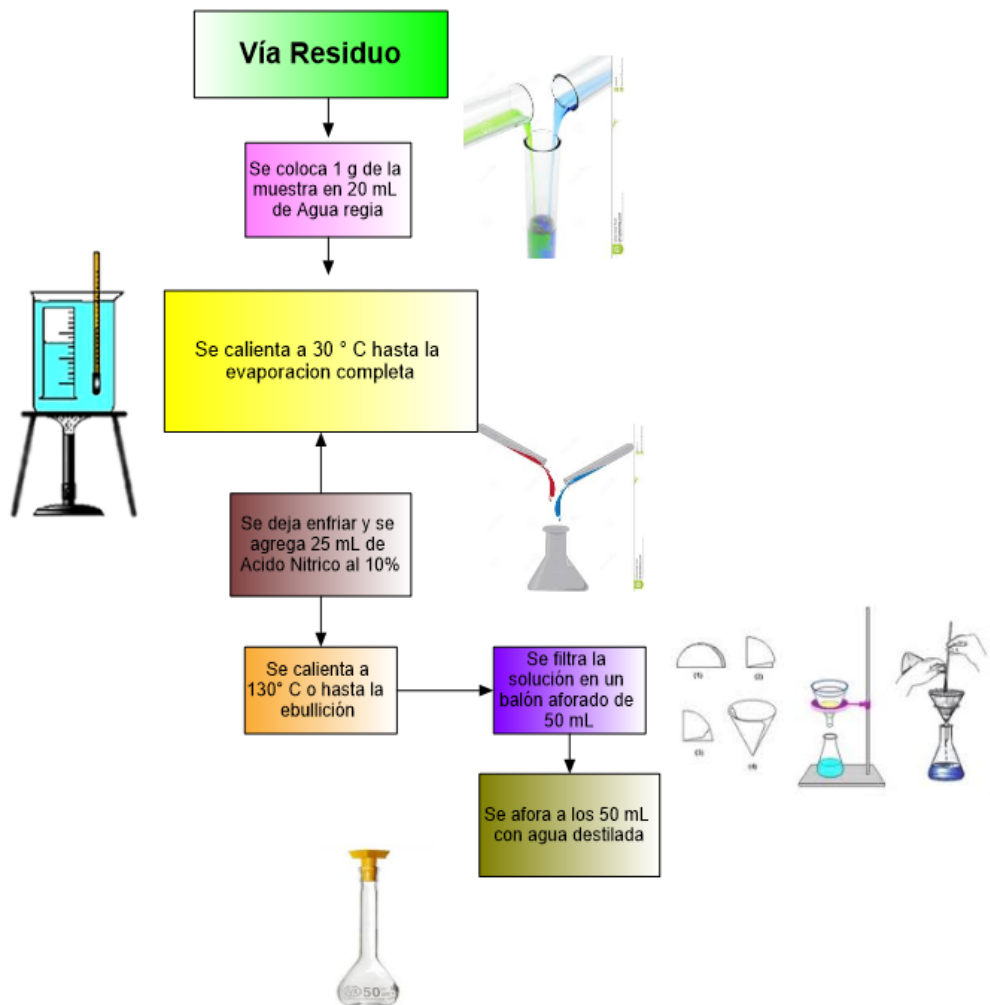
**Elaborado por:** Guañuna (2016).

Los pasos de esta metodología se enlistan a continuación:



- En primer lugar se toma 1g de cada muestra, ya pesada y se la coloca en un vaso de precipitación.
- En el cual se añade 20 mL de Agua Regia.
- Calentar la solución a 130°C hasta su evaporación completa.
- Se deja enfriar la solución, posterior a esto se agrega 25mL de Ácido Nítrico al 10%.
- Se calienta a 130°C o hasta su ebullición.
- Se filtra la solución usando un balón aforado de 50 mL.
- Se afora el balón con la solución y añadiendo agua destilada.
- Se refrigera a temperatura de 4 °C.

### Flujograma 2. Proceso Vía Residuo



Elaborado por: Guañuna (2016). 2

[Ir al Índice](#)

### 3.4.3 Procedimiento Ensayo Vía Lixiviado (TCLP)

#### Ensayo de lixiviación TCLP (Procedimiento de Lixiviación Característico de Toxicidad)

TCLP es adecuado para determinar la movilidad tanto de compuestos orgánicos como inorgánicos presentes en líquidos, sólidos y residuos multifásicos (Coral, 2013).

El procedimiento de lixiviación característica de toxicidad (TCLP) determina la movilidad de los contaminantes inorgánicos presentes en una muestra y si los filtrados generados dan lugar a clasificar el material como “peligroso”. El lixivante se determina basándose en la capacidad de neutralización acida del material de la muestra (Montalvo, 2015).

Acorde con Montalvo (2015), El lixivante seleccionado se añade a la muestra a una razón de líquido a sólidos de 20:1, y el contenedor de la muestra se rota de punta a punta durante 18 horas. El compuesto resultante se filtra a continuación a través de un filtro de fibra de vidrio de 0,7  $\mu\text{m}$  y se analiza para obtener los metales totales (Montalvo, 2015).

Los materiales, equipos y reactivos necesarios para realizar el ensayo vía residuo se detallan a continuación:

**Tabla 8. Equipos, materiales y reactivos para desarrollar el Ensayo Vía lixiviado**

<b>EQUIPOS</b>	Balanza Analítica Espectrofotómetro de Absorción Atómica Agitador Magnético Multiparámetro Refrigerador Extractor de gases Plancha de calentamiento	
<b>MATERIALES</b>	Vasos de precipitación - Pipetas Graduadas Erlenmeyer - Embudos de vidrio Balón aforado 50 mL - Papel Filtro Corchos	
<b>REACTIVOS</b>		<b>CANTIDAD</b>
	HCL al 1,0 N	0,7 mL
	Fluido 1	50 mL

**Elaborado por:** Estefania Guañuna 2016.

Los pasos de esta metodología, acorde con Montalvo (2015), se enlistan a continuación:

1. Se toma 5g del total de muestra, la cual es dividida en dos partes cada parte con un peso de 2,5g, es decir PARTE1 y PARTE 2, correspondientes a cada muestra.
2. Se coloca la PARTE 1 en un vaso de precipitación y se añade 20 mL de agua destilada y se agita vigorosamente durante 5 minutos, utilizando un agitador vigoroso.
3. Se mide y se anota el pH.
4. Si el pH es  $\leq 5$  el fluido extractor a utilizar es el fluido n°1. Si el pH es  $>5$  se le añade 0,7 mL de HCl 1N, se deja en suspensión durante 30 segundos.
5. Se calienta a 50°C y se hierve durante 2 minutos. Se deja enfriar la solución a temperatura ambiente (no se usa un baño de hielo) y se anota el pH.
6. Si el pH es  $\leq 5$  se utiliza el fluido n°1, sino, el n°2. (el procedimiento y materiales para obtener el fluido 1 y 2 se detallan a continuación).

**Tabla 9. Materiales y Reactivos Para Desarrollar. FLUIDO 1.**

REACTIVOS	CANTIDAD
NaOH (1N)	64,3 mL
Ácido Acético Glacial	5,7 mL
PROCEDIMIENTO	El FLUIDO 1 se obtiene combinando NaOH (1N) y Ácido Acético Glacial y enrasado con agua destilada hasta 1 litro. El pH debe ser $4,93 \pm 0,02$ (Montalvo, 2015).

**Elaborado por:** Estefania Guañuna 2016.

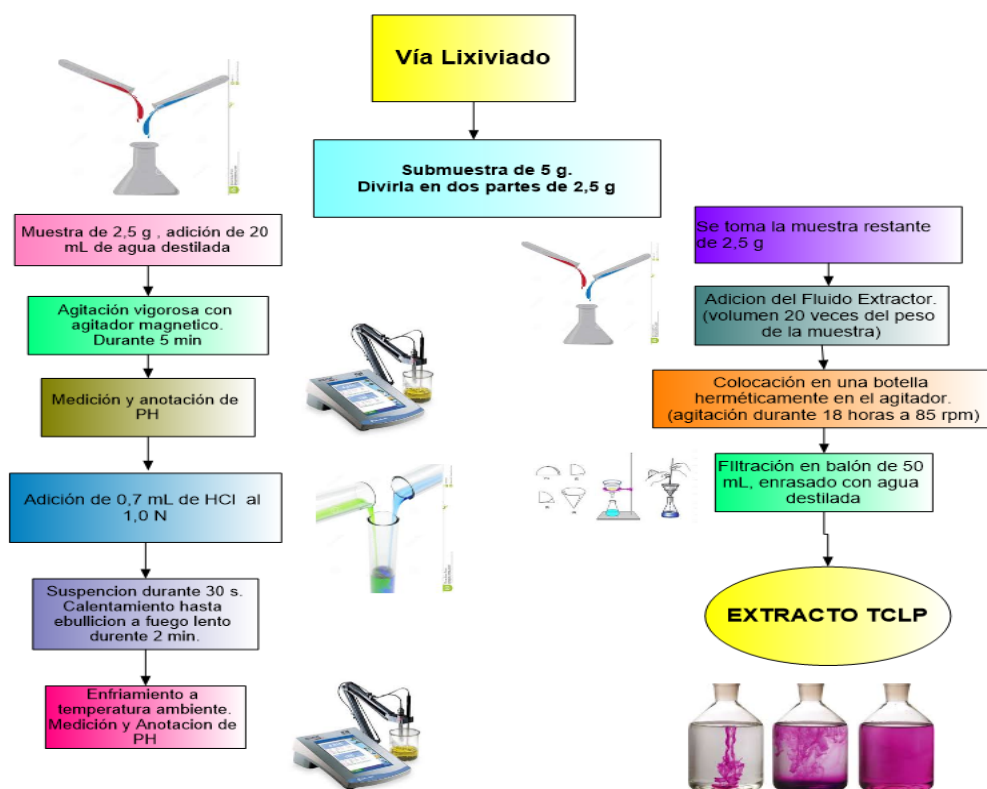
**Tabla 10. Materiales y Reactivos Para Desarrollar. FLUIDO 2**

REACTIVOS	CANTIDAD
Ácido Acético Glacial	5,7 mL
PROCEDIMIENTO	El FLUIDO 2 se obtiene diluyendo Ácido Acético Glacial con agua destilada hasta 1 litro. El pH debe ser $2,88 \pm 0,02$ (Montalvo, 2015).

**Elaborado por:** Estefania Guañuna 2016.

1. Se toma la PARTE 2, se la pesa y se mezcla con la cantidad de fluido extractante igual a 20 veces del peso de la fase sólida.
2. La solución se coloca en un Erlenmeyer cerrado y se dispone en un sistema rotatorio y se hace girar a  $30 \pm 2$  r.p.m. durante 18 horas. La temperatura se debe mantener en  $22 \pm 3^\circ\text{C}$ .
3. Transcurrido este tiempo se filtra la muestra en un balón aforado de 50 mL utilizando un filtro de nitrato de celulosa, el cual es enrasado con agua destilada.

### Flujograma 3. Proceso Vía Lixiviado



**Nota:** Si el Ph es menor o igual a 5 el fluido extractor a utilizar es el Fluido No. 1. Si el pH es mayor a 5 se le añade 0,7 mL de HCL 1N. Si el pH es menor o igual a 5 se utiliza el Fluido No.1 , si es mayor a 5 , se utiliza el Fluido No.2.

**Fluido No. 1:** se obtiene convinando 64,3 mL de NaOH (1N) y 5,7 mL de ácido acético glacial y enrasado con agua destilada hasta 1 litro. el pH debe ser 4,93

**Fluido No.2 :** se Obtiene diluyendo 5,7 mL de ácido acético glacial con agua destilada hasta 1 litro. El pH debe ser 2,88

Elaborado por: Guañuna (2016). 3

[Ir al Índice](#)

### 3.4.6. Espectrofotometría de Absorción Atómica

Espectrofotometría de Absorción Atómica es un método para la detección y la determinación de elementos químicos, este método se puede aplicar para la determinación de ciertos metales tales como son: antimonio, cadmio, calcio, cesio, cromo, cobalto, oro, plomo, níquel, entre otros (Bianchi, Borda, Young., & Espinoza, 2015).

En la espectrofotometría de absorción atómica la muestra es vaporizada mediante un proceso a alta temperatura. A este proceso se le conoce con el nombre de atomización y son principalmente de tres tipos: con llama, electrotérmica y con plasma (Montalvo, 2015).

La técnica de absorción atómica en llama se la debe realizar con la muestra en forma líquida, la misma que es aspirada a través de un tubo capilar y conducida a un nebulizador donde ésta se desintegra y forma un rocío o pequeñas gotas de líquido.

Las gotas formadas son conducidas a una llama, donde se produce una serie de eventos que originan la formación de átomos. Estos átomos absorben cualitativamente la radiación emitida por la lámpara de cátodo hueco, en el interior de la lámpara hay un cátodo cilíndrico de metal que contiene el metal de excitación, y un ánodo. Cuando un alto voltaje se aplica a través del ánodo y el cátodo, los átomos de metal en el cátodo se excitan y producen luz con una determinada longitud de onda. El tipo de tubo catódico hueco depende del metal que se analiza. Para analizar la concentración de plomo, se utiliza un tubo catódico de plomo, y así para cualquier otro metal que se analice (Bianchi et al., 2015).

De cada tratamiento de lodos mineros, se obtuvo dos muestras en solución. La primera solución de metales disueltos (vía residuo) y la segunda de metales capaces de lixiviar (vía lixiviado). Las soluciones fueron filtradas, aforadas a 50mL y colocadas en recipientes plásticos, mismos que fueron almacenados en refrigeración a 8 ° C para su posterior análisis de EAA.

Los pasos de esta metodología, acorde con Montalvo (2015), se enlistan a continuación:

1. Prender el espectrofotómetro de absorción atómica.
2. Colocar la lámpara del metal a determinar.
3. Observar si el quemador se encuentra en la posición correcta con respecto a la fuente de radiación.
4. Configurar el elemento e instalar la lámpara del metal a determinar para que realice la lectura.
5. Prender la campana de extracción y depuración de gases.
6. Colocar en auto cero la gráfica de absorbancia vs concentración.

7. Observar las condiciones estándar del metal y realizar las diluciones correspondientes.
8. Verificar la curva de calibración.
9. Abrir la válvula de Óxido nitroso ( $N_2O$ ) o Acetileno ( $C_2H_2$ ) según el metal a determinar.
10. Verificar que el compresor de aire este encendido.
11. Observar que estén activados el quemador y el flujo de gases en el equipo, caso contrario pulsar en actualizar.
12. Colocar en la pestaña “calibración” el número de decimales deseados para la lectura y la concentración de las diluciones realizadas de la anterior viñeta.
13. Acorde con Montalvo (2015), realizaremos el procedimiento de lectura de metales pesados.
  - 13.1. Analizar el blanco, colocando el capilar sobre agua destilada.
  - 13.2. Analizar las diluciones estándar establecidas y colocar nuevamente el capilar en el blanco sin volver a analizar (realizar este procedimiento con cada una de las diluciones).
  - 13.3. Mostrar la curva de calibración.
  - 13.4. Analizar las muestras recolectadas y colocar nuevamente el capilar en el blanco sin volver a analizar (realizar este procedimiento con cada una de las 4 diluciones).
  - 13.5. Este procedimiento se lo realiza para no dejar ningún residuo de la muestra analizada.
  - 13.6. Transcribir los datos obtenidos por el espectrofotómetro de absorción atómica.
14. Terminado el proceso anterior, se cierran las válvulas de los gases utilizados y se depura gases.
15. Se apaga la campana de extracción de gases.
16. Se desinstala y se retira la lámpara usada y finalmente se apaga el espectrofotómetro de absorción atómica.

Repetir el mismo procedimiento para cada metal a determinar

### 3.4.4.1 Límites de detección de concentración de cada metal en Espectrofotometría de Absorción Atómica

El límite de detección se define como la concentración más baja del elemento que puede detectarse con un nivel de probabilidad del 95%. Se determina estadísticamente. En la próximas tablas de resultados y de gráficos, existen casilleros con las iniciales ND, donde no se observan datos, esto indica que la concentración no detectable debido a la apreciación del Espectrofotómetro, mas no que no existen concentración. Esto significa que si los valores son menores a los detectables el equipo no puede medir la concentración del metal.

En la siguiente tabla se enlistan los límites de detección para cada metal analizado:

**Tabla 11. Límite de Detección de Concentración para cada Metal Espectrofotómetro de Absorción Atómica**

<b>Metal</b>	<b>EAA- Llama Límite de Detección (mg/L)</b>
Cadmio	0,0004
Zinc	0,0005
Níquel	0,09
	<b>EAA- Horno de Grafito (mg/L)</b>
Plomo	0,25
Zinc	0,005
Cadmio	0,015
Níquel	0,5
	<b>EAA- Hidruros (mg/L)</b>
Mercurio	0,02

**Fuente:** (PerkinElmer, 2011).

**Elaborado por:** Guañuna, 2016.

### 3.4.5. Ensayo de Lixiviación monolítica

En la presente investigación, para poder comprobar la eficiencia del proceso de solidificación realizó del ensayo de lixiviación monolítica, de esta manera el test de lixiviación/extracción se utilizó con el fin de simular escenarios de campo o para evaluar las propiedades específicas de un material. (Barroso, 2002).

Acorde con Barra, Aponte & Valls (2011), el proceso de lixiviación incluye el reparto de los contaminantes entre una fase sólida y una líquida a través de la estructura porosa del material al medio ambiente. El proceso en sí es universal, ya que cualquier material expuesto al contacto con el agua filtrará los componentes de su superficie o de su interior en función de la porosidad del material considerado (Barra, Aponte, & Valls, 2011).

En pocas palabras la lixiviación monolítica es el proceso por el cual, los componentes de un material sólido se liberan en contacto con el agua, aunque algunas especies pueden ser de mayor o menor problema ambiental que otros (Barroso, 2002).

La metodología empleada para el ensayo de lixiviación monolítica se enlista continuación:

1. Una vez realizado el proceso de solidificación empleando Cemento Portland Puzolánico, se obtuvo 6 muestras inertizadas de acuerdo a cada muestra sin inertizar con sus respectivas dosificaciones.
2. Una vez transcurrido el tiempo de fraguado, se pesó cada uno de las muestras con el fin de determinar el volumen de fluido extractante, el cual fue 3 L de FLUIDO No. 1 por cada muestra inertizada, a ser utilizado en el proceso de lixiviación monolítica.
3. De acuerdo al pH obtenido en procedimientos anteriores se determinó que la solución lixivante era el FLUIDO No. 1, preparado con Ácido Acético Glacial ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), Hidróxido de Sodio 1N ( $\text{NaOH}$ ) y Agua destilada, la dosificación para obtener el volumen necesario de la solución lixivante para las muestras inertizadas se enlista a continuación.



**Tabla 12. Dosificación Fluido No.1 – Muestras Inertizadas**

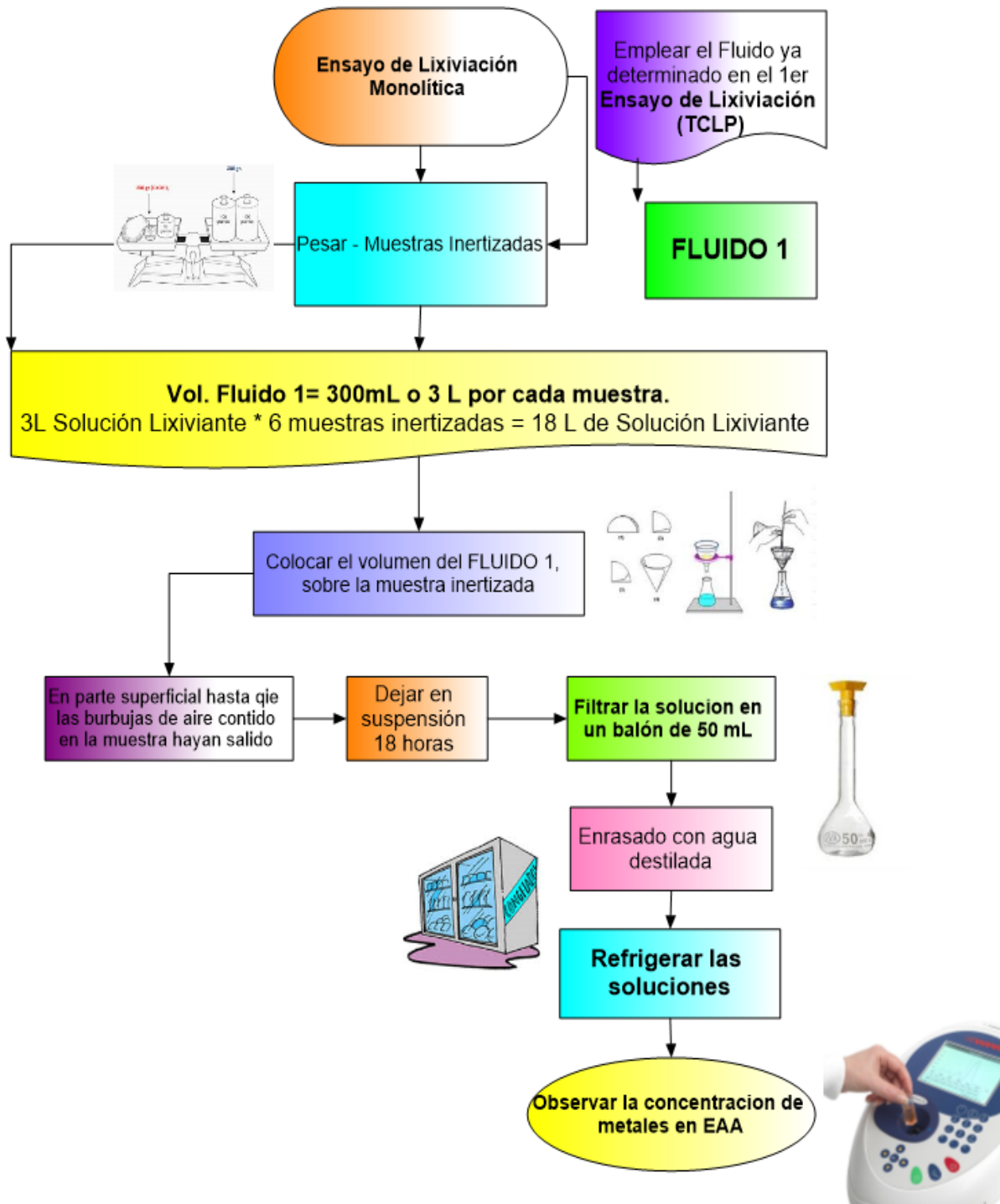
Solución FLUIDO No. 1- Blanco		5,7 mL de CH <sub>3</sub> COOH a 500 mL de agua destilada. 64,3 mL de NaOH 1N y diluirla hasta 1L
<b>Dosificación para un Ensayo testigo</b>	Ácido Acético Glacial (CH <sub>3</sub> COOH)	5,17 mL CH <sub>3</sub> COOH ----- 500mL Agua destilada x 3000 mL <b>X= 31,02 mL CH<sub>3</sub>COOH --- Enrasar con 1 L de agua destilada</b>
	Hidróxido de Sodio 1N (NaOH)	64,3 mL 1N (NaOH) ----- 500mL Agua destilada x 3000 mL <b>x= 385,8 mL N (NaOH) --- Enrasar con 1 L de agua destilada</b>
	<p style="text-align: center;"><b>Solución Lixivante Total – FLUIDO No. 1</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 31,02 mL CH<sub>3</sub>COOH --- Enrasada a 1 L de agua destilada.</li> <li>• 385,8 mL N (NaOH) --- Enrasada a 1 L de agua destilada.</li> </ul> <p>Posterior a esto se obtuvo 2000mL de Solución Lixivante la cual debe ser enrasada a los 3000 mL del volumen necesario para cada MUESTRA INERTIZADA.</p>	

**Elaborado por:** Guañuna (2016).

1. Colocar las muestras inertizadas en recipientes de plástico acorde con sus medidas.
2. Colocar el volumen del fluido No.1 en el recipiente plástico, sobre la muestra, hasta observar que haya salido las burbujas de aire contenidas en la muestra.
3. Dejar en suspensión por 18 horas.
4. Posterior a esto tomamos el extracto TCLP monolítico y se midió su volumen.
5. Filtrar la solución en un balón de 50 mL, enrasado con agua destilada.
6. Refrigerar las soluciones.
7. Se realizó la caracterización de los siguientes metales pesados mediante Espectrofotómetro de Absorción Atómica.
  - Cadmio
  - Mercurio

- Níquel
- Plomo
- Zinc

#### Flujograma 4. Ensayo de Lixiviación Monolítica



Elaborado por: Guañuna, (2016) 4.

[Ir al Índice](#)

### **3.4.6. Ensayo de Resistencia**

Según Oviedo (2000), el ensayo de resistencia a compresión libre para la eficiencia de la solidificación y estabilización se ha desarrollado como un estándar internacional, como también los materiales solidificados y estabilizados deben presentar una resistencia adecuada que les permita soportar cargas de los materiales que se colocan sobre ellos. En general, para un reactivo de estabilización dado, cuanto más fuerte sea el residuo estabilizado, más eficaz resulta el proceso de solidificación, en especial para contaminantes inorgánico.

Los ensayos de resistencia referentes a la investigación no se realizó debido a un escaso volumen de residuos y estos a su vez fueron sometidos a análisis físico- químicos el cual los debilitó en un gran porcentaje.

## **3.5. PROCESAMIENTO DE DATOS**

Todos los datos e información obtenidos de la investigación mediante análisis, cálculos fueron procesados mediante los programas Microsoft Word, Excel, NHC Software Suite. De igual manera todos los cálculos realizados para la investigación tienen respaldo físico y electrónico de los datos obtenidos y calculados.

### **3.5.1. Levantamiento de datos en el laboratorio**

Para el levantamiento de datos se utilizó las siguientes tablas de acuerdo al procesamiento de cada muestra, su peso inicial, pesos divididos para cada ensayo, peso final y pH. Los datos se han repartidos en dos tablas de acuerdo a cada proceso realizado, por un lado la determinación de la concentración de metales así como el lixivarse en el medio.

**Tabla 13. Formato de ingreso de datos del peso- Muestra 1**

<b>PESO – MUESTRA 1</b>	
Peso inicial	
Peso – % de humedad	
Peso - Ensayo Vía Residuo	
Peso- Ensayo Vía Lixiviado	
Peso Total para solidificarse	

**Elaborado por:** Guañuna (2016).

**Tabla 14. Formato de ingreso de datos del peso- Muestra 2**

<b>PESO – MUESTRA 2</b>	
Peso inicial	
Peso – % de humedad	
Peso - Ensayo Vía Residuo	
Peso- Ensayo Vía Lixiviado	
Peso Total para solidificarse	

**Elaborado por:** Guañuna (2016).

**Tabla 15. Formato para Ingreso de datos % de Humedad**

<b>Muestra</b>	<b>Peso total de la Muestra</b>	<b>Peso a ser utilizado</b>	<b>Peso Húmedo (P<sub>H</sub>)</b>	<b>Peso Húmedo (P<sub>S</sub>)</b>	<b>%H</b>
<b>1</b>					
<b>2</b>					

**Elaborado por:** Guañuna (2016).

**Tabla 16. Formato para ingreso de datos proceso Vía Lixiviado (TCLP)**

Muestra	Peso total de la Muestra	Peso a utilizar en g (gramos)	Peso PARTE 1 g(gramos)	pH	0,7 HCL 1N pH > 5	pH	Peso PARTE 2 g(gramos)	Fluido a Utilizar	
								1 o 2	Cant. (mL)
1									
2									

Elaborado por: Guañuna (2016).

**Tabla 16.1 Formato para ingreso de datos proceso Vía Lixiviado (TCLP)- Muestras Inertizadas**

Muestra – Residuo	Proporciones muestras inertizadas	Peso total Muestra (gramos)	Tipo de fluido extractante	Volumen de Fluido extractante (litros)	Tiempo de suspensión en fluido extractante (horas)	Volumen final de fluido extractante recolectado (litros)
1	E1					
	E2					
	E3					
2	E1					
	E2					
	E3					

Elaborado por: Guañuna (2016).

**Tabla 17. Formato ingreso de datos lectura de Metales por EAA - Vía Residuo- Muestras sin inertizar**

Muestra	Ensayo	Lectura de metales por EAA									
	Vía Residuo	(ppm)- Vía Residuo									
	Peso muestra	Plomo		Cadmio		Níquel		Mercurio		Zinc	
g (gramos)	(mg/L)	mg (Pb)/ kg residuo	(mg/L)	mg (Cd)/ kg residuo	(mg/L)	mg (Ni)/ kg residuo	(mg/L)	mg (Hg)/ kg residuo	(mg/L)	mg (Zn)/ kg residuo	
1											
2											

Elaborado por: Guañuna (2016).

**Tabla 17.1 Formato ingreso de datos lectura de Metales por EAA - Vía TCLP- Muestras sin inertizar**

Muestra	Ensayo	Lectura de metales por EAA				
	TCLP	(ppm)				
	Peso muestra (Parte 2)	Plomo (mg/L)	Cadmio (mg/L)	Níquel (mg/L)	Mercurio (mg/L)	Zinc (mg/L)
g (gramos)	Ensayo TCLP	Ensayo TCLP	Ensayo TCLP	Ensayo TCLP	Ensayo TCLP	
1						
2						

Elaborado por: Guañuna (2016).

**Tabla 18. Formato ingreso de datos lectura de Metales por EAA – Muestras Inertizadas**

Muestra de Residuo	Ensayo TCLP		Lectura de metales por EAA									
	Numero de Ensayo Testigo	Peso Total	Plomo (mg/L)		Cadmio (mg/L)		Níquel (mg/L)		Mercurio (mg/L)		Zinc (mg/L)	
		g	Vía Residuo	Ensayo TCLP	Vía Residuo	Ensayo TCLP	Vía Residuo	Ensayo TCLP	Vía Residuo	Ensayo TCLP	Vía Residuo	Ensayo TCLP
1	M1E1											
	M1E2											
	M1E2											
2	M2E1											
	M2E2											
	M2E3											

**Elaborado por:** Guañuna (2016).

## Capítulo IV

### 4. DATOS Y RESULTADOS

#### 4.1. DATOS PRIMARIOS

##### 4.1.1. Levantamiento de Datos de Campo.

Los datos de campo se levantaron en el Cantón Portovelo perteneciente a la Provincia de Loja, el muestreo se realizó de manera sistemática, se tomaron dos muestras en diferentes punto de muestreo en un tiempo de terminado. La recepción de las muestras fue realizada en las instalaciones de la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES, las muestras recolectadas se habían almacenado en bolsas de plástico cada una de las muestras.

##### 4.1.2. Levantamiento de Datos Experimentales

###### 4.1.2.1 Datos del Peso- Muestra 1 , Muestra 2

En la presente investigación se tomó como aspecto muy importante el peso de cada una de las muestra para poder dosificarlas de manera equitativa en cada uno de los procesos, como se explica en la siguiente tabla.

**Tabla 19. Ingreso de Datos del peso Muestra 1 – Muestra 2**

Peso - Muestra 1		Peso - Muestra 2	
	g (gramos)		g (gramos)
<b>Peso Inicial</b>	<b>1863</b>	<b>Peso Inicial</b>	<b>1478</b>
Peso - % de humedad	6	Peso - % de humedad	6
Peso- Vía Residuo (RS)	1	Peso- Vía Residuo	1
Peso - Vía Lixiviado	5	Peso - Vía Lixiviado	5
<b>PESO TOTAL PARA SOLIDIFICARSE</b>	<b>1851</b>	<b>PESO TOTAL PARA SOLIDIFICARSE</b>	<b>1466</b>

[Ir al índice](#)



En lo que refiere al proceso de Solidificación, tanto para la Muestra 1 el peso a ser dispuesto es 1851 g, como también para la Muestra 2 con un peso de 1466g, estos dos valores fueron proporcionados de manera equitativa en las muestras inertizadas explicadas anteriormente.

#### 4.1.2.2 Datos y cálculos porcentaje de humedad

La determinación del porcentaje de humedad fue realizada para cada una de las muestras sin inertizar, siendo anteriormente sometidas al proceso de secado. El cálculo del porcentaje de humedad se realizó basado en la [Ecuación 1.1](#) cita anteriormente, los datos y resultados acerca del % de humedad constan en la siguiente tabla:

**Tabla 19.1 Datos y resultados - % de Humedad**

<b>% de Humedad</b>					
<b>Muestra</b>	<b>Peso total de la muestra en g(gramos)</b>	<b>Peso a ser utilizado g(gramos)</b>	<b>Peso Húmedo (PH)</b>	<b>Peso Seco (P<sub>s</sub>)</b>	<b>% de Humedad</b>
1	1863	6	5,99	5,96	<b>0,5</b>
2	1478	6	5,98	5,95	<b>0,5</b>

El cálculo del porcentaje de humedad se lo realizo de la siguiente manera, tomando como ejemplo: Muestra 1

$$\%H = \frac{(P_H - P_S) * 100}{P_H} = \frac{(5,99 - 5,96) * 100}{5,99} = 0,5$$

Dónde:

P<sub>H</sub>= peso del residuo húmedo.

P<sub>S</sub>= peso del residuo seco (Coral, 2013).

El porcentaje de humedad correspondiente a la Muestra 1 es 0,50% en 6 g de la muestra.

#### 4.1.2.3. Datos proceso Vía Lixiviado (TCLP)- Muestra 1, Muestra 2

El ensayo Vía Lixiviado tanto para Muestra 1, Muestra 2 y muestras inertizadas se realizó en el laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias Naturales Y Ambientales perteneciente a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK.

**Tabla 19.2 Datos proceso Vía Lixiviado (TCLP)- Muestra 1 y 2**

Proceso Vía Lixiviado (TCLP)									
Muestra	Peso total de la muestra en g(gramos)	Peso a utilizar en g (gramos)	Peso PARTE 1 g (gramos)	pH	0,7 mL HCL 1N pH >5	pH	Peso PARTE 2 g (gramos)	Fluido a utilizar	
								1 o 2	Cant. (mL)
1	1863	5	2,5	9,006	pH >5	2,409	2,5	1	50
2	1478	5	2,5	8,923	pH >5	2,618	2,5	1	50

#### 4.1.2.4. Datos proceso Vía Lixiviado (TCLP)- Muestras Inertizadas

El proceso de lixiviación monolítica se explica de manera detallada en la siguiente tabla.

**Tabla 19. 3 Datos proceso Vía Lixiviado (TCLP)- Muestras Inertizadas**

Proceso Vía Lixiviado (TCLP)- Muestras Inertizadas							
Muestra - Residuo	Proporciones Muestras Inertizadas		Peso total Muestra	Tipo de fluido extractante	Volumen de Fluido extractante	Tiempo de suspensión en fluido extractante	Volumen final de fluido extractante recolectado
			(gramos)		(litros)	(horas)	(litros)
<b>1</b>	<b>E1</b>	1:04:12	<b>3953</b>	Fluido 1	3 L	18 h	<b>2100 mL</b>
	<b>E2</b>	1:12:04	<b>3982</b>	Fluido 1	3 L	18 h	<b>2850 mL</b>
	<b>E3</b>	1:3	<b>4184</b>	Fluido 1	3 L	18 h	<b>2650 mL</b>
<b>2</b>	<b>E1</b>	1:04:12	<b>4097</b>	Fluido 1	3 L	18 h	<b>2350 mL</b>
	<b>E2</b>	1:12:04	<b>4131</b>	Fluido 1	3 L	18 h	<b>2750 mL</b>
	<b>E3</b>	1:3	<b>4041</b>	Fluido 1	3 L	18 h	<b>2680 mL</b>

:

#### 4.1.3. Lectura de metales por Espectrofotómetro de Absorción Atómica

##### 4.1.3.1. Calculo para pasar Lectura por EAA en mg/L a mg/kg de residuo para el Ensayo Vía Residuo – Muestra 1 y 2

###### 4.1.3.1.1 Vía Residuo

Tomando la lectura de Cadmio como ejemplo:

La lectura de la muestra denominada M1 (Ensayo Vía Residuo) de 1,004 g, el resultado vía residuo de Cadmio analizado mediante EAA fue de 0,250 mg/L.



Acorde con Coral (2016), las relaciones de concentración para cada metal a analizar esto se expresa en mg de cada metal por kg de residuo:

##### **Ecuación. 4 -1. Calculo mg/L a mg/kg**

$$\frac{\text{Lectura (mg)} * \text{Volumen de aforo (mL)} * 1000 \text{ g de residuo}}{1000 \text{ mL} * \text{Masa de residuo (RS)(g)}}$$

Fuente: Coral, 2016

Concentración de Cadmio en mg por cada kg de residuo: 12,450.

[Ir al Índice](#)

## 4.2. RESULTADOS

### 4.2.1. Presentación de resultados obtenidos ensayo Vía Residuo, Vía Lixiviado – Muestra sin inertizar

Las muestras 1 y 2 fueron sacadas de refrigeración para la lectura de metales mediante el espectrofotómetro de absorción atómica, se realizó como primer análisis el Níquel (Ni) y Zinc (Zn), mientras que el resto de metales se realizaron los días posteriores, es decir Mercurio (Hg), Cadmio (cd), Plomo (Pb) . Los resultados se pueden apreciar en la Tabla 17.2 y 17.3:

**Tabla 20. Formato ingreso de datos lectura de Metales por EAA – Vía Residuo- Muestras sin inertizar**

Muestra	Ensayo	Lectura de metales por EAA (ppm)- Vía Residuo									
	Vía Residuo	Plomo		Cadmio		Níquel		Mercurio		Zinc	
	Peso muestra g (gramos)	(mg/L)	mg (Pb)/ kg residuo	(mg/L)	mg (Cd)/ kg residuo	(mg/L)	mg (Ni)/ kg residuo	(mg/L)	mg (Hg)/ kg residuo	(mg/L)	mg (Zn)/ kg residuo
1	1,004	4,77	237,35	0,25	12,45	0,25	12,50	< 0,02	<0,99	0,28	13,79
2	1,013	3,79	187,02	0,19	9,38	0,29	14,07	<0,02	<0,99	0,16	8,05

Elaborado por: Guañuna (2016).

**Tabla 20.1 Formato ingreso de datos lectura de Metales por EAA –Vía Lixiviado (TCLP)- Muestras sin inertizar**

Muestra	Ensayo	Lectura de metales por EAA (ppm)				
	TCLP	Plomo (mg/L)	Cadmio (mg/L)	Níquel	Mercurio (mg/L)	Zinc (mg/L)
	Peso muestra (Parte 2)					
	g (gramos)	Ensayo TCLP	Ensayo TCLP	Ensayo TCLP	Ensayo TCLP	Ensayo TCLP
<b>1</b>	2,5	0,09	0,02	0,07	ND	0,09
<b>2</b>	2,5	0,09	0,04	0,04	ND	0,05

**Elaborado por:** Guañuna (2016).

#### 4.2.2. Presentación de resultados obtenidos ensayo Vía Lixiviado (TCLP) – Muestras Inertizadas

Las muestras inertizadas fueron sometidas al proceso de lixiviación monolítica explicado anteriormente para su posterior lectura de metales mediante el espectrofotómetro de absorción atómica, se realizó como primer análisis el Níquel (Ni) y Zinc (Zn), mientras que el resto de metales se realizaron los días posteriores, es decir Mercurio (Hg), Cadmio (cd), Plomo (Pb). Los resultados se pueden apreciar en la Tabla 20,2:

**Tabla 20.2 Formato ingreso de datos lectura de Metales por EAA – Muestras inertizadas**

Ensayo blanco	Lectura de Metales por EAA					
	No. Muestra inertizada	Plomo (mg/L)	Cadmio (mg/L)	Níquel (mg/L)	Mercurio (mg/L)	Zinc (mg/L)
	Ensayo de Lixiviación Monolítica					
1	M1E1	0,08	0,01	0,05	ND	0,03
	M1E2	0,08	0,01	0,03	ND	0,04
	M1E2	0,01	0,02	0,02	ND	0,08
2	M2E1	0,06	0,01	0,01	ND	0,00
	M2E2	0,06	0,01	0,03	ND	0,04
	M2E3	0,06	0,02	0,01	ND	0,03

Elaborado por: Guañuna (2016).

En lo que refiere a la lectura de Mercurio (Hg) en las muestras inertizadas, se obtuvo un rango de -0,010 a -0,014 en absorbancia, de esta manera al momento de obtener la concentración de cada uno de los ensayos de obtuvo valores no detectables (ND) por el espectrofotómetro de absorción atómica.

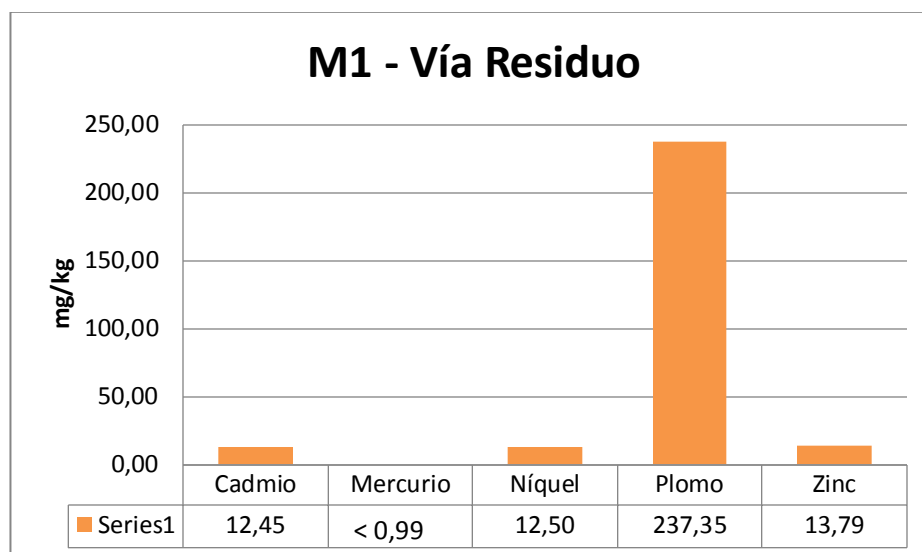
#### 4.2.1.1. Presentación de Datos- Muestra 1 y Muestra 2

**Tabla 21. Datos - Muestra 1**

<b>DATOS - CONCENTRACIÓN DE METALES MUESTRA 1</b>		
	<b>(mg/kg)</b>	<b>(mg/L)</b>
<b>METAL</b>	<b>Vía Residuo</b>	<b>Vía TCLP</b>
Cadmio	12,45	0,02
Mercurio	<0,99	ND
Níquel	12,50	0,07
Plomo	237,35	0,09
Zinc	13,79	0,09

Elaborado por: Guañuna (2016).

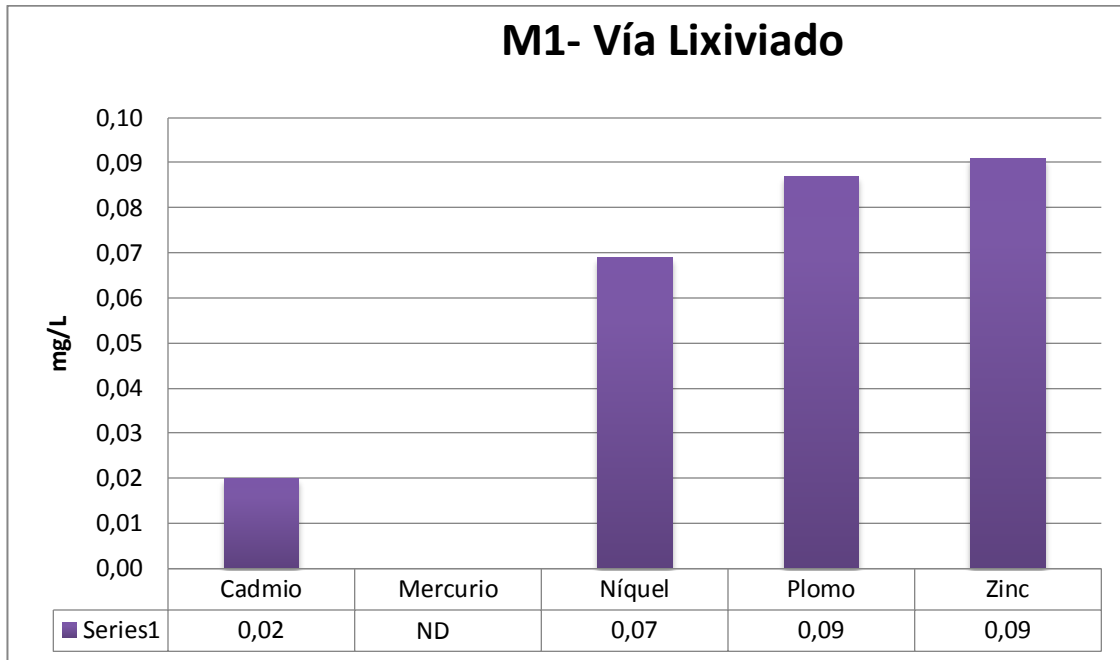
**Gráfico 1. Concentración de metales mediante EAA- MUESTRA1 - Vía residuo**



Realizado por: Guañuna (2016). 1



**Gráfico 2. Concentración de metales mediante EAA- MUESTRA1 - Vía TCLP**



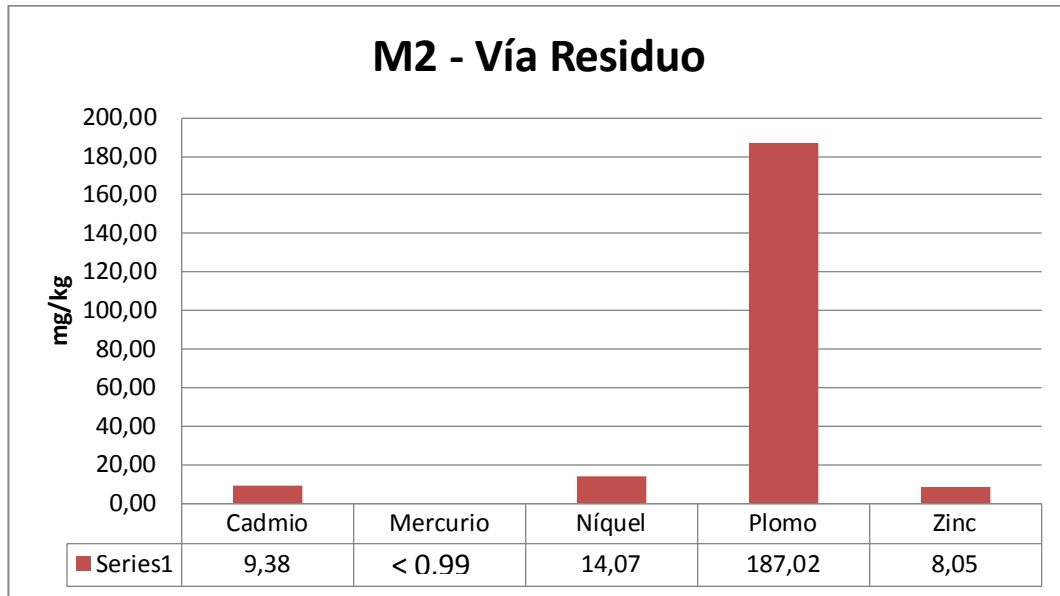
Realizado por: Guañuna (2016). 2

**Tabla 21.1 Datos - Muestra 2**

<b>DATOS - CONCENTRACIÓN DE METALES MUESTRA 2</b>		
	<b>mg/kg</b>	<b>(mg/L)</b>
<b>METAL</b>	<b>Vía Residuo</b>	<b>Vía TCLP</b>
Cadmio	9,38	0,04
Mercurio	<0,99	ND
Níquel	14,07	0,04
Plomo	187,02	0,09
Zinc	8,05	0,05

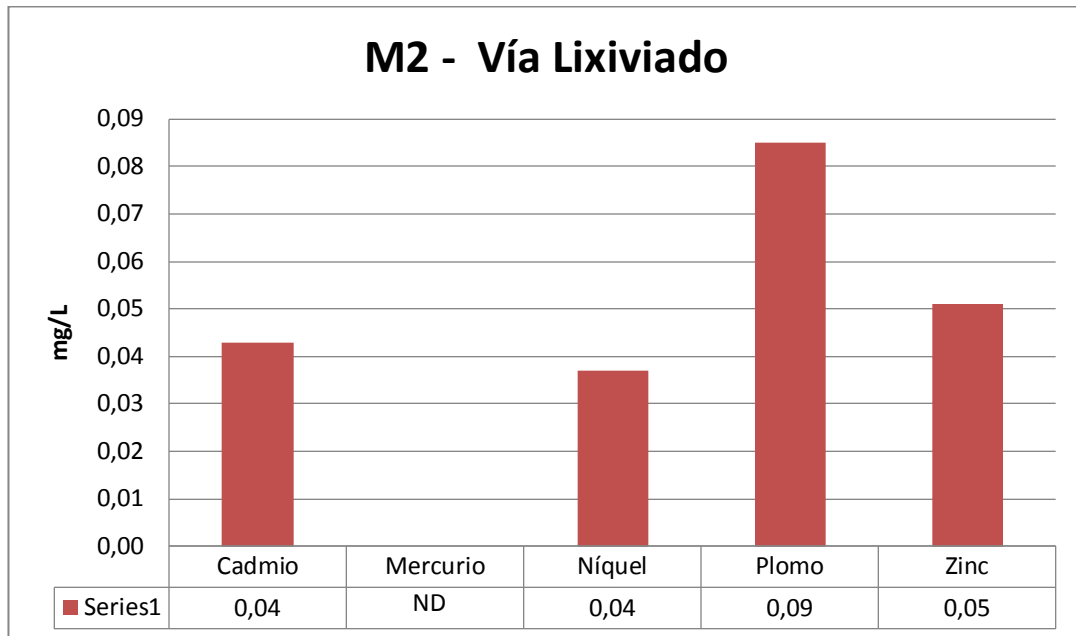
Elaborado por: Guañuna (2016).

**Gráfico 3. Concentración de metales mediante EAA- MUESTRA 2 - Vía Residuo**



Realizado por: Guañuna (2016). 3

**Gráfico 4. Concentración de metales mediante EAA- MUESTRA 2 - Vía TCLP**



Realizado por: Guañuna (2016). 4

#### 4.2.2.1. Presentación de Datos- Muestras inertizadas– MUESTRA 1

Tabla 22. *Datos – MIE1*

<b>DATOS - CONCENTRACIÓN DE METALES - MIE1</b>	
	<b>(mg/L)</b>
<b>METAL</b>	<b>Lixiviación Monolítica</b>
Cadmio	0,01
Mercurio	ND
Níquel	0,05
Plomo	0,08
Zinc	0,03

Elaborado por: Guañuna (2016).

Tabla 22.1 Datos – MIE2

<b>DATOS - CONCENTRACIÓN DE METALES - MIE2</b>	
	<b>(mg/L)</b>
<b>METAL</b>	<b>Lixiviación Monolítica</b>
Cadmio	0,01
Mercurio	ND
Níquel	0,03
Plomo	0,08
Zinc	0,04

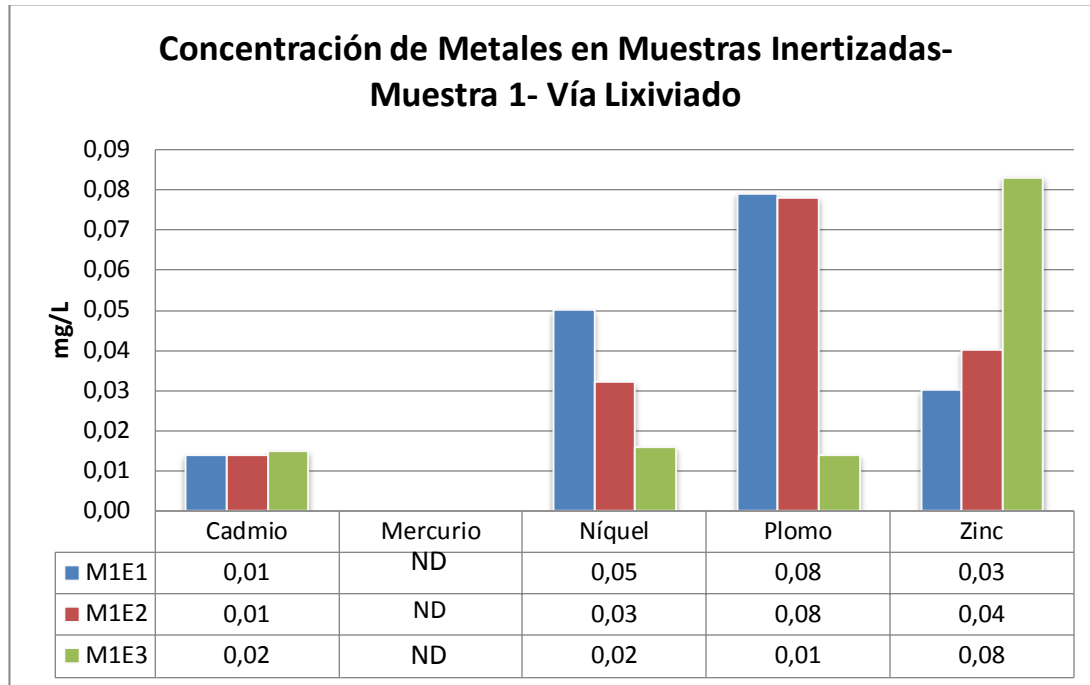
Elaborado por: Guañuna (2016).

Tabla 22.2 *Datos – MIE3*

<b>DATOS - CONCENTRACIÓN DE METALES - MIE3</b>	
	<b>(mg/L)</b>
<b>METAL</b>	<b>Lixiviación Monolítica</b>
Cadmio	0,02
Mercurio	ND
Níquel	0,02
Plomo	0,01
Zinc	0,08

Elaborado por: Guañuna (2016).

**Gráfico 5. Concentración de metales mediante EAA- Muestras Inertizadas- M1- TCLP**



Realizado por: Guañuna (2016). 5

#### 4.2.2.2. Presentación de Datos- Muestras inertizadas – MUESTRA 2

**Tabla 23. Datos – M2E1**

<b>DATOS - CONCENTRACIÓN DE METALES - M2E1</b>	
	<b>(mg/L)</b>
<b>METAL</b>	<b>Lixiviación Monolítica</b>
Cadmio	0,01
Mercurio	ND
Níquel	0,01
Plomo	0,06
Zinc	0,00

Elaborado por: Guañuna (2016).

**Tabla 23.1 Datos- M2E2**

<b>DATOS - CONCENTRACIÓN DE METALES - M2E2</b>	
	<b>(mg/L)</b>
<b>METAL</b>	<b>Lixiviación Monolítica</b>
Cadmio	0,01
Mercurio	ND
Níquel	0,03
Plomo	0,06
Zinc	0,04

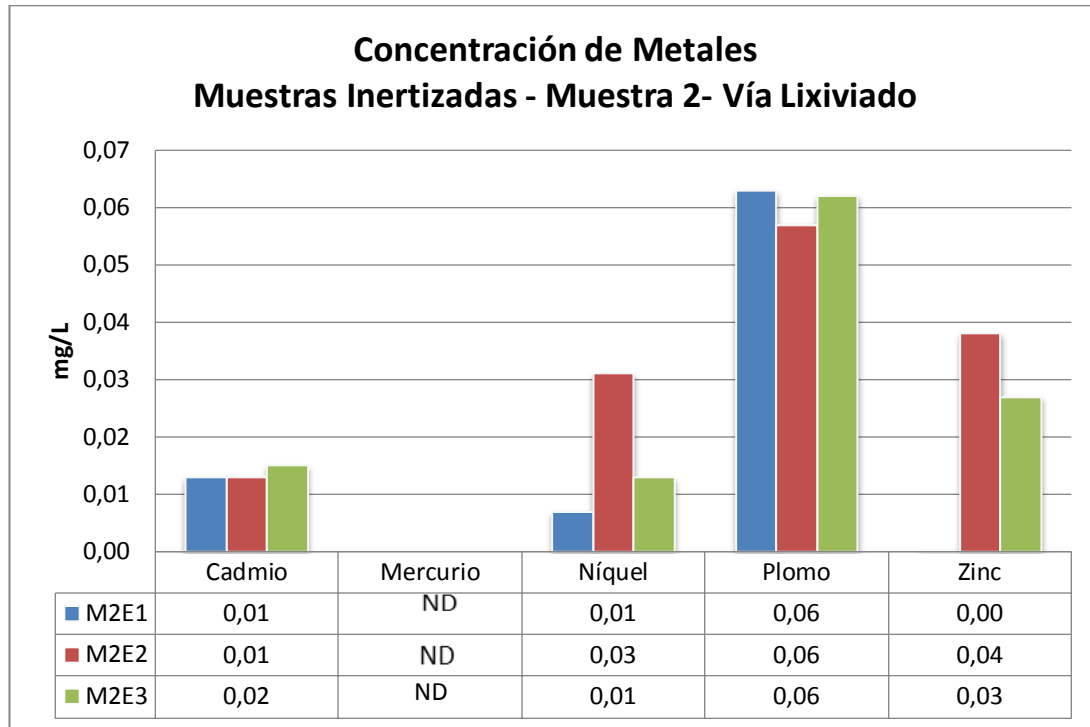
**Elaborado por:** Guañuna (2016).

**Tabla 23.2 Datos- M2E3**

<b>DATOS - CONCENTRACIÓN DE METALES - M2E3</b>	
	<b>(mg/L)</b>
<b>METAL</b>	<b>Lixiviación Monolítica</b>
Cadmio	0,02
Mercurio	ND
Níquel	0,01
Plomo	0,06
Zinc	0,03

**Elaborado por:** Guañuna (2016).

**Gráfico 6. Concentración de metales mediante EAA- Muestras Inertizadas- M2- TCLP**



Realizado por: Guañuna (2016). 6

#### 4.2.3. Presentación de datos - % de inertización - Muestras Inertizadas

Una vez realizada la lectura de concentraciones de metales pesados en cada uno de las muestras inertizadas se realizó el cálculo del porcentaje de inertización, con el fin de conocer cuan eficiente resultó ser el proceso de solidificación. Los datos y fórmula para poder obtener el porcentaje de inertización se enlistan a continuación.

##### Ecuación. 4- 3 Porcentaje de Inertización

$$\% I = \frac{\text{Con. I (sin inertizar)} - \text{Con. f(inertizada)}}{\text{Con. I (sin inertizar)}} * 100$$

**Dónde:**

**Con. F (inertizada)** = Concentración Final de la muestra inertizada (mg/L).

**Con. I (sin inertizar)** = Concentración Inicial de la muestra sin inertizar (mg/L). (Coral, 2013)

[Ir al Índice](#)

Para el cálculo del porcentaje de inertización tomaremos como ejemplo el Muestra Inertizada M1E1 referente al Zinc:

$$\%I = \left( \frac{0,09-0,03}{0,09} \right) * 100 = \mathbf{66,7 \% Inertización}$$

El porcentaje de inertización obtenido por el Ensayo Testigo M1E1 correspondiente al Zinc es 66,7 %.

Los resultados obtenidos se detallan en la siguiente Tabla 22 y Tabla 23.

**Tabla 24. Datos % de Inertización- M1**

Metales	Concentración M1 (mg/L)	M1E1 (mg/L)	%I
CADMIO	0.02	0.01	<b>50</b>
NÌQUEL	0.07	0.05	<b>29</b>
PLOMO	0.09	0.08	<b>11.1</b>
ZINC	0.09	0.03	<b>66.7</b>
Metales	Concentración M1 (mg/L)	M1E2 (mg/L)	%I
CADMIO	0.02	0.01	<b>50</b>
NÌQUEL	0.07	0.03	<b>57</b>
PLOMO	0.09	0.08	<b>11.1</b>
ZINC	0.09	0.04	<b>55.6</b>
Metales	Concentración M1 (mg/L)	M1E3 (mg/L)	%I
CADMIO	0.02	0.02	<b>25</b>
NÌQUEL	0.07	0.02	<b>76.9</b>
PLOMO	0.09	0.01	<b>84.4</b>
ZINC	0.09	0.08	<b>11.1</b>

**Elaborado por:** Guañuna (2016).

**Tabla 24.1 Datos % de Inertización- M2**

<b>Metales</b>	<b>Concentración M2 (mg/L)</b>	<b>M2E1 (mg/L)</b>	<b>%I</b>
CADMIO	0.04	0.01	<b>75</b>
NÌQUEL	0.04	0.01	<b>75</b>
PLOMO	0.09	0.06	<b>33.3</b>
ZINC	0.05	0.00	<b>100</b>
<b>Metales</b>	<b>Concentración M2 (mg/L)</b>	<b>M2E2 (mg/L)</b>	<b>%I</b>
CADMIO	0.04	0.01	<b>75</b>
NÌQUEL	0.04	0.03	<b>25</b>
PLOMO	0.09	0.06	<b>33.3</b>
ZINC	0.05	0.04	<b>20</b>
<b>Metales</b>	<b>Concentración M2 (mg/L)</b>	<b>M2E3 (mg/L)</b>	<b>%I</b>
CADMIO	0.04	0.02	<b>50</b>
NÌQUEL	0.04	0.01	<b>75</b>
PLOMO	0.09	0.06	<b>33.3</b>
ZINC	0.05	0.03	<b>40</b>

**Elaborado por:** Guañuna (2016).



### 4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.3.1. Interpretación y comparación de resultados

##### 4.3.1.1 Interpretación de resultados obtenidos en Muestra 1 en Espectrofotometría de Absorción Atómica de cada metal

En los resultados obtenidos de la muestra sin inertizar No.1, se estableció rangos basados en la normativa aplicable, en este caso Acuerdo Ministerial 097 con el fin de determinar tanto la concentración del metal en el residuo como también, capacidad de lixiviarse cada metal analizado en niveles altos, medios y bajos, los cuales se enlistan a continuación:

**Tabla 25. Rango de concentración de los metales vía residuo**

Muestra sin inertizar	Metal	Rango (mg/kg)	Concentración del metal en el residuo
1y2	Cd	$\geq 0,99$	Nivel Alto
		0,89	Nivel medio
		$\leq 0,79$	Nivel bajo
	Hg	$\geq 0,25$	Nivel alto
		0,22	Nivel medio
		$\leq 0,20$	Nivel bajo
	Ni	$\geq 99,01$	Nivel alto
		89,11	Nivel medio
		$\leq 79,21$	Nivel bajos
	Pb	$\geq 9,90$	Nivel alto
		8,91	Nivel medio
		$\leq 7,92$	Nivel bajo
	Zn	$\geq 247,52$	Nivel alto
		222,77	Nivel medio
		$\leq 198,02$	Nivel bajo

**Fuente:** (Ministerio del Ambiente, 2015a).

**Elaborado por:** Guañuna (2016).

**Tabla 26. Rango capacidad de lixiviarse los metales**

Muestra sin inertizar	Metal	Rango (mg/L)	Concentración del metal en el residuo
1y2	Cd	$\geq 0,02$	Nivel Alto
		0,018	Nivel medio
		$\leq 0,016$	Nivel bajo
	Hg	$\geq 0,005$	Nivel alto
		0,0045	Nivel medio
		$\leq 0,004$	Nivel bajo
	Ni	$\geq 2,0$	Nivel alto
		1,80	Nivel medios
		$\leq 1,60$	Nivel bajos
	Pb	$\geq 0,2$	Nivel alto
		0,18	Nivel medio
		$\leq 0,16$	Nivel bajo
Zn	$\geq 5,00$	Nivel alto	
	4,50	Nivel medio	
	$\leq 4,00$	Nivel bajo	

**Fuente:** (Ministerio del Ambiente, 2015a).

**Elaborado por:** Guañuna (2016).

- **CADMIO:**

La concentración más alta se dio en el ensayo vía residuo con 12,45 mg de Cadmio por cada kg del residuo, demostrándose a partir de los datos obtenidos, que la concentración de este metal en el residuo se mantiene en niveles altos. Con respecto a la concentración Vía Lixiviado con 0,02 mg/L los resultados demuestran que la capacidad de lixiviarse de este metal es alta.

- **MERCURIO:**

La concentración en el ensayo vía residuo que se obtuvo fue  $< 0,02$  mg de Mercurio por cada kg del residuo, demostrándose a partir de los datos obtenidos que la concentración de este metal en el residuo es baja. Con respecto a la concentración vía lixiviado los resultados presentaron límites no detectables (ND), es decir el metal tuvo concentraciones inferiores al límite de detección del equipo utilizado, de esta manera la capacidad de lixiviarse es baja en los ensayos realizados.

- **NÍQUEL:**

La concentración más alta se dio en el ensayo vía residuo con 12,50 mg de Níquel por cada kg del residuo, demostrándose a partir de los resultados obtenidos que la concentración de este metal en el residuo se mantiene en niveles bajos. Con respecto a la concentración vía lixiviado con 0,07 mg/L de esta manera los resultados demuestran que la capacidad de lixiviarse de este metal es baja.

- **PLOMO:**

La concentración más alta se dio en el ensayo vía residuo con 237,35 mg de Plomo por cada kg del residuo, demostrándose a partir de los resultados obtenidos que la concentración de este metal en el residuo se mantiene en niveles altos. Con respecto a la concentración vía lixiviado con 0,09 mg/L de esta manera los resultados demuestran que la capacidad de lixiviarse del metal es baja.

- **ZINC:**

La concentración más alta se dio en el ensayo vía Residuo con 13,79 mg de Zinc por cada kg de residuo, demostrándose a partir de los datos obtenidos que la concentración de este metal en el residuo se mantiene en niveles bajos. Con respecto a la concentración vía lixiviado con 0,09 mg/L de esta manera los resultados demuestran que la capacidad de lixiviarse de metal es baja.

#### 4.3.1.2 Interpretación de resultados obtenidos en Muestra 2 en Espectrofotometría de Absorción Atómica de cada metal

En los resultados obtenidos de la muestra sin inertizar No. 2, se estableció rangos basados en la normativa aplicable, en este caso Acuerdo Ministerial 097 con el fin de determinar tanto la concentración del metal en el residuo como también, capacidad de lixiviarse cada metal analizado en niveles altos, medios y bajos, los cuales se enlistan a continuación:

**Tabla 27. Rango de concentración de los metales vía residuo**

Muestra sin inertizar	Metal	Rango (mg/kg)	Concentración del metal en el residuo
1 y 2	Cd	$\geq 0,99$	Nivel Alto
		0,89	Nivel medio
		$\leq 0,79$	Nivel bajo
	Hg	$\geq 0,25$	Nivel alto
		0,22	Nivel medio
		$\leq 0,20$	Nivel bajo
	Ni	$\geq 99,01$	Nivel alto
		89,11	Nivel medios
		$\leq 79,21$	Nivel bajos
	Pb	$\geq 9,90$	Nivel alto
		8,91	Nivel medio
		$\leq 7,92$	Nivel bajo
	Zn	$\geq 247,52$	Nivel alto
		222,77	Nivel medio
		$\leq 198,02$	Nivel bajo

**Fuente:** (Ministerio del Ambiente, 2015a).

**Elaborado por:** Guañuna (2016).

**Tabla 28. Rango capacidad de lixiviarse los metales**

Muestra sin inertizar	Metal	Rango (mg/L)	Concentración del metal en el residuo
1 y 2	Cd	$\geq 0,02$	Nivel Alto
		0,018	Nivel medio
		$\leq 0,016$	Nivel bajo
	Hg	$\geq 0,005$	Nivel alto
		0,0045	Nivel medio
		$\leq 0,004$	Nivel bajo
	Ni	$\geq 2,0$	Nivel alto
		1,80	Nivel medios
		$\leq 1,60$	Nivel bajos
	Pb	$\geq 0,2$	Nivel alto
		0,18	Nivel medio
		$\leq 0,16$	Nivel bajo
	Zn	$\geq 5,00$	Nivel alto
		4,50	Nivel medio
		$\leq 4,00$	Nivel bajo

**Fuente:** (Ministerio del Ambiente, 2015a).

**Elaborado por:** Guañuna (2016).

- **CADMIO:**

La concentración más alta se dio en el ensayo vía residuo con 9,38 mg de Cadmio por cada kg, demostrándose a partir de los datos obtenidos que la concentración de este metal en el residuo se mantiene en niveles altos. Con respecto a la concentración vía lixiviado con 0,04 mg/L de esta manera los resultados demuestran que la capacidad de lixiviarse de este metal es alta.

- **MERCURIO:**

La concentración en el ensayo vía residuo que se obtuvo fue  $< 0,02$  mg de Mercurio por cada kg del residuo, demostrándose a partir de los datos obtenidos que la concentración de este metal en el residuo es baja. Con respecto a la concentración vía lixiviado los resultados presentaron límites no detectables (ND), es decir el metal tuvo concentraciones inferiores al límite de detección del equipo utilizado, de esta manera la capacidad de lixiviarse de este metal es baja en los ensayos realizados.

- **NÍQUEL:**

La concentración más alta se dio en el ensayo vía residuo con 14,07 mg de Níquel por cada kg del residuo, demostrándose a partir de los datos obtenidos que la concentración de este metal en el residuo se mantiene en niveles bajos. Con respecto a la concentración vía lixiviado con 0,04 mg/L de esta manera los resultados demuestran que la capacidad de lixiviarse de este metal es baja.

- **PLOMO:**

La concentración más alta se dio en el ensayo vía residuo con 187,02 mg de Plomo por cada kg del residuo, demostrándose a partir de los resultados obtenidos que la concentración de este metal en el residuo se mantiene en niveles altos. Con respecto a la concentración vía lixiviado con 0,09 mg/L de esta manera los resultados demuestran que la capacidad de lixiviarse de metal es baja.

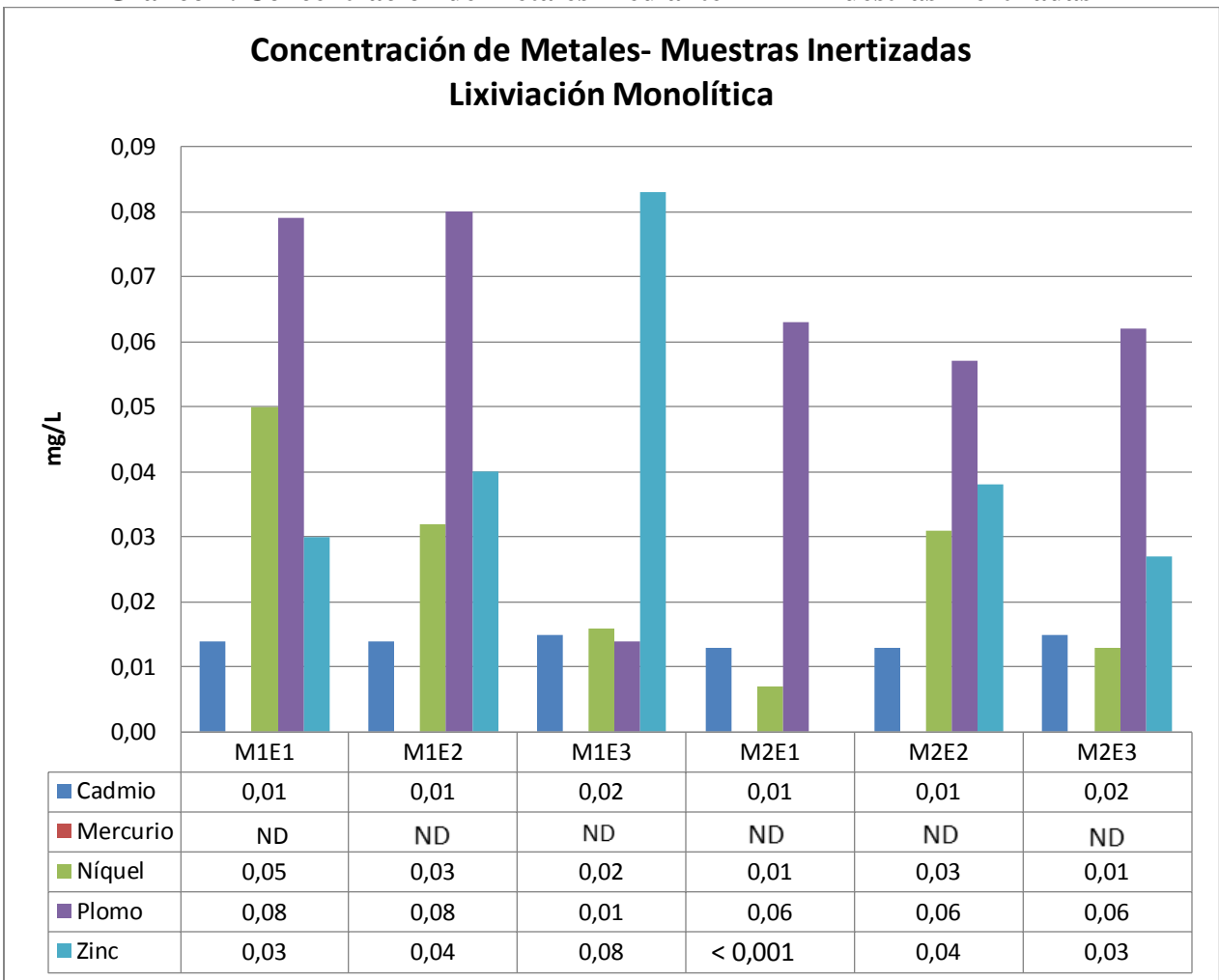
- **ZINC:**

La concentración más alta se dio en el ensayo vía residuo con 8,05 mg de Zinc por cada kg del residuo, demostrándose a partir de los datos obtenidos que la concentración de este metal en el residuo se mantiene en niveles bajos. Con respecto a la concentración vía lixiviado con 0,05 mg/L de esta manera los resultados demuestran que la capacidad de lixiviarse de metal es baja.

#### 4.3.1.3. Interpretación de resultados obtenidos en Muestras inertizadas en Espectrofotometría de Absorción Atómica de cada metal

Las muestras inertizadas como se explicó anteriormente fueron sometidas al proceso de lixiviación monolítica, los resultados obtenidos referentes a la concentración de cada uno de metales analizados se detalla a continuación en el siguiente gráfico:

**Gráfico 7. Concentración de Metales Mediante EAA- Muestras Inertizadas**



Realizado por: Guañuna (2016). 7

En los resultados obtenidos de las muestras inertizadas, se estableció rangos basados en la normativa aplicable, en este caso Acuerdo Ministerial 097 con el fin de determinar la capacidad de lixiviarse cada metal analizado; en nivel alto, medio y bajo, los cuales se enlistan a continuación:

**Tabla 29. Rango capacidad de lixiviarse los metales**

<b>Metal</b>	<b>Rango (mg/L)</b>	<b>Concentración del metal en el residuo</b>
Cd	$\geq 0,02$	Nivel Alto
	0,018	Nivel medio
	$\leq 0,016$	Nivel bajo
Ni	$\geq 2,0$	Nivel alto
	1,80	Nivel medios
	$\leq 1,60$	Nivel bajos
Pb	$\geq 0,2$	Nivel alto
	0,18	Nivel medio
	$\leq 0,16$	Nivel bajo
Zn	$\geq 5,00$	Nivel alto
	4,50	Nivel medio
	$\leq 4,00$	Nivel bajo

Realizado por: Guañuna (2016). 8

Durante el la lectura de metales mediante el espectrofotómetro de absorción atómica, el Mercurio tanto para los muestras inertizadas correspondientes a la muestra sin inertizar 1 y 2 sus resultados presentaron limites no detectables (ND), es decir el metal tuvo concentraciones inferiores al límite de detección del equipo utilizado, de esta manera la capacidad de lixiviarse de este metal es baja. En los resultados obtenidos, se observó concentraciones altas referente al Zinc dentro del rango ( $< 0,001$  a  $0,08$ ) mg/L, los resultados obtenidos demuestran que la capacidad de lixiviarse este metal es media.

De igual manera se presentó altos niveles de concentración de Plomo en las muestras inertizadas en un rango de ( $0,01$  a  $0,08$ ) mg/L, es decir la capacidad de lixiviarse este metal es media.

Los resultados obtenidos correspondientes a las muestras inertizadas, se observó concentraciones bajas referente al Cadmio dentro del rango ( $0,01$  a  $0,02$ ) mg/L, los resultados obtenidos demuestran que la capacidad de lixiviarse este metal es alta.



Los resultados obtenidos correspondientes a los muestras inertizadas referentes al Níquel demuestran valores en un rango (0,01 a 0,05) mg/L, es decir la capacidad de lixiviarse de este metal es baja.

#### **4.3.2. Interpretación de los resultados obtenidos del Porcentaje de inertización**

Se realizó el cálculo del porcentaje de inertización para la concentración de los metales analizados, correspondientes a cada una de las muestras inertizadas, los resultados demostraron que el mayor porcentaje referente al Plomo corresponde a M1E3 con 84,4% inertizado y 15,6% solubilización, el cual está compuesto por 2400 g de aglomerante y 800 residuo sólido (relave minero) en proporción 3:1, por el contrario un mínimo porcentaje de 11.1 % inertizado y 88.9 % de solubilización, el cual corresponde a M1E1 (proporción 3:4:12) y M1E2 (proporción 3:12:4), los cuales están compuestos por aglomerante, agregado fino y residuo sólido.

En cuanto al Zinc, el mayor porcentaje corresponde a M2E1 (proporción 3:4:12) con 100% inertizado sin presentar solubilización, el cual está compuesto por aglomerante, agregado fino y residuo sólido, por el contrario un valor mínimo de porcentaje corresponde a M1E3 (proporción 3:1) con 11,1 % de inertización y 88,9% de solubilización el cual está compuesto por aglomerante y residuo sólido.

En el Níquel los resultados demostraron que el valor máximo corresponde a M1E3 (proporción 3:1) con 76,9% inertizado y 23,1% de solubilización, el cual está compuesto por aglomerante y residuo sólido, por el contrario M2E2 (proporción 3:12:4) con 25% inertizado y 75% de solubilización compuesto por aglomerante, agregado fino y residuo sólido, el cual corresponde al porcentaje mínimo de inertización obtenido.

Los resultados demostraron que el valor máximo referente al Cadmio corresponde a M2E1 (proporción 3:4:12) y M2E2 (proporción 3:12:4) con 75% inertizado y 25% de solubilización, ambos compuestos por aglomerante, agregado fino y residuo sólido. El valor mínimo corresponde a M1E3 (proporción 3:1) con 25% inertizado y 75% de solubilización.

En cuanto al Mercurio no se realizó el porcentaje de inertización debido a que los resultados obtenidos presentaron límites No Detectables, es decir la concentración de este metal es inferior al límite de detección del equipo, por lo que se puede decir que el porcentaje de inertización se acerca a 100%.

En lo que refiere a la mezcla aglomerante y residuo sólido (proporción 3:1), los porcentajes máximos obtenidos correspondientes a los metales analizados (Cd, Ni, Pb, Zn) corresponde a M2E3, el cual obtuvo la mayor cantidad de porcentajes de inertización altos.

#### **4.3.3. Comparación de la concentración de cada metal en Muestras Inertizadas**

Durante la lectura de las concentraciones de metales correspondientes al extracto TCLP monolítico correspondiente a los ensayos, los resultados demostraron que la concentración del Mercurio presentó (ND) límites no detectables, es decir la concentración de este metal es muy baja referente a los límites de detención del equipo utilizado. Por otro lado en todos los ensayos la concentración más alta presentó el Plomo con un valor máximo de 0,08 mg/L correspondiente al M1E1 y M1E2, como también el valor mínimo de 0,01 mg/L perteneciente a M1E3.

En cuanto el Zinc, presenta concentraciones medias con un valor máximo de 0,08 mg/L perteneciente a M1E3 y un valor mínimo de 0,00 mg/L perteneciente a M2E1.

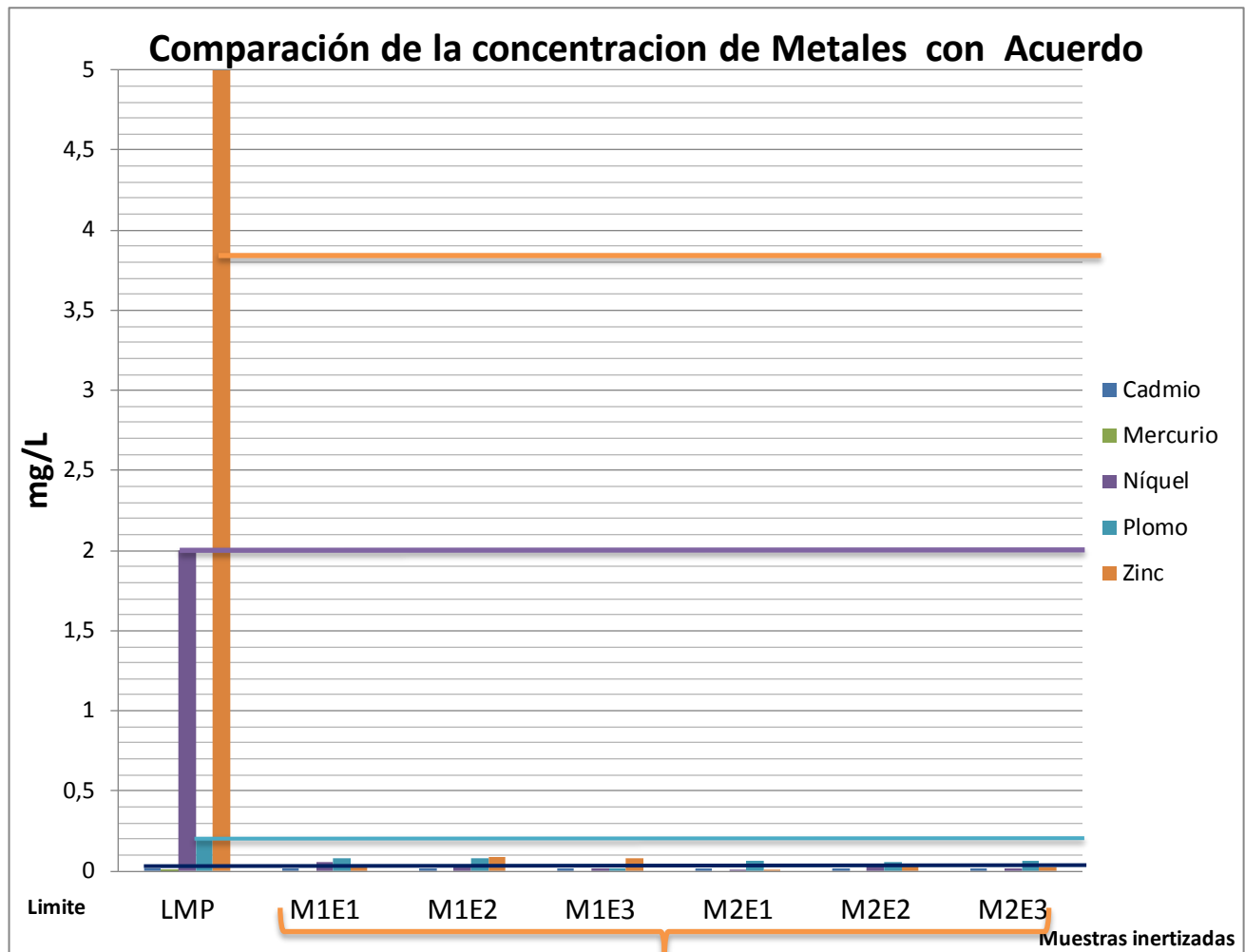
La concentración de metal más baja obtenida corresponde al Cadmio en un rango de (0,01 a 0,02) mg/L, con un valor máximo obtenido de 0,02 mg/L correspondiente a M1E3 y M2E3, un valor mínimo de 0,01 mg/L correspondiente a M1E1, M1E2, M2E1 y M2E2.

El ensayo que obtuvo las más bajas concentraciones referentes a todos los metales analizados (Cd, Hg, Ni, Pb, Zn) es M2E1 obteniendo la mayoría de valores mínimos de concentración referentes a los metales analizados, por lo cual es el mejor para el objetivo del trabajo.

#### 4.3.4. Comparación de la concentración de cada metal en Muestras Inertizadas respecto al Marco legal aplicable (límites permisibles), Acuerdo Ministerial 097

Se pudo apreciar la concentración de metales de cada muestra inertizada, dichos valores han sido comparados con la normativa aplicable en este caso con el Acuerdo Ministerial 097 publicado el 4 de Noviembre del 2015, el cual en su Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes recurso agua: Establece los valores máximos permitidos para los parámetros en base a los ensayos de lixiviación para descargas a un cuerpo de agua dulce, en la gráfico 8 se enlistan:

**Gráfico 8. Comparación de la concentración de metales - Muestras Inertizadas con los LMP**



Realizado por: Guañuna (2016). 9

- **CADMIO:**

A través del método de lixiviación monolítica se apreció que la concentración correspondiente a las muestras inertizadas cumple con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por el presente cuerpo legal, que es de 0,02 mg/L, el valor máximo obtenido 0,02 mg/L correspondiente al M1E3 y M2E3 se encuentran en el límite de la normativa.

- **MERCURIO:**

A través del método de lixiviación monolítica se apreció que la concentración correspondiente a las muestras inertizadas cumple con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por el presente cuerpo legal, que es de 0,005 mg/L, debido a que los resultados obtenidos en la lectura de metales EAA no fueron detectables, es decir los valores obtenidos fueron menores a los límites de detección del equipo utilizado.

- **NÍQUEL:**

A través del método de lixiviación monolítica se apreció que la concentración correspondiente a las muestras inertizadas cumple con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por el presente cuerpo legal, que es de 2,0 Mg/L, el valor máximo obtenido 0,05 mg/L correspondiente al M1E1 el cual cumple con la normativa.

- **PLOMO:**

A través del método de lixiviación monolítica se apreció que la concentración correspondiente a las muestras inertizadas cumple con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por el presente cuerpo legal, que es de 0,2 mg/L, el valor máximo obtenido es de 0,08 mg/L correspondiente al M1E1 el cual cumple con la normativa.

- **ZINC:**

A través del método lixiviación monolítica se apreció que la concentración correspondiente a las muestras inertizadas cumple con los Límites Máximos Permisibles (LPM) establecidos por el presente cuerpo legal, que es de 5,0 mg/L, el valor máximo obtenido es 0,08 mg/L correspondiente al M1E3, el cual cumple con la normativa.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- Durante el desarrollo del presente trabajo de investigación se cumplió con los objetivos, general y específicos, en tanto el método seleccionado para solidificar relaves mineros con cemento Portland Puzolánico, dio un eficiente aprovechamiento del residuo con concentraciones mínimas de metales analizados.
- Mediante los métodos seleccionados para el análisis de la concentración y la capacidad de lixiviar de los metales pesados presentes en los relaves mineros, fue posible su análisis y determinación.
- Finalmente, la investigación terminada proporciona información para futuros estudios sobre el proceso de solidificación con cemento Portland de relaves mineros como una opción válida para la disposición final de este tipo de residuos.
- Se confirmó durante el periodo de desarrollo de la investigación como una opción válida el proceso de solidificación para relaves mineros como tratamiento que reduce el porcentaje de volumen de residuos y los encapsula en una matriz monolítica.
- El tema del manejo adecuado de los residuos en general es complejo y difícil de solucionar, es importante que la implementación de nuevos métodos de gestión reduzca el volumen de residuos generados y los impactos que estos representan, tanto en el ambiente como a la salud de los habitantes. Para poder llevar a cabo este fin, es necesaria la implementación de una gestión adecuada de residuos, la cual englobe la parte científica y práctica del manejo de residuos desde el punto de vista social, ambiental, política, económica.
- Se concluyó durante el desarrollo de la investigación que, el tamaño de la muestra debe ser mayor para posteriores investigaciones, con el fin de disponer adecuadamente del volumen total de la muestra para realizar su aprovechamiento sin tener inconvenientes en la composición para obtener el número adecuado de ensayos.
- En cuanto a la metodología seleccionada para la elaboración de morteros (muestras inertizadas) con respecto a las proporciones, el volumen de las muestras sometidas al proceso de solidificación fue muy escaso para obtener las proporciones necesarias para la

[Ir al índice](#)

elaboración del número de morteros necesarios para ser sometidos tanto a ensayos de lixiviación monolítica como a pruebas de resistencia.

- Con respecto a la metodología escogida para la elaboración de moldes testigo de acuerdo con sus dimensiones (20 x 20) cm, puede ser variable en función del volumen de las muestras a ser solidificadas.
- La metodología utilizada por el Ing. Oviedo Esteban, en su investigación anterior, fue adecuada, ya que no es complicada ni requiere mayores recursos físicos, por lo cual es eficiente aplicarla, de manera que facilitó el conocimiento y práctica del proceso de solidificación, el cual puede ser aplicado para posteriores investigación con el fin de obtener un nuevo ámbito de aprovechamiento.
- Respecto al ensayo TCLP y lixiviación monolítica, en el cual estos métodos simulan características ácidas de un medio para que los elementos capaces de lixiviar en determinadas condiciones lo hagan, de esta manera se asegura ser un método aplicable para conocer la capacidad de los metales a lixiviar de una matriz sólida.
- Es importante señalar que no se pudo realizar la prueba de resistencia, dado que el número de ensayos fue muy pequeño y estos a su vez fueron sometidos al ensayo de lixiviación monolítica, de esta manera las muestras inertizadas perdieron sus propiedades de resistencia al ser suspendidos en un medio ácido.
- En el presente estudio solo se realizó análisis químico, debido a la escasez de muestras sin inertizar, de esta manera los morteros elaborados presentan cierta resistencia física, para nuevas investigaciones se debe realizar pruebas de fraguado para su posterior aprovechamiento en la elaboración de jardines miniatura inertizados.
- El análisis en el Espectrofotómetro de Absorción atómica, comprobó ser un método eficaz para medir las concentraciones de metales pesados presentes en los residuos proporcionando resultados satisfactorios para su análisis y comparación.
- Para el presente trabajo se analizaron cinco metales, debido a que el Mercurio no fue posible de analizar con el EAA de llama, se lo analizo mediante Hidruros presentando resultados válidos; por otro lado Plomo y Níquel, Zinc fueron analizados en el Horno de Grafito, en tanto, Cadmio y Zinc, se analizaron mediante el Espectrofotómetro de Absorción Atómica de Llama. Esto se debe a que la Facultad de Ciencias Ambientales y Naturales cuenta con lámparas y equipos correspondientes para el análisis de estos metales.

- A través de las metodologías ejecutadas en la presente investigación, se pudo obtener resultados que expresan que la concentración de metales pesados es relativamente baja en lo que refiere al Mercurio, Níquel, y, a diferencia del Cadmio, Plomo y al Zinc lo cuales si presentan una concentración notoria pero no sobrepasa los límites máximos permisibles, lo que expresa que el proceso de solidificación con cemento Portland Puzolánico IP como aglomerante es un tratamiento eficiente para relaves mineros.
- La concentración de Plomo en las muestras inertizadas es alta en comparación con los otros metales, esto se debe a que en la muestra sin inertizar antes del proceso de solidificación contenía niveles altos de este metal, al momento de realizar el proceso de solidificación, se obtuvo como resultado una retención significativa en el seno de la matriz concreta con una concentración menor a la inicial.
- Los metales con mayor presencia fueron Níquel, Zinc y Plomo, Vía Residuo (realizado en muestras sin inertizar) y Vía Lixiviación Monolítica (realizado en muestras inertizadas).
- Es importante señalar que para poder emplear cualquier tratamiento para un manejo integral de los residuos, es necesario conocer su cantidad, calidad y composición son aptas para la aplicación de cualquier tipo de tecnología de tratamiento y aprovechamiento de residuos.
- En base al Acuerdo Ministerial 097 como normativa aplicable y vigente, se tomó como guía para establecer una comparación entre las concentraciones obtenidas en las muestras inertizadas y los Límites Máximos Permisibles aplicables y vigentes, los resultados demostraron que las muestras cumplen con la normativa.
- En el caso de la mezcla aglomerante- agregado fino- residuo, el ensayo que presentó mayores porcentajes de inertización fue el M2E1, arrojando resultados de concentración de metales pesados relativamente bajos, por lo tanto la proporción 3:4:12 es eficiente en el proceso de solidificación.
- El proceso de solidificación de residuos es un método beneficioso desde el punto de vista que se reduce el porcentaje de residuos tóxicos, se retiene metales pesados usando un aglomerante (Cemento Portland Puzolánico IP), estabilidad del aglomerante a largo plazo, alta resistencia a la biodegradación, poca permeabilidad, bajos costos de producción, se reduce la necesidad de buscar nuevos espacios para utilizarlos como rellenos con la amplia

posibilidad de comercialización como un nuevo producto y ninguna toxicidad de los materiales usados.

- Es importante señalar que el tratamiento seleccionado (solidificación de relaves mineros) en todas las muestras inertizadas se obtuvo resultados satisfactorios sin ninguna excepción, obteniendo concentraciones finales de metales pesados inferiores a las obtenidas en las muestras sin inertizar, la mejor mezcla obtenida es 2400g de aglomerante, 600g de agregado fino y 200g de residuo sólido (proporción 3:4:12).

## 5.2. RECOMENDACIONES

- El presente trabajo da una pauta para una nueva línea de investigación dentro de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales de la Universidad Internacional SEK, en sentido del aprovechamiento de los relaves (residuos tóxicos y peligrosos) generados por la industria minera, proporcionando un manejo adecuado de los residuos teniendo en cuenta criterios sociales, ambientales y económicos, antes tomados en cuenta como entes separados.
- Es importante señalar que los resultados obtenidos en la presente investigación deben ser utilizados para generar políticas e implementar nuevas tecnologías eficientes, que prevean varias formas de gestión y aprovechamiento de los residuos.
- Debido a la gran cantidad de residuos generados se debe impulsar el aprovechamiento del potencial de los mismos mediante charlas, capacitaciones, talleres con el fin de lograr una mejor concienciación en el tema de residuos.
- Desde el punto de vista ambiental, los residuos generados por las diferentes industrias deben ser orientados a un aprovechamiento dirigido hacia la obtención de un nuevo producto, el cual tendrá muchos beneficios.
- Para nuevas investigaciones del mismo tipo de residuo es necesario contar con un mayor número y volumen de muestras para poder obtener el número necesario de ensayos para ser sometidos tanto a ensayos de lixiviación como pruebas de resistencia.
- Se resalta también, la posibilidad de tener acceso a las investigaciones anteriores realizadas sobre el tema de solidificación con el objetivo que estas sean tomadas como referencia y levantamiento de información bibliográfica para el desarrollo de nuevos estudios.
- En lo referente al trabajo realizado en laboratorio, se recomienda una mejor planificación en cuanto a tiempo del desarrollo del análisis de lectura de metales en el Espectrofotómetro de



Absorción Atómica, o tener en cuenta como una opción la adquisición de otro equipo, con el objetivo de evitar el retraso del análisis de un número muestras.

- Evaluar la resistencia de los morteros, con el fin de constatar la aplicabilidad en jardines miniatura, para nuevas investigaciones.
- En un futuro es aconsejable muestrear una mayor cantidad de puntos de relaves mineros de esta manera se obtendrán resultados más eficientes y representativos, es también aconsejable se analice (As, Sb, CN<sup>-</sup>, S), que no se analizaron en la presente investigación.
- Es importante la creación de más cuerpos legales con el fin de obtener una mayor cantidad de información acerca del tratamiento adecuado y límites permisibles para relaves generados por la actividad minera.
- Para posteriores investigaciones es recomendable la aplicación del proceso de solidificación con cemento Portland Puzolánico IP, para la inertización de relaves mineros.

## CAPÍTULO VI

### 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agenda 21 (OPS/OMS). (1992). Agenda 21. *Conferencia de Las Naciones Unidas Sobre El Medio Ambiente Y El Desarrollo*, 475. Retrieved from <http://bd.camara.gov.br/bd/handle/bdcamara/7706>
- Alianza Mundial de Derecho Ambiental (ELAW). (2010). *Guía para Evaluar EIAs de Proyectos Mineros*. USA. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Asamblea Nacional. (2009a). Decreto Ejecutivo 119. In *REGLAMENTO GENERAL A LA LEY DE MINERIA* (Vol. 53, pp. 1689–1699). Ecuador. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Asamblea Nacional. (2009b). Decreto Ejecutivo 121. In *Reglamento Ambiental De Las Actividades Mineras* (Vol. 53, pp. 1689–1699). Ecuador. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Asamblea Nacional. (2013). ORDM 0404 - MEDIO AMBIENTE-ORD. 213-REFORMATORIA.pdf. In *Ordenanza Metropolitana Reformatoria De La Ordenanza Metropolitana No. 213*. Ecuador.
- Asamblea Nacional (Comisión Leslativa /Fiscalización). (2009). Ley 45. In *Ley Minera* (Vol. 53, pp. 1689–1699). Ecuador. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- August; Bonmatí, X. G. (2008). Capítulo 7: Conceptos Generales Sobre Residuos. *Evaluación Y Prevención de Riesgos Ambientales En Centroamérica*, 207–213.
- Barra, M., Aponte, D., & Valls, S. (2011). *MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN*.
- Barroso, J. (2002). Test de Lixiviación. In *Sistemas de Lixiviación* (pp. 1–38).
- Bianchi, D. M. E. V., Borda, D. G., Young, D. M., & Espinoza, D. (2015). *Espectrosocpia Atómica. Analisis Instrumental*.
- Botasso, G., Rivera, J., & Fensel, E. (2002). Utilización de residuos industriales en la obra vial, experiencias del LEMaC. *Seminario Panamericano Vial Ambiental, 124*, 1–19. Retrieved from [http://lemac.frlp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2011/12/2002\\_Residuos\\_SEPAVIAM.pdf](http://lemac.frlp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2011/12/2002_Residuos_SEPAVIAM.pdf)
- Castells, X. (2012). *Tecnologías Aplicables al Tratamiento de Residuos.pdf*. (Díaz de Santos, Ed.). Madrid.
- CEMEX Concretos. (2013). Manual del constructor. *Manual Del Constructor*, 203. <http://doi.org/10.4067/S0071-17132000003500023>
- Centro de Investigación de Planificación del Medio Ambiente / Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo de Iniciativa de Investigación de Políticas Mineras. (2002). *Minería, Minerales y Desarrollo Sustentable en América del Sur*.
- Codina, R. (2015). Morteros. In Editorial Brujas. (Ed.), *Construir Tambien es Diseñar* (p. 2,3,4,8). Argentina.
- Colombia ( Ministerio de Ambiente/ Vivienda /Desarrollo Territorial/Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible /Organización de Control Ambiental y Desarrollo Empresarial

- OCADE. (2007). *Gestión integral de residuos o desechos peligrosos*. República de Colombia. Retrieved from [https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/sustancias\\_químicas\\_y\\_residuos\\_peligrosos/gestion\\_integral\\_respel\\_bases\\_conceptuales.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/sustancias_químicas_y_residuos_peligrosos/gestion_integral_respel_bases_conceptuales.pdf)
- Colombia Ministerio de Minas y Energía. (2003). *Glosario Técnico Minero*. Bogotá. Retrieved from <https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/glosariominero.pdf>
- Congreso Nacional (Comisión de Legislación /Codificación). (2004). LEY DE GESTION AMBIENTAL, CODIFICACION. In *CODIFICACION DE LA LEY DE GESTION AMBIENTAL* (Vol. 53, pp. 1689–1699). Ecuador. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Coral, K. (2013). *Tratamiento de Residuos Sólidos*. (U. I. SEK, Ed.). Quito- Ecuador.
- DMQ, C. M. (2012). *RESOLUCIÓN N° 0002-DMA-2008*. *Journal of Chemical Information and Modeling* (Primera Ed, Vol. 53). Quito. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Doc. Cárdenas, M. (2008). *TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TITULO DE DIPLOMADO SUPERIOR EN DERECHO CONSTITUCIONAL Y DERECHOS FUNDAMENTALES*. UNIVERSIDAD DE CUENCA. Retrieved from <http://cdjbv.ucuenca.edu.ec/ebooks/td4110.pdf>
- Dr. Calleja, J. (2010). Cementos puzolánicos \*. In C. S. de I. Científicas (Ed.), *Cementos puzolánicos* (pp. 23–36). España.
- Dr. Jiménez, S. (2011). *Cementos y hormigones preparados a partir de residuos vítreos urbanos e industriales*. *Artículo Técnico, Materiales de construcción*. Retrieved from <http://blog.construmatica.com/cementos-y-hormigones-preparados-a-partir-de-residuos-vitreos-urbanos-e-industriales/>
- Eckhardt, K., & Gironde, A. y O. (2009). *Empresas mineras y población: estrategias de comunicación y relacionamiento*. (E. Ediciones, Ed.) *Atención Primaria* (Vol. 34). Peú. <http://doi.org/10.1157/13068212>
- ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY. (1992). Método 1311. TOXICITY CHARACTERISTIC LEACHING PROCEDURE. Retrieved from <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/1311.pdf>
- Fuentes, X. (2008). “*Modelamiento de da Respuesta Mecánica Del Cemento Puzolánico Mediante la Adición de Zeolita Tipo I y Curado al Aire.*” ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL.
- Gabalec, A. (2008). “*Tiempo De Fraguado Del Hormigón*. Universidad Tecnológica Nacional “ Facultad Regional La PLata.”
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2009). *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 155:2009* (Vol. 2506). Quito- Ecuador.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010a). *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 518:2010* (Vol. 1373).
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010b). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 536:2010* (Vol. 1373). Quito.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (LIMA - PERÚ). (2015). *Perú : Anuario de*

- Estadísticas Ambientales*. (Oficina de Impresiones del Instituto Nacional de Estadística e Informática, Ed.). Lima- Perú. Retrieved from [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1197/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1197/libro.pdf)
- International Institute for Environment and Development MMSD. (2003). Minería , Minerales y Medio Ambiente. Capítulo 10. (pp. 322, 323,324,325,326). Retrieved from <http://pubs.iied.org/pdfs/G00684.pdf>
- Lara-Díaz, R. A., & Melgoza-Alemán, R. M. (2009). Solidificación-estabilización de cromo, níquel y plomo en una matriz salida de hormigon fabricada con cemento Portland. *Informacion Tecnologica*, 20(1), 29–38. <http://doi.org/10.1612/inf.tecnol.4029it.08>
- M.Sc. Guañuna, F. (2016). *Actividad Minera*. Quito- Ecuador: Guañuna, Estefania.
- Manahan, S. E. (2007). *Introducción a la Química Ambiental*. (Editorial REVERTÉ S.A, Ed.) (Primera ed). México D.F. Retrieved from [https://books.google.com.ec/books?id=5NR8Dik1n68C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=true](https://books.google.com.ec/books?id=5NR8Dik1n68C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=true)
- Mendoza, M. (2015). Fundación Regional de Asesoría en Derechos Humanos.
- México Agencia Iberoamericana para la Difusión de la Ciencia y Tecnología DCYT. (2010). Procesamiento de Residuos Peligrosos. Retrieved May 10, 2016, from <http://www.dicyt.com/noticias/procesamiento-de-residuos-peligrosos-por-vitrificacion>
- Ministerio del Ambiente. (2015a). Acuerdo Ministerial No. 097. In *Reforma al Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua*. (pp. 1–184). Ecuador.
- Ministerio del Ambiente. (2015b). Acuerdo No. 061 Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria. In *Acuerdo No. 061* (p. 80). Ecuador.
- Montalvo, P. (2015). *Plan de Investigación de Fin de Carrera : “Determinación De La Concentración De Metales Pesados de Las Cenizas Obtenidas en el Proceso de Incineración de Los Residuos Sólidos Urbanos de La Reserva Biológica Limoncocha, Vía Residuo y Vía Lixiviado.”* Universidad Internacional SEK.
- Morcillo, J. (2002). EcuREd. Retrieved April 16, 2016, from [http://www.ecured.cu/Agua\\_regia](http://www.ecured.cu/Agua_regia)
- Ortiz López, C. D. R. (2009). *Estudio De Solidificación De Pilas Y Baterías De Uso Doméstico Mediante La Técnica De Macroencapsulación*.
- Oviedo, E. (2000). *Inertización de las cenizas provenientes de un incinerador EMPRESA OXY como reemplazo a los agregados finos del Cemento Portland Puzolánico*. Universidad Internacional SEK.
- Oyarzun, R. (2009). El Geólogo en la Exploración y Explotación Minera. *La Profesión de Geólogo*, 95–114.
- Paria, S., & Yuet, P. . (2006). *Solidification- Stabilization of Organic and Inorganic Contaminants Usind Portland Cement*.
- PerkinElmer. (2011). Mhs-15 Mercury / Hydride System. *Atomic Absorption*, 2. Retrieved from [www.perkinelmer.com](http://www.perkinelmer.com)

- PNUMA. (1992). *Convenio de Basilea. CONVENIO DE BASIELA Sobre El Control De Los Movimientos Transfronterizos De Los Desechos Peligrosos Y Su Eliminación*. Retrieved from [http://europa.eu/legislation\\_summaries/environment/waste\\_management/128043\\_es.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/environment/waste_management/128043_es.htm)
- Polanco, A. J. M., & Marquínez, J. S. (2011). *Morteros y hormigones. Mortero Y Hromigons*. Cantabria.
- Rivera, G. (2006a). Aditivos Para Mortero Y Concreto. In *Concreto Simple* (pp. 231–255).
- Rivera, G. (2006b). Capítulo 10. Proporciones en Volumen Suelto. In *Concreto Simple* (pp. 219–229).
- Romero Esquivel, L. G., & Vargas Camareno, M. (2009). Informe final: desarrollo de la tecnología de inmovilización: estabilización / solidificación de desechos peligrosos. *Tecnología En Marcha*, 22(2), 79–90.
- Rosa, D., Ramírez, M., Camperos, M. I. E. R., Elisa, M. I. A., & Martínez, S. (2006).  
Presidente : Secretario : Vocal : Dra . Blanca Jiménez Cisneros Dra . Gabriela Mantilla Morales.
- Ruiz de Almodóvar, G. P. L. (1999). Recursos Minerales. *La Provincia de Castellón*, 41–48.
- Sánchez, E. (2005). *Manejo De Residuos Solidos En Minería*. São Paulo.
- Sanmartín, A. (2014). *RECOLECCION DE MUESTRAS PARA LA REALIZACION DE LOS ENSAYOS CORRESPONDIENTES PROYECTO: Diseño geometalúrgico de los distritos mineros Chinapintza y Nambija*. Loja.
- SERNAGEOMIN, C. (2003). *Guía de Buenas Prácticas Ambientales para la Pequeña Minería*. Chile.

## Capítulo VII

### 7. ANEXOS

#### Fotografías tomadas durante el proceso de solidificación

MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DE MORTEROS Y MOLDES



Cemento Portland Puzolánico. Tipo: IP  
50 Kg. Holcim



Acelerante.  
Plastocrete 161 HE



Aceite quemado de motor



Moldes de aluminio



Clavos y bisagras








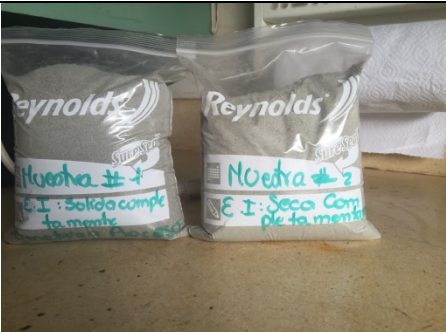

Tubos para la division del espacio para las plantas del jardín





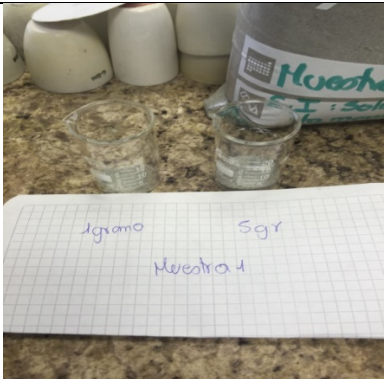


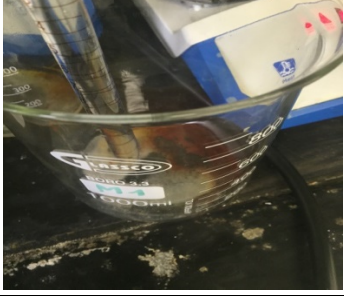
Tabla Triplex 2,40m x 1,20m  
Espesor: 9 mm


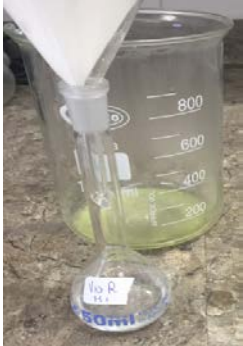



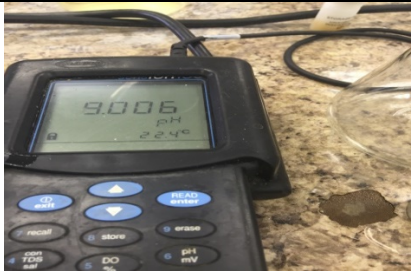



Tubos de 1pulg, para los orificios del desfogue de agua


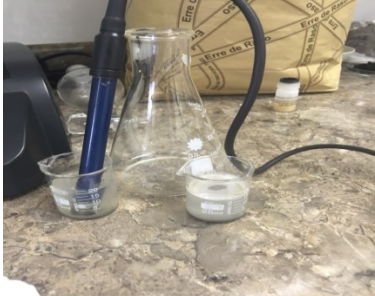



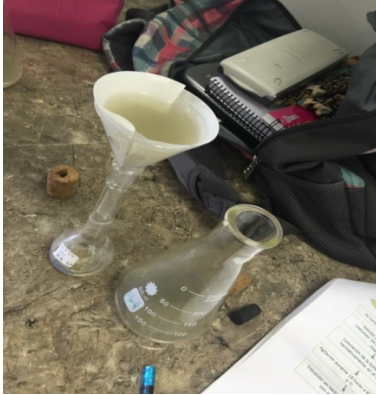
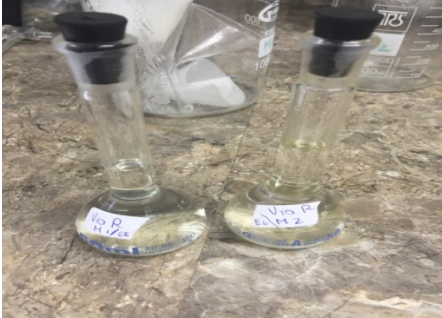
<p>FASE DE CAMPO</p>	
	
<p>Almacenamiento de muestras antes de la recepción</p>	<p>Proceso de sacado muestra #1</p>
	
<p>Proceso de secado muestra #2</p>	<p>Almacenamiento de las muestras 1 y 2</p>
	
<p>Almacenamiento de muestras posterior al proceso de secado</p>	<p>Peso total de las muestras 1 y 2 antes de Ensayo Vía Residuo y Vía lixiviado</p>



<p align="center"><b>Ensayo vía Residuo y lixiviado Ensayos Blanco</b></p>	 <p align="center">1 gr para Ensayo Vía Residuo</p>
 <p align="center">5 g para Ensayo Vía Lixiviado</p>	 <p align="center">Muestras con sus respectivos pesos para cada ensayo</p>
<p align="center"><b>Ensayo vía Residuo</b></p>	 <p align="center">20 mL de agua Regia en la de la Muestra 2</p>
 <p align="center">Se calentó a 130 °C la evaporación completa</p>	 <p align="center">Se agregó 25 mL de Ácido Nítrico al 10%</p>

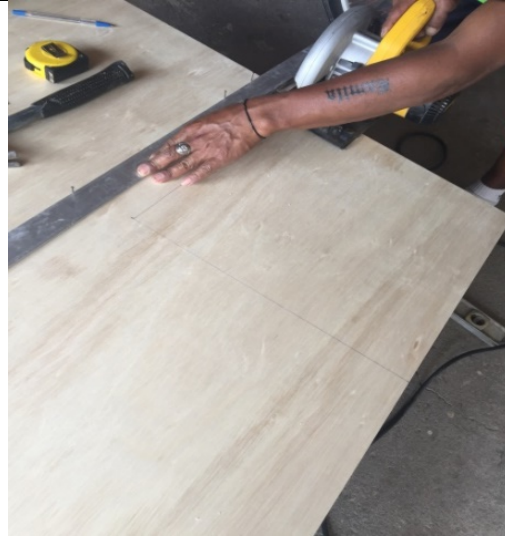
	
<p>Se calentó a 130°C hasta ebullición</p>	<p>Se filtró la solución en un balón aforado de 50 mL, se afora con agua destilada</p>
<p><b>Ensayo vía Lixiviado</b></p>	
	<p>Se dividió los 5 gr en 2,5 gr cada uno</p>
	
<p>20 mL de agua destilada</p>	<p>Agitación vigorosa con agitador magnético durante 2 min</p>
	
<p>Medición y anotación de pH</p>	<p>Se añadió 0,7 mL de HCL al 1,0 N</p>

[Ir al Índice](#)

	
<p>Calentamiento hasta ebullición dejando hervir a fuego lento 2 min</p>	<p>Medición y anotación de pH <math>\text{pH} &gt; 5</math> <b>FLUIDO 1</b></p>
	
<p>Se añade 50 mL de FLUIDO 1 a los 2,5 gr sobrantes de muestras sin inertizar</p>	<p>Proceso de agitación durante 18 horas a 85 rpm</p>
	
	
<p>Filtración en balón del 50 mL rasado con agua destilada</p>	

[Ir al índice](#)

ELABORACIÓN DE MOLDES PARA MORTEROS



Corte del material se acuerdo a las medidas de cada uno de los morteros



Elaboración de molde 30 x 30 cm, espesor 8cm.



Molde Terminado  
 Dimensiones: 30 x 30 cm  
 Espesor: 8cm

Total número de moldes: 7

PROCEDIMIENTO- ENSAYO BLANCO PROCESO Y MEZCLA



Mezcla de materias primas: Cemento y agregado fino



1000 mL de agua



50 mL de aditivo- acelerante



Mezcla en el molde ensayo blanco



Ensayo Blanco terminado

[Ir al índice](#)

PROCEDIMIENTO- MUESTRAS INERTIZADAS PROCESO Y MEZCLA



Dosificación de materias primas para cada ensayo testigo



Mezcla de los materiales en seco



1000 mL de agua



50 mL de aditivo.  
tiempo de mezcla 90 segundos



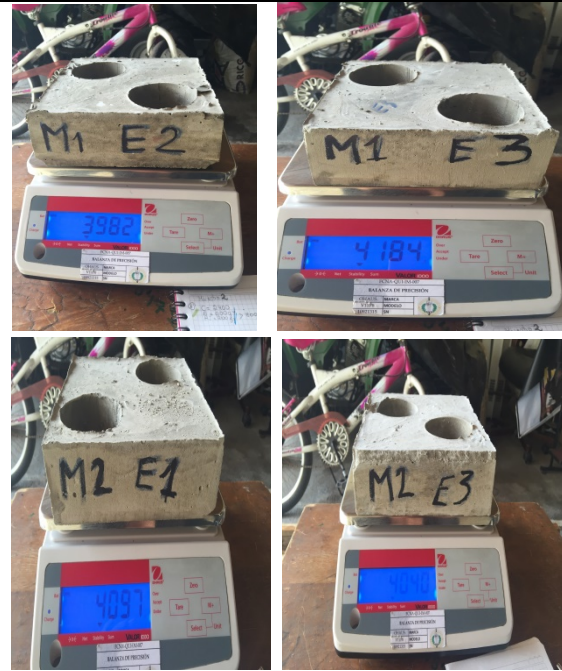
Muestras inertizadas ya fundidos



Muestras Inertizadas terminados

[Ir al índice](#)

# ENSAYO DE LIXIVIACIÓN MONOLÍTICA



Peso de los Muestras



Muestras testigo en el fluido extractante

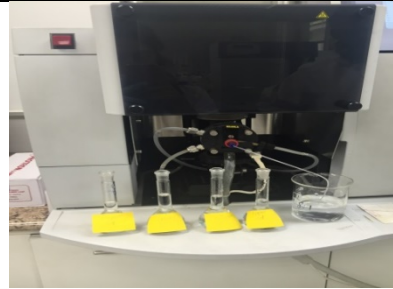


Líquido Extractante muestras inertizadas-  
M1



Líquido extractante muestras inertizadas-  
M2

LECTURA DE METALES  
MEDIANTE EAA



[Ir al índice](#)