



Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos

Naturales no Renovables

Maestría en Minas Mención en Mineralurgia y Metalurgia Extractiva

**VIABILIDAD TÉCNICA PARA LA PRODUCCIÓN DE  
ADOQUINES UTILIZANDO RELAVES MINEROS DE LA CONCESIÓN  
MINERA JOYA DEL ORIENTE II, CÓDIGO 501381, UBICADA EN LA  
PARROQUIA LOS ENCUENTROS, CANTÓN YANTZAZA,  
PROVINCIA ZAMORA CHINCHIPE.**

Trabajo de titulación previo a la  
obtención del título de Magister  
en Minas Mención Mineralurgia  
y Metalurgia Extractiva.

**AUTOR:**

Katy Carina Ordóñez Mendoza

**DIRECTOR:**

Ing. Julio Eduardo Romero Sigcho. Ph. D, Mg. Sc

Loja – Ecuador

2025

## **Certificación**

Loja, 19 de marzo del 2025

Ing. Julio Eduardo Romero Sigcho. Ph. D, Mg. Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **VIABILIDAD TÉCNICA PARA LA PRODUCCIÓN DE ADOQUINES UTILIZANDO RELAVES MINEROS DE LA CONCESIÓN MINERA JOYA DEL ORIENTE II, CÓDIGO 501381, UBICADA EN LA PARROQUIA LOS ENCUENTROS, CANTÓN YANTZAZA, PROVINCIA ZAMORA CHINCHIPE**, previo a la obtención del título de **Magister en Minas, Mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva**, de la auditoría de la estudiante **Katy Carina Ordóñez Mendoza**, con cédula de identidad **Nro. 1900680768**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Ing. Julio Eduardo Romero Sigcho. Ph. D, Mg. Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.**

## **Auditoría**

Yo, **Katy Carina Ordoñez Mendoza**, declaro se autor del presente Trabajo de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido de este. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

### **Firma**

**Fecha:** 19 de marzo del 2025

**Cedula de identidad:** 1900680768

**Correo electrónico:** [katy.ordonez@unl.edu.ec](mailto:katy.ordonez@unl.edu.ec)

**Teléfono:** 0994948019

**Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación**

Yo, **Katy Carina Ordoñez Mendoza**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **VIABILIDAD TÉCNICA PARA LA PRODUCCIÓN DE ADOQUINES UTILIZANDO RELAVES MINEROS DE LA CONCESIÓN MINERA JOYA DEL ORIENTE II, CÓDIGO 501381, UBICADA EN LA PARROQUIA LOS ENCUENTROS, CANTÓN YANTZAZA, PROVINCIA ZAMORA CHINCHIPE**, como requisito para optar por el título de Magíster en Minas, Mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los diecinueve días del mes de marzo del 2025

**Firma:**

**Autor:** Katy Carina Ordoñez Mendoza

**Cédula:** 1900680768

**Dirección:** El Pangui

**Correo electrónico:** katy.ordonez@unl.edu.ec

**Teléfono:** 2310 844

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del trabajo de titulación:** Ing. Julio Eduardo Romero Sigcho. Ph. D, Mg. Sc

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo primeramente a Dios, San Juditas Tadeo y la Virgen del Cisne, por regalarme la vida y fuerzas para seguir adelante y no desmayar ante los problemas que se me presentaron.

A un ser tan especial quien partió de este mundo Francisco Ordoñez, mi pequeño confidente te dedico especialmente a ti, siempre estarás en mi corazón y en cada logro de mi vida.

A mis padres, Bolívar Ordoñez y Carmen Mendoza, quienes me han brindado su apoyo incondicional, amor, confianza a lo largo de mi maestría, a mis hermanos Ismael, Patricio y Jhuliana quienes me brindaron todo su cariño.

***Katy Carina Ordoñez Mendoza***

## **Agradecimiento**

Mi eterna gratitud a todas las personas que con su soporte técnico y humano colaboraron para realizar este trabajo de investigación.

A JOYA DEL ORIENTE NORTE II, gracias por la apertura, en especial al gerente propietario.

Agradezco de manera especial y sincera al Ing. Julio Romero, por su paciencia, disponibilidad y generosidad para compartir su experiencia y amplio conocimiento.

***Katy Carina Ordoñez Mendoza***

## Índice de Contenido

<b>Portada:</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Auditoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de tablas</b> .....	<b>ix</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>x</b>
<b>Índice de anexos</b> .....	<b>xi</b>
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
2.1. Abstract.....	3
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Marco Teórico</b> .....	<b>6</b>
4.1. Relave minero.....	6
4.2. Drenaje ácido de relaves mineros.....	6
4.3. Características de los relaves.....	6
4.4. Propiedades físicas de los relaves mineros.....	7
4.4.1. Granulometría.....	7
4.5. Propiedades mineralógicas de los relaves.....	8
4.5.1. Difracción de rayos X.....	8
4.6. Propiedades químicas de los relaves mineros.....	8
4.6.1. Fluorescencia de rayos X. ....	9
4.6.2. Espectroscopia de plasma acoplado inductivamente ICP. ....	9
4.7. Impactos generados por los relaves mineros .....	10
4.8. Gestión de relaves.....	10
4.9. Depósito de relave. ....	10
4.10. Manejo de relaves .....	11
4.11. Tratamiento de relaves .....	11
4.12. Adoquines .....	12
4.12.1. Normativa INEN 3040 para adoquines. ....	13
4.12.2. Características de los adoquines.....	13
<b>5. Metodología</b> .....	<b>14</b>
5.1. Materiales y Equipos .....	14
5.1.1. Materiales de campo.....	14

5.1.2.	Materiales de laboratorio.....	14
5.1.3.	Materiales de oficina .....	15
5.2.	Área de estudio .....	15
5.2.1.	Ubicación .....	15
5.2.2.	Descripción de la actividad en el área de estudio.....	15
5.3.	Metodología.....	16
5.4.	Muestreo .....	16
5.4.1.	Toma de muestras.....	16
5.4.2.	Homogenización de la muestra para fabricar adoquines.....	17
5.4.3.	Preparación de la muestra para análisis cuantitativos .....	17
5.5.	Metodología para el primer objetivo: .....	17
5.5.1.	Análisis físico de las muestras de relave .....	17
5.5.2.	Análisis químico de las muestras de relave.....	20
5.5.3.	Análisis mineralógicos de las muestras de relave .....	21
5.5.4.	Metodología para el segundo objetivo .....	21
5.5.5.	Metodología para el tercer objetivo: .....	23
<b>6.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>24</b>
6.1.	Datos generales de la Sociedad Joya del Oriente Norte II.....	24
6.2.	Resultados del Primer Objetivo.....	24
6.2.1.	Análisis físico en muestras de relave minero. ....	24
6.2.2.	Análisis químico de las muestras de relave minero. ....	28
6.2.3.	Análisis mineralógico de las muestras de relave minero. ....	31
6.3.	Resultados del Segundo Objetivo.....	32
6.3.1.	Ensayo de compresión.....	32
6.3.2.	Ensayo de tracción indirecta.....	33
6.3.3.	Ensayo de absorción de adoquines.....	34
6.4.	Resultados del tercer Objetivo.....	35
<b>7.</b>	<b>Discusión .....</b>	<b>36</b>
<b>8.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>39</b>
<b>9.</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>40</b>
<b>10.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>41</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>46</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Granulometría de relaves.....	7
<b>Tabla 2.</b> Materiales de campo.....	14
<b>Tabla 3.</b> Materiales de laboratorio.....	14
<b>Tabla 4.</b> Materiales de oficina .....	15
<b>Tabla 5.</b> Muestreo semanal.....	16
<b>Tabla 6.</b> Parámetros de operación en el análisis granulométrico .....	18
<b>Tabla 7.</b> Datos generales de la Sociedad minera Joya del Oriente Norte II .....	24
<b>Tabla 8.</b> Resultado de medición de pH de las muestras de relave.....	24
<b>Tabla 9.</b> Resultado del análisis de densidad en muestras de relave .....	25
<b>Tabla 10.</b> Resultado del análisis de granulometría muestra de relave 1.....	25
<b>Tabla 11.</b> Resultado del análisis de granulometría muestra de relave 2.....	26
<b>Tabla 12.</b> Resultado del análisis granulometría muestra de relave 3 .....	26
<b>Tabla 13.</b> Resultado del análisis granulometría muestra de relave 4 .....	26
<b>Tabla 14.</b> Resultado del análisis de granulometría muestra de relave 5.....	27
<b>Tabla 15.</b> Resultado del análisis granulométrico de la muestra conjunta .....	28
<b>Tabla 16.</b> Resultado del análisis químico de Fluorescencia de rayos x por el método Mining Light Element FP .....	28
<b>Tabla 17.</b> Resultado de la media del análisis químico por fluorescencia de rayos x por el método Mining Light Elements FP .....	29
<b>Tabla 18.</b> Resultado del análisis químico de Fluorescencia de rayos x por el método Soil FP .....	30
<b>Tabla 19.</b> Resultados de la media del análisis de Fluorescencia de rayos x por el método Soil FP .....	30
<b>Tabla 20.</b> Resultados del Análisis químico por Espectroscopia de emisión óptica.....	30
<b>Tabla 21.</b> Resultado del análisis mineralógico por el método de Difracción de rayos X.....	31
<b>Tabla 22.</b> Resultado de la media del análisis mineralógico de las 5 muestras de relave.....	31
<b>Tabla 23.</b> Resultados de Compresión de los adoquines .....	32
<b>Tabla 24.</b> Resultados de tracción indirecta de los adoquines .....	33
<b>Tabla 25.</b> Resultados de absorción de los adoquines .....	34
<b>Tabla 26.</b> Características del adoquín fabricado a base de relave .....	35
<b>Tabla 27.</b> Resumen de resultados de los ensayos mecánicos .....	35

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Tratamiento de relaves.....	12
<b>Figura 2.</b> Ubicación del área Joya del Oriente II.....	15
<b>Figura 3.</b> Procedimiento del análisis granulométrico.....	18
<b>Figura 4.</b> Análisis de densidad en muestras de relave.....	19
<b>Figura 5.</b> Procedimiento de medición de pH en las muestras de relave.....	19
<b>Figura 6.</b> Procedimiento del análisis por Fluorescencia de rayos x .....	20
<b>Figura 7.</b> Diagrama de flujo de la fabricación de los adoquines .....	22
<b>Figura 8.</b> Resultado de la curva granulométrica de las 5 muestras de relave.....	27
<b>Figura 9.</b> Interpretación del análisis químico por fluorescencia de rayos x por el método Mining Light Elements FP .....	29
<b>Figura 10.</b> Interpretación del resultado del análisis mineralógico por Difracción de rayos X .....	32
<b>Figura 11.</b> Resultado de la compresión de adoquines .....	33
<b>Figura 12.</b> Resultados de la tracción indirecta de los adoquines.....	34
<b>Figura 13.</b> Resultado de absorción de los adoquines .....	34

## Índice de anexos

## **1. Título**

**VIABILIDAD TÉCNICA PARA LA PRODUCCIÓN DE ADOQUINES  
UTILIZANDO RELAVES MINEROS DE LA CONCESIÓN MINERA JOYA DEL  
ORIENTE II, CÓDIGO 501381, UBICADA EN LA PARROQUIA LOS  
ENCUENTROS, CANTÓN YANTZAZA, PROVINCIA ZAMORA CHINCHIPE**

## 2. Resumen

Actualmente, el desafío más grande, con un enfoque ambiental, que enfrenta la pequeña y mediana minería es el manejo de relaves debido a su riesgo de contaminación y alteración al ecosistema, estos residuos mineros son almacenados en presas, en las que permanecen indefinidamente.

El presente trabajo investigativo tiene como propósito evaluar la viabilidad técnica para la producción de adoquines utilizando relaves mineros de la concesión minera Joya del Oriente II, Código 501381, se trabajó con 5 muestras de relave, se caracterizó las propiedades físicas, químicas y mineralógicas del relave para determinar sus propiedades como agregado. Las propiedades físicas del relave fueron pH alcalino, una densidad de 2,5 g/cm<sup>3</sup> a 4 g/cm<sup>3</sup>, una granulometría fina debido a un suelo de grano limoso.

La caracterización mineralógica indicó que el mineral predominante es el cuarzo, con composición mineralógica de dióxido de silicio con un 61,62 %; se detectaron minerales en bajos porcentajes como la pirita, calcita, moscovita, plagioclasa.

El análisis de espectroscopía de emisión óptica arrojó plomo, en concentraciones elevadas, esto se debe al yacimiento tipo epitermal de la concesión.

Con los resultados de los análisis realizados a los relaves de la mina Joya de Oriente, se determinó que es posible la fabricación de adoquines, con una dosificación del 40%. Posteriormente al analizar muestras de los adoquines fabricados se obtuvo que estos cumplen con los criterios establecidos con la noma INEN 3040 e INEN 1485, por lo tanto, los adoquines pueden ser utilizados en zonas de tránsito peatonal y zonas de estacionamiento.

**Palabras claves:** relaves mineros, propiedades químicas, adoquines, tracción indirecta, absorción total de agua.

## 2.1. Abstract

Currently, the main challenge faced by small and medium mining companies with an environmental approach is the management of tailings due to the risk of contamination and alteration of the ecosystem, these mining wastes are stored in dams where they remain indefinitely.

The purpose of this research is to evaluate the technical feasibility of producing paving stones using tailings from the Joya del Oriente II mining concession, code 501381. We worked with 5 tailings samples and characterized the physical, chemical and mineralogical properties of the tailings to determine their properties as aggregate. The physical characteristics of the tailings were alkaline pH, a density of 2.5 g/cm<sup>3</sup> to 4 g/cm<sup>3</sup>, a fine grain size due to a silty grained soil.

The mineralogical characterization indicated that the predominant mineral is quartz, with mineralogical composition of silica with 61.62%; these minerals were detected in low percentages such as pyrite, calcite, muscovite, plagioclase.

The optical emission spectroscopy analysis indicated high concentrations of lead, which is due to the epithermal type deposit of the concession.

With the results of the analysis of the tailings from the Joya de Oriente mine, it was determined that it is possible produce paving stones with a dosage of 40%. subsequently, analyzing samples of manufactured paving stones, it was obtained that these compliance with the criteria established by the INEN 3040 and INEN 1485 standards. therefore paving stones can be use in pedestrian transit areas and parking áreas.

**Key words:** mining tailings, chemical properties, paving stones, indirect

### 3. Introducción

Las operaciones mineras dedicadas a la explotación de minerales a mediana y gran escala son proyectos que se enfocan en la extracción de minerales, estos proyectos cuentan con depósitos de relaves mineros, que son estructuras destinadas para almacenar los residuos generados durante el procesamiento del mineral.

La composición mineralogía y química del mineral depende del tipo de material tratado y de los procesos metalúrgicos a los cuales ha sido sometido. A nivel mundial se considera una huella total de relaves mayor a 200.000 km<sup>2</sup>, y las tasas de producción anuales son mayores a 20 000 000 de toneladas (Abbadí, Alaa; Mucsi, Gábor, 2024).

La provincia de Zamora Chinchipe, hasta la presente fecha es la zona con mayor actividad minera. Cuenta con 1.084 concesiones mineras hasta el año 2019 cubriendo una superficie de 364.235,30 hectáreas lo que representa el 35,40 % del territorio, dentro de la provincia se encuentran dos importantes proyectos estratégicos: Fruta del Norte que está localizado en la parroquia los Encuentros y el Proyecto Mirador que se encuentra en la parroquia Tundayme (Gobierno Autónomo Decentralizado Provincial de Zamora Chinchipe).

Las concesiones mineras realizan procesos metalúrgicos que comprenden las siguientes etapas: trituración, molienda, lixiviación y flotación, para lograr recuperar metales de interés, y como remanente de estos procesos metalúrgicos quedan los relaves, la mayoría contienen metales pesados y productos químicos utilizados en diferentes etapas del procesamiento, estos relaves son almacenados en depósitos de relaves que cumplen con estándares de diseño, en cuanto a construcción y mantenimiento para evitar derrames.

Existen algunos estudios que se han enfocado en la reutilización de relaves mineros como agregado para materiales de construcción, con el objetivo de disminuir impactos ambientales. Como determina el autor Anthony Andrews quien reutilizo los relaves mineros como agregado fino para un mortero de construcción y demostró que la sustitución de la arena de río por relaves de minas disminuyó la demanda de agua y la densidad aparente, el tiempo que aumentó el asentamiento y la absorción del agua, su resistencia a la compresión aumento hasta un 25% (Andrews, Anthony; Nyarko, Edward F; Adjaottor, Albert A; Baafi, Elsie Nsiah; Asamoah, Mark Adom, 2022).

Otra investigación realizada por Ghazi Ahad, en la utilización de relaves de minas como sustituto parcial del cemento en la construcción de hormigón, realizaron pruebas de

asentamiento, resistencia a la compresión de las muestras de hormigón después de 90 días de construcción y demostraron que el relave minero como sustituto del cemento tuvo un aumento de 5 a 7 veces en su resistencia a la compresión (Barzegar Ghazi, Ahad; Jamshidi Zanjani, Ahmad; Nejati, Hamidreza, 2022).

Existe la falta de investigación en la sociedad minera Joya de Oriente Norte Código 501381, sobre el uso de relaves mineros, motivo por el cual surge la necesidad realizar el trabajo de investigación enfocado en evaluar la viabilidad técnica para la fabricación de adoquines a partir de relaves, este proyecto busca transformar un pasivo ambiental en un recurso útil, convirtiendo los relaves en material de construcción, específicamente en adoquines, que puedan generar ingresos adicionales a la empresa y disminuir el impacto ambiental, encaminando a esta sociedad minera a ser innovadora en prácticas ambientales amigables.

Los objetivos planteados para cumplir con el trabajo de investigación se han propuesto dependientes uno de otro para guiar los resultados, de tal manera conocer la viabilidad del proyecto.

### **Objetivo General**

Analizar los relaves mineros procedentes de la concesión minera Joya del Oriente II, Código 501381, para la producción de adoquines.

### **Objetivo Específico.**

- Determinar las propiedades físicas, químicas y mineralógicas de los relaves mineros.
- Realizar los ensayos de compresión, tracción indirecta y absorción de agua de los adoquines fabricados
- Comparar los resultados de los ensayos mecánicos de los adoquines con los valores permitidos de las normas Nacionales e Internacionales para determinar la viabilidad del uso del proyecto.

## **4. Marco Teórico**

### **4.1. Relave minero.**

Los relaves mineros son fracciones de rocas y minerales pulverizadas que se abandonan después de que se han separado las fracciones objetivo y de ganga (Abbadi, Alaa; Mucsi, Gábor, 2024), que provienen de procesamiento de minerales y operaciones metalúrgicas (Adewuyi, Anani, & Luxbacher, 2024). En todo el mundo los relaves mineros se producen a un ritmo de cinco y catorce mil millones de toneladas por año (Araya, Natalia; Kraslawski, Andrzej; Cisternas, Luis A, 2020).

Según los autores Kossoff, Alfredsson mencionan que los relaves son mezclas de rocas trituradas y fluidos de procesamiento de molinos, lavaderos o concentradores que quedan después de la extracción de metales, minerales, combustibles minerales o carbón de valor económico de los recursos mineros, también mencionan que la palabra relave es genérica debido a que describe el subproducto de varias industrias, incluidas de oro, carbón, arenas y metales preciosos (D, Kossoff; W E, Dubbin; M, Alfredsson; S J, Edwards; M G, Macklin; K A, Hudson Edwards;, 2014).

### **4.2. Drenaje ácido de relaves mineros.**

Los drenajes ácidos de minas, son el resultado de acción de factores físicos, químicos y biológicos, que presentan un pH bajo y con altas concentraciones de metales, o metaloides, sulfatos que amenazan seriamente al ambiente, también tienen presencia de minerales que contienen azufre que interactúan a fondo con el oxígeno, agua de lluvia y microorganismos durante el proceso de minería y el drenaje ácido al ser arrastrados por el agua de lluvia, fluye hacia los ríos y lagos, alterando el equilibrio ácido – base del agua subterránea lo que ocasiona daños irreversibles al entorno humano (Pan, Wei; Youquing, Kang; Hongwei, Liu; Zhigang, Liao; Wang, Shuo, 2024).

### **4.3. Características de los relaves.**

La influencia de material de cada metal depende de factores como su grado, cantidad y el material proceso de extracción específico empleado, en consecuencia, la composición y propiedades de un relave varían significativamente según el tipo de material extraído, y el método de procesamiento utilizado (Abbadi, Alaa; Mucsi, Gábor, 2024).

Los relaves mineros contienen altas cantidades de elementos potencialmente tóxicos y agentes químicos que pueden persistir durante cientos de años, estos relaves se encuentran

enriquecidos en sulfuros que desencadenan la formación de drenajes ácidos con la posterior acidificación de los suelos cercanos (García Chávez, E; Méndez González , B; Molina Frenner, F;, 2023).

La caracterización física, química y mineralógica proporcionan información crítica para evaluar las opciones de reutilización, reciclaje y reprocesamiento de relaves, la determinación de tamaño de partículas, las fases minerales presentes, composición elemental ayudan a evaluar la viabilidad de extraer los minerales o metales preciosos que se encuentren en los relaves (Abadi, Alaa; Mucsi, Gábor, 2024).

La caracterización también ayuda a identificar los contaminantes potencialmente peligrosos que podrían movilizarse durante la utilización directa o la reprocesamiento, así como minerales que afectan la estabilidad geotécnica si se reutilizan los relaves (Abadi, Alaa; Mucsi, Gábor, 2024).

#### 4.4. Propiedades físicas de los relaves mineros

La conducta de los relaves mineros se crea por sus propiedades y naturaleza del depósito, las distintas disposiciones de los relaves dan paso a dos clases de materiales: arenas que fueron almacenadas por medio de mecanismos hidráulicos y limos guardados mediante proceso de sedimentación (Lojano Garcia, Gabriela Anais; Robles Alvarado, Jessica Cristina, 2022).

Por los cual se considera la siguiente característica:

##### 4.4.1. Granulometría

Tamaño de partículas que ayudan a establecer las posibilidades de aprovechamiento y recuperación, dependiendo de los procesos metalúrgicos utilizados extraer o concentrar los minerales (Lopez , Miguel, 2015)

**Tabla 1.**  
Granulometría de relaves

Granulometría	% de pasante acumulante	Calidad
Granos	0 -15%	Buenos
Medios	15 -18%	Generalmente buenos
Finos	50 – 80%	Cuestionable
Limos	100%	Almacenamiento en presas

**Nota:** (Lopez , Miguel, 2015)

La granulometría de los relaves depende siempre del tipo de material que se procesa, en una investigación que realizaron, la distribución del porcentaje retenido que corresponde a una muestra de 12 kg de relaves, obtuvieron que el 18,2% de relaves tienen un tamaño de partículas menor a 50  $\mu\text{m}$  mientras que el 17,2%, 19,2% y 17,4% presentaron tamaños de partículas de +50  $\mu\text{m}$ , +75  $\mu\text{m}$  y +94  $\mu\text{m}$ , en conclusión los relaves contienen partículas con un tamaño de 150  $\mu\text{m}$  - 425  $\mu\text{m}$  (Ruiz Sánchez, A; Juárez Tapia, Julio C; Lapidus, G T, 2023).

#### **4.5. Propiedades mineralógicas de los relaves.**

Los minerales que predominan en los relaves, reflejan la mineralogía original de ganga del depósito de mineral procesado entre los cuales tenemos: cuarzo, esfalerita, sulfuros de pirita, galena, minerales de carbonato como la calcita y los feldespatos, también contiene minerales arcillosos como caolinita e illita, sin embargo el cuarzo se encuentra en diferentes tipos de relaves y comprende el 3 y 50% de la masa de los relaves principalmente de los desechos de minerales de oro y sulfuro; en cambio la pirita prevalece en los relaves de cobre, zinc y metales no ferrosos (Abbadi, Alaa; Mucsi, Gábor, 2024).

El autor Fernando Cuenca, realizó un análisis mineralógico al material de la mena de la concesión minera Joya de Oriente mediante la técnica de láminas delgadas, donde se identificaron minerales como: cuarzo, pirita, moscovita, augita, plagioclasas, feldespatos, carbonatos de calcio (Cuenca Montaña, 2023).

##### **4.5.1. Difracción de rayos X.**

El método de difracción de rayos X es ampliamente utilizado para la caracterización de los materiales sólidos que contienen estructuras cristalinas definidas, se basa en la interacción entre los rayos X y los cristales de la difracción producida por un conjunto de átomos, lo cual nos permite identificar diferentes minerales (Bentancourth G, Diana; Gómez C, José Fernando; Mosquera, Julio César; Tirado Méjia, Liliana, 2010).

#### **4.6. Propiedades químicas de los relaves mineros**

Según el autor Alaa, indica que la composición química de los relaves está influenciada por la naturaleza del mineral original, reactivos de reprocesamiento utilizados durante la extracción del mineral, los cambios fisicoquímicos durante su almacenamiento (Abbadi, Alaa; Mucsi, Gábor, 2024).

Las características químicas de los relaves dependen del tipo de material procesado, algunos relaves a menudo contienen altas concentraciones nocivas de cianuro, metales pesados,

además contienen compuestos de silicato, calcita y arcilla (Barzegar Ghazi, Ahad; Jamshidi Zanjani, Ahmad; Nejati, Hamidreza, 2022).

Un estudio realizado indico que los suelos alrededor de los depósitos de relave contienen arsénico y altas concentraciones de minerales de sulfuro, como arsenopirita que pueden generar drenaje ácido. (Andrews, Anthony; Nyarko, Edward F; Adjaottor, Albert A; Baafi, Elsie Nsiah; Asamoah, Mark Adom, 2022). Los componentes químicos predominantes observados en la mayoría de los tipos de relave son  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  (Abbadi, Alaa; Mucsi, Gábor, 2024).

La cianuración del mineral de oro para extraer una gran cantidad de material se produce gran cantidad de residuos de cianuro, este elemento por su alta toxicidad, causa contaminación ambiental, el cianuro total, forma un complejo después de una acidificación por lo que forma ácido cianhídrico generalmente esto produce por un pH bajo durante el proceso, en un estudio se indicó la presencia de Si, S y Fe, durante el proceso de cianuración (Han, Wenwen; Hongying, Yang; Tong, Linlin; Zhang, Qin; Zhenan, Jin, 2024).

#### **4.6.1. Fluorescencia de rayos X.**

El método de Fluorescencia de rayos X, es una técnica analíticas que permite medir la composición elemental de una muestra sólida, misma que es expuesta a una radiación de rayos X, esta técnica nos permite medir los elementos de manera cualitativa y cuantitativa, el análisis cualitativo el resultado se determina mediante la longitud de onda de la radiación de la fluorescencia de rayos X emitida mientras que en el análisis cuantitativo se obtiene el resultado por conteo de los rayos X en una longitud de onda determinada el tiempo que exposición a la muestra es de 30 a 600 segundos (Gutiérrez Gines, M; Ranz, I, 2010).

#### **4.6.2. Espectroscopia de plasma acoplado inductivamente ICP.**

La espectroscopia de plasma es una de las técnicas analíticas que se usa para conocer la composición elemental de la muestra sólida, está basada en un plasma eléctricamente energético y neutro mismo que contiene iones, misma que nos permite leer concentraciones demasiadas bajas en los análisis de interés, esta técnica es muy empleada en análisis de muestras de relave para determinar su caracterización química (Jímenez Heinert , María Elena; Grijalva Endara, Ana de las Mercedes; Ponce Solórzano, Henry Xavier, 2020).

#### **4.7. Impactos generados por los relaves mineros**

Los relaves mineros son una fuente de grave contaminación de los suelos y de las aguas subterráneas, lo cual en las comunidades cercanas se ven particularmente afectadas por los resultados de la erosión loica e híbrida de los vertederos de los relaves mineros es el drenaje ácido minero (Araya, Natalia; Kraslawski, Andrzej; Cisternas, Luis A, 2020).

#### **4.8. Gestión de relaves.**

La gestión de relaves mineros es un tema crucial en las operaciones mineras debido a los impactos irreversibles de los relaves, la composición física y química de los relaves presentan una mirada de desafíos adicionales para lograr paisajes físicos y químicos estables que no presenten riesgos como el drenaje ácido de las minas (Safaat Adiansyah, Joni; Rosano, Michele; Vink, Sue; Keir, Greg, 2015).

La falta de gestión de relaves puede ser costosa con consecuencias graves y a veces catastróficas, se han documentado 237 casos de accidentes de relaves en todo el mundo desde 1917 hasta el 2009, donde han ocurrido 17 casos en la década del 2000, estos accidentes se producen como resultado de una mala gestión de los relaves (Safaat Adiansyah, Joni; Rosano, Michele; Vink, Sue; Keir, Greg, 2015).

Existen estrategias generalmente utilizadas en las empresas mineras para la disposición de relaves: directa e indirecta; la eliminación directa se realiza mediante descargas de los relaves directamente en ríos, océanos y lagos en cambio la disposición indirecta se realiza mediante disposición de relaveras, existe un debate sobre la factibilidad operacional de estrategia en ámbitos técnico, social y ambiental (Safaat Adiansyah, Joni; Rosano, Michele; Vink, Sue; Keir, Greg, 2015).

#### **4.9. Depósito de relave.**

Un depósito de relave se define como un sólido finamente molido, entre arena y limo que se descarta de operaciones mineras, estos residuos están compuestos por una suspensión fina de sólidos y conformada por mismo material presente in situ en el yacimiento el cual se ha extraído la fracción con mineral valioso, los relaves mineros contienen metales y metaloides potencialmente tóxicos como: As, Cd, Fe, Ni, Pb, Sb, Zn, la presencia de estos elementos consideran al residuo altamente toxico (García , Sebastian ; Camus , Lorena; Gonzalez Díaz , Erika; Collao, Roberto; Townley, Brian; Parviainen, Annika; Caraballo, Manuel A., 2024).

#### **4.10. Manejo de relaves**

Según el autor Damián, indica que uno de los principales problemas ambientales de las empresas mineras son los relaves debido a la contaminación potencial del agua superficial y subterránea, por lo indica que deben realizarse técnicas adecuadas de manejo que permitan disminuir la infiltración de relaves (Espin, Damian ; Jarrin, Jaime; Escobar, Olga Maritza;, 2017).

Al iniciar nuevas propuestas sobre el manejo de relaves, se abren diversos beneficios tanto económicos como ambientales, disminuyendo la producción de residuos, existen diversas publicaciones que proponen el reciclaje y procesamiento de relaves en usar como material de construcción con un propósito de disminuir los daños ambientales (Abbadi, Alaa; Mucsi, Gábor, 2024).

Las empresas mineras al día desechan millones de toneladas de relaves como subproducto de sus operaciones mineras, mismos que son almacenados en presas de relave a grandes dimensiones en resultados una gestión eficientemente de estos residuos para la disminución de impactos ambientales como también la sostenibilidad de estas operaciones se han convertido en gran reto de la minería presentemente (Aguedo, Antony; Guizado , Julio; Simon , Maximo;, 2022). Estos relaves son regulados por normas del país para evitar resultados graves al entorno dando como resultado desastres naturales. (Araya, Natalia; Kraslawski, Andrzej; Cisternas, Luis A, 2020).

#### **4.11. Tratamiento de relaves**

El tratamiento de relaves se basa en proponer una alternativa de solución a la problemática ambiental, mediante el uso de un valor agregado de manera directa del relave donde permita un reusó en materiales de construcción como son fabricación de adoquines, baldosas y ladrillos (Romero , Alfonso A; Flores, Silvana L;, 2010).

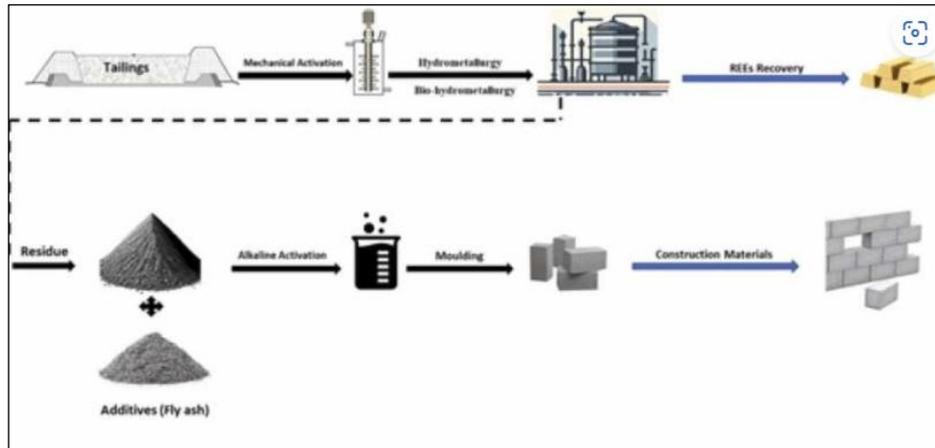
Para dar solución a esta problemática ambiental es importante caracterizar las propiedades físicas, químicas, mineralógicas del relave para evaluar el proceso de reutilización que se implementara, donde se evalúa su factibilidad económica (Abbadi, Alaa; Mucsi, Gábor, 2024).

Varios estudios realizados a nivel mundial buscan la eliminación de los relaves mineros con el propósito de mitigar impactos ambientales, estos relaves mineros han sido utilizados para de materiales de construcción respetuosos con el medio ambiente (Gitari, M W; Akinyemi, SA;

Thobakgale, R; Ngoejana, P C; Ramugondo, L; Matidza, M; Mhlongo, S E; Dacosta, F A; Nemapate, N, 2018).

**Figura 1.**

Tratamiento de relaves



**Nota:** (Abbadi, Alaa; Mucsi, Gábor, 2024).

#### 4.12. Adoquines

Los adoquines son el material de construcción más utilizado en la industria de construcción de calles, aceras, patios y jardines, siendo el hormigón el segundo en utilizarse en términos globales. Esto se debe a que presentan diversas ventajas como la rentabilidad, versatilidad y su resistencia al fuego (Dey, Ashish; Rumman, Rubaiya; Wakjira, Tadesse G; Jindal, Ashish; Bediwy, Ahmed G; Shahidul Islam, M; Shahria Alam, M; Al Martini, Samer; Sabouni, Reem, 2024).

Los autores Ashish, Rubaiya, realizaron el estudio de caso que investiga el potencial de sostenibilidad del hormigón geo polimérico con polvo de vidrio y relaves de minas de oro, donde realizaron pruebas mecánicas a los adoquines obteniendo como resultado que se utilizar el relave minero en la producción de hormigón logrando una solución sostenible y respetuosa con el medio ambiente (Dey, Ashish; Rumman, Rubaiya; Wakjira, Tadesse G; Jindal, Ashish; Bediwy, Ahmed G; Shahidul Islam, M; Shahria Alam, M; Al Martini, Samer; Sabouni, Reem, 2024).

Según el autor Enríquez realizó una investigación del uso del relave para la fabricación de adoquines con dosificaciones de 20% 30% y 40% , adoquines que fueron sometidos a ensayos mecánicos de compresión, tracción indirecta y absorción, donde reflejan que los adoquines producidos cumplen con los criterios establecidos de las normativas locales (Abdon,

Enriquez; Hermosa, Paola; Collahuazo , Luis; Acosta, Fausto; Feijoo, Cristhian; Quezada , Manuel; Ibarra, Danilo;, 2022).

#### ***4.12.1. Normativa INEN 3040 para adoquines.***

La Norma Técnica Ecuatoriana INEN 3040, estableciendo requisitos y métodos de ensayo para adoquines de hormigón, indica también las propiedades mecánicas que se deben realizar a los adoquines con la finalidad de que el producto final sea utilizado en los pavimentos además establece que el adoquín debe cumplir con descripciones en cuanto a tolerancia, longitud, ancho y espesor (Norma técnica Ecuatoriana 3040, 2016).

#### ***4.12.2. Características de los adoquines***

El desarrollo de adoquines a base de relave generados por las industrias mineras está fabricado con cemento, agua y agregados de arenas, estos ingredientes ayudan a mejorar el endurecimiento del adoquín en sus propiedades químicas del relave se encuentran minerales como el cuarzo, caolinita, moscovita y hematita, minerales que contribuyen a la resistencia del producto (Jacome Calderon, Juan Francisco, 2020).

Mediante la caracterización se busca dar una solución a la falta de áreas para la construcción de nuevas relaveras según indica el autor Juan Jácome, realizó un estudio “Desarrollo de adoquines a partir del relave de mina”, el factor más importante en la producción de adoquines son las propiedades mecánicas de los adoquines como: resistencia mecánica, absorción, tracción indirecta, consiguiendo un producto que cumpla con la normativa INEN 3040, mismo que sean utilizados para pavimentación de calles (Jacome Calderon , Juan Francisco; Burbano Morillo, Danny Santiago; Núñez Romero, Jorge Alberto, 2022).

## 5. Metodología

El proyecto de investigación es de tipo exploratorio y descriptivo; con el propósito de estudiar el relave de la concesión minera Joya del Oriente Norte II e descriptivo porque se medirá los tipos de variable.

### 5.1. Materiales y Equipos

Con el propósito de cumplir los objetivos planteados, se empleó materiales para desarrollar el proyecto investigativo mismo que se organizan como: materiales en campo, oficina y laboratorio.

#### 5.1.1. *Materiales de campo*

Se detallan los materiales utilizados en campo.

**Tabla 2.**  
Materiales de campo

<b>DETALLE</b>
Sistema de posicionamiento global
Balanza
Equipo de protección personal
Recipientes estériles
Jarra estéril.
Fundas con sello hermético
Hoja de trabajo
Jarra estéril.
Marcadores

#### 5.1.2. *Materiales de laboratorio*

Se detallan los materiales utilizados de laboratorio.

**Tabla 3.** Materiales de laboratorio

<b>DETALLE</b>
Picnómetro
Vibro Tamiz Restch
Buker modelo SD Turbo.
Medidor de pH
Buker modelo D8 Advance
Mezcladora mecánica
Máquina para adoquines
Moldes para adoquín
Tableros con capacidad 16 unidades

### 5.1.3. Materiales de oficina

Se detallan los materiales de oficina.

**Tabla 4.**  
Materiales de oficina

DETALLE
Computadora
Calculadora

## 5.2. Área de estudio

### 5.2.1. Ubicación

La sociedad minera Joya del Oriente Norte II, se encuentra ubicada al sur de la provincia de Zamora Chinchipe a 20 km, abarcando un área de 26 hectáreas, enfocada en la explotación de recursos bajo lineamientos y regulaciones establecidas para el desarrollo en actividades mineras como se muestra en la figura 2.

**Figura 2.**  
Ubicación del área Joya del Oriente II



### 5.2.2. Descripción de la actividad en el área de estudio

La concesión minera Joya del Oriente Norte II, posee una mina a cielo abierto y se enfoca en la extracción de oro y plata.

Las actividades mineras de la Joya del Oriente II, están reguladas con la Ley Minera, Reglamento General de la Ley Minera y Reglamento Especial de Pequeña Minería y Minería

Artesanal responsable, con la finalidad de minimizar los impactos ambientales y ser parte de las empresas de pequeña minería comprometidas con el cuidado del ambiente y la sostenibilidad.

### 5.3. Metodología

La metodología que se utilizó para realizar cada uno de los objetivos planteados en el presente trabajo de titulación la cual está dividida en 3 etapas:

**Fase de campo:** Hace referencia al reconocimiento al área de estudio, en esta fase se realizó la recolección de la muestra de relave, toma de datos en campo y el análisis de condiciones ambientales.

**Fase de laboratorio:** determinación de las propiedades químicas, físicas, mineralógicas del relave presente en la concesión. Se emplea técnicas de ensayo para determinar la granulometría de grano, pH, análisis de fluorescencia de rayos X, la difracción de rayos X y espectroscopia de emisión óptica (ICP).

**Fase de oficina:** recopilación e interpretación de resultados, redacción del proyecto.

### 5.4. Muestreo

#### 5.4.1. Toma de muestras

Para la toma de muestra se eligió la salida del tanque de lixiviación, debido a la facilidad del muestreo.

Para el procedimiento de la toma de muestra de relave se realizó de acuerdo a la norma INEN 695 para áridos; establece tomar un mínimo de tres muestras, las muestras deben ser representativas y suficientes para realizar los ensayos requeridos, la norma establece que las muestras deben ser recolectadas en recipientes estériles apropiados, para evitar contaminación, deben estar etiquetados claramente con la siguiente información; lugar de muestreo, número de muestra, fecha de muestreo, hora y tipo de muestra.

Se colectaron 5 muestras en 5 semanas distintas, cada muestra con peso de 30 kg.

**Tabla 5.**  
Muestreo semanal

Semanas	Fecha	Identificación	Descripción del secado
1	26/8/2024	Muestra 1	Temperatura ambiente
2	2/9/2024	Muestra 2	Temperatura ambiente
3	10/9/2024	Muestra 3	Temperatura ambiente

4	16/9/2024	Muestra 4	Temperatura ambiente
5	24/9/2024	Muestra 5	Temperatura ambiente

#### **5.4.2. Homogenización de la muestra para fabricar adoquines**

Los 30 kg de cada muestra fueron secadas a temperatura ambiente, mismas que fueron colocadas en una superficie impermeable, el secado duro un tiempo de 15 días posteriormente se homogenizo hasta lograr obtener una muestra uniforme.

#### **5.4.3. Preparación de la muestra para análisis cuantitativos**

Por cada muestra de relave se tomó 3 kg, se colocó en una funda de polietileno y se etiquetó, para el transporte de la muestra se empleó un recipiente herméticamente cerrado, luego se enviaron a un laboratorio para realizar los ensayos de análisis de fluorescencia de rayos X, difracción de rayos X, análisis granulométricos, espectroscopía de emisión óptica.

Los analitos de interés fueron el arsénico, plomo, mercurio; se eligió estos elementos debido a su alto impacto de contaminación en las fuentes receptoras (quebradas, suelo).

De la muestra homogenizada se tomó 30 kg de relave y se dispuso en una funda de polietileno para ser trasladado al Laboratorio de suelos ESTSUELCON, para el análisis de granulométrico y con los resultados evaluar la viabilidad técnica del proyecto en su uso para fabricación de adoquines.

### **5.5. Metodología para el primer objetivo:**

*Determinar las propiedades físicas, químicas y mineralógicas de los relaves mineros.*

#### **5.5.1. Análisis físico de las muestras de relave**

**5.5.1.1. Análisis granulométrico de las muestras de relave:** Para analizar la distribución granulométrica, se colocó 500 g de muestra en el equipo vibro tamiz Retsch conformado por una serie de tamices: #18, #35, #60, #120, #200, #230, #325, #400 se agitó la muestra a través del conjunto de tamices, con los parámetros que se indican en la Tabla 6, se esperó que el equipo termine, se retiró para pesar los tamices con la muestra que se retiene en cada uno, para establecer los diferentes tamaños de partículas del relave que serán utilizados para la fabricación de adoquines. Los resultados del análisis granulométrico se expresaron en porcentaje.

**Tabla 6.**

Parámetros de operación en el análisis granulométrico

Parámetros Operación	
Amplitud	1.60 mm/`g`
Tiempo	10 min.
Tiempo de intervalo	10 s

La figura 3, muestra el análisis granulométrico

**Figura 3.**

Procedimiento del análisis granulométrico



**5.5.1.2. Densidad:** Para el análisis de densidad se analiza una muestra representativa, que fue secada, y se tamiza con malla #200, es importante determinar la densidad específica.

Para determinar la densidad específica es necesaria la siguiente información

- Picnómetro vacío (P1)
- Picnómetro con la muestra (P2)
- Picnómetro lleno con agua (P3)
- Picnómetro + Muestra + Agua (P4)

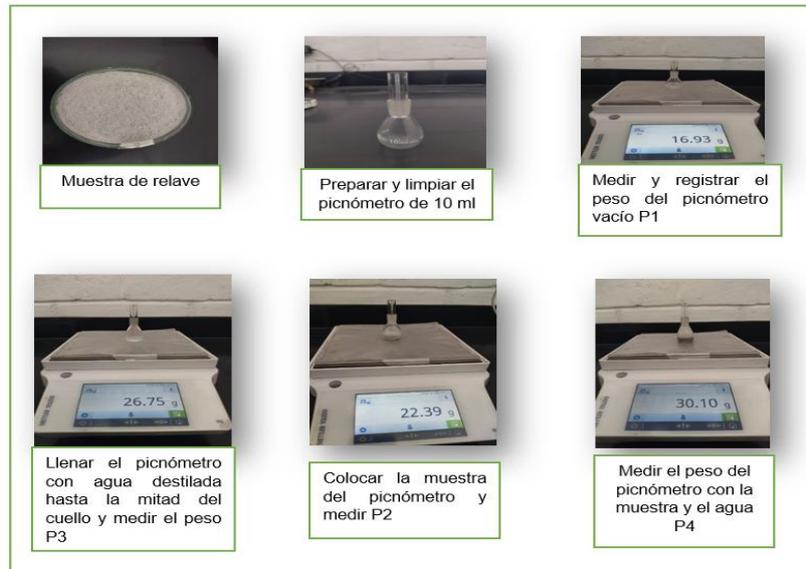
Con esta información se emplea la siguiente ecuación:

$$G = \frac{P2-P1}{(P3-P1)-(P4-P2)}$$

El análisis determina la relación entre el sólido y líquido valorando la pureza y concentración de la muestra, la medición de la densidad específica resulta fundamental para asegurar la calidad del relave.

**Figura 4.**

Análisis de densidad en muestras de relave



**5.5.1.3. Análisis de pH:** El pH del relave se determinó en 5 muestras utilizando un medidor de pH, instrumento que mide la actividad del ion hidrógeno, mostrando su grado de acidez o alcalinidad, se introduce los electrodos dentro de la muestra cómo se observa en la Figura 5.

Procedimiento de medición de pH en las muestras de relave Tomar 10 g de muestra, mezclar con 50 ml de agua destilada por cinco minutos y reposar durante diez minutos para que se estabilice. Al final se realizó la lectura en cada muestra para conocer las variaciones de pH.

**Figura 5.**

Procedimiento de medición de pH en las muestras de relave



### 5.5.2. Análisis químico de las muestras de relave

**5.5.2.1. Fluorescencia de rayos X:** Las muestras fueron analizadas por fluorescencia de rayos X (FR-X) técnica fundamentada en la identificación de elementos a partir de la lectura de rayos X, que son expresados desde la muestra luego de ser exhibida a la irradiación de rayos X, este método se desarrolló en dos fases cualitativo y cuantitativo empleando el instrumento Buker modelo SD Turbo, a través de este método se buscó identificar la concentración de elementos químicos presentes en el relave con una concentración mayor que 1%.

Se inicia preparando 3 gramos de relave porción de muestra que paso por el tamiz #200, luego se coloca en el centro del haz de luz que tiene el equipo de fluorescencia de rayos X, por 60 segundos y se consigue el resultado automáticamente, se realizó mediante dos métodos: Mining Light Elements FP para elementos mayoritarios y el método Soil FP, para elementos minoritarios, para identificar la composición del relave.

**Figura 6.**  
Procedimiento del análisis por Fluorescencia de rayos x



**5.5.2.2. Espectroscopia de Emisión Óptica (ICP – OES):** La muestra fue analizada mediante espectroscopia de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente de marca Perkin Elmer, técnica muy utilizada debido en su alta sensibilidad y precisión para cuantificar e identificar los elementos químicos presentes en relave. El objetivo es la disolución del metal de interés que se encuentra en el mineral, se realiza digestión química con dos ácidos (ácido nítrico y ácido clorhídrico).

### **5.5.3. *Análisis mineralógicos de las muestras de relave***

**5.5.3.1. Difracción de rayos X:** La muestra fue analizada por difracción de rayos X, ensayo aplicado para caracterización mineralógica de la muestras sólida que permita cuantificar e identificar los tipos de minerales presentes, considerando la fase cristalina, este ensayo se basa en la proyección de un haz de rayos distribuidos que forman la red cristalina, al pasar sobre la muestra, esta técnica se realizó mediante el equipo Buker modelo D8 Advance y un programa HigScore plus para la determinación cualitativa mientras para la determinación semicuantitativa se empleó el método Rietveld.

### **5.5.4. *Metodología para el segundo objetivo***

***Realizar los ensayos de compresión, tracción indirecta y absorción de agua de los adoquines fabricados***

**5.5.4.1. Fabricación de los adoquines:** El proceso de la fabricación de adoquines a base de relave minero está regularmente enfocado en la norma que aplicada para elaborar adoquines de hormigón que fabrican en la Bloquera Japón, localizada en la parroquia Los Encuentros. Posteriormente a un proceso planificado y autorizado por su administrador. Mismo que se efectuó con previo aviso y cumpliendo con los protocolos establecidos por la empresa, donde respalda su procedimiento seguro y controlado.

El material de relave utilizado fue debidamente homogenizado, su proceso combina técnicas manuales como mecanizadas que se realizan bajo la siguiente manera:

Primeramente se procedió a pesar los materiales: 100 kg de relave, 50 kg de arena, 5 kg de grava, 50 kg de cemento, todos los materiales se incorporaron sucesivamente en la mezcladora siguiendo el mismo orden que fueron pesados, se procedió a mezclar por 10 minutos, añadiendo gradualmente los 20 litros de agua, hasta comprobar la viscosidad adecuada que permita la compactación del material homogenizado en la siguiente etapa, por último se agregó 20 ml de acelerante con el propósito de acelerar el tiempo de endurecimiento del material.

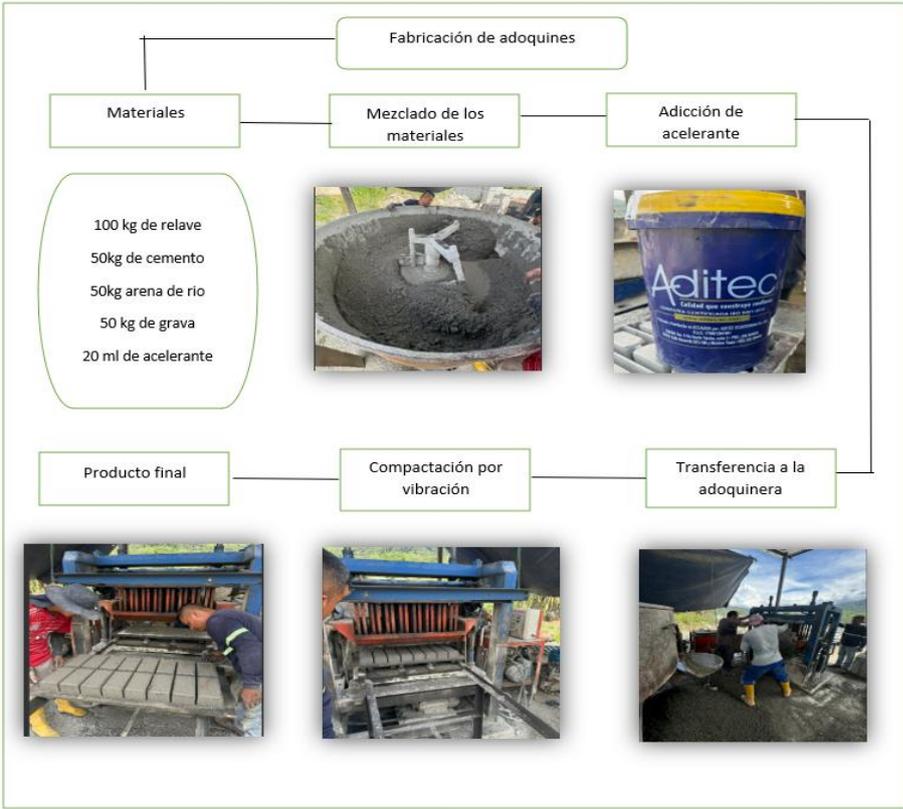
La mezcla homogénea se coloca sobre el piso al abrir la mezcladora, se coloca en 16 moldes tipo rectangular que tiene la adoquinera, el material es compactado y vibra por 24 segundos, el compactado hidráulico se realizó por siete veces hasta obtener 112 adoquines.

Posteriormente, los adoquines son llevados sobre tableros móviles depositados en el piso por un tiempo de tres días hasta fraguar, al tercer día, fueron retirados de la fábrica y ubicados en una bodega para que continúe el tiempo de fraguado por 21 días.

Cabe recalcar que de los 112 adoquines se eligieron 15 de forma representativa que presentaran buenas condiciones, debido a que existieron adoquines que no obtuvieron condiciones favorables por defecto de la máquina esto fue muy importante para realizar los ensayos mecánicos, de los 15 adoquines 5 fueron utilizados para el análisis de compresión, los otros cinco para el análisis de tracción indirecta y los últimos 5 para el ensayo de absorción de agua, estos análisis se realizaron a los 21 días de curado en el Laboratorio de suelos ESTSUELCON de la ciudad de Loja.

A continuación, en la figura 7, se indica en un diagrama de flujo el proceso de la fabricación de adoquines:

**Figura 7.**  
Diagrama de flujo de la fabricación de los adoquines



### **5.5.5. Metodología para el tercer objetivo:**

***Comparar los resultados de los ensayos mecánicos de los adoquines con los valores permitidos de las normas Nacionales e Internacionales para determinar la viabilidad del uso del proyecto***

Para la obtención de resultados con respecto a los ensayos mecánicos se optó por enviar analizar 15 muestras de adoquines al laboratorio, se realizó los ensayos de compresión, tracción indirecta y absorción de agua para la interpretación de resultados para la comparación con normativas de calidad establecidas en el país.

A continuación, se detallan los ensayos mecánicos realizados con los criterios de las normativas asociadas a cada uno.

**Resistencia a la absorción de agua:** Este ensayo evalúa el porcentaje de absorción de las muestras que deben ser inferior o igual a 6% lo que establece la norma INEN 3040 y la ASTM C936 el valor permitido puede ser hasta 7%

**Resistencia a la compresión:** Este método mide la capacidad del adoquín para soportar las cargas sin fracturarse. La norma internacional ASTM C939/C936M -16, 2016, dentro del muestreo y pruebas a considerar para la resistencia establece un mínimo de 3 espécimen para este caso se ha considerado 5 adoquines. La norma nacional INEN 1485 también determina la compresión en adoquines establece la aplicación tanto para transito vial como peatonal de cada uno en referencia a su resistencia.

**Tracción indirecta:** Para realizar el análisis de tracción indirecta, se siguió el procedimiento de la norma INEN 3040 de adoquines de hormigón, también establece que la tracción indirecta debe ser superior o igual a 3,6 MPa, pero no debe ser un valor inferior a 2,9MPa ni tener carga inferior a 250 N/mm.

## 6. Resultados

### 6.1. Datos generales de la Sociedad Joya del Oriente Norte II.

La sociedad minera Joya del Oriente Norte II, código 501381, localizada en el sector Zarza cuenta con 26 hectáreas de concesión destinadas a la extracción de oro.

**Tabla 7.**

Datos generales de la Sociedad minera Joya del Oriente Norte II

<b>Datos generales</b>		
<b>Nombre de la Concesión</b>	<b>Código</b>	<b>Hectáreas</b>
Joya de Oriente Norte II	501381	26
<b>Sector</b>	<b>Cantón</b>	<b>Provincia</b>
El Zarza	Yantzaza	Zamora Chinchipe
<b>Fase</b>	<b>Tipo de minería</b>	<b>Régimen de minería</b>
Exploración	Metálica	Pequeña
Explotación		
	P. P	778 600
	1	778 900
<b>Ubicación geográfica</b>	2	778 900
	3	778 600
	4	778 600
	5	778 500
	6	778 500
	7	778 600
		9 579 600
		9 579 600
		9 578 800
		9 578 800
		9 579 200
		9 579 200
		9 579 400
		9 579 400

### 6.2. Resultados del Primer Objetivo.

Determinar las propiedades físicas, químicas y mineralógicas de los relaves mineros.

#### 6.2.1. Análisis físico en muestras de relave minero.

**6.2.1.1. Determinación de pH:** Resultado de los análisis de pH realizado en las cinco muestras de relave procedentes de la concesión minera Joya de Oriente Norte II que se puntualiza a continuación:

**Tabla 8.**

Resultado de medición de pH de las muestras de relave

<b>Análisis de pH</b>	
Procedencia	Joya Oriente II
Muestra	Relave
N° Muestra	<b>pH</b>
1	9,3
2	9,4
3	9,4
4	9,2
5	9,1
Valor promedio	9,28

En la tabla 8, se observa los valores de pH medidos a cinco muestras de relave de la concesión minera Joya del Oriente II, el nivel promedio de 9,28, lo que indica que el pH del relave es alcalino según la norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recursos, para descargas a un cuerpo de agua dulce.

**6.2.1.2. Análisis de la Densidad:** Análisis de densidad expresados en g/ml en 5 muestras de relave se detallan en tabla 9.

**Tabla 9.**  
Resultado del análisis de densidad en muestras de relave

<b>Análisis de la densidad</b>					
Procedencia	Joya Oriente II		Muestra		Relave
Nº Muestra	P1	P2	P3	P4	Densidad
1	16,93	22,6	26,8	30	3,66
2	16,93	20,8	26,8	29	2,5
3	16,93	22,4	26,8	30	3,35
4	16,93	20,1	26,8	29	2,07
5	16,93	22,9	26,7	31	4

Como se observa en la tabla 9, los valores obtenidos en base a las mediciones de densidad en cinco muestras de relave presentan un rango de 2,07 g/ml a 4 g/ml con una media de 3,11 g/ml.

**6.2.1.3. Análisis granulométrico de las muestras de relave minero:** Para el ensayo granulométrico se utilizó mallas estándares que van desde el #18 hasta el #400.

**Tabla 10.**  
Resultado del análisis de granulometría muestra de relave 1

<b>Análisis de granulométrico</b>				
Procedencia		Joya del Oriente II	Identificación	Muestra 1
Cantidad de muestra	Mallas	Peso	Muestra	Relave
Abertura $\mu\text{m}$	#	Parcial	Retenido	Retenido
		gr	%	acumulado
				%
1000	18	0,16	0,032	0,032
500	35	2,65	0,53	0,562
250	60	70,94	14,188	14,75
125	120	259,76	51,952	66,702
74	200	101,42	20,284	86,986
63	230	20,68	4,136	91,122
45	325	30,71	6,142	97,264
37	400	6,73	1,346	98,61
	-400	5,82	1,164	99,774
TOTAL		498,87	99,774	

La Tabla 11, muestra los resultados de la muestra 2.

**Tabla 11.**

Resultado del análisis de granulometría muestra de relave 2

<b>Análisis de granulométrico</b>				
Procedencia		Joya del Oriente II	Identificación	Muestra 2
Cantidad de muestra		500gr	Muestra	Relave
Abertura $\mu\text{m}$	Malla #	Peso parcial gr	% Retenido	% Retenido acumulado
1000	18	0,43	0,086	0,086
500	35	1,27	0,254	0,34
250	60	72,6	14,52	14,86
125	120	258,17	51,634	66,494
74	200	106,23	21,246	87,74
63	230	13,01	2,602	90,342
45	325	29,73	5,946	96,288
37	400	8,25	1,65	97,938
	-400	9,21	1,842	99,78
<b>TOTAL</b>		498,9	99,78	

La Tabla 12, muestra los resultados de la muestra 3

**Tabla 12.**

Resultado del análisis granulometría muestra de relave 3

<b>Análisis de granulométrico</b>				
Procedencia		Joya del Oriente II	Identificación	Muestra 3
Cantidad de muestra		500gr	Muestra	Relave
Abertura $\mu\text{m}$	Mallas #	Peso Parcial gr	% Retenido	% Retenido acumulado
500	35	0,56	0,112	0,126
250	60	49,67	9,934	10,06
125	120	208,86	41,772	51,832
74	200	112,32	22,464	74,296
63	230	39,86	7,972	82,268
45	325	44,33	8,866	91,134
37	400	17,83	3,566	94,7
	-400	26,34	5,268	99,968
<b>TOTAL</b>		499,84	99,968	

La Tabla 13, muestra los resultados de la muestra 4

**Tabla 13.**

Resultado del análisis granulometría muestra de relave 4

<b>Análisis de granulométrico</b>				
Procedencia		Joya del Oriente II	Identificación	Muestra 4
Cantidad de muestra		500gr	Muestra	Relave
Abertura $\mu\text{m}$	Mallas #	Peso Parcial gr	% Retenido	% Retenido acumulado

500	35	3,32	0,664	0,754
250	60	64,26	12,852	13,606
125	120	215,52	43,104	56,71
74	200	85,78	17,156	73,866
63	230	26,69	5,338	79,204
45	325	43,35	8,67	87,874
37	400	24,66	4,932	92,806
	-400	35,49	7,098	99,904
<b>TOTAL</b>		<b>499,52</b>	<b>99,904</b>	

La Tabla 14 muestra los resultados de la muestra 5

**Tabla 14.**

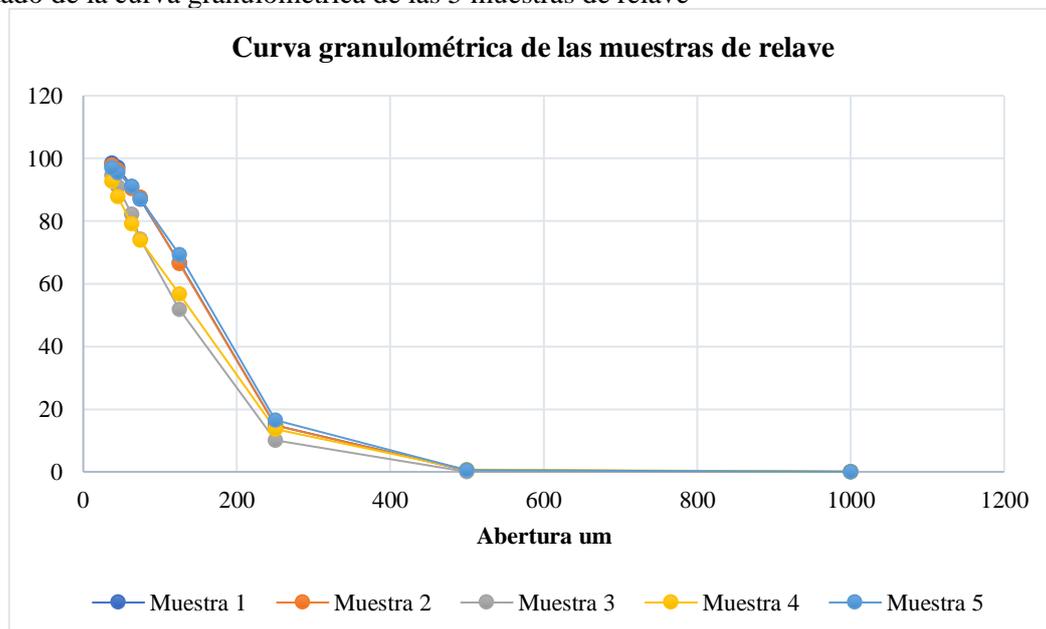
Resultado del análisis de granulometría muestra de relave 5

<b>Análisis de granulométrico</b>				
Procedencia		Joya del Oriente II	Identificación	Muestra 5
Cantidad de muestra		500gr	Muestra	Relave
Abertura $\mu\text{m}$	Mallas #	Peso Parcial gr	% Retenido	% Retenido acumulado
500	35	2,74	0,548	0,59
250	60	79,4	15,88	16,47
125	120	263,93	52,786	69,256
74	200	89,66	17,932	87,188
63	230	19,54	3,908	91,096
45	325	21,56	4,312	95,408
37	400	8,35	1,67	97,078
	-400	13,75	2,75	99,828
<b>TOTAL</b>			<b>499,14</b>	<b>99,828</b>

La Figura 8, muestra la curva granulométrica de las muestras antes descritas

**Figura 8.**

Resultado de la curva granulométrica de las 5 muestras de relave



El análisis granulométrico realizado a las 5 muestras de relave que se muestra en la tabla 11,12,13,14, fueron definidos sobre las mallas número: #18 #35 #60 #120 #200 #230 #325 #400. Se observa que las 5 muestras de relave se encuentran en un porcentaje mayor en la malla #400, mismo que presentan una granulometría fina.

**Tabla 15.**  
Resultado del análisis granulométrico de la muestra conjunta

<b>Análisis de granulométrico de la muestra conjunta de relave</b>					
Procedencia		Joya del Oriente II			
Malla No	Masa Ret parcialmente (gr)	Masa Ret acumulada (gr)	% Ret	% Pasa	
3	0	0	0	100	
2	0	0	0	100	
1 1/2	0	0	0	100	
1	0	0	0	100	
3/4	0	0	0	100	
1/2	0	0	0	100	
3/4	162.30	162.80	19.55	80.45	
4	665.40	827.70	99.72	0.28	

La tabla 15, se presenta el análisis de los resultados del análisis granulométrico de la muestra conjunta de relave, donde se evalúa la distribución de partículas mediante el uso de tamices en diferentes mallas. De acuerdo con los resultados se observan que las partículas se retienen principalmente en las mallas más finas. En la malla #4 se retiene el 99.72% indicando que el material es mayoritariamente fino.

### 6.2.2. Análisis químico de las muestras de relave minero.

**6.2.2.1. Fluorescencia de rayos X:** Mediante la técnica de Fluorescencia de rayos X utilizando el método Mining Light se identificaron los elementos presentes en la muestra de relave

**Tabla 16.**  
Resultado del análisis químico de Fluorescencia de rayos x por el método Mining Light Element FP

<b>Análisis químico por Fluorescencia de rayos X</b>					
Procedencia		Joya Oriente II			
Tipo de muestra	Relave		Tipo de método	Mining Light Elements FP	
Elementos	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,1	19,7	19,8	22,4	15,9
SiO <sub>2</sub> %	65,4	65,1	53,9	61,5	62,2
S %	3,92	1,99	4,18	1,96	3,97
CaO %	6,19	7,21	9,07	7,34	7,73
TiO <sub>2</sub> %	0,37	0,337	0,499	0,382	0,333
K <sub>2</sub> O %	1,81	1,94	2,01	2,3	1,58
MnO %	0,159	0,153	0,183	0,165	0,151

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	4,595	3,121	5,15	3,51	3,957
----------------------------------	-------	-------	------	------	-------

La Tabla 17, muestra los resultados del análisis químico por fluorescencia de rayos x por el método Mining Light Elements FP

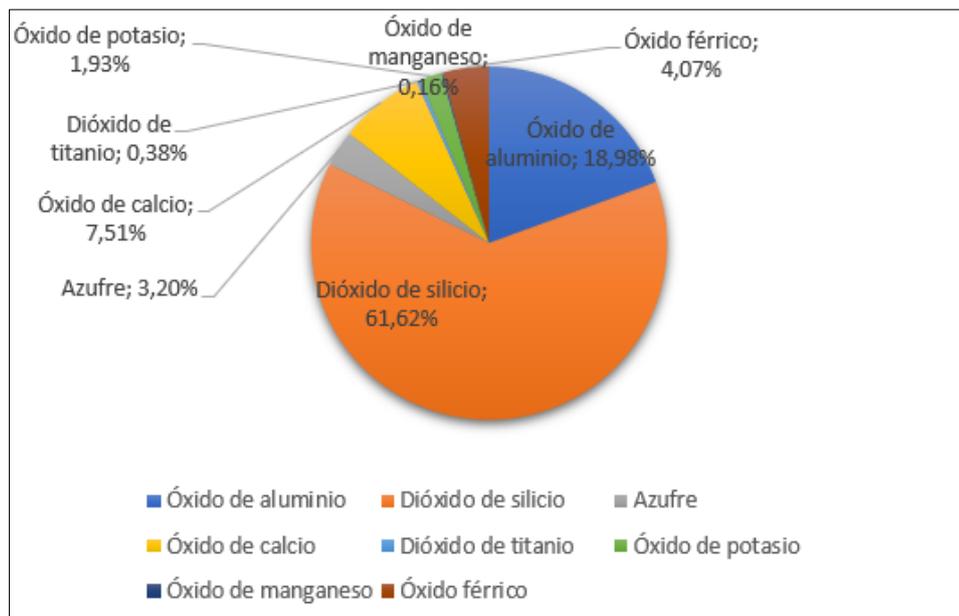
**Tabla 17.**

Resultado de la media del análisis químico por fluorescencia de rayos x por el método Mining Light Elements FP

Análisis de Fluorescencia de rayos X		
Muestra	Relave	
Método	Mining Light Elements FP	
Elementos	Compuestos	Porcentaje%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de aluminio	18,98%
SiO <sub>2</sub> %	Dióxido de silicio	61,62%
S %	Azufre	3,20%
CaO %	Óxido de calcio	7,51%
TiO <sub>2</sub> %	Dióxido de titanio	0,38%
K <sub>2</sub> O %	Óxido de potasio	1,93%
MnO %	Óxido de manganeso	0,16%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Óxido férrico	4,07%

**Figura 9.**

Interpretación del análisis químico por fluorescencia de rayos x por el método Mining Light Elements FP



La figura 9, presenta los resultados del análisis químico realizado mediante Fluorescencia de rayos, por el método Mining Light Elements FP, se observa como elementos mayoritarios al Dióxido de silicio con el 61.62%, esto indica que el relave presenta un contenido de silicio, también se encuentra el óxido de aluminio con un 18.98%, así mismo presenta óxido

de calcio con el 7,51%. Mientras que en menores porcentaje se encuentran componentes como el Azufre con el 3,20%, el óxido férrico con un 4,07% y en mínimas cantidades el Dióxido de titanio 0.38%, el óxido de potasio con el 1.93% y el óxido de manganeso con el 0.16%.

**Tabla 18.**

Resultado del análisis químico de Fluorescencia de rayos x por el método Soil FP

<b>Análisis químico de Fluorescencia de rayos X</b>					
Procedencia		Joya Oriente II			
Tipo de muestra	Relave		Tipo de método		Soil FP
Metales	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4 %	Muestra 5
	%	%	%		
Cu	0,0094	0,0032	0,0065	0,0043	0,006
Zn	0,0058	0,0056	0,0055	0,0055	0,008

En la tabla 18, se presenta los resultados del análisis químico realizado mediante Fluorescencia de rayos X de las muestras de relave, el método que se aplicó fue Soil FP, mediante este método se determinó dos metales pesados presentes en las muestras de relave: cobre, zinc. La cantidad más alta corresponde al zinc con un 0,61% seguidamente por el cobre con un 0,59%.

**Tabla 19.**

Resultados de la media del análisis de Fluorescencia de rayos x por el método Soil FP

<b>Análisis de Fluorescencia de rayos X</b>			
Muestra	Relave		
Método	Soil FP		
Metales	Nombre	Porcentaje%	
Cu	Cobre	0,59%	
Zn	Zinc	0,61%	

**6.2.2.2. Espectrómetro de Emisión Óptica con Plasma Acoplado:** Utilizando la técnica de espectroscopia de emisión óptica con el método de plasma acoplado se identificaron 3 elementos químicos.

**Tabla 20.**

Resultados del Análisis químico por Espectroscopia de emisión óptica

<b>Resultados del Análisis químico por Espectroscopia de emisión óptica</b>					
Procedencia		Joya del Oriente II			
Muestra	Relave				
Elemento químico	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
As	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm
Hg	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm
Pb	126,2 ppm	80,4 ppm	52,3 ppm	192,2 ppm	208,7 ppm

En la tabla 20, se muestra las concentraciones en partes por millón (ppm) por elemento, el predominante es el plomo (Pb) con rangos de 52,3 ppm a 208,7 ppm, y con valores mínimos de concentración en el arsénico (As) y mercurio (Hg) < 0.01 ppm.

### 6.2.3. Análisis mineralógico de las muestras de relave minero.

#### 6.2.3.1. Difracción de rayos X:

**Tabla 21.**

Resultado del análisis mineralógico por el método de Difracción de rayos X

Análisis mineralógico por Difracción de rayos X						
Procedencia		Joya del Oriente II				
Tipo de muestra		Relave				
Elementos	Composición	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Pirita %	FeS <sub>2</sub>	5,8	4,1	8,6	5,2	3,3
Cuarzo %	SiO <sub>2</sub>	59,5	61,0	41,7	54,2	65,7
Calcita %	CaCO <sub>3</sub>	5,5	10,3	10,0	10,8	6,0
Moscovita %	KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub>	29,2	22,7	30,8	29,8	17,1
Clinocloro %	(Mg,Fe) <sub>5</sub> Al(Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>		1,9	8,9		
Plagioclasas %	(NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> – CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> )					8

La tabla 21, muestra los resultados del análisis mineralógico realizado mediante el método de difracción de rayos X en muestras de relave, donde se observa que el cuarzo es el mineral predominante en las muestras de relave que van entre 41,7 % al 65,7%, seguido por la moscovita que presenta porcentajes de 17,1 % a 30%, otro mineral encontrado es la calcita que varía entre 5,5 % al 10%, también se encontró la presencia de pirita en porcentajes que van entre 3,3% a 8,6%, se determinaron minerales en bajas concentraciones, menor al 9% como el clinocloro, recalando que se encontró plagioclasas únicamente en la muestra 5 con un porcentaje del 8%.

**Tabla 22.**

Resultado de la media del análisis mineralógico de las 5 muestras de relave

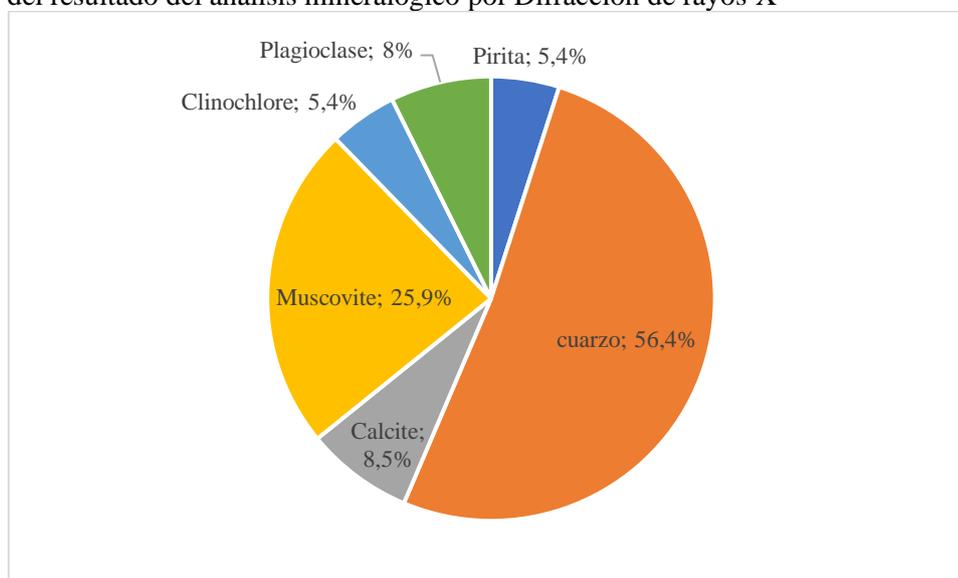
Resultados de la media del Análisis mineralógico por Difracción de rayos x	
Procedencia	Joya del Oriente II
Muestra	Relave
Mineral presente	Porcentajes
Pirita %	5,40

Cuarzo %	56,42
Calcita %	8,52
Moscovita %	25,92
Clinocloro %	5,40
Plagioclasas %	8

La Figura 10, muestra los resultados.

**Figura 10.**

Interpretación del resultado del análisis mineralógico por Difracción de rayos X



La información de la tabla 22, son representadas en la figura 10, en el cual se visualiza la concentración cristalina expresada en porcentaje que tiene la muestra como mineral predominante el cuarzo representando un 56,42% lo que presenta un alto contenido de sílice, seguidamente por la moscovita con un 25,92%, ambos minerales indican una alta estabilidad química. Se encuentran presente otros minerales en menor porcentaje que contienen a la calcita 8,52% y plagioclasas 8% y bajas cantidades se encuentran los minerales como la Pirita 5,40% y la clinochloro 5,40%.

### 6.3. Resultados del Segundo Objetivo

*Realizar los ensayos de compresión, tracción indirecta y absorción de agua de los adoquines fabricados*

#### 6.3.1. Ensayo de compresión.

**Tabla 23.**

Resultados de Compresión de los adoquines

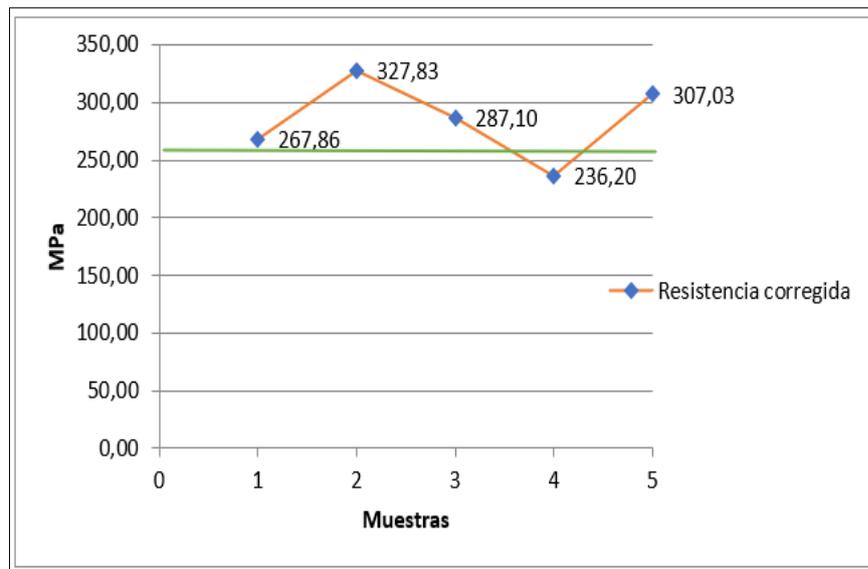
Muestra	Área cm <sup>2</sup>	Carga KN	Resist Kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia corregida	Resistencia Requerida
1	200	495,8	252,7	267,86	266
2	200	606,8	309,28	327,83	266

3	200	531,4	270,85	287,10	266
4	200	437,2	222,83	236,20	266
5	200	568,3	289,65	307,03	266
<b>PROMEDIO</b>				<b>285,20</b>	

Los adoquines cumplen con la Norma INEN 1485, su resistencia varía entre 236,20 kg/cm<sup>2</sup> y 327 kg/cm<sup>2</sup>, dando un promedio de resistencia de 285,20 kg/cm<sup>2</sup> superando el valor de la resistencia requerida por la norma INEN 1485 de 266 kg/cm<sup>2</sup>.

**Figura 11.**

Resultado de la compresión de adoquines



En la figura 11, se presenta los resultados del ensayo de compresión de los adoquines fabricados con relave minero, este ensayo se realizó en cinco adoquines a los 21 días de curado, dando como resultado una resistencia promedio de 285.20 kg/cm<sup>2</sup> lo que supera a la resistencia mínima requerida de 266kg/cm<sup>2</sup> según la Norma INEN 1485.

### 6.3.2. Ensayo de tracción indirecta.

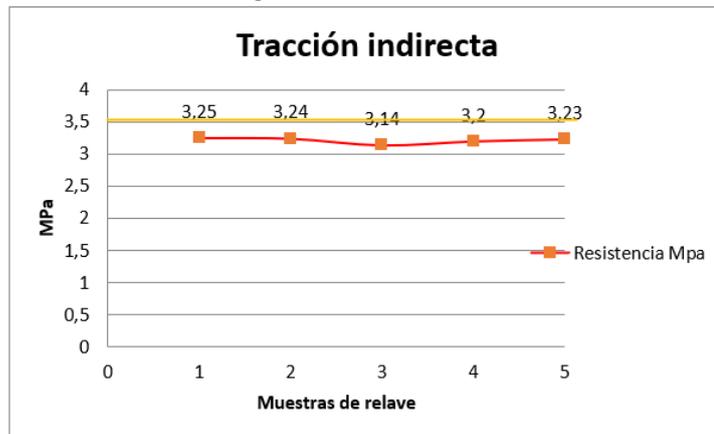
**Tabla 24.**

Resultados de tracción indirecta de los adoquines

Muestra No.	t mm	Área mm <sup>2</sup>	Carga N	F N/mm	Resistencia Mpa
1	60	12000	69,800	349,00	3,25
2	60	12000	69,500	347,50	3,24
3	60	12000	67,500	337,50	3,14
4	60	12000	68,600	343,00	3,20
5	60	12000	69,400	347,00	3,23
<b>PROMEDIO</b>					<b>3,21</b>

**Figura 12.**

Resultados de la tracción indirecta de los adoquines



En la figura 12, se muestra que los adoquines se encuentran dentro del valor establecido a la resistencia característica a la tracción indirecta, la norma INEN 3040 establece que debe ser igual a 3,6 MPa. Pero no inferior a 2,9 MPa, ni tener una carga inferior a 250N/mm. Las 5 piezas de adoquín fabricadas presentan una resistencia mayor a 3,14 MPa con una carga superior 347 N/mm.

### 6.3.3. Ensayo de absorción de adoquines.

**Tabla 25.**

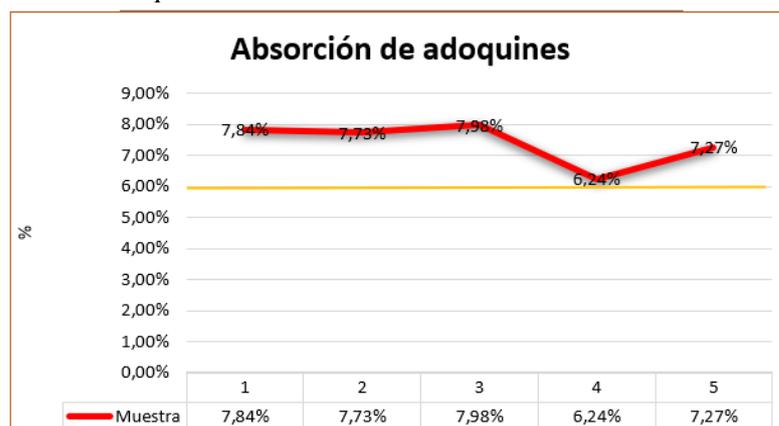
Resultados de absorción de los adoquines

Muestra	Masa seca	Absorción	Absorción promedio
1	2662,32gr	7,84%	
2	2702,46gr	7,73%	
3	2770,85gr	7,98%	
4	2854,35gr	6,24%	<b>7,41%</b>
5	2700,47gr	7,27%	

La Figura 13, muestra el resultado de absorción

**Figura 13.**

Resultado de absorción de los adoquines



En la tabla 25, se muestra los resultados del ensayo de absorción de agua en cinco piezas de adoquín fabricadas, representando los resultados gráficamente en la Figura 13. Resultado de absorción de los adoquines, donde se observa que todas las piezas de adoquín se encuentran sobre el 6% límite que establece la norma INEN 3040.

#### 6.4. Resultados del tercer Objetivo.

*Comparar los resultados de los ensayos mecánicos de los adoquines con los valores permitidos de las normas Nacionales e Internacionales para determinar la viabilidad del uso del proyecto.*

**Tabla 26.**

Características del adoquín fabricado a base de relave

Ítem	Características	Detalle
1	Tipología	Adoquín rectangular
2	Norma de aplicación	INEN 3040 INEN 1485
3	Uso	Peatonal y estacionamiento
4	Dimensiones	Largo: 20cm Ancho: 10cm Espesor: 6cm
5	Resistencia a la compresión	285.20



La Tabla 27, muestra el resultado de los ensayos mecánicos

**Tabla 27.**

Resumen de resultados de los ensayos mecánicos

Ensayo	Cumple /No cumple Adoquín vehicular	Normativa
Compresión	Cumple	INEN 3040
Tracción indirecta	Cumplen	INEN 3040
Absorción	Cumple	INEN 1485

En la tabla 26, se presentan los resultados de los ensayos mecánicos sobre los adoquines fabricados a base de relave, evaluando su conformidad con las normas establecidas. Se analizaron tres propiedades fundamentales: compresión, tracción indirecta, absorción según las Normas INEN 3040 y 1485. Esto indica que los que el adoquín tiene comportamientos aceptables en término de resistencia de agua y en la resistencia de compresión y tracción indirecta.

## 7. Discusión

Actualmente no existen ninguna norma que indique el método para ensayos de relave minero, por ello se realizaron pruebas tomando en cuenta las normas: referentes a muestreos: INEN 695, 2010; INEN 686, 1982, para las propiedades mecánicas de adoquines se utilizó la normas INEN 3040, 20216; INEN 1485, 1986, en cambio para la caracterización granulométrica de los adoquines de hormigo se rigió en la norma AASHTO de granulometría para materiales finos. La caracterización física, química y mineralogía han sido piezas fundamentales para determinar si el material puede ser empleado en la producción de adoquines de la concesión minera Joya del Oriente Norte II, los resultados no pueden ser cotejados con otras investigaciones similares aplicadas en otros sitios ya que el procedimiento de muestreo, propiedades físicas, químicas y mineralógicas del relave, la granulometría, la dosificación utilizada en la fabricación de adoquines, y la calidad de los agregados son distintas en otras publicaciones, por tal motivo el estudio de un relave para fines agregados es propio del sitio de interés. Indicado todo esto pongo a consideración de manera concisa los argumentos analíticos de los resultados en orden secuencial por cada objetivo específico planteado.

El relave minero de la concesión Joya de Oriente presenta un pH alcalino que indica una baja probabilidad drenajes ácidos, con una densidad de  $2,5 /\text{cm}^3$  a  $4 \text{ g}/\text{cm}^3$  posiblemente la presencia de plagioclasas y clivochloro encontrados por fluorescencia de rayos X, incrementan la densidad del relave, asemejando a la de un suelo mineral. El relave estudiado presenta características granulométricas sobre la malla #400 con un 99% que corresponde a un suelo de grano limoso, comparando con el Manual de Residuos Mineros del año 2015, la granulometría del relave corresponde a limos debido a que el pasante acumulado es mayor que el 80%. De acuerdo con la clasificación ASSHTO de granulométrica para suelos finos, el material es de granulometría fina, parámetro importante que influye definitivamente en las propiedades mecánicas como a la resistencia de la compresión.

En el resultado de análisis químico del relave de la concesión Joya de Oriente II detectado por fluorescencia de rayos X indica que el mineral predominante es el dióxido de silicio con un 56,42% composición mineralógica del cuarzo que se observa en el análisis por el método de difracción de rayos X con un 56,42% la presencia de este mineral aporta la resistencia física al producto final. En relación con el estudio realizado por el autor Enríquez con el tema *“Estudio de caso para el aprovechamiento de relaves mineros procedente de la concesión Campanillas, Zamora Chinchipe- Ecuador, como agregado para elaboración de adoquines”*, dentro de las características químicas detectadas por fluorescencia de rayos X,

indica que el relave presenta un alto contenido de dióxido de silicio con un 58,47%, composición mineralógica del cuarzo que se observa en el análisis de difracción de rayos x con un 33,60% (Abdon, Enriquez; Hermosa, Paola; Collahuazo, Luis; Acosta, Fausto; Feijoo, Cristhian; Quezada, Manuel; Ibarra, Danilo, 2022). En ambos estudios la presencia del cuarzo ayudo a mejorar las propiedades fisicoquímicas de los adoquines.

Dentro del análisis químico también se observa porcentajes inferiores al cuarzo como el óxido de aluminio, el óxido de calcio, azufre, óxido férrico, óxido de potasio, y dióxido de titanio. Cabe indicar que en la técnica de fluorescencia de rayos x, se han detectado como óxidos en su mayoría de componente, mismos que están asociados a la composición mineralógica del cuarzo, pirita, calcita, moscovita, clinocloro, plagioclasas esto se puede asociar debido a que el mineral original proviene de un afloramiento tipo stockwork según estudio realizado por el autor Fernando Cuenca con el tema “*Caracterización físico – química y mineralógica del material de mena proveniente del área Joya del Oriente II, cantón Yanzatza, provincia Zamora Chinchipe*”, dentro del análisis mineralógico de la mena presenta la presencia de dióxido de silicio, óxido de aluminio, azufre, dióxido de titanio, óxido férrico, composición mineralógica del cuarzo, clorita, plagioclasas augita, pirita, moscovita determinado por en análisis microscópico de láminas delgadas (Cuenca Montaña, 2023). Con esto corroboramos que el relave presento las mismas características químicas y mineralógicas de la mena.

Mediante la técnica por espectroscopia de emisión óptica se determinó un alto contenido de plomo en el relave, mismo que tiene gran incidencia en la contaminación del agua debido a que sobre pasa del límite establecido en la tabla 9 del Acuerdo Ministerial 097, el alto contenido de plomo se debe a que el área Joya del Oriente Norte II existe un yacimiento tipo epitermal de intermedia sulfuración según el autor Fernando Cuenca (Cuenca Montaña, 2023). y no por procesamiento metalúrgico.

Las piezas de adoquín fabricadas a base de relave tienen una dosificación de 40% de relave, 20% de arena, 20 % de grava, 20 % de cemento, 20 litros de agua y 20 ml de acelerante. Estos espécimen presentan una resistencia promedio a la tracción indirecta de 3,21 Mpa, con una resistencia promedio a la compresión de 285.20 kg/cm<sup>2</sup>, y con una absorción promedio de 7,41%, si bien el resultado cumplen con el valor mínimo promedio a la tracción indirecta de 2,9 Mpa que exige la norma INEN 3040, el resultado de la absorción cumple con la norma INEN 3040 supera el límite establecido 6%, el resultado a la resistencia de la compresión requerida sobre pasa 285,20 Kg/cm<sup>2</sup> el valor establecido dentro de la norma INEN 1485 es

266kg/cm<sup>2</sup>, lo que indica que los adoquines fabricados se puede utilizar en zonas de tránsito peatonal y zonas de estacionamiento correspondientemente medidos a los 21 días.

Comparando con el estudio de caso para el aprovechamiento de relaves mineros procedente de la concesión Campanillas, Zamora Chinchipe- Ecuador, como agregado para elaboración de adoquines, busca reutilizar el relave minero en la producción de adoquines como sustituto de un agregado, se realizó la caracterización física, química y mineralógica del relave posteriormente a los adoquines fabricados realizaron los ensayos mecánicos, las dosificaciones que se utilizaron de relave fueron de 20%, 30% y 40% para la fabricación de adoquines que fueron sometidos a ensayos de lixiviación, comprensión tracción y absorción dando como resultado que se pueden emplear en el tránsito vehicular a una velocidad de 60km/h (Abdon, Enriquez; Hermosa, Paola; Collahuazo , Luis; Acosta, Fausto; Feijoo, Cristhian; Quezada , Manuel; Ibarra, Danilo;, 2022). En Ambos estudios se puede utilizar el relave minero como sustituto de un agregado a una dosificación del 40% mismo que presentaron una buena resistencia a la comprensión, tracción indirecta y absorción, cumpliendo con los criterios establecidos por las Normativas INEN 3040, INEN 1485.

Otro estudio realiza durante el año 2022, desarrollo de adoquines a partir de los relaves de una mina, tomaron 48 muestras de relave, iniciando por la caracterización física, química y mineralógicos de las arenas de relave, las dosificaciones de relave utilizadas fueron del 30% , 50% y 70% para fabricación de adoquines, dando como resultado que los adoquines fabricados cumplen con la norma INEN 3040, pueden ser utilizados en zonas de tránsito peatonal y en zonas de estacionamiento (Jacome Calderon , Juan Francisco; Burbano Morillo, Danny Santiago; Núñez Romero, Jorge Alberto, 2022). Se comprueba que el relave puede sustituir como agregado de arena en otras dosificaciones.

## 8. Conclusiones

- Mineralógicamente el cuarzo es mineral predominante del relave presentando porcentajes mayor al 41.7% en todas las muestras de relave en base a ensayos mecánicos este mineral ayudo a mejorar las propiedades físico-mecánicas del relave.
- Los adoquines fabricados a base de relave fueron sometidos a pruebas mecánicas a los 21 días de elaboración, y se comprobó que presenta que se encuentran dentro de los límites establecidos por la Norma INEN 3040, 1485.
- El uso del relave para la producción de adoquines en la concesión minera Joya de Oriente Norte II, fue viable con relación al cumplimiento con las normativas INEN 1485, obteniendo como resultado que los adoquines pueden ser utilizados en el tránsito peatonal, así como para zonas de estacionamiento y calles residenciales, cumpliendo con dimensiones nominales como establece la norma INEN 3040 (largo  $\pm 2$  mm, ancho  $\pm 2$  mm, espesor  $\pm 3$  mm).

## **9. Recomendaciones**

- La dosificación del adoquín y el uso de relave como sustituto de arena se sugiere utilizar otras dosificaciones para adoquines rectangulares con la finalidad de mejorar los resultados en las propiedades mecánicas
- De acuerdo con los resultados se recomienda escalar más la investigación en cuanto a las propiedades mecánicas de los adoquines sobre ensayos de durabilidad y lixiviación de metales para determinar su toxicidad.

## 10. Bibliografía

- Abbadi, Alaa; Mucsi, Gábor. (2024). A review on complex utilization of mine tailings: Recovery of rare earth elements and residue valorization. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(3), 1- 18. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.113118>
- Abdon, Enriquez; Hermosa, Paola; Collahuazo , Luis; Acosta, Fausto; Feijoo, Cristhian; Quezada , Manuel; Ibarra, Danilo;. (2022). Estudio para el aprovechamiento de relaves mineros procedentes de la conseeion Campanillas, Zamora Chinchipe- Ecuador, como agregado para elaboracion de adoquines. *Geolatitud*, 1-10.
- Adewuyi, S. O., Anani, A., & Luxbacher, K. (2024). Advancing sustainable and circular mining through solid - liquid recovery of mine tailings. *Process Safety and Environmental Protection*, 186, 31-46. doi:<https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.06.086>
- Aguedo, Antony; Guizado , Julio; Simon , Maximo;. (2022). Evaluacion tecnica del aprovechamiento de relaves auriferos como materiales de construccion prefabricados mediante geopolimeros . *Instituto de Ingenieros de Minas de Peru*, 1-4.
- Alvarez, R. J., Guzman, M., Pereyra, P., & Ruiz, A. (2021). Reciclado de relaves mineros en materiales de construccion como cemento geopolimero. *Ingenieria, investigacion y tecnologia*, 1-9.
- Andrews, Anthony; Nyarko, Edward F; Adjaottor, Albert A; Baafi, Elsie Nsiah; Asamoah, Mark Adom. (2022). Reuse and stabilization of sulphide mine tailings as fine aggregate for construction mortar. *Journal of Cleaner Production*, 357. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131971>
- Araya, Natalia; Kraslawski, Andrzej; Cisternas, Luis A. (2020). Towards mine tailings valorization: Recovery of critical materials from Chilean mine tailings. *Journal of Cleaner Production*, 263. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121555>
- Barzegar Ghazi, Ahad; Jamshidi Zanjani, Ahmad; Nejati, Hamidreza. (2022). Utilization of copper mine tailings as a partial substitute for cement in concrete constrution. *Construction and Building Materials*, 317. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125921>

- Bentancourth G, Diana; Gómez C, José Fernando; Mosquera, Julio César; Tirado Méjia , Liliana. (2010). Análisis por Difracción de rayos x de rocas provenientes de región Esmeraldífera. Redalyc, 1-5.
- Cuenca Anguinsaca, Luis Enrrique;. (2023). Tratamiento de los relaves para el Área Minera Joya del Oriente II código 501381, ubicado en la parroquia Los Encuentros, perteneciente al cantón Yantzaza, provincia Zamora Chinchipe. Universidad Nacional de Loja, 1-66.
- Cuenca Montaña, F. M. (2023). Caracterización físico-química y mineralógica del material de mena proveniente del área minera Joya del Oriente II, cantón Yanzatza, provincia Zamora Chinchipe. Universidad Nacional de Loja.
- D, Kossoff; W E, Dubbin; M, Alfredsson; S J, Edwards; M G, Macklin; K A, Hudson Edwards;. (2014). Mine tailings dams: Characteristics, failure, environmental impacts, and remediation . Applied Geochemistry.
- Dey, Ashish; Rumman, Rubaiya; Wakjira, Tadesse G; Jindal, Ashish; Bediwy, Ahmed G; Shahidul Islam, M; Shahria Alam, M; Al Martini, Samer; Sabouni, Reem. (2024). Towards net - zero emission: A case study investigating sustainability potential of geopolymer concrete with recycled glass powder and gold mine tailings. Journal of Building Engineering, 86. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.108683>
- Espin, Damian ; Jarrin, Jaime; Escobar, Olga Maritza;. (2017). Manejo, Gestion, Tratamiento y Disposicion final de relaves mineros generados en el proyecto rio blanco . Revista de Ciencias de Seguridd y Defensa, 1-12.
- García , Sebastian ; Camus , Lorena; Gonzalez Díaz , Erika; Collao, Roberto; Townley, Brian; Parviainen, Annika; Caraballo, Manuel A;. (2024). The importance of geochemical and mineralogical characterization of fresh Cuporphyry mine tailings in mineral processing plants to optimize their revalorization potential. Journal of Geochemical Exploration. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2024.107439>
- García Chávez, E; Méndez González , B; Molina Frenner, F;. (2023). Biochar application on mine tailings from arid zones: Prospect for mine reclamation . Journal of Arid Environments.
- Gitari, M W; Akinyemi, SA; Thobakgale, R; Ngoejana, P C; Ramugondo, L; Matidza, M; Mhlongo, S E; Dacosta, F A; Nemapate, N. (2018). Physicochemical and mineralogical

characterization of Musina mine copper and New Union gold mine tailings: Implications for fabrication of beneficial geopolymeric construction materials. *Journal of African Earth Sciences*(137), 218-228.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.10.016>

Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Zamora Chinchipe. (n.d.). Plan Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Zamora Chinchipe 2019 -2023.

Gutiérrez Gines, M; Ranz, I. (2010). Utilización de un equipo portátil de fluorescencia de rayos X para el estudio de metales pesados en suelos: puesta a punto y aplicación de vertederos. Madrid: Universidad de Alcalá.

Han, Wenwen; Hongying, Yang; Tong, Linlin; Zhang, Qin; Zhenan, Jin. (2024). Cyanide removal of gold cyanide residues by manganese compounds as new decyanation reagents. *Science of the Total Environment*, 915.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169691>

Huu Hoang, Duong; Imhof, Rainer; Sambrook, Tim; Bakulin, Alexander E; Murzabekov, Kanat M; Abubakirov, Bakhtiyar A; Baygunakova, Roza K; Rudolph, Martin. (2022). Recovery of fine gold loss to tailings using advanced reactor pneumatic flotation Imhoflot. *Minerals Engineering*, 184.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.mineng.2022.107649>

Jacome Calderon , Juan Francisco; Burbano Morillo, Danny Santiago; Núñez Romero, Jorge Alberto. (2022). Desarrollo de adoquines a partir de los relaves mineros. *Perfiles*, 1-7.

Jacome Calderon, Juan Francisco. (2020). Desarrollo de adoquines a partir de los relaves de mina de la empresa minera" Agro Industrial el Corazon". Universidad Central del Ecuador, 1-140.

Jímenez Heinert , María Elena; Grijalva Endara, Ana de las Mercedes; Ponce Solórzano, Henry Xavier. (2020). Plasma acoplado inductivamente en espectroscopia de emisión óptica (ICP-OES). *Recimundo*, 1-9.

Li, W., Wang, H., Deng, Y., Yuanan, H., & Cheng, H. (2024). Potential risk, leaching behavior and mechanism of heavy metals from mine tailings under acid rain. *Chemosphere*.

- Lojano Garcia, G. A., & Robles Alvarado, C. J. (2022). Analisis de la resistencia de la compresion simple en morteros utilizando relaves mineros de la planta de beneficio "GOLDSERVIPLANT CIA LTDA, Portovelo- El oro". Universidad del Azuay, 1-132.
- Lojano Garcia, Gabriela Anais; Robles Alvarado, Jessica Cristina. (2022). Análisis de la resistencia a la compresión simple en morteros utilizando relave minero de la Planta de Beneficio Goldserviplant Cia Ltda, Portovelo - El Oro. Universidad de Azuay, 1- 132.
- Lopez , Miguel. (2015). Manual de manejo de residuos industriales mineros. Meridiano.
- Ministerio de Energias y Minas del Peru. (1995). Guia ambiental para el manejo de relave mineros. Ministerio de Energia y Minas.
- Norma tecnica Ecuatoriana 3040. (2016). Adoquines de hormigon, requisitos y metoddos de ensayo. Servicio Ecuatoriano de Normalizacion .
- Pan, Wei; Youquing, Kang; Hongwei, Liu; Zhigang, Liao; Wang, Shuo. (2024). Study on the bio- passivation of copper sulfide tailings combined with solid waste to inhibit acidic mine drainage. Journal of Water Process Engineering, 61. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105253>
- Rojas Huamani, L. E., & Ventura Huaman , L. E. (2017). Utilizacion del relave minero para la elaboracion de bloques de concreto tipo ensamblale. Universidad Nacional de Huacancelica , 1-251.
- Romero , Alfonso A; Flores, Silvana L;. (2010). Reuso de relaves mineros como insumo para la elaboracion de agregados de construccion para fabricar ladrillos y baldosas. Realdyc, 1-9. doi:1560-9146
- Romero B, A., & Flores Ch, S. (2011). Caracterizacion de la pasta de relave para uso como relleno en labores mineras . Rev. del Instituto de Investigacion (RIIGEO), 1-6.
- Ruiz Sánchez, A; Juárez Tapia, Julio C; Lapidus, G T. (2023). Evaluation of acid mine drainage (AMD) from tailings and their valorization by copper recovery. Minerals Engineering, 191. doi:<https://doi.org/10.1016/j.mineng.2022.107979>
- Safaat Adiansyah, Joni; Rosano, Michele; Vink, Sue; Keir, Greg. (2015). A framework for a sustainable approach to mine tailings management: disposal strategies. Journal of Cleaner Production, 108, 1050 - 1062. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.139>

- Sánchez Valverde, Yohana Estefanía ;. (2019). Estudio del relave minero de la Planta de beneficio Santa Lucía Código 191038 del sector la Maravilla de la parroquia Pucará, canton Pucará, provincia del Azuay, con fines de utilización en morteros de pega de unidades de Mampostería. Universidad Nacional de Loja , 1-200.
- Vila, P., Pereyra, M. N., & Gutierrez, A. (2017). Resistencia a la compresión de adoquines de hormigón. Resultados tendientes a validar el ensayo en medio adquin. Revista ALCONPANT, 7(3), 247-261. doi:<http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i3.186>
- Yaguachi Neira, Geder Lizbeth;. (2024). Diseño de explotación del Bloque "Carmen" de la concesión minera Joya de Oriente II 501381, ubicado en la Provincia de Zamora Chinchipe, canton Yanzatza. Universidad Nacional de Loja, 1-173.

## **11. Anexos**

Anexo 1. Certificación del idioma inglés.

Zamora, 15 de marzo de 2025

Yo, Juana Marina Guzmán Carrión con cedula de identidad 1102468632, Licenciada en Ciencias de la Educación en la especialidad idioma inglés con registro Nro.1008-02-150708

### **CERTIFICO:**

Que he realizado la traducción al idioma inglés de él resumen del trabajo de” Viabilidad técnica para la producción de adoquines utilizando relaves mineros de la concesión minera Joya del Oriente II, Código 501381, ubicada en la parroquia Los Encuentros, Cantón Yantzaza, Provincia Zamora Chinchipe” realizado por la Bqf Katy Carina Ordoñez Mendoza, con cedula de ciudadanía número 1900680768, graduado de la carrera de Bioquímica y egresada de la maestría en Minas con mención en metalurgia y mineralogía en la Universidad Nacional de Loja.

Certifico en honor a la verdad, facultando al portador del presente documento, hacer uso legal pertinente.

Atentamente.

Lcda. Juana Marina Guzmán Carrión.

Cedula: 1102468632